MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR EXTRATERRESTRISCHE PHYSIK





Titelbild:

Das Bild zeigt im oberen Teil einen Ausschnitt von ~1x1" des zentralen Sternhaufens unserer Galaxis in der Umgebung von Sgr A*, und in der Ausschnittsvergrößerung die Umlaufbahn des hellen Sterns S2 um Sgr A*. Im Jahre 2002 gelang die spektakuläre Beobachtung des Durchgangs des Sterns S2 durch das Perizentrum seiner Umlaufbahn. In dieser Phase bewegte sich S2 mit einer Geschwindigkeit von mehr als 5000 km/s. Zusammen mit den seit 1992 gewonnenen Daten unseres Experimentes gelang es damit, für den Stern S2 eine eindeutige Keplerbahn mit einer Periode von 15.2 Jahren und einer großen Halbachse von 5.5 Lichttagen zu bestimmen, womit die Masse des zentralen Objekts zu $3.7\pm1.5 \, 10^6 M_{\odot}$ abgeleitet werden kann. Die geringe Distanz des Perizentrums von Sgr A* (nur 17 Lichtstunden) bedeutet, dass die beobachtete Masse im Zentrum unserer Milchstrasse mit hoher Wahrscheinlichkeit ein Schwarzes Loch ist. Im unteren Teil zeigt das Bild eine Aufnahme der im infraroten ultra-leuchtkräftigen Galaxie NGC 6240 mit dem Hubble-Weltraumteleskop (gelb), überlagert mit einer Aufnahme des Röntgenobservatoriums Chandra (blau). Mit Chandra wurde erstmals ein Paar super-massereicher aktiver Schwarzer Löcher (blau) im Zentrum der selben Galaxie gefunden. Die beiden Schwarzen Löcher werden in einigen hundert Millionen Jahren miteinander verschmelzen und dabei ein noch größeres Schwarzes Loch bilden, ein Ereignis das von einem gigantischen Ausbruch an Gravitationswellen begleitet sein wird.

Cover image:

The upper part of the cover shows a $1x1^{\circ\circ}$ colour image of the Galactic Centre central stellar cluster surrounding Sgr A*. The blow-up of the region in the inset shows the orbit of the bright star S2 around Sgr A*. In 2002 we witnessed a spectacular event as S2 passed through the pericenter of its orbit around Sgr A*. During this period, it was moving at a velocity of more than 5000 km/s. Combined with the ten years of proper motion data since 1992 we have been able to determine a unique Keplerian orbit for S2 with a period of 15.2 years and a semi-major axis of 5.5 light days. From these orbital parameters we estimate that the mass of the central object is $3.7\pm1.5x10^{6}$ M_{\odot}. The 17 light hour pericenter distance implies that the observed central dark mass is concentrated into a volume that corresponds to roughly three times the size of the Solar System, and is, therefore, nearly irrefutably a supermassive black hole. The bottom portion of the cover shows an optical Hubble Space Telescope image of the luminous infrared merger NGC 6240 (yellow) overlaid together with an x-ray image of the system from the Chandra observatory (blue). The Chandra observations have shown for the first time a pair of supermassive black holes in the centre of the same galaxy. The two black holes will merge several hundred million years from now to create an even larger black hole, and result in an event that will unleash intense radiation and gravitational waves.

Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik

Giessenbachstraße 85748 Garching Telefon: (0 89) 30000-0 Telefax: (0 89) 30000-3569 email: <u>mpe@mpe.mpg.de</u> http://www.mpe.mpg.de



JAHRESBERICHT 2002 / ANNUAL REPORT 2002

MPE REPORT 283

Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik

Impressum

| Inhaltliche Verantwortung: Redaktion und Layout: Druck: MPE-Druckerei (R. Hauner) | G.E. Morfill B. Klecker, R. Lange |
|---|--|
| Textbeiträge und Bildmaterial: | B. Aschenbach, B.Bender, H. Böhringer, D. Breitschwerdt, W. Brinkmann, T. Boller, W. Bunk, W. Collmar, K. Dennerl, R. Diehl, C. Dum, M. Förster, R. Genzel, G. Hasinger, G. Kanbach, B. Klecker, M. Lehnert, G. Lichti, D. Lutz, G. E. Morfill, T. Müller, G. Paschmann, W. Pietsch, P. Predehl, V. Schönfelder, M. Scholer, P. Schuecker, A. Strong, L. Strüder, E. Sturm, R. Supper, L. Tacconi, M. Thoma, D. Thomas, H. Thomas, R. Treumann, J. Trümper, H.U. Zimmermann, M. Zuzic und andere |
| Sonstige Unterstützung: | M. Abele, E. Chmielewski, R. Mayr-Ihbe, B. Mory, C. Post, R. Sigl, H. Steinle, J. Zanker-Smith |
| 1. Auflage März 2003 (1200) | |

INHALTSVERZEICHNIS / TABLE OF CONTENTS

Seite/Page

| Vor | wort / | Preface | 5 | |
|-----|--------|--|-----|--|
| 1 | Aufg | aben und Arbeitsweise des Instituts / Research Areas and Institute Structure | 7 | |
| 2 | Wiss | issenschaftliche Ergebnisse / Scientific Results | | |
| | 2.1 | Physik des Sonnensystems / Solar System Physics | 11 | |
| | 2.2 | Sternzyklen und das interstellare Medium / Stellar Evolution and the Interstellar Medium | 27 | |
| | 2.3 | Galaxien und AGN / Galaxies and AGN | 52 | |
| | 2.4 | Großräumige Struktur und Kosmologie / Large-Scale Structure and Cosmology | 88 | |
| | 2.5 | Komplexe Plasmen / Complex Plasmas | 109 | |
| 3 | Expe | erimentelle Entwicklung und Projekte / Experimental Development and Projects | 126 | |
| | 3.1 | Physik des erdnahen Weltraums / Space Physics of the Near-Earth Environment | 126 | |
| | 3.2 | IR/Submillimeter Astronomie / IR/Submillimeter Astronomy | 130 | |
| | 3.3 | Röntgenastronomie / X-Ray Astronomy | 138 | |
| | 3.4 | Gamma-Astronomie / Gamma-Ray Astronomy | 147 | |
| | 3.5 | Komplexe Plasmen / Complex Plasmas | 151 | |
| | 3.6 | Astronomie /Astronomy | 157 | |
| | 3.7 | Technologietransfer / Know-how Transfer | 161 | |
| | 3.8 | Zentrale Bereiche / General Services | 170 | |
| 4 | Verö | iffentlichungen, Lehrveranstaltungen / Publications, Teaching | 175 | |
| | 4.1 | Referierte Veröffentlichungen / Refereed Publications | 175 | |
| | 4.2 | Referierte Proceedings / Refereed Proceedings | 186 | |
| | 4.3 | Nicht-referierte Veröffentlichungen / Non-refereed Publications | 188 | |
| | 4.4 | Bücher / Books | 194 | |
| | 4.5 | Poster / Posters | 195 | |
| | 4.6 | Vorträge / Talks | 198 | |
| | 4.7 | Habilitationen | 211 | |
| | 4.8 | Dissertationen | 211 | |
| | 4.9 | Diplomarbeiten | 212 | |
| | 4.10 | Lehrveranstaltungen / Teaching | 212 | |
| | 4.11 | Seminare und Workshops / Seminars and Workshops | 213 | |
| | 4.12 | Öffentlichkeitsarbeit / Public Relations Work | 214 | |
| 5 | Pers | onal, Projekte, Kollaborationen / Personnel, Projects, Collaborations | 215 | |
| | 5.1 | Personal / Personnel | 215 | |
| | 5.2 | Wissenschaftliche Kollaborationen / Scientific Collaborations | 223 | |
| | 5.3 | Multinationale Zusammenarbeit / Multinational Collaborations | 226 | |
| | 5.4 | Zusammenarbeit mit Firmen / Industrial Collaborations | 228 | |
| | 5.5 | Aktivitäten im Wissenstransfer / Activities in Transfer of Know-how | 229 | |
| | 5.6 | Statistik / Statistics | 230 | |

VORWORT / PREFACE

Der vorliegende Jahresbericht des Max-Planck-Instituts für extraterrestrische Physik (MPE) gibt eine Übersicht über die laufenden Forschungsprojekte des Instituts, über die im Jahr 2002 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. Das erfordert die Entwicklung und den Einsatz leistungsfähiger Teleskope und Meßgeräte, die Anwendung modernster Computertechnologie bei der Datenverarbeitung und die Gewinnung neuer Erkenntnisse durch die Interpretation der gewonnenen Daten. Ergänzt werden diese experimentellen Aktivitäten 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 2002 waren – in chronologischer Reihenfolge:

- die Berufung von Ralf Bender als Direktor an unser Institut zum 1.1.2002
- die Durchführung von zwei weiteren Experimenten auf der Internationalen Raumstation mit dem PKE-Nefedov Instrument (komplexe Plasmen)
- die Evaluierung durch den Fachbeirat im Juni 2002
- Die Verlängerung der CLUSTER Mission um 3 Jahre bis Ende 2005, sowie die Verdoppelung der Datenüberdeckung von 50% auf 100% ab Juni 2002
- der planmäßige Umzug der Ingenieurbereiche in neue zentrale Räumlichkeiten
- Der Start des Gamma-Satelliten INTEGRAL am 17.10.2002
- die Übergabe des Infrarot-Instruments SPIFFI an das VLT Observatorium der ESO in Chile im Dezember 2002.

Wir danken allen Kolleginnen und Kollegen, allen Freunden und den uns verbundenen Firmen und Organisationen für die gute Zusammenarbeit und die fortwährende Unterstützung. 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 2002 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. 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. These experimental activities are complemented by 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 2002 were – in chronological order:

- the appointment of Ralf Bender as director at our institute with effect from 1.1.2002
- two more experiments carried out onboard the International Space Station with the PKE-Nefedov instrument (complex plasmas)
- the evaluation by the Fachbeirat in June 2002
- the extension of the CLUSTER mission by 3 years to the end of 2005 and the increase of data coverage from 50% to 100% starting in June 2002
- the completion and transfer of our engineers to their new central sites
- the launch of the Gamma-ray Satellite INTEGRAL on 17.10.2002
- transfer of the infrared spectrometer SPIFFI to ESO's VLT observatory in Chile in December 2002.

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

Professor Gregor Morfill Geschäftsführender Direktor / Managing Director

1 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
- Laborphysik komplexer Plasmen.

Methodisch lassen sich die Forschungsaktivitäten des MPE in mehrere Bereiche einteilen. Der erste Bereich beschäftigt sich mit Teilchen und elektromagnetischen Feldern, sowie ihren Wechselwirkungen im erdnahen Raum, d.h. in der Ionosphäre, Magnetosphäre und im Sonnenwind. Dabei werden diagnostische "in-situ"-Messungen durchgeführt. 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 den winzigen Neutronensternen bis zu Galaxienhaufen, den größten Formationen im Kosmos. Viele unserer Experimente müssen notwendigerweise oberhalb der dichten, absorbierenden Erdatmosphäre mit Raketen, Satelliten und Raumsonden durchgeführt werden. In zunehmendem Maße setzen wir aber vor allem im Infrarotbereich auch Instrumente an erdgebundenen oder flugzeuggetragenen Teleskopen ein. Ergänzt werden unsere Untersuchungen durch Experimente im Labor.

Die Theoriegruppe und die Interpretative Astronomiegruppe des Instituts beteiligen sich gruppen-übergreifend an der 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 vielversprechender neuer Forschungsrichtungen.

Für die jüngste Forschungsrichtung "Komplexe Plasmen", die im Institut im Anschluss an die Entdeckung neuer Plasmazustände (Plasmakristall) als Laboraktivität entstanden ist, sind Experimente in der Schwerelosigkeit von wachsender Bedeutung. Das erste naturwissenschaftliche Experiment auf der Internationalen Raumstation (ISS), das Plasma-Kristall-Experiment (PKE) unseres Instituts, wurde in Kooperation mit dem russischen Akademieinstitut "IHED" in 2001 in Betrieb genommen. Diese Aktivitäten werden im gemeinsam mit dem Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) gegründeten "Centre for InterdiscipliResearch 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
- Laboratory physics of complex plasmas.

From a technological point of view, research at the MPE can be divided into a number of key areas. The 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/sub millimetre-, 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. 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. However, increasingly, we also use ground-based or aircraft-borne telescopes, primarily in the infrared wavelength regime. Our investigations are complemented by laboratory experiments.

The theoretical group and the interpretative Astronomy group of the institute conduct analytical, numerical and observation-related interpretational research. These groups 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.

The youngest field of research "Complex Plasmas" is being developed at the MPE as a new laboratory activity, following the discovery of "plasma crystals". For some of these activities microgravity is very important. The first natural science experiment on the International Space Station (ISS) is the Plasma-Kristall-Experiment (PKE), which was installed and started operating last year. It is a cooperation project with the Russian academy-institute IHED. These activities are conducted within the "Centre of Interdisciplinary Plasma Science", a joint initiative between the MPE and the Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP). nary Plasma Science" durchgeführt.

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, komplett integrierte Nutzlasten (wie im Fall von RO-SAT, dem Plasma-Kristall-Experiment und in Zukunft z.B. ROSITA, PACS und Herschel) oder gar ganze Satelliten (AMPTE-IRM und EQUATOR-S) gebaut. 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 Siemensforschungsgelände in München-Neuperlach.

Die wissenschaftliche Arbeit findet in vier großen Arbeitsbereichen statt, die von je einem der Direktoren betreut werden: (1) Interpretative Astronomie (Wellenlängen-übergreifend), (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 findet im wesentlichen in zwei Bereichen statt: aus der Theorie, dem Bereich "Analyse komplexer Systeme", geht er in anwendungsnahe Forschungsgebiete der Medizin, der Ingenieurwissenschaften und in den Pharmabereich. Aus dem Halbleiterlabor stammen Röntgendetektoren, die in anderen Forschungsinstituten und der Industrie Anwendung finden.

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 Anforderungen unserer Experimente führen oftmals auch zum Technologietransfer in die Industrie. Zusätzlich zur Grundfinanzierung durch die Max-Planck-Gesellschaft wird unsere Arbeit in erheblichem Maße von der Projektfinanzierung staatlicher Organe, wie dem Bundesministerium für

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 and in future ROSITA, PACS and Herschel) or even entire satellites (AMPTE-IRM and EQUATOR-S). 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 dataanalysis 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) Interpretative Astronomy (all wave lengths), (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, with additional fiBildung und Forschung (BMBF), dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), sowie teilweise von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), der Humboldt Gesellschaft und der Dr. Johannes Heidenhain-Stiftung, getragen.

Da unsere Experimente gewöhnlich mit sehr hohem technischen und finanziellen 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 aus beiden Universitäten in München. Darüber hinaus veranstalten wir spezielle Seminare und Symposien zu unseren und angrenzenden Forschungsgebieten, häufig in Zusammenarbeit mit Universitätsinstituten. Von der "International Max-Planck Research School on Astrophysics" an der Ludwig-Maximilians-Universität München, erwarten wir eine weitere Intensivierung der Doktorandenausbildung im Raum Garching/München. Der Anfang seit dem Jahre 2001 ist jedenfalls sehr vielversprechend verlaufen. nancial contributions from the German Science Foundation (DFG), the Humboldt Society and the Dr. Johannes Heidenhain-Foundation.

Since our experiments quite commonly demand major technical and financial resources, they are very often carried out as cooperative projects together with research institutes and universities within and outside of Germany. In this context we have to mention the close interaction and communication with ESA and NASA, as well as the corresponding organizations of other countries, in particular Russia, in the context of our research activities on the International Space Station.

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.) 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. With the commencement of the "International Max-Planck Research School on Astrophysics" at the Ludwig-Maximilians-Universität München, we expect to further build up the doctoral programs in the Garching/München area. Certainly the beginning since 2001 is very promising.

2 WISSENSCHAFTLICHE ERGEBNISSE / SCIENTIFIC RESULTS

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. In unserem Institut werden vor allem plasmaphysikalische Phänomene bearbeitet, und zwar in der Erdmagnetosphäre und ihren Grenzschichten, sowie im interplanetaren Raum und bei Kometen.

In der Magnetosphärenphysik bedeutet die CLUSTER Mission den Höhepunkt dieses Forschungsgebiets. Im Berichtsjahr haben wir Ergebnisse zur Struktur und Dynamik der Magnetopause, zum Auftreten stehender Alfvénwellen, zum Vergleich elektrischer Felder bei Cluster und der polaren Ionosphäre, und zur Beschleunigung von ionosphärischem Sauerstoff gewonnen. Neue Erkenntnisse zur Polarlichtphysik ergaben sich aus einem Vergleich von Messungen der Radiostrahlung mit dem FAST Satelliten und theoretischen Betrachtungen. Kosmische Strahlung und energetische Ionen im Sonnenwind werden mit unseren Instrumenten auf SOHO, ACE und SAMPEX gemessen. Auf diesem Gebiet haben wir interessante Ergebnisse gewonnen, insbesondere bei der Analyse der Ladungszustände suprathermischer Ionen, die an interplanetaren Stoßwellen beschleunigt werden.

Diese in-situ Messungen werden durch theoretische Untersuchungen und numerische Simulationen ergänzt. Hierzu gehören: Untersuchungen zur Instabilität von Plasmarturbulenz, Modelle von magnetischen Mirror Moden in Analogie zur Supraleitung, Simulationen zur quasi-parallelen Bugstoßwelle der Erde und zum quasi-senkrechten Terminationschock der Heliosphäre.

Neben der Plasmaphysik gibt es noch erste Messungen vom Mars im Lichte der Röntgenstrahlung mit *Chandra* und erste Ergebnisse einer Beobachtungsreihe von Asteroiden mit dem *Infrared Space Observatory ISO*. 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 it's boundaries, and in interplanetary space.

With the start of the operational phase of CLUSTER on February 1, 2001, we are at the advent of a new age in magnetospheric physics. This year we have obtained results on the structure and dynamics of the magnetopause, on the occurrence of standing Alfvén waves, on the comparison between electric fields at Cluster and in the polar ionosphere, and on the acceleration of O⁺ ions of ionospheric origin. We assumed insights on the auroral plasma physics from a comparison of FAST auroral kilometric radiation measurements with the theory of electrostatic ion-acoustic shocks. With our experiments onboard SOHO, ACE, and SAMPEX we measure cosmic rays and energetic ions in the solar wind. We obtained results on the ionic charge composition of suprathermal ions accelerated at interplanetary shocks.

These in-situ measurements are complemented by theoretical investigations and numerical simulations. These include: instability analysis of plasma turbulence, the physics of mirror modes as a superconducting analogue in high-temperature plasma, and numerical full particle electromagnetic (PIC) simulation of the quasi-parallel bowshock of the Earth and the quasi-perpendicular termination shock of the heliosphere.

Outside of plasma physics we report new results on Xray measurements from Mars obtained with *Chandra* and first results from a survey of observations of asteroids with the *Infrared Space Observatory ISO*.

2.1.1 Erdmagnetosphäre / Earth's Magnetosphere

Stehende Wellen über der Polkappe / Standing Waves over the Polar Cap

Ein Druckpuls solaren Ursprungs erreichte die Erdmagnetosphäre am 14. Juli 2001, und verursachte dort eine Wellenaktivität, die von den Cluster-1, -2, und -4 Satelliten bei der Durchquerung offener Magnetfeldlinien über der Polkappe registriert wurde (Cluster-3 war so weit entfernt, dass er das Ereignis nicht beobachtete). Die longitudinale Magnetfeldkomponente (Abb. 2-1, b) zeigt eine im Wesentlichen monochroA pressure pulse of solar origin impinged on the Earth's magnetopause on July 14th, 2001, causing wave activity that was observed by the Cluster-1, -2, and -4 spacecraft as they traversed open magnetic field lines over the northern polar cap (Cluster-3 was lagging behind so that it did not measure the event). The longitudinal magnetic component (panel b of Fig. 2-1) shows a largely monochromatic wave having a period

matische Welle mit einer Periode von 13.5 Minuten, die als kompressive Welle (Fast-Mode) identifiziert werden kann. Die transversale Komponente (a) zeigt eine Überlagerung von Wellen, der bereits erwähnten Fast-Mode Welle und einer Alfvén-Welle mit 4-Minuten Periode, deren Trennung in (c) gezeigt ist. Die relative Uniformität der kompressiven Welle (b und c, oben) steht in Kontrast zu den deutlichen Unterschieden zwischen den drei Satelliten im Fall der Alfvén Welle (c unten, d). Da die beiden Wellen etwa die gleiche Geschwindigkeit haben, ist die Wellenlänge der kompressiven Welle im Verhältnis 13.5/4 größer. Das mag die größere Skalenlänge der kompressiven Welle erklären. of 13.5 minutes, which represents a compressive (fastmode) wave. The transverse component (a) indicates a superposition of waves, which can be decomposed into the same fast-mode, and 4-minute period Alfvén mode, as shown in (c). This Alfvén wave is also responsible for the strongest component of the transverse velocity perturbations, as shown in (d). The relative uniformity of the fast-mode waveform across all spacecraft (panels (b) and top of (c)) is in stark contrast to the large inter-spacecraft differences evident in the Alfvén-mode (bottom of (c), and (d)). As the two modes have approximately the same speed, the wavelengths of the fast-mode is about a factor of 13.5/4 times greater than that of the Alfvén mode, which can explain the larger scale size for the fast-mode.



Abb. 2-1: Beispiel einer stehenden Alfvén Welle in der polaren Magnetosphäre: (a) und (b) zeigen die transversalen und longitudinalen Anteile der Magnetfeldvariationen, gemessen vom Fluxgate Magnetometer (FGM) auf Cluster-1, -2 und -4; (c) zeigt die Dekomposition des transversalen Anteils in zwei Wellenmoden, dem Fast-Mode und dem Alfvén- Mode; (d) zeigt die zugehörigen Geschwindigkeitsfluktuationen, gemessen mit dem Elektronen-Drift Instrument (EDI); (e) zeigt den aus den Störungsfeldern berechneten Strom elektromagnetischer Energie, wobei negative Werte einen Energiefluss in Richtung Ionosphäre bezeichnen; (f) zeigt, dass zwischen den Fluktuationen des Magnetfelds und der Geschwindigkeit eine Phasendifferenz von ca. 90 Grad besteht.

Fig. 2-1: Example of a standing Alfvén wave in the polar magnetosphere. Panels (a) and (b) show the transverse and longitudinal components of the magnetic field perturbation, respectively, as measured by the Fluxgate Magnetometer (FGM) on Cluster-1, -2 and -4. Panel (c) shows the decomposition of the transverse component into two wave modes, the fast-mode and the Alfvén mode. Panel (d) shows the transverse velocity perturbations associated with this wave event, as measured by the Electron Drift Instrument (EDI). Panel (e) shows the flux of electromagnetic energy (known as the Poynting flux) computed from the perturbation fields. Negative values indicate flux into the ionosphere. Panel (f) shows that the velocity and magnetic perturbations have a phase shift of approximately 90 degrees.

Panel (e) zeigt den Fluss elektromagnetischer Energie entlang des Magnetfeldes. Für eine sich in Richtung Ionosphäre bewegende Welle hätte dieser Fluss nur negative Werte. Die Tatsache, dass wir Werte mit beiden Vorzeichen sehen, bedeutet, dass es infolge von Reflexion an der Ionosphäre auch eine Welle in entgegengesetzter Richtung gibt. Deren Überlagerung erPanel (e) illustrates the magnetic-field-aligned electromagnetic energy flux of the wave. For a wave travelling into the ionosphere, the Poynting flux would be negative. That we have large positive as well as negative values indicates that in addition to the downwarddirected wave there is an upward-directed wave caused by reflection at the ionosphere. Their superpozeugt eine stehende Welle. Dies wird bestätigt durch den Vergleich der Phasen der Fluktuationen in Magnetfeld und Geschwindigkeit, wie sie in (f) für Cluster-1 dargestellt sind. Die dort sichtbare Zeitverschiebung entspricht einem Phasenunterschied von 90°, wie man es für eine stehende Welle erwartet. Dieser Befund ist insofern überraschend, als man sich auf offenen Magnetfeldlinien eine stehende Welle nur schwer vorstellen kann.

Magnetosphären-Ionosphären Kopplung / Magnetosphere-Ionosphere Coupling

Der variable Sonnenwind treibt über Rekonnektionsprozesse an der Magnetopause und im Magnetschweif die großskalige Magnetosphärenkonvektion. Schnelle Änderungen im Sonnenwind bewirken eine mehr oder weniger sofortige Umstellung der globalen magnetosphärischen Konvektion. Falls die Magnetfeldlinien Equipotentiallinien sind, kann man die elektrischen Felder oder Driften entlang der magnetischen Feldlinien zwischen der Magnetosphäre und Ionosphäre projizieren. Auf diese Weise kann man Radarmessungen aus ionosphärischen Höhenbereichen mit in-situ gewonnenen Satellitenmessungen in Beziehung bringen.

Comparison CLUSTER-3 - SuperDARN: 20010312



Das Electron Drift Instrument liefert zuverlässige Messungen der Driftgeschwindigkeit (Konvektion) in der polaren Magnetosphäre. Hier werden Messungen des Super Dual Auroral Radar Network (SuperDARN) zum Vergleich herangezogen. Dieses besteht gegenwärtig aus einem Netzwerk von neun kohärenten Radaren, die den größten Teil der auroralen und polaren Ionosphäre überdecken. Einer dieser Vergleiche ist in Abb. 2-2 gezeigt. Der Cluster-3 Satellitenorbit verlief in etwa entlang des Mitternachts-Mittags-Meridians in Höhen zwischen 4.5 und 9.5 Erdradien. Für das Mapping verwendeten wir hier das Tsyganenko-96 Modell. Um mögliche Ungenauigkeiten des Modellfeldes genauer einschätzen zu können, suchten wir nach bestsition creates a standing wave. This is further illustrated in panel (f), where the transverse magnetic and velocity perturbations are plotted for Cluster-1. The apparent time shift here corresponds to a phase shift of approximately 90°, which is what one expects for a standing wave. This creates an interesting puzzle in light of the fact that these measurements were made on open field lines, which are not ordinarily thought to support standing waves.

Large-scale magnetosphere convection is driven by the varying solar wind conditions, primarily via reconnection processes at the magnetopause and in the magnetotail. Rapid changes of the solar wind result in a more or less instantaneous reconfiguration of this global magnetospheric convection. If magnetic field lines can be considered as electric equipotentials, one can map the electric fields or flows between the magnetosphere and the ionosphere. Plasma-drift data obtained by radar measurements at ionospheric altitudes can under such conditions be compared with in-situ drift measurements along satellite orbits.

Abb. 2-2: Vergleich zwischen elektrischen Driftmessungen von EDI (schwarz) und SuperDARN (farbige Kurven). Die oberen drei Panele zeigen die EDI Daten im Vergleich mit Radarmessungen, die mit Hilfe des Tsyganenko-96 Modells aus der Ionosphäre in den Orbit projiziert wurden. Die drei verschiedenfarbigen Kurven zeigen die jeweils beste Übereinstimmung innerhalb eines konzentrischen Bereiches von 100, 200 und 400 km Radius um die ursprüngliche Feldlinie, deren Fußpunkt in den unteren beiden Panelen als magnetische Breite und Ortszeit dargestellt ist. Die beiden mittleren Panele zeigen den Vergleich der Driftmessungen in Ionosphärenhöhen.

Fig. 2-2: Comparison between EDI electric drift measurement (black curves) and SuperDARN convection observations (coloured curves). The first three panels show the in-situ EDI measurements compared with the radar measurements, which where mapped from the ionosphere up to the Cluster-3 orbit along the Tsyganenko-96 magnetic model field lines. The three differently coloured curves show best-fit solutions within circles of 100, 200, and 400 km around the footpoints of the original field lines, whose trace is given in the two bottom panels as magnetic latitude and local time.

The Electron Drift Instrument provides us with reliable multipoint measurements of the drift (convection) vector in the polar magnetosphere. The comparison is made with convection patterns obtained by the Super Dual Auroral Radar Network (SuperDARN). This consists actually of nine coherent radars that cover much of the polar and auroral ionosphere. One example of such a comparison is presented in Fig. 2-2. The Cluster-3 satellite orbit was approximately along the midnight-noon meridian at geocentric distances between 4.5 and 9.5 Earth radii. We used the Tsyganenko-96 magnetic filed model for the mapping. To allow for uncertainties of this model, we searched for best-fit solutions within concentric circles around the möglicher Anpassung in mehr oder weniger großen konzentrischen Umgebungen um die ursprüngliche Feldlinie (farbige Kurven). Die Ergebnisse zeigen, dass die Übereinstimmung zwischen den Driftmessungen von EDI und SuperDARN meistens recht gut ist. Es gibt aber auch Intervalle mit signifikanten Abweichungen, wie etwa um 0730 UT und nahe 1010 UT. Ersteres stellt Messungen über der Aurorazone dar und ist durch feldparallele Ströme und Potentialdifferenzen zu erklären. Die zweite Differenz korreliert mit der Ankunft eines Druckimpulses im Sonnenwind und stellt vermutlich ein elektrisches Induktionsfeld dar. Gerade solche Abweichungen sind von großem Interesse für das Studium der Magnetosphären-Ionosphären Kopplung.

Sauerstoffionen in Cusp und Polkappe der Erde / Oxygen Outflow in the Cusp and Polar Cap Regions

In den Polarregionen der Erde (Cusp und Polkappe) werden häufig einfach geladene Sauerstoffionen in einem schmalen Energiebereich (,Strahl') beobachtet, die aus der Tagseite der Ionosphäre kommen und entlang dem Magnetfeld nach oben strömen. Die Instrumente auf den CLUSTER Satelliten ermöglichen es uns, Ort und Größe der Quellregion, sowie die Beschleunigungsprozesse zu untersuchen.



Abbildung 2-3 zeigt ein derartiges Ereignis, beobachtet mit Cluster-4. Die oberen beiden Panels zeigen Energie-Zeit Spektrogramme von H^+ und O^+ . Die Energie-Zeit Dispersion der Protonen (a) ist typisch für die Cusp und kann durch die energieabhängige Laufzeit der Protonen vom Ort der Rekonnexion (und Beschleunigung) auf der Tagseite der Magnetopause bis zum Ort der Beobachtung erklärt werden. Sauerstoff (O⁺, Panel b) zeigt eine schmale, Strahl-ähnliche Energieverteilung. Das Panel (c) zeigt die parallele Geschwindigkeit, v_{\parallel} , von H^+ (grün) und O^+ (schwarz). Der Ausfluss von O⁺ beginnt um 12:46 UT, gefolgt von einer starken Zunahme von v_{II}. Während dieser Zeit durchquert der Satellit ein schmales Beschleuni-

footpoints of the originally assumed field line (coloured curves). The results show that for much of the time there is reasonably good agreement between the convection vectors measured by EDI and the groundbased observations of SuperDARN. But there are a few intervals with significant deviations as, e.g. near the beginning of the time interval at 0730 UT and near 1010 UT. The first one is above the auroral zone and is likely caused by field-aligned currents and possible field-aligned potential drops. The second deviation is correlated with the arrival of a pressure pulse in the solar wind and could represent an induced electric field. It is these deviations that are of prime interest for the understanding of magnetosphere-ionosphere coupling processes.

Beams of singly ionised oxygen with narrow energy distributions originating in the dayside ionosphere are observed frequently in the cusp and polar cap regions of the Earth. The instrumentation onboard CLUSTER enables us to investigate the acceleration mechanism, and the location and size of the source region in great detail.

Abb. 2-3: Daten von CODIF/CIS an Bord von Cluster-4 vom 23. August 2001. Von oben nach unten: Energie-Zeit Spektrogramm von $H^+(a)$ und $O^+(b)$, parallele Geschwindigkeit von H^+ und $O^+(c)$, spektrale Dichte der elektrischen Wellenaktivität im Frequenzbereich 1-10 Hz (d) und 10-180 Hz (e), gemessen mit den Cluster Experimenten EFW und STAFF. Die strichlierte Linie um 12:46 UT markiert den Beginn der Wellenaktivität, koinzident mit dem Beginn der Beschleunigung der O^+ Ionen.

Fig. 2-3: Data from CODIF/CIS onboard S/C-4 of Cluster for 23 August 2001. From top to bottom: energy-time spectrograms of H^+ (a) and O^+ (b), parallel velocity of H^+ and O^+ (c), electric field power spectral density in the spin plane in the frequency bands 1-10 Hz (d) and 10-180 Hz (e) from the EFW and STAFF experiments onboard Cluster, respectively. The dashed line at 12:46 UT marks the time of the beginning of the sudden enhancement of the wave activity, coinciding with the start of the oxygen outflow.

Figure 2-3 shows an example of such an O⁺ outflow event, as observed on Cluster-4. The top two panels display energy-time spectrograms of H^+ and O^+ ions, respectively. The energy-time dispersion of protons (a) is typical for the cusp, and can be attributed to different travel times of ions with different energies from a reconnection site at the dayside magnetopause to the point of observation. Oxygen (panel b) shows a narrow, beam-like, energy distribution. The third panel (c) presents parallel velocities of H^+ (green) and O^+ (black). Oxygen outflow starts at 12:46 UT. Subsequently there is a strong increase of the parallel velocity. During this time interval the S/C crossed a narrow acceleration region. The dashed line in Fig. 2-3 marks gungsgebiet. Die strichlierte Linie in Abb. 2-3 markiert die Equator-wärtige Grenze dieses Gebietes. Nach 12:49 UT verlässt der Satellit das Beschleunigungsgebiet, wie an den langsam abnehmenden Werten von v_{ll} zu sehen ist.

Die Energiezunahme von O^+ ist korreliert mit einer starken Zunahme der Aktivität elektrischer Wellen im Frequenzbereich 1-180 Hz, die mit den Experimenten EFW (Panel d) und STAFF (Panel e) auf Cluster gemessen werden. Diese Korrelation legt starke Heizung der Ionen senkrecht zum Magnetfeld in Höhen von ~4-6 R_E durch breitbandige niederfrequente Wellen nahe. Die Geschwindigkeitsverteilung der Ionen zeigt in der Tat starke senkrechte Heizung zur Zeit der maximalen Energie der O⁺ Ionen, während die Geschwindigkeitsverteilung 8 Minuten später, nach Verlassen der Beschleunigungsregion, einen Strahl parallel zum Magnetfeld zeigt.

Wir haben die Größe der Beschleunigungsregion in geomagnetischer Breite und Länge durch eine Projektion der Grenzen der Beschleunigungsregion entlang des Tsyganenko-96 Modell Magnetfeldes in die Ionosphäre (100 km) abgeschätzt. Aus einer Statistik von 10 Ereignissen mit 3 Satelliten finden wir, dass die Quellregion nahe der Äquator-wärtigen Grenze der Cusp liegt und eine Ausdehnung von ~1.5° in Breite und ~14° in Länge hat. the equator-ward boundary of this region. After 12:49 UT the satellite leaves the acceleration region, indicated by the gradually decreasing parallel velocity of O^+ ions.

The increase in energy of O^+ ions is correlated with a strong increase in the electric wave power in the frequency range 1-180 Hz, as measured with the EFW (panel d) and STAFF (panel e) experiments onboard Cluster. This correlation suggests perpendicular energisation of O^+ ions by the broad-band low-frequency wave field at altitudes of ~4-6 R_E. The velocity distribution of ions shows indeed strong perpendicular heating at the time of the maximum energy of the O^+ ions, whereas 8 minutes later, when the satellite already left the acceleration region, the velocity distribution shows a narrow, field-aligned beam.

To estimate the latitudinal and longitudinal size of the source region we used the Tsyganenko-96 magnetic field model and traced the boundaries of the acceleration region to the ionosphere level (100 km). Using data from 3 Cluster spacecraft for 10 events we find that the source is located near the equatorward boundary of the cusp, and has an extension of $\sim 1.5^{\circ}$ in latitude and $\sim 14^{\circ}$ in longitude.

Orientierung und Bewegung der Magnetopause / Magnetopause Orientation and Motion

Die Magnetopause ist eine dünne Stromschicht, die das Erdmagnetfeld vom Sonnenwind trennt. Wenn die Clustersatelliten diese Grenze durchqueren, registrieren sie deshalb eine abrupte Änderung im Magnetfeld, jeder zu einer unterschiedlichen Zeit. Abb. 2-4 zeigt Magnetfeldmessungen und deren Modellanpassungen für einen solchen Magnetopausendurchgang. Die Modellprofile entsprechen einer Harris-Schicht. Aus den Modellparametern (Zeitpunkt und Dauer der Durchgänge) ergeben sich die Normalenrichtung und die Geschwindigkeit der Magnetopause. Die so ermittelten Normalenrichtungen zeigt die rechte Seite von Abb. 2-4. Sie liegen alle innerhalb von 5° um die Referenznormale.

Magnetopausenorientierungen wurden bisher meist aus der Varianzanalyse der Magnetfelddaten gewonnen. Normalen, die auf diese Weise ermittelt wurden, sind ebenfalls in Abb. 2-4 dargestellt. Als Ursprung des Koordinatensystems wurde der Mittelwert aus den vier Minimum-Varianz Normalen genommen, wie sie sich mit der Nebenbedingung einer verschwindenden Normalkomponente des Magnetfelds ergeben. Man kann die Orientierung und Geschwindigkeit der Magnetopause auch aus der Bedingung der Kontinuität des tangentialen elektrischen Feldes bestimmen. Das läuft auf die Minimierung des sogenannten Faraday-Residuums hinaus. Die entsprechenden Normalen sind in der Abbildung als + Symbole dargestellt.

Aus Orientierung und Geschwindigkeit ergibt sich unmittelbar die für das Verständnis dünner Stromschichten wichtige Dicke. Im vorliegenden Fall betrug diese ca. 500 km, aber wir haben Dicken bis hinunter The magnetopause is a thin current sheet separating the Earth's magnetic field from the solar wind environment. When the four Cluster spacecraft traverse this boundary, they therefore observe an abrupt change in the magnetic field. Fig. 2-4 shows the magnetic field measurements and model fits from a magnetopause crossing. The model profiles are obtained by fitting the magnetic field profiles to a Harris-sheet model. From the fit parameters (crossing time and duration) at each of the four spacecraft the normal directions and speeds of the current layer are obtained. The resulting normal directions are shown in the right part of Fig. 2-4. They are within 5° of the reference normal (see below).

Magnetopause orientation has traditionally been obtained from minimum variance analysis of the magnetic field. Normals derived from this method are shown in the right part of Fig. 2-4. A reference normal is defined by the average of the four constrained minimum variance normals and is used as origin in the plot. One can also determine the orientation and motion of the current layer by observing that the tangential electric field has to be continuous across a discontinuity. This involves minimizing what is referred to as the Faraday residue. The corresponding normals are shown as plus signs in the figure.

Knowing the magnetopause orientation and speed, its thickness is readily determined. The thickness was near 500 km in this case, but thicknesses as low as 70 km (\sim 1 ion gyro radius) have been obtained for some

zu 70 km (~1 Ionengyrotionsradius) gefunden. cases.



Abb. 2-4: Links: Die Maximum-Varianz Komponenten des gemessenen Magnetfeldes (durchgezogene Linien) und deren Modellanpassungen (gestrichelte Linien) für einen Magnetopausendurchgang am 5. Juli 2001. Rechts: Polardiagramm der Normalenrichtungen, wie sie aus den Vierpunktmessungen bzw. aus für Einzelsatelliten entwickelten Techniken ermittelt wurden. Kreise und Kreuze beziehen sich auf die Ergebnisse der Vierpunktmessungen, mit bzw. ohne Annahme einer beschleunigten Bewegung. Quadrate beziehen sich auf Ergebnisse der Minimum-Varianz Analyse der einzelnen Satellitendaten, die + Symbole auf die Minimierung des Faraday Residuums. Offene Symbole entsprechen der Annahme einer perfekten Tangentialdiskontinuität, bei den geschlossenen Symbolen wurde dies nicht vorausgesetzt. Der Stern entspricht einer statistischen Modellnormalen.

Fig. 2-4: Left: The maximum variance components of the magnetic field (solid lines) for a magnetopause crossing by the 4 Cluster spacecraft on 5 July 2001, and their best fits (dashed lines). Right: polar plot of normal directions derived from multispacecraft timing and single-spacecraft techniques. Circles and crosses are normals from 4-spacraft timing, calculated with and without magnetopause acceleration, respectively. Squares are from minimum variance analysis of the magnetic fields measured on the individual spacecraft, plus signs from minimization of the Faraday residue. Open symbols represent calculations where a pure tangential discontinuity is assumed; for the filled symbols, no such constraint was imposed. The asterix represents a statistical model normal.





Abb. 2-5: Links: Beobachtungen eines schmalen Emissionsbands der Auroralen Kilometerstrahlung im dynamischen Spektrum. Die Emission ist über die gesamten 9 s Beobachtungszeit stabil, driftet jedoch durch das Spektrum zu höheren Frequenzen. Mit ihr sinkt die Quelle der AKR in geringere ionosphärische Höhen ab. Die mittlere Driftgeschwindigkeit entspricht der Ionenschall-Geschwindigkeit. Rechts: Das Pseudopotential $\Psi(\Delta \Phi)$ als Funktion der elektrischen Potentialdifferenz $\Delta \Phi$. Lösungen gibt es nur für $\Psi(\Delta \Phi) < 0$.

Fig. 2-5: Left: Spectral dynamics of a narrow emission band in auroral kilometric radiation. Though the emission band remains stable over the entire period of 9 s, its drift across the spectrum experiences severe changes in time. On average the band is moving towards lower altitudes (increasing frequency)suggesting that the source is riding on the auroral electron beam in the upward current AKR source region. The average drift speed corresponds to the ion-acoustic velocity. Right: The pseudo-potential $\Psi(\Delta \Phi)$ as function of the normalized electrostatic potential $\Delta \Phi$. Solutions are allowed only for negative values $\Psi(\Delta \Phi) < 0$.

Die kleinskaligen Eigenschaften von elektrischen Doppelschichten im auroralen Plasma können auf dem The properties of small-scale double layers in the auroral plasma can be inferred via remote sensing

Wege der Fernerkundung aus der Analyse der Feinstruktur der Auroralen Kilometerstrahlung (AKR) erschlossen werden. Die AKR setzt sich aus vielen diskreten Emissionsbändern zusammen. (Abb. 2-5). Die Bandbreite der Emission gibt die radiale Ausdehnung des zugehörigen parallelen elektrischen Feldes an und ist von der Größenordnung 10 km. Diese Dimension suggeriert, dass es sich um elektrostatische Stoßwellen handelt. Sie gehören zu Dichtelöchern in einem Zwei-Komponenten Elektronenplasma mit kaltem (~eV) auroralem Plasma und einer heißen (~keV) Komponente. Die rechte Seite der Abbildung zeigt die Existenzbereiche dieser Strukturen. Elektrostatische Stoßwellen existieren für Machzahlen M>3.3. Dieser Wert entspricht kalten Elektronen von 5 eV und heißen Elektronen von 1 keV mit einer effektiven Temperatur von 30 eV. Der Dichteanteil der heißen Elektronen beträgt 85%. Potentialdifferenzen von $\Delta \Phi \sim 600$ V erfordern zur Beschleunigung von Teilchen auf ~keV mehrere Stoßwellen verteilt entlang einer magnetischen Flussröhre. Die Ausdehnung der Stoßwellen von ~50 Debyelängen entspricht ~1 km entlang dem Feld. Die senkrechte Ausdehnung liegt bei einigen km.

from analysis of the fine structure of the Auroral Kilometric Radiation (AKR). AKR consists of many discrete emission bands. FAST spacecraft high resolution observations show that each band consists of many fast drifting "Elementary Radiation Events" interpreted as travelling electron holes (Fig. 2-5) containing field-aligned electric potential drops $\Delta \Phi$. The emission bandwidths give their extension of order of 10 km along the magnetic field. These are electrostatic ion-acoustic shocks evolving in density depletions in presence of two electron populations, a cold (~eV) and a hot (~keV) component. The right part of the Figure shows the shock existence regions $\Psi(\Delta \Phi) \leq 0$. Shocks occur for Mach numbers M>3.3, corresponding to cold (c) and hot (h) electron temperatures $k_{\rm B}T_{\rm c}=5$ eV, $k_{\rm B}T_{\rm h}$ =1 keV, and an effective temperature of $k_{\rm B}T_{\rm eff}$ =30 eV, giving an ion-acoustic speed c_{eff} =50 km s⁻¹ and a density ratio $n=n_h/n_0=85\%$, typical for the base of the auroral magnetosphere. The shocks have potential drops of $\Delta \Phi \sim 600$ V. For generating keV-potentials this requires several such narrow shocks to occur on a field line. Their extension along the magnetic field is about 50 Debye lengths, of the order of 1 km. The transverse extension is not more than a few km.

Phasenübergang als Übergang zu extrem niederfrequenter Plasmaturbulenz / Phase Transition as Onset of Very Low Frequency Plasma Turbulence

Im JB2001 haben wir über eine Ähnlichkeit zwischen der Mirror-Turbulenz und bestimmten supraleitenden Eigenschaften berichtet. Zwei- und dreidimensionale numerische Teilchensimulationen (PIC) im Bereich der lineren Mirrorinstabilität bestätigten die obige Vermutung, jedoch mit zwei interessanten Abweichungen. (1) Auf der Zeitskala der Simulation (100 Ionen-Inertialzeiten) verhalten sich die Ionen passiv als immobiler Hintergrund, der die Ladungsneutralität gewährleistet. (2) Strukturen werden von den Elektronen erzeugt, die lang ausgezogene Feldlinienschläuche ausgedünnten Feldes bilden (Abb. 2-6). Plasma und Feld sind im Druckgleichgewicht. (3) Die transversale Skala der nahezu kreisförmigen Schläuche ist von der Größe der mittleren Trägheitslänge zwischen Ionen und Elektronen und so klein, dass die Ionen unmagnetisiert bleiben. Die Feldverdünnung wird erzeugt von diamagnetischen Driftströmen der Elektronen an den Schlauchoberflächen. Sie bewirken den Phasenübergang vom normalen homogenen zum inhomogenen Plasma mit Koexistenz von normalem Plasma und eingebetteten Schläuchen. (4) Dieser Zustand entspricht einem London-Landau-Ginzburg-Supraleiter zweiter Ordnung. Der Elektronendriftstrom ist ein London-Pedersen-Strom. (5) Eine Lösung der Zustandssumme ist nicht möglich. Gegenwärtig wird versucht, ein äquivalentes Ising-Modell zu formulieren. (6) Eines der schönsten Ergebnisse dieser Untersuchung ist die Beobachtung, dass die feldverdünnten Schläuche eine guasikristalline Struktur im Hochtemperaturplasma bilden, die einen quasistationären Zustand von extrem niederfrequenter Turbulenz darstellt. Auf der Elektronenskala wirkt zwischen benachbarten diamagnetischen Oberflächenströmen eine repulsive Kraft zwischen den Schläuchen, die ein quasi-

We have continued the theoretical investigation of the prospective mirror mode turbulence. In JB2001 we found that the mirror modes closely resemble a superconducting state. 2D- and 3D full particle (PIC) simulations performed in the parameter range when mirror mode instability was expected from linear theory led to confirmation of this theory, however, with an interesting new twist: (1) on the time scale of the simulation (100 ion-inertial times) ions behave passively serving as an immobile charge neutralizing background. Structuring is caused by electrons. (2) Forming long extended field-evacuated flux tubes (Fig. 2-6) in pressure balance, expressed in an anticorrelation of density and magnetic field. (3) The tubes are nearly circular with scales below the ion inertial length. Ions remain unmagnetized. The field depletion is caused by electron diamagnetic drift-currents on the surface of the flux tubes. The plasma undergoes a phase transition from a homogeneous state into a state where normal and field-depleted regions co-exist. (4) This state is equivalent to a superconducting state where the electron dynamics of a small fraction of electrons resembles London-Landau-Ginzburg mean field dynamics. The electric induction field is parallel to the electron current which is a London-Pedersen current, and not a Hall current. (5) One can write down the partition function for such a system but cannot solve it because of its complexity. Currently an equivalent Ising model is under investigation. (6) The field-evacuated flux tubes form a hexagonal crystalline structure resulting from the repulsive force of anti-parallel neighbouring diamagnetic surface currents.

hexagonales Gitter erzeugt.



Abb. 2-6: Querschnitt durch das System quasi-kristallin angeordneter flussverdünnter Magnetfeldröhren entlang (oben links, x-Achse 10 Ionenskalen, y-Achse 2.5 Ionenskalen) und senkrecht (unten links, beide Achsen 2.5 Ionenskalen) zum Feld. Dreidimensionale Ansicht (rechts) des Systems flussverdünnter Flussröhren im Hochtemperaturplasma.

Fig. 2-6: Cross section along (left top, x-axis corresponds to 10 ion inertial scales, y-axis to 2.5 ion inertial scales) and across (left bottom, both axes correspond to 2.5 ion inertial scales) the repulsing flux tubes in quasicrystalline arrangement on the background of the undisturbed plasma. Dark blue is weak magnetic field. The scales are given in three-dimensional view (right) of the field-depleted flux tubes in high-temperature plasma.

Spektral- und Instabilitätsanalyse von Plasmaturbulenz / Spectral and Instability Analysis of Plasma Turbulence

Plasmaturbulenz entwickelt sich aus Instabilitäten. Die Theorie der schwachen Turbulenz nimmt an, dass viele Plasmaeigenmoden unabhängig aus den thermischen Fluktuationen herauswachsen, so wie das die Theorie linearer Instabilitäten beschreibt. Mit wachsenden Amplituden kann Welle-Wellenkopplung und Teilchendiffusion stattfinden. Die Theorie der starken Turbulenz und andere nichtlineare Theorien erlauben auch Wellenfelder, die nicht notwendigerweise aus einem Ensemble schwach wechselwirkender Eigenmoden bestehen. Um die Mechanismen für die Evolution der Wellenfelder und der Teilchenverteilungsfunktionen zu klären, ist es nützlich, wenn nicht notwendig, eine Spektralanalyse in Wellenzahl und Frequenz mit den Vorhersagen der Instabilitätstheorie zu vergleichen. Letztere muss aber im Sinne der quasilinearen Theorie für die evolvierenden tatsächlichen Verteilungsfunktionen durchgeführt werden und nicht, wie meist, für Modellverteilungen, wie die Maxwellverteilung, die bestenfalls den Anfangszustand beschreiben. Entsprechende numerische Codes wurden entwickelt. Die Resultate zeigen, dass nicht nur Anwachsraten sich ändern, sondern dass auch eine Veränderung der Natur der Dispersionsbeziehung, z.B. von reaktiv zu kinetisch, möglich ist, wenn Verteilungsfunktionen sich auf Grund der Welle-Teilchenwechselwirkung weiter entwickeln. Das bedeutet gleichzeitig, dass die Spektralanalyse über Intervalle ausgeführt werden muss, die kurz im Vergleich zu den entsprechenden charakteristischen Zeiten sind, obwohl aus Gründen der besseren Statistik und Frequenzauflösung ein möglichst langes Intervall erwünscht wäre.

Plasma turbulence develops from instabilities. Weak turbulence theory assumes that many plasma eigenmodes independently grow out of the thermal background noise as described by linear instability theory. As their amplitudes increase, non-linear wave-wave coupling and diffusion of particles can take place. Strong turbulence theory and other non-linear theories allow for wave fields which not necessarily consist of an ensemble of weakly interacting eigenmodes. In order to clarify the underlying mechanisms for the evolution of wave fields and particle distribution functions it is useful, if not necessary, to compare a spectral analysis in wave number and frequency space of the turbulence with the predictions of instability theory. The latter, however, should be carried out for the actual evolving distribution functions, as quasi-linear theory prescribes, and not as is usually done, for some model distributions, such as Maxwellians, which at best describe initial conditions. Corresponding numerical codes have been developed. Code results show that not only wave growth rates are modified, but that changes in the nature of the dispersion relation, e.g. from reactive to kinetic instability, may occur as the distribution functions evolve due to wave-particle interaction. This implies also that the spectral analysis of the turbulence must be carried out over time intervals that are sufficiently short compared to the time scale for changes in the wave spectrum, while for statistical reasons and good frequency resolution a long sampling interval would be desirable. Periodograms are unsatisfactory under these conditions, even when applying windows to the wave trains in order to reduce

Periodogramme sind unter diesen Bedingungen unbefriedigend, auch nach Anwendung von Datenfenstern die die "spectral leakage" reduzieren sollen.



Moderne Methoden wie die der maximalen Entropie (MEM) oder die Multiple-Taper-Methode (MTM), die überwiegend in Zusammenhang mit der Geophysik entwickelt wurden, liefern weit bessere Resultate. Diese Methoden wurden für den Gebrauch mit Simulationsrechnungen angepasst. Um die anfallende Datenmenge beherrschbar zu machen, erfordert dies im allgemeinen digitale Tiefpassfilter, die "aliasing" trotz reduzierter Abtastraten verhindern.

spectral leakage.

Abb. 2-7: Test: Spektralanalyse eines amplitudenmodulierten Signals + Gaußschem Rauschen mittels Tiefpassfilter und MEM Methode für einen kurzen Datensatz. Das Periodogramm (strichliert) für ein weit längeres Signal hat wesentlich mehr "spectral leakage".

Fig. 2-7: Test: Spectral analysis of amplitude modulated signal + Gaussian noise, using lowpass filter and MEM method for a small sample. The periodogram (dashed) for a much larger sample still exhibits much more leakage.

Modern methods which were mostly developed in the geophysics context, such as the Maximum Entropy Method (MEM) and the Multiple-Taper-Method (MTM) can yield far better results. They were adopted for the use with simulation codes. This generally requires additional low pass digital filtering of wave forms, in order to keep the data output manageable, but avoid aliasing due to reduced sampling rates.

[BOGDANOVA, DUM, FÖRSTER, GEORGESCU, HAA-LAND, KLECKER, PASCHMANN, PUHL-QUINN, SONNERUP, TREUMANN]

2.1.2 Sonne und Heliosphäre / Sun and Heliosphere

Im Bereich Physik der Sonne und Heliosphäre beschäftigen wir uns mit der Untersuchung von Beschleunigungsprozessen an der Sonne und im interplanetaren Raum. Die Beobachtung von solarer Gammastrahlung gestattet z.B. die Untersuchung von Beschleunigungsprozessen an der Sonne. Mit in-situ Messungen des solaren Windes und energetischer Teilchen untersuchen wir Beschleunigungsprozesse im interplanetaren Raum, z.B. an Stoßwellen, die durch koronale Massenauswürfe auf der Sonne erzeugt werden. In our solar and heliospheric studies we investigate acceleration processes on the sun and in interplanetary space. Observations of solar gamma-ray line emission provide, for example, direct evidence for acceleration of protons and heavy ions in solar flares. With in-situ measurements of the solar wind and of energetic particles we study acceleration processes in interplanetary space, for example at shock waves caused by coronal mass ejections.

Gamma Strahlung von einem C4 Flare am 20. Januar 2000 / A C4 Class Solar Flare on January 20, 2000 with Nuclear Gamma Ray Line Emission

Der von COMPTEL beobachtete solare Flare vom 20. Januar 2000 ist der bisher schwächste je beobachtete Flare mit Kern-Gammalinien-Emission. Das mit BAT-SE und COMPTEL auf CGRO gemessene Spektrum dieses Flares zeigt oberhalb 1 MeV einen Exzess auf Grund von nuklearer Linienemission über der Extrapolation des Kontinuumspektrums bei niedrigeren Energien. Das Kontinuum ist typisch für Bremsstrahlungs-Emission von hochenergetischen solaren Flares und lässt sich anpassen durch ein potenzförmiges Spektrum mit Exponenten -3.1. SMM hat Kern-Gammalinien-Emission nur von Flares der Klassen M und X nachweisen können (Abb. 2-8). Das entfaltete COMPTEL Energiespektrum zeigt die stärksten Linien bei 2.2 MeV (Neutroneneinfanglinie) und bei 4,4 MeV (Kernwechselwirkungslinien von angeregten ¹²C und ¹⁶O-Kernen). Die Existenz dieser Linien zeigt,

The 20th January 2000 solar flare – studied by COMPTEL - is the weakest ever observed flare to have nuclear gamma ray emission lines. The spectrum taken from this flare with BATSE and COMPTEL on CGRO shows a nuclear line emission excess at energies >1 MeV above the extrapolation of a continuum spectrum from lower energies. The continuum is typical for bremsstrahlung emission from high-energy solar flares and was fitted with a power-law of index -3.1. SMM saw nuclear line emission only in M- and X-class flares (Fig. 2-8). The de-convolved COMP-TEL energy spectrum shows the strongest line at 2.2 MeV (neutron capture line) and at 4.4 MeV (excited ¹²C and ¹⁶O-interaction lines). The presence of such nuclear lines implies the acceleration of protons and ions in the flare event to energies above several 10s of MeV – if the production of neutrons is confirmed even

dass Protonen und Ionen bei diesem Flare bis zu einigen 10 MeV beschleunigt wurden und eventuell sogar bis über 100 MeV hinaus, falls die Erzeugung hochenergetischer Neutronen bestätigt werden kann. Durch diese Beobachtung wird die Hypothese untermauert, dass Teilchenbeschleunigung in solaren Flares unabhängig von ihrer Stärke stattfindet.



to energies above 100 MeV. This observation strengthens the hypothesis that particle acceleration takes place in flares irrespective of their size.

Abb. 2-8: Korrelation zwischen dem Kern-Gammalinienfluss und der Flare-Stärke (klassifiziert nach der GOES Röntgen-Intensität) aller von SMM beobachteten solaren Flares. Der neue Flare der Klasse C ist der schwächste Flare, bei dem je Kernwechselwirkungsprozesse beobachtet worden sind.

Fig. 2-8: Nuclear line fluences observed from highenergy solar flares with SMM classified according to the GOES X-ray intensity. The new C-class flare is the weakest event observed so far displaying nuclear activity.

Die Ladungszusammensetzung suprathermischer Ionen / The Ionic Charge Composition of Suprathermal Ions

Der Vergleich der Ionenladungszusammensetzung von suprathermischen Ionen mit der des solaren Windes ist von besonderem Interesse, da Beschleunigungs- und Transportprozesse wesentlich von der Geschwindigkeit und der magnetischen Steifigkeit der Teilchen, also von deren Masse und Ionenladung abhängen. Mit Experimenten auf den Raumsonden SOHO (Solar and Heliospheric Observatory) und ACE (Advanced Composition Explorer) erweitern wir unsere früheren Messungen der Ionenladung energetischer Teilchen im ~MeV/Nuk Energiebereich mit ISEE-3 und SAMPEX zu suprathermischen Ionen, die lokal an interplanetaren Stoßwellen beschleunigt werden.

Die neuen Messungen mit wesentlich verbesserter Auflösung und Empfindlichkeit zeigen eine starke Variation der mittleren Ionenladungen, insbesondere für Eisenionen. Bei einigen Ereignissen stimmt die Ladungsverteilung von Fe des solaren Windes mit der entsprechenden Verteilung suprathermischer Ionen von ~0.1 MeV/Nuk gut überein (Abb. 2-9), während in anderen Ereignissen die mittlere Ladung von suprathermischen Fe Ionen um bis zu 1.5 Ladungen höher ist (Abb. 2-10). Diese Ereignisse zeigen auch einen leichten, aber systematischen Anstieg der mittleren Ladung von Fe mit der Energie.

Dies lässt vermuten, dass der Unterschied zwischen den Ladungsverteilungen im solaren Wind und suprathermischer Teilchen durch Beschleunigungsprozesse verursacht sein könnte, die von der magnetischen Steifigkeit abhängen: nicht-stationäre Beschleunigung oder nicht-planare Stoßgeometrie können z.B. zu Energiespektren führen, die bei hohen Energien von einem Potenzgesetz in eine exponentielle Form überThe comparison of the ionic charge composition of suprathermal ions with their solar wind source is of particular interest, because the acceleration and transport processes depend significantly on velocity and rigidity, i.e. on the mass and ionic charge of the ions. With experiments on the SOHO (Solar and Heliospheric Observatory) and ACE (Advanced Composition Explorer) spacecraft we extend our earlier measurements with ISEE-3 and SAMPEX of the ionic charge composition in the ~MeV/nuc energy range to suprathermal ions, accelerated locally at interplanetary shocks.

The new measurements with much improved resolution and sensitivity show a large event-to-event variability of the mean ionic charge of heavy ions, in particular of iron. For some events, the solar wind iron charge distribution measured on the same spacecraft is consistent with the suprathermal distribution at energies of ~0.1 MeV/nuc (Fig. 2-9), in other events the mean ionic charge of the suprathermal distribution is up to 1.5 charge states larger (Fig. 2-10). This type of events also shows a moderate, but systematic increase of the mean ionic charge of iron with energy.

This suggests, that the differences observed between solar wind and suprathermal charge states could be due to rigidity dependent acceleration: a rigidity dependent exponential cut-off of the energy spectra, for example due to finite acceleration time or non-planar shock geometry, ($j \sim E^{-\gamma} \exp(-E/E_0)$, with E_0 being a function of mass per charge), will result in an energy dependent mean ionic charge, provided the e-folding

gehen (j ~ $E^{-\gamma}$ exp (-E/E₀), wobei E₀ von Masse pro Ladung abhängt). Eine derartige spektrale Form führt zu einer energieabhängigen mittleren Ladung, je nach Größe von E₀. Zum Test dieser Möglichkeit werden wir als nächstes die Energiespektren mehrerer Ereignisse mit Instrumenten auf ACE untersuchen.



Abb. 2-9: Ladungsverteilung von Fe des solaren Windes und von suprathermischen Ionen im Energiebereich 0.18-0.26 MeV/nuc, beobachtet während eines interplanetaren Stoßwellen-Ereignisses am 26. Juni 1999. In diesem Ereignis stimmen die Ladungsverteilungen im solaren Wind und bei suprathermischen Energien gut überein. Dies legt als Quelle der Teilchen den solaren Wind nahe und zeigt, dass in diesem Falle der Beschleunigungsprozess nicht von der magnetischen Steifigkeit abhängt.

Fig. 2-9: Ionic charge distributions of solar wind and supra-thermal iron ions in the energy range 0.18-0.26 MeV/nuc observed during an interplanetary shock event on June 26, 1999. In this event the solar wind iron mean ionic charge is compatible with the mean charge of supra-thermal iron ions, suggesting a solar wind source and no rigidity dependent acceleration effects. energy E_0 is sufficiently small. We will test this possibility in the future by analysing the energy spectra of these events by combining the measurements of several low energy sensors onboard ACE.



Abb. 2-10: Wie Abb. 2-9, für die interplanetare Stoßwelle am 1. Mai 1998. Die mittlere Ionenladung von Eisenionen bei suprathermischen Energien ist signifikant größer als im solaren Wind. Dies lässt vermuten, dass in diesem Ereignis Beschleunigungsprozesse wichtig sind, die von der magnetischen Steifigkeit bzw. von Masse/Ladung der Ionen abhängig sind.

Fig. 2-10: Same as Fig. 2-9 for the interplanetary shock event of May 1, 1998. The mean ionic charge of suprathermal iron ions is significantly larger than the solar wind iron mean ionic charge, suggesting the importance of a mass/charge dependent acceleration process in this case.

Whistler Wellen vor der Bugstoßwelle der Erde in quasi-parallelen Stoßwellen / Upstream Whistler Wave Generation in Quasiparallel Shocks

Hybrid-Simulationen, bei denen die Ionen als Teilchen und die Elektronen als eine Flüssigkeit behandelt werden, haben gezeigt, dass quasi-parallele Stoßwellen mit einer Zeitskala von etwa 10 inversen Ionenfrequenzen zerfallen und sich neu aufbauen. In diesen Simulationen wird jedoch eine künstliche Viskosität/Resistivität angenommen, welche mögliche Whistlerwellen unterdrückt.

Es wurden daher ein-dimensionale Teilchensimulationen von quasi-parallelen Stoßwellen mit einem Winkel von 30° zwischen Magnetfeld und Normalenrichtung der Stoßfront durchgeführt, um die Rolle solcher Whistlerwellen bei der sogenannten Reformation der Stoßfront zu untersuchen. Dabei muss das stromaufwärtige Gebiet groß genug sein, um die Ausbildung Hybrid simulations of quasi-parallel shocks, which treat ions as particles and electrons as a fluid, have demonstrated that such shocks usually exhibit cyclic reformation at time scales of about 10 inverse ion cyclotron frequencies. On the other hand, in most hybrid simulations an artificial resistivity is assumed for numerical reasons which suppresses whistler waves radiated from the shock front.

A one-dimensional full particle electromagnetic simulation code (PIC) is used to investigate the possible role of the upstream whistler and other low frequency upstream waves during cyclic reformation of a quasiparallel collisionless shock with a magnetic field to shock-normal angle of 30°. Compared to previous PIC simulations the upstream region is large enough to alvon niederfrequenten Wellen auf Grund von Ioneninstabilitäten zu ermöglichen. Diese niederfrequenten, langperiodischen Wellen steilen sich vor der Front in großamplitudige Pulsationen (sogenannte SLAMS) auf. Ein SLAM wird während der Reformation zur neuen Stoßwellenfront und strahlt eine Whistlerwelle ab. Dieser Whistler propagiert in die nächste ankommende Pulsation. Durch die nichtlineare Wechselwirkung zwischen an der Front reflektierten Ionen und dem Potential der Whistlerwelle werden die Ionen eingefangen und die Whistlerwelle wird gedämpft. Dadurch entsteht in einer Hälfte der Pulsation ein Gebiet mit hoher Ionentemperatur. Die Reformation der Stoßwelle beruht auf der Pulsation und läuft daher auf größerer Skala (~10 Ionen-Inertiallängen) als der Wellenlänge des Whistlers ab. Abb. 2-11 zeigt eine zeitliche Abfolge von Magnetfeld-Profilen (z-Komponente des Magnetfelds senkrecht zur Normalenrichtung x der Stoßwelle). Man erkennt die Wechselwirkung der ankommenden niederfrequenten Welle, die sich in eine Pulsation aufsteilt, mit der von der Front abgestrahlten Whistlerwelle.



low for the emergence of low frequency upstream waves by the interaction of backstreaming ions with the solar wind via an ion/ion beam instability. The low frequency upstream waves steepen up to become pulsations (or short large-amplitude magnetic structures, so called SLAMS). As these pulsations are added to the shock and thus comprise the shock, the upstream edge radiates a phase-standing whistler wave train. This whistler train propagates partly into the newly arriving pulsation. The non-linear interaction of reflected ions and incoming solar wind ions in the electrostatic potential of the whistler leads to ion trapping and rapid whistler damping. This results in SLAMS consisting of two regions with different ion temperatures. The cyclic reformation is essentially due to the SLAMS being added to the shock. It is of large scale (~10 ion inertial lengths) as compared to the whistler scale. Fig. 2-11 shows stacked in time magnetic field profiles of a component perpendicular to the shock normal in the vicinity of the shock. This demonstrates the radiation of dispersive whistlers from the shock and their subsequent interaction with an approaching ULF wave eventually resulting in SLAMS.

Abb. 2-11: Reformation einer quasi-parallelen Stoßwelle und die Ausbildung von Whistlerwellen in einer 1-D Teilchensimulation. Gezeigt ist eine Komponente des Magnetfeldes senkrecht zur Normalen x zur Stoßwellenfront zu verschiedenen Zeiten.

Fig. 2-11: Quasi-parallel shock reformation and whistler generation in 1D PIC simulations. Shown are time stacked profiles of the magnetic field component perpendicular to the shock normal exhibiting whistler wave generation.

Die Struktur quasi-senkrechter Stoßwellen: Elektronenskalen / Structure of Quasi-perpendicular Shocks: Electron Scale

Die Skalenlänge des Potentials in einer quasisenkrechten Stoßwelle bestimmt im Wesentlichen die maximale Energie, die ein Teilchen durch sogenanntes "Surfing" an der Stoßwelle erhalten kann. Mit "Surfing" wird ein Prozess bezeichnet, bei dem die Teilchen zwischen Stoßwellenfront und stromaufwärtigen Gebiet durch das Potential einerseits und die Lorentzkraft andererseits gefangen sind, und zu hohen Energien beschleunigt werden können. Es wurden eindimensionale Teilchen-Simulationen solcher Stoßwellen durchgeführt. Dabei wurden insbesondere das Verhältnis von Elektronen-Plasmafrequenz ω_{pe} zu GyThe length scale of the cross-shock potential in quasiperpendicular shocks is an important parameter which determines the maximum energy a particle can gain by shock surfing. Shock surfing is an acceleration mechanism whereby an ion is trapped for some time between the shock potential and the Lorentz force in the region upstream of the shock. For efficient acceleration to occur, the length scale of the shock potential has to be of the order of the electron inertial length. One-dimensional full particle simulations have been performed of almost perpendicular supercritical collisionless shocks. The ratio of electron plasma frerofrequenz ω_{ce} , das Massenverhältnis zwischen Ionen und Elektronen und das Plasma- β (β = Verhältnis von Plasma- zu Magnetfeld-Druck) variiert. Bei niedrigem β können sich spiegelnd reflektierte Ionen vor der Stoßwelle akkumulieren, und führen dadurch zu einer neuen Stoßfront. Diese sogenannte Selbst-Reformation wurde schon lange in Simulationen mit reduziertem Massenverhältnis beobachtet. Es wurde bestätigt, dass die Reformation kein künstlicher Prozess ist, sondern auch bei realistischem Massenverhältnis auftritt. Zusätzlich wird bei den Simulationen mit realistischem Massenverhältnis eine Instabilität im Fuß der Stoßwelle beobachtet.



quency ω_{pe} to gyrofrequency ω_{ce} , the ion to electron mass ratio, and the ion and electron β (β = ratio of plasma to magnetic field pressure) have been varied. Due to the accumulation of specularly reflected ions upstream of the shock ramp, shocks can reform on time scales of the gyro-period in the ramp magnetic field. Self-reformation is not a low ω_{pe}/ω_{ce} process, but occurs also in $\omega_{pe}/\omega_{ce} >> 1$, low β simulations. Selfreformation also occurs in low ion beta runs with an ion to electron mass ratio $m_i/m_e = 1840$. However, in the realistic mass ratio runs an electromagnetic instability is excited in the foot of the shock, and the shock profile is considerably changed compared to lower mass ratio runs.

Abb. 2-12: Von oben nach unten: z-Komponente des Magnetfeldes, x Komponente des elektrischen Feldes, die Geschwindigkeiten v_{ez} der Elektronen, und die Geschwindigkeiten v_{ix} der Ionen in der Front einer quasisenkrechten Stoßwelle. x ist hier in Richtung der Normalen zur Stoßwelle.

Fig. 2-12: From top to bottom: Magnetic field B_z component, electric field E_x , electron v_{ez} -x phase space plot, and ion v_{ix} -x phase space plot at the front of a quasi-perpendicular shock. x is in the shock normal direction.

Abbildung 2-12 zeigt das Gebiet in der Nähe der Stoßfront für eine Simulation mit Massenverhältnis 1840 und kleinem β . Gezeigt wird in den oberen beiden Feldern die senkrechte Komponente des Magnetfeldes und die Komponente des elektrischen Feldes in Normalenrichtung x. Die beiden unteren Felder zeigen die Geschwindigkeit individueller Elektronen senkrecht zur Normalenrichtung vez-x und die Geschwindigkeit individueller Ionen in Normalenrichtung vix-x. Die Einheit in Normalenrichtung ist Elektronen-Inertialänge. Die Stoßfront ist bei etwa x=580; davor ist ein sogenannter Fuß, der durch reflektierte Ionen erzeugt wird (s. unterstes Feld). Die Elektronen werden in den hochfrequenten Wellen im Fuß parallel zum Feld beschleunigt und gefangen. Dies führt zu Elektronenheizung noch vor der eigentlichen Stoßwellenfront. Es zeigt sich, dass zu gewissen Zeiten (nachdem der Reformationsprozess zu Ende ist) etwa 40% des gesamten Potentials über minimal 4 Elektronen-Inertiallängen anliegt. Selbst-Reformation tritt nur bei kleinen Werten von β_i auf und verschwindet für eine Stoßwelle mit Machzahl 4.5 oberhalb $\beta_i \sim 0.4$. Falls die therFigure 2-12 shows an enlarged view of the foot and ramp region for the mass-ratio 1840, low- β run. In the top two panels the magnetic field profile and the normal electric field component are shown. The bottom panels show the electron vez-x phase space plot and the ion v_{ix} -x phase space plot, respectively, versus x, the shock normal direction. Note that v_z is almost parallel to the magneticfield; however, because the shock is propagating at an angle θ_{Bn} to the upstream magnetic field, the electric field has a component parallel to the magnetic field. The electrons are accelerated along the field lines and can get trapped by the potential of the high-frequency waves. Acceleration and trapping is evident from the v_{ez} -x phase space plot in Fig. 2-12. The trapping leads to pre-heating of the electrons in the foot region. In the reforming low ion beta shocks part of the potential drop occurs at times across the foot and part of the potential drop (~40%) occurs over a few (~ 4) electron inertial lengths in the steepened up ramp. Self-reformation is a low ion beta process and disappears for a Mach-number 4.5 shock at/or above β_i ~ 0.4 . It has been shown that the ion thermal velocity

mische Geschwindigkeit der Ionen nicht eine Größenordnung größer als die Stoßwellengeschwindigkeit ist, tritt keine Reformation auf, und das Magnetfeldprofil und das Potential ändern sich auf der Ionenskala. Auf Grund der Tatsache, dass die Skalenlänge des Potentials größer als die Elektronen-Inertiallänge ist, kann geschlossen werden, dass "Surfing" kein effizienter Beschleunigungsmechanismus an der Übergangsstoßwelle zwischen Sonnenwind und interstellarem Medium sein sollte. has to be an order of magnitude smaller than the shock velocity in order for reformation to occur. Since according to these simulations only part of the potential drop occurs for relatively short times over a few electron inertial lengths it can be concluded that coherent shock surfing is not an efficient acceleration mechanism for pickup ions at the low β heliospheric termination shock.

[DUM, JAROSCHECK, KLECKER, MATSUKIYO, SCHÖNFELDER, SCHOLER, SIDERENKO, TREUMANN]

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

Röntgenstrahlung vom Mars / X-rays from Mars

Mit dem Satelliten Chandra ist es erstmals gelungen, Röntgenstrahlung vom Mars nachzuweisen (Abb. 2-13). Wir beobachteten ihn am 4. Juli 2001, als er von der Erde nur 70 Millionen Kilometer entfernt war. Die Röntgenstrahlung vom Mars ist außerordentlich gering: während der neunstündigen Beobachtung wurden mit Chandra insgesamt nur etwa 300 Röntgenquanten registriert, also im Schnitt eines alle 100 Sekunden. Dies bedeutet, dass sich unter rund 100 Milliarden optischen Photonen gerade mal ein Röntgenquant befindet.

Dass der Mars eine, wenn auch sehr schwache, Röntgenquelle sein würde, wurde zum einen durch Modellrechnungen nahegelegt, zum anderen durch unsere Chandra-Beobachtung der Venus im Januar 2001, von der wir auch erstmals Röntgenstrahlung nachweisen konnten. Wie bei der Venus sollte auch beim Mars die Röntgenstrahlung im wesentlichen dadurch zustande kommen, dass Röntgenstrahlung von der Sonne ein Fluoreszenzleuchten in den oberen Schichten der Atmosphäre anregt. Unsere Computersimulationen zeigten, dass Mars zum Zeitpunkt der größten Erdnähe, wenn er, von der Erde aus gesehen, etwa gegenüber der Sonne steht, im Röntgenbereich als gleichmäßig beleuchtete Scheibe erscheinen würde. Die Simulationen sagten aber auch voraus, dass bereits bei einer geringfügig anderen Beobachtungsgeometrie eine andere Verteilung der Röntgenhelligkeit auftreten sollte, mit einer Aufhellung des der Sonne zugewandten Randes und einer Helligkeitsabnahme auf der gegenüberliegenden Seite. Um diesen für Fluoreszenzstreuung in der oberen Atmosphäre charakteristischen Effekt überprüfen zu können, hatten wir die Beobachtung um zwei Wochen gegenüber dem Zeitpunkt der größten Erdnähe verschoben.

Die erwartete Helligkeitsverteilung war tatsächlich nachweisbar. Zusammen mit der beobachteten Röntgenintensität (Abb. 2-13), die ebenfalls mit den Erwartungen übereinstimmte, ist dies ein deutlicher Hinweis darauf, dass es sich bei der Röntgenstrahlung vom Mars – wie bei der Venus – im wesentlichen um Fluoreszenzstrahlung handelt. Einen weiteren Beleg für diese Erklärung liefert das Röntgenspektrum, das zeigt, dass die beobachtete Röntgenstrahlung fast ausschließlich aus einer einzigen Spektrallinie kommt. Obwohl eine genaue Untersuchung des RöntgenspektOn 4 July 2001 we succeeded in the first ever detection of X-rays from Mars, using the Chandra satellite (Fig. 2-13). At that time, Mars was only 70 million kilometres away from Earth. In X-rays, Mars is extremely faint: during the nine hour observation only about 300 X-ray photons were detected, on average one every 100 seconds. This means that there is just one X-ray photon among 100 billion optical photons.

The expectation that Mars would be an X-ray source, albeit a very faint one, was suggested by model calculations and, additionally, by our Chandra observation of Venus in January 2001, where we also succeeded in detecting X-rays for the first time. It was conceivable that the basic process for the generation of X-rays would be similar for both planets: fluorescence radiation in the upper atmospheric layers, excited by solar X-rays. Our computer simulations indicated that Mars should appear as a homogeneously illuminated disk in X-rays at the time of closest approach to Earth, when it is located approximately opposite to the Sun. The simulations, however, also predicted that already slight changes in the observing geometry would induce a distinctly different brightness distribution, with a brightening at the sunward limb and some fading at the opposite limb. In order to test this effect, which is characteristic for fluorescent scattering in the upper atmosphere, we had scheduled the observation to take place two weeks after the time of closest approach to Earth.

The predicted brightness distribution was indeed detectable. Together with the fact that the observed Xray intensity (Fig. 2-13) was also found to agree with the expectation, this clearly indicates that the X-ray radiation from Mars is predominantly due to fluorescence, like in the case of Venus. This explanation is furthermore supported by the X-ray spectrum, which shows that almost all of the observed X-rays originate from a single emission line. Although a detailed analysis of the X-ray spectrum is affected by the optical brightness of Mars, which is extraordinarily high for



Während der Chandra-Beobachtung tobte auf dem Mars ein heftiger Staubsturm, der am 26. Juni begonnen hatte. Am 4. Juli hatte er etwa eine Hälfte des Planeten erfasst. Aufgrund dieser außergewöhnlichen "Wetterlage" bot sich uns die Gelegenheit zu einem besonderen Test. Eventuell könnten auch unsichtbare, mikroskopisch kleine (10⁻¹⁸g) Staubteilchen, die durch den Sturm bis in die obere Marsatmosphäre empor gewirbelt werden, die Röntgenstrahlung von der Sonne streuen. Streuung solarer Röntgenstrahlung an derart kleinen Staubpartikeln wird von einigen Wissenschaftlern als Ursache für die Röntgenstrahlung von Kometen angesehen. Doch auch als sich das Gebiet des Staubsturms weggedreht hatte - der Mars rotiert ähnlich wie die Erde alle 24 Stunden einmal um seine Achse – blieb die Röntgenintensität gleich: Winzige Staubpartikel waren offenbar nicht in ausreichender Zahl in großer Höhe vorhanden, um die Röntgenstrahlung vom Mars messbar zu beeinflussen.

Dagegen fanden wir Hinweise auf eine andere zusätzliche Quelle von Röntgenstrahlung. Innerhalb von etwa drei Marsradien war die Konzentration von Röntgenphotonen höher als in größeren Abständen. Eine Untersuchung dieser Strahlung ist aufgrund der sehr geringen Intensität nur sehr eingeschränkt möglich. Es gibt jedoch eine naheliegende Erklärung für ihre Ursache: Aus der oberen Marsatmosphäre entweichende Atome geben Elektronen an stark geladene Ionen des Sonnenwinds ab. Diese geraten dadurch in einen hochangeregten Zustand und senden einen Teil ihrer Anregungsenergie im Röntgenbereich aus. Solche Umladungsprozesse sind die Ursache für die Röntgenstrahlung von Kometen.

Mit unseren Chandra-Beobachtungen von Venus und Mars hat sich die die Zahl der Planeten, von denen Röntgenstrahlung nachgewiesen werden konnte, verdoppelt. Zuvor waren nur die Erde und Jupiter als Röntgenquellen bekannt. Bei Saturn wurden in an X-ray source, all evidence is in favour of the interpretation that this line is the fluorescence line of oxygen.

Abb. 2-13: Das erste Röntgenbild vom Mars, aufgenommen am 4. Juli 2001 mit dem Röntgenteleskop auf Chandra. Während der neunstündigen Belichtung bewegte sich Mars um das Zwanzigfache seines Durchmessers. Um ein scharfes Bild zu erhalten, mussten die Photonen einzeln auf diese Bewegung korrigiert werden. Dies was möglich, da die Röntgen-CCDs alle drei Sekunden ausgelesen wurden.

Fig. 2-13: The first X-ray image of Mars, taken on 4 July 2001 with the Chandra X-ray telescope. During the nine hour exposure, Mars was moving twenty times its diameter. In order to obtain a sharp image, the photons had to be individually corrected for this motion. This was possible because the X-ray CCDs were read out every three seconds.

During the Chandra observation, a vigorous dust storm, which had originated on June 26, raged on Mars. On 4 July, it had covered roughly one hemisphere. These exceptional "weather conditions" gave us an opportunity to perform a unique test. There was the possibility that invisible, microscopically small $(10^{-18}g)$ dust particles, whirled up by the storm into the upper Mars atmosphere, might scatter solar X-rays. Some scientists assume that scattering of solar X-rays on such tiny dust particles is the origin of the X-ray emission of comets. But after the hemisphere affected by the storm had rotated away from our view - Mars rotates like Earth once every 24 hours - the X-ray intensity stayed the same: obviously the number of tiny dust particles at high altitudes was too small to have a detectable effect on the X-ray radiation from Mars.

We found, however, indications for another additional source of X-rays: within about three Mars radii, the Xray photons were more concentrated than at larger distances. Although the analysis of this radiation is limited by its very low intensity, there is an obvious explanation for its origin: atoms escaping from the upper atmosphere of Mars may transfer electrons to highly charged ions of the solar wind. The ions get thereby into a highly excited state and emit part of their excitation energy in X-rays. Such charge transfer processes are the origin of the X-ray emission of comets.

Our Chandra observations of Venus and Mars have doubled the number of planets which have been detected in X-rays. Only Earth and Jupiter were known before to be X-ray sources. Indications for X-ray emission from Saturn, found in ROSAT data, still ROSAT-Daten Anzeichen für Röntgenstrahlung gefunden, die aber noch bestätigt werden müssen. have to be confirmed.

Beobachtungen von Asteroiden mit ISO / Observations of Asteroids with ISO

Asteroidenbeobachtungen mit ISO (Infrared Space Observatory, 1995-1998) wurden 2002 fortgesetzt. Das Hauptinteresse galt dabei der Bestimmung von thermophysikalischen Größen aus photometrischen und polarimetrischen Beobachtungen für einige ausgewählte Asteroiden. Die Ergebnisse führten zu einer realistischen und physikalischen Beschreibung des thermischen Verhaltens. Das thermophysikalische Modell enthält eine bestmögliche Beschreibung der Form, des Rotationsverhaltens, der Beleuchtungseffekte und thermischer Prozesse.

Die spektroskopischen ISO Messungen erlauben eine Analyse der Oberflächeneigenschaften in Bezug auf Strukturen und Zusammensetzung. Die Struktur und Porosität der Oberflächenschicht beeinflusst das spektrale Verhalten im mittleren Infrarot, dem Bereich der maximalen Energieabstrahlung. Die spektralen Signaturen können mittels Reststrahlen-, Transparenz- und Christiansen-Linien mit der Oberflächenzusammensetzung in Zusammenhang gebracht werden. Hier wurden bereits die ersten Vergleiche mit Labormessungen verschiedener Meteoriten und Mineralien in 2002 durchgeführt.

Viele Kometen und Asteroiden wurden unbeabsichtigt in großen ISO Kartierungen mit aufgenommen. Erste Ergebnisse der Analyse und die Interpretation der infraroten Helligkeiten wurden kürzlich publiziert. Die vielen und zu einem Großteil noch weitgehend unerforschten ISO Beobachtungen von Sonnensystemobjekten erlauben, zusammen mit dem oben erwähnten thermophysikalischen Modell, neue Untersuchungen, die zuvor nicht möglich waren. During 2002 the scientific exploitation of ISO (Infrared Space Observatory, 1995-1998) observations of asteroids continued. One main aspect of the analysis was the derivation of thermo-physical parameters of a small sample of asteroids from photometric and polarimetric observations. The improved knowledge allows to describe the thermal behaviour in a very realistic and physical way. The thermo-physical model includes now a detailed description of the shape, rotational behaviour, illumination effects and thermal processes.

The ISO spectroscopic measurements provide means to study the asteroid surface properties in terms of structures and composition. The structures and porosity of the surface regolith influence strongly the overall spectral behaviour at mid-infrared wavelengths where the thermal energy peaks are located. The spectral features can be connected via reststrahlen bands, transparency peaks and Christiansen features to the surface composition. Here, the first qualitative comparison with laboratory measurements of different meteorites and minerals started in 2002.

Many comets and asteroids have been affiliated unintentionally in large ISO surveys. First results on the analysis and the interpretation of the infrared fluxes have been published recently. The large and to a large extend unexploited sample of ISO solar system observations together with the above mentioned thermophysical model allow new investigations which were not possible before. Further work in this field is ongoing, including many objects seen by chance in the ISO surveys.

[DENNERL, MÜLLER]

2.2. STERNZYKLEN UND DAS INTERSTELLARE MEDIUM / STELLAR EVOLUTION AND THE INTERSTELLAR MEDIUM

Stellare Objekte und ihre interstellare Umgebung können wir in hinreichender Genauigkeit für nahegelegene Regionen, also in unserer Galaxis, studieren. Ihre frühe Entwicklung ist bestimmt von teils instabilen Drehimpuls-Transport-Prozessen. Diese werden insbesondere durch Infrarot- und Röntgenemission sichtbar, bevor die stabile Hauptreihenphase erreicht wird. Besonders geeignete Untersuchungsobjekte sind T-Tauri Sterne, Doppelsterne, und stellare Objekte geringerer Masse, bis hin zu braunen Zwergsternen. In nahen Sonnensystemen ist die Suche nach neuen Planeten aussichtsreich, nahegelegene Wolkenkomplexe können wir auf ihre Sternbildungs-Bedingungen hin untersuchen. Späte Stadien der Sternentwicklung enthüllen sich uns über die Wirkungen von Supernova-Explosionen, sowie über die kompakten Reststerne (weiße Zwerg- oder Neutronen-Sterne), in denen entartete Materie für die Stabilität verantwortlich ist. Die Umwandlung der auf ein kleines Raumgebiet konzentrierten Rotations- und Magnetfeld-Energie des Ursprungssterns verleiht diesen kompakten Objekten besondere Strahlungseigenschaften. In Doppelsternsystemen führt der Massentransfer von einem Begleitstern auf den kompakten Stern zu charakteristischer Energieabstrahlung. Die Explosion eines massereichen Sterns als Supernova erzeugt durch ihre Wechselwirkung mit dem umgebenden interstellaren Gas ein ausgedehntes Objekt, den Supernova-Überrest. Jüngste Fortschritte in astronomischer Röntgenspektroskopie erlauben uns hier sogar die räumliche Verteilung bestimmter chemischer Elemente zu untersuchen, und damit unsere Modellvorstellungen von derartigen Explosionen in den interstellaren Raum zu verbessern, in denen neu synthetisierte Atome dem interstellaren Medium und damit der nächsten Generation sich bildender Sterne zugeführt werden. Supernovae sind neben den starken Sternwinden massereicher Sterne die Haupt-Energiequelle, die die Struktur des interstellaren Mediums und ihre einzelnen stabilen Phasen bestimmen. So kontrolliert die Sternbildungsrate über das interstellare Medium die Langzeit-Entwicklung einer Galaxie, im Einzelnen modifiziert durch die dabei im interstellaren Raum ablaufenden Energie- und Materieströme, die sich uns auch in der kosmischen Strahlung und in spezifischer diffuser Röntgen- und Gamma-Emission offenbaren.

In diesem Kapitel berichten wir über Untersuchungen dieses Zusammenhangs zwischen den Sternentwicklungs-Phasen einzelner Objekte und den verschiedenen großskaligen Erscheinungen im interstellaren Raum.

Individual stellar objects and their interstellar environment can be observed in sufficient detail for sources which are located nearby, hence mostly in our Galaxy. Observing these sources, we can learn how newly-forming stars develop stability towards their main sequence phase: Peculiar IR and X-ray emission results from partly unstable angular-momentum transport processes. Prominent objects of such studies are T-Tauri stars, stars in binary systems, and low-mass objects down to brown dwarfs. Their proximity often even enables us to search for evidence of planets. Imaging interstellar gas with high spatial resolution reveals which types of clouds are favourable for star formation. Late stages of stellar evolution can be studied through effects of supernova (SN) explosions. Compact stellar cores remain at the end of stellar evolution in the forms of neutron stars and white dwarfs, stabilized through degenerate phases of matter. Conversion of their rotational and magnetic-field energy results in characteristic radiation. In binary systems, matter accreted from a stellar companion leads to complex radiation phenomena during the accretion process onto the compact star, which helps us to gather information about their members. More extended astronomical objects arise from the interaction of SN explosions with their surrounding gas, forming SN remnants. Recent advances in astronomical X-ray spectroscopy enable us to even reveal the spatial distribution of characteristic elements, which advance our models for the explosion of massive stars and for the subsequent distribution of their ejecta in the ambient interstellar medium, where this mixture seeds the next generation of stars. Such supernova explosions, together with winds from massive stars, are the prime energy sources of the interstellar medium and therefore determine its morphology and the filling factors of its stable phases. Thus the star formation rate controls the evolution of the galaxy through feedback to and from the interstellar medium. This cycle is still understood in a crude way only. SN explosions also inject a sufficient amount of energy into the interstellar medium to set up conditions for particle acceleration and the production of cosmic rays. In turn, the cosmic-ray interaction with interstellar gas then produces high-energy radiation, which enables the study of large-scale transport of cosmic radiation and the phases of the interstellar medium.

This chapter reports on the progress in our understanding of different stellar objects and their life cycles, of SNe and their remnants, of cosmic-ray phenomena on different scales, and on the interstellar medium in general.

2.2.1 Junge Sterne und stellare Objekte / Young Stars and Stellar Objects

Sterngruppen und Sternbildungs-Regionen / Clusters and Starforming Regions

NGC 3603 ist einer der dichtesten und leuchtkräftigsten Haufen massereicher Sterne in der Milchstraße. Er kann deshalb als Muster für rasche Sternentstehung in Galaxien und für Untersuchungen der ursprünglichen Massenfunktion dienen. Mit der NAOS/CONICA-Kamera mit adaptiver Optik am VLT sind signifikante Verbesserungen in Empfindlichkeit und Winkelauflösung möglich. Wir haben mit NAOS/CONICA begonnen die Sternpopulation im Kern von NGC 3606 und anderen massereichen Haufen bis unter die Grenze des Wasserstoffbrennens zu bestimmen (Abb. 2-14).

Abb. 2-14: 2.2 µm-Aufnahme des Kerns des Sternhaufens NGC 3603, gewonnen mit der NAOS/ CONICA -Kamera mit adaptiver Optik am VLT.

Figure 2-14: 2.2 µm image of the core of the NGC 3603 cluster made with the NAOS/ CONICA adaptive optics camera on the VLT.

Junge Sterne entstehen aus dem Gravitationskollaps dichter Molekülwolkenkerne. Dabei bestimmen die Wolkeneigenschaften direkt oder indirekt diejenigen der Sterne. Untersuchungen der möglichen Sternentstehungsprozesse erfordern einheitliche Stichproben dichter Wolkenkerne aus verschiedenen Sternentstehungsregionen. Die C¹⁸O Durchmusterung mit dem NANTEN-Teleskop und dem 4m Radioteleskop der Universität von Nagoya identifizierte 179 Wolkenkerne in nahen (d<200 pc) Sternentstehungsregionen. Wir schlagen vor, dass Stern- und Sternhaufenentstehung stark von der ursprünglich vorhandenen Turbulenz und der Wechselwirkung mit externen Stößen abhängt. Genauere Rechnungen zeigen, dass massearme Kerne mit weniger als 25 M_{\odot} mindestens ~10⁴³⁻⁴⁴ erg an kinetischer Energie abgeben müssen, um das Virialgleichgewicht zu erreichen, das dann zur Sternentstehung führt. Haufenbildende Wolkenkerne besitzen eine um etwa 10⁴⁴erg erhöhte kinetische Energie die aus den entstandenen Haufen injiziert werden kann. Die Massenfunktion der Wolkenkerne folgt keinem einfachen Potenzgesetz, der Exponent ändert sich mit dem Massenbereich. Die mittlere Sternentstehungseffizienz der Kerne liegt bei etwa 10%, und das daraus resultierende Massenspektrum entspricht der Standard-Massenfunktion.

NGC 3603 is one of the densest and most luminous clusters of high-mass stars in the Galaxy. It can therefore serve as a template for rapid star formation in galaxies, and for studies of the Initial-Mass-Function. Using the NAOS/ CONICA adaptive optics camera on the VLT, it is possible to achieve significant improvements in both sensitivity and angular resolution. We are beginning a program with NAOS/CONICA to characterize the stellar population in the core of NGC 3603 and other massive clusters down to and below the hydrogen burning limit (Fig. 2-14).



Young stars are formed as a result of the gravitational collapse of dense molecular cloud cores, whose properties are supposed to determine the characteristics of the young stars. Studies of modes of star formation call for a statistical analysis of the dense cores uniformly sampled from various star forming regions (SFRs). The C¹⁸O survey of NANTEN and the 4m radio telescopes of Nagoya University results in 179 identified cores in the nearby (d<200 pc) SFRs. We suggest that star and cluster formation are controlled by the initial amount of turbulence and the interaction with the external shocks. Our further calculation shows that low-mass cores of <25 M_{\odot} need to lose $\sim 10^{43-44}$ erg of the kinetic energy until they reach the virial equilibrium which leads to star formation. The cluster-forming cores have larger kinetic energy by $\sim 10^{44}$ erg, which can be explained by injection from the formed clusters. The mass function of the cores does not appear to follow a single power-law function, the power-law index varies with the mass range. The average star-formation efficiency of the cores is $\sim 10\%$, and the expected stellar mass function from the star-formation efficiency approximates the stellar initial-mass function.

Drehimpuls junger (sub)stellarer Objekte / Angular Momentum in Young Stellar and Sub-stellar Objects

Die Drehimpulsentwicklung im substellaren Massenbereich ist empirisch noch weniger bekannt als im stellaren; wir wissen nur dass alte braune Zwerge zu sehr rascher Rotation neigen (>60 km s⁻¹). Rotationsraten können bestimmt werden wenn man die von Flecken verursachten Helligkeitsvariationen verfolgt. Mit dem 1.5m Teleskop der ESO/La Silla wurden im ChaI Sternentstehungsgebiet (Alter 1-5 Ma) zwölf Kandidaten für bzw. als solche erkannte braune Zwerge photometrisch überwacht. Drei davon erwiesen sich als veränderlich mit Perioden von 2 bis 3 Tagen. Das sind die ersten, die für junge braune Zwerge bekannt sind (Abb. 2-15); die aus den UVES/VLT Spektren ermittelten projizierten Rotationsgeschwindigkeiten (v sin i) von 8-26 km s⁻¹ sind damit konsistent.

Abb. 2-15: Lichtkurve des sehr jungen Braunzwergkandidaten ChaHa6 (Spektraltyp M7) im I-Band. Die deutlich erkennbaren Variationen haben eine Periode von 3.4 Tagen und werden aller Wahrscheinlichkeit nach von Flecken verursacht. Die Periode stimmt für die erwarteten 0.7 Sonnenradien sehr gut mit der projizierten spektroskopischen Geschwindigkeit von 13 km s⁻¹ überein, die mit UVES am VLT gemessen wurde.

Fig. 2-15: Phase folded I-band light curve of the M7type very young brown dwarf candidate ChaHa6. The visible photometric variations are periodic with 3.4 days and are most certainly caused by spots on the surface. The period agrees very well with the projected spectroscopic velocity of 13 km s⁻¹ measured from UVES/VLT spectra and a radius of 0.7 solar radii.

Phänomene wie die Beschleunigung der Rotation aufgrund der Kontraktion, magnetische Bremsung infolge der Wechselwirkung mit einer Scheibe, oder das vorübergehende Anhalten der Kontraktion durch das Einsetzen des Deuteriumbrennens werden während der frühen Entwicklungsphasen erwartet. Wir haben herausgefunden, dass sich sehr junge braune Zwerge, im Gegensatz zu den schnell rotierenden alten, nur moderat langsam drehen. Der Großteil der Rotationsbeschleunigung brauner Zwerge findet demnach in weniger als 30 Ma statt.

Seit einigen Jahren ist bekannt, dass braune Zwerge, ähnlich wie T-Tauri Sterne (TTS), in einem frühen Entwicklungsstadium Röntgenstrahlung emittieren. Magnetische Rekonnektion und die dabei freiwerdende Energie heizen das in magnetische Schleifen eingeschlossene Plasma so stark auf, dass es im Röntgenbereich abstrahlt. Eine Änderung der Röntgenemission zu kühleren Sternen hin könnte Aufschluss darüber geben wie das Magnetfeld in vollkonvektiven Sternen und braunen Zwergen aufrechterhalten wird.

Die Röntgenleuchtkräfte brauner Zwerge in den Sternentstehungsregionen σ Orionis und Taurus-Auriga wurde daher mit jenen von TTS in der Taurus-Region verglichen. Es zeigt sich dabei, dass beim Übergang zu vollkonvektiven Objekten kein wesentlicher Unterschied bei der Röntgenemission besteht. Dies lässt The evolution of angular momentum in the substellar regime is observationally even less constrained than in the stellar domain; we only know that old brown dwarfs tend to rotate very rapidly (>60 km s⁻¹). Rotation rates can be studied by tracing brightness variations caused by surface spots as the object rotates. Twelve bona fide and candidate brown dwarfs in the ChaI star forming region at ages of 1-5 Myr have been monitored photometrically with the 1.5m telescope at ESO, La Silla. Three of them showed photometric variabilities with periods of 2 to 3 days, the first rotational periods for young brown dwarfs (Fig. 2-15); the measurements are consistent with projected rotational velocities (v sin i) of 8-26 km s⁻¹, measured from UV-ES/VLT spectra.



Phenomena such as acceleration due to contraction, magnetic braking due to interaction with a disk, or a temporal stop of the contraction due to the onset of Deuterium burning are expected to occur during early evolutionary stages. We find that very young brown dwarfs are moderately fast rotators in contrast to very rapidly rotating old brown dwarfs. Most of the acceleration during the contraction phase may occur within the first 30 Myr or less of the lifetime of a brown dwarf.

Since a few years it is known that brown dwarfs, similar to T-Tauri stars (TTS), emit X-rays in an early evolutionary stage. Magnetic reconnection and the energy set free in the process heats the magnetically confined plasma to very high temperatures and results in cooling by X-ray emission. A possible change of the X-ray emission towards stars with later spectral types could provide information about the mechanism that sustains the magnetic field in fully convective stars and brown dwarfs.

Therefore we compared the X-ray luminosities of brown dwarfs in the star formation regions of σ Orionis and Taurus-Auriga with the one of TTS in the Taurus-Auriga region. It turned out that there is no significant difference in the X-ray emission-properties at the transition to fully convective objects. This leads

vermuten, dass der die Röntgenstrahlung produzierende Mechanismus sich auch im Bereich von vollkonvektiven Objekten nicht ändert. Die bei jedem Spektraltyp bestehende Streuung dürfte wohl an unterschiedlicher Rotation liegen (Dynamo-Effekt).

Rotationsperioden können auch helfen, die Natur der durch den ROSAT All-Sky-Survey außerhalb von Molekülwolken gefundenen T-Tauri Sterne zu klären, welche den Sternentstehungstheorien zunächst widersprechen. Zwei Erklärungsmöglichkeiten sind: (1) Die TTS sind sog. Schnellläufer-TTS, also in den benachbarten Wolken entstanden und dann durch Beinahe-Zusammenstöße herausgeschleudert worden. (2) Die TTS sind an Ort und Stelle in kleinen Wolken entstanden, die sich mittlerweile aufgelöst haben.

Zwischen diesen beiden Erklärungen wollten wir in der Sternentstehungsregion Taurus-Auriga unterscheiden, indem wir die Rotation der TTS vergleichen: Im ersten Modell erwartet man eine schnellere Rotation der TTS außerhalb der Wolken, da die Rotation direkt mit der Lebensdauer der Scheiben zusammenhängt, die eventuell durch Zusammenstöße drastisch reduziert sein könnte. Die Rotationsbeschleunigung der Sterne konnte also früher erfolgen. Für die zweite Erklärungsvariante dagegen erwartet man eine langsamere Rotation. Schließlich sind in den kleinen Wolken kaum Doppelsternsysteme entstanden, die niedrigere Scheibenlebensdauern aufweisen. Aufgrund der geringeren Sterndichte ist die Störung der Scheibenbahnen durch nahe Begleiter deutlich kleiner. Die Scheibenlebensdauern sind daher groß. Wir finden im Mittel geringere Rotationsperioden für TTS außerhalb der Wolken als für TTS in der Wolke, so dass die meisten TTS südlich der Taurus-Wolken wohl herausgeschleuderte Schnellläufer-TTS sind und auch keine Scheiben mehr aufweisen.



Während tiefer Nachfolgebeobachtungen im nahen Infraroten mit dem New Technology Telescope (NTT), die zur Identifizierung der optischen Gegenstücke von mit Chandra und XMM-Newton entdeckten Röntgenquellen unternommen wurden, entdeckten wir zufällig eine räumlich aufgelöste zirkumstellare Scheibe am Rande der p Ophiuchi Dunkelwolke. Weito the conjecture that the X-ray producing mechanism das not change in the region of fully convective objects. The scatter in X-ray properties that occurs for all spectral types is likely to be caused by differences in the rotational properties (effects of the dynamo).

Rotation-periods can also be helpful to clarify the nature of the T-Tauri stars that have been discovered with the ROSAT All-Sky-Survey outside of molecular clouds, and that contradict star-formation theories at first glance. Two possible explanations are: (1) The TTS are so called run-away TTS, i.e. formed in neighbouring clouds and subsequently ejected at close encounters. (2) The TTS have been formed in-situ in smaller clouds, that have been dispersed in the meantime.

We wanted to distinguish between these two by comparing the rotational properties of the TTS in the Taurus-Auriga star-formation region: in the first case we expect a more rapid rotation of the TTS outside the cloud, because the rotation is directly connected to the disk-lifetime, and hence the time available for braking, because that lifetime could have been reduced drastically by mutual collisions. The spin-up would occur earlier and the stars would rotate faster. For the second explanation we expect, on the contrary, slower rotation. After all, binary stars, with much shorter disklifetimes hardly formed in the smaller cloudlets. Furthermore, the perturbation of disks due to close neighbours is much weaker due to lower star-density. Therefore the disk-lifetimes are large. On average we find smaller rotation periods for TTS outside the clouds than for TTS inside the clouds. Hence most auf the TTS south of the Taurus-clouds are likely to be ejected run-away TTS that do not have disks any more.

Abb. 2-16: Diese von der Kante aus gesehene zirkumstellare Scheibe wurde mit dem VLT-UT1/ISAAC bei "Seeing"-Bedingungen von 0.4" aufgenommen. Das Farbbild kombiniert die Belichtungen in J, H, and K_s unter Verwendung blauer, grüner bzw. roter Farbkodierung mit logarithmischer Farbskala. Der Weißabgleich erfolgte mit dem hellsten Hintergrundstern. Bildausschnitt: 30"x30", Norden ist oben und Osten links.

Fig. 2-16: An edge-on circumstellar dust disk observed with the VLT-UT1/ISAAC under 0.4"-seeing conditions. This colour composite image combines J, H, and K_S using respectively blue, green, and red colour coding, with logarithmic colour stretch. The white balance is obtained from the brightest background star. The image size is $30"\times30"$. The image orientation is North on the top and East on the left hand side.

During deep near-infrared follow-up observations of Chandra and XMM-Newton fields to find counterparts of new X-ray sources, we serendipitously discovered with the New Technology Telescope (NTT) a resolved circumstellar dust disk around an infrared source at the periphery of the ρ Ophiuchi dark cloud. Follow-up observations in J, H, and K_s-band with the Very Large

tere Nachfolgebeobachtungen mit dem Very Large Telescope (VLT/ISAAC) zeigen ein Staubband zwischen zwei charakteristischen nördlichen und südlichen Reflexionsnebeln (Abb. 2-16). Diese neue zirkumstellare Staub-Scheibe hat einen Radius von 2.15" (300 AE bei 140 pc), und eine Dicke von 1.2" (170 AE bei 140 pc). Obwohl die Scheibe nahezu von der Kante gesehen wird, zeigen die beiden Reflexionsnebel unterschiedliche Farben. Mittels unserer neuen NIR Daten-Visualisierungstechnik wiesen wir eine Struktur mit NIR-Farbexzess nach, die nördlich des dunklen Bandes und parallel dazu verläuft.

Für eine Scheibenneigung, i=86±1° gibt unser axialsymmetrisches Scheibenmodell die VLT-Aufnahmen des Streulichts sowie die spektrale Energieverteilung vom optischen bis in das nahe Infrarot wider. Den Farbexzess im nahen Infraroten und den Extinktionsunterschied zwischen den beiden Reflexionsnebeln kann es jedoch nicht reproduzieren. Möglicherweise können eine deformierte Scheibe oder Staubsedimentation in der Zentralebene diese Diskrepanz erklären.

ot unser axial- Our axisymmetric disk models reproduce the VLT

scattered light images and the spectral energy distribution (SED) from optical to NIR, with a disk inclination $i=86\pm1^{\circ}$, yet fails to reproduce the observed NIR colour excess in the northern nebula and the extinction difference between the two reflection nebulae. Possibly a warped disk or dust settling in the disk midplane can explain this discrepancy.

Telescope (VLT/ISAAC), under 0.4"-seeing condi-

tions, unveil a dark dust lane between two characteris-

tic northern and southern reflection nebulae (Fig

2-16). This new circumstellar dust disk has a radius of

2.15" (300 AU at 140 pc), and a width of 1.2" (170

AU at 140 pc). Although this disk is seen close to

edge-on, the two reflection nebulae display very different colours. With our new NIR data visualization

we identify a ridge, to the north of the dark lane and

parallel to it, which displays a NIR colour excess.

Junge Sterne in der Nachbarschaft der Sonne / Young Stars in the Solar Neighbourhood

Sternzählungen und hochgenaue Spektralanalysen von FGK-Sternen in der Nachbarschaft der Sonne zeigen dass mehr als 10% der sonnennahen Sterne innerhalb der letzten 200-500 Ma entstanden sind. Im Vergleich zum Alter der dünnen-Scheibenpopulation der Milchstrasse (8 Ga) ist das ein lokaler Überschuss um einen Faktor 2 bis 5. Wir leben daher entweder in einer Epoche erhöhter Sternentstehung oder die Sonne durchquert gerade eine solche Region (Abb. 2-17).



Star count and high precision spectral analyses of FGK-type stars in the solar neighbourhood reveal that more than 10% of the local inventory was formed within the last 200-500 Myr. Compared to the age of the Milky Way's thin-disk population (8 Gyr), this is a local excess of young stars by a factor 2 to 5. Thus, either we live in an epoch of enhanced star formation, or the Sun currently crosses a region thereof (Fig. 2-17).

Abb. 2-17: Der Großteil der sonnennahen jungen Sterne stammt aus zwei Gebieten: der Ursa Major Assoziation (Alter ~200 Ma), sowie der neuentdeckten "Herkules-Lyra Assoziation" (Alter ~100 Ma). Hier sind Geschwindigkeiten der Sterne im galaktischen Bezugssystem dargestellt.

Fig. 2-17: The bulk of the local young stars stems from two regions: the Ursa Major Association (age \sim 200 Myr), and the newly-discovered "Hercules-Lyra Association" (age \sim 100 Myr). The figure shows stellar velocities in galactic system.

Suche nach Begleitsternen und Planeten / Search for Companions and Planets

Unsere Beobachtungen des Begleiters von χ^1 Ori (Abb. 2-18) ermöglichen es uns, die Massen der Sterne unter der Verwendung der Keplerschen Gesetze (M_A =1.01±0.13 M_{\odot} , M_B =0.15±0.02 M_{\odot}) zu berechnen, ohne Verwendung von Sternmodellen. Nimmt man die Sternentwicklungsmodelle als richtig an, sollte der Begleiter ein Alter von 110-150 Ma haben. Dies ist in Konflikt mit dem Alter des Primärsterns, der ein bestätigtes Mitglied des Ursa Major Clusters ist, mit einem Alter von 300 Ma. Demnach müssen entweder die Modelle von Sternen mit geringer Masse das Alter unterschätzen oder der Ursa Major Cluster ist jünger als angenommen. Our observations of the χ^1 Ori companion (Fig. 2-18) enable us to calculate dynamical masses using only Kepler's laws (M_A =1.01±0.13 M_{\odot} , M_B =0.15±0.02 M_{\odot}) independent of stellar models. Assuming the stellar evolutionary models are correct, this implies an age of 110-150 Myr, in conflict with the primary being a confirmed member of the Ursa Major Cluster with a canonical age of 300 Myr. As a consequence, either the models at low masses underestimate the age of such stars or the Ursa Major Cluster is considerably younger than assumed. Abb. 2-18: Das H-Band Bild des bisher unsichtbaren Begleiters von χ^l Orionis (der projizierte Abstand von 0.5" entspricht einem physikalischen Abstand von 4.3 AE in einer Entfernung von 8.7pc). Die Aufnahme wurde mit dem Keck NIRC2 Adaptiv-Optik System und Kamera, die mit einer koronographischen Maske mit 300 µm Durchmesser ausgerüstet war, gemacht. Der Begleiter zeigt einen Beugungsring und wurde sehr nahe bei der vorausgesagten Position entdeckt.

Fig. 2-18: The H-band image of the previously unseen companion of χ^l Orionis (the projected 0.5" seperation corresponds to a physical separation of 4.3 AU at 8.7pc distance), taken with the Keck NIRC2 adaptive optics system and camera equipped with a coronographic mask of 300µm diameter. The companion shows a diffraction ring and is found close to the predicted position.

Die TW Hya Region ist ein einzigartiger Ort, um die Sternentstehung zu studieren, da es sich dabei um die nächste Sternentstehungsregion handelt. Bis heute sind als Mitglieder dieses Haufens ca. 20 junge Sterne bekannt, die wegen ihrer Nähe zur Erde und ihrem geringen Alter sehr gute Ziele sind, um dort nach protoplanetaren Scheiben und Planeten zu suchen. Junge Begleiter sollten im Vergleich zu älteren wegen noch stattfindender Kontraktion im IR selbstleuchtend und damit leichter detektierbar sein. In der Zwischenzeit wurden die meisten Mitglieder der TW Hydra und anderer naher Sternassoziationen mit hoher Dynamik beobachtet, massereiche Planeten mit einer Masse <13 Jupitermassen und einem Orbit von >50 AE wurden bisher jedoch nicht gefunden.

Bislang unentdeckte, weit entfernte Begleiter von Sternen mit Radialgeschwindigkeitsplaneten (RV) könnten die exzentrischen Bahnen vieler extrasolarer Planeten als Konsequenz gravitativer Bahnstörungen verursachen. Wir suchen deshalb mit dem ESO 3.5m NTT+SoFI und dem Calar Alto+MAGIC 2.2m Teleskop im nahen Infraroten nach weiten (sub)stellaren Begleitern um Sterne mit RV-Planeten. Viele lichtschwache Objekte mit einem projizierten Abstand zum Stern von bis zu 1000 AE wurden nachgewiesen. Um weite Begleiter von Hintergrundsternen zu unterscheiden, suchen wir nach Objekten, die sich mit einem Planeten-Stern mitbewegen. Mit Bildern des 2MASS-Infrarot-Himmelsdurchmusterung konnten bereits zwei stellare Begleiter bis zu 15mag gefunden werden.

Theorie der Stern- und Planetenentstehung / Theories of Star and Planet Formation

Im Modell kerninduzierter Gasinstabilität entstehen Gasplaneten aus Planetenkernen kondensierbarer Materie, wenn diese über eine sogenannte kritische Masse hinaus wachsen. Um die physikalischen Grundlagen dieses Prozesses besser zu verstehen, untersuchten wir sphärisch symmetrische Protoplaneten mit verschiedenen Annahmen über die Zustandsgleichungen. Qualitativ ähnliche Resultate ergaben sich für Protoplanetenhüllen aus idealem Gas mit und ohne entartete Elektronen sowie für eine Zustandsgleichung "harter Kugeln". Wir fanden zwei Arten von Planetenatmosphären: einerseits "homogene" Gashüllen mit radial



The TW Hya region is a unique site for studying star formation because it is the most nearby SFR with a cluster of young stars. About 20 young star members are known to date, and they are very good targets of searching for proto-planetary disks and planets because of their proximity and youth. Young companions should still be self-luminous at IR wavelength due to ongoing contraction and thus easier to detect than their older counterparts. In the meantime, most members of the TW Hydra and other young nearby associations have been observed with high dynamic range, but no massive planets have been found so far, with the limit for <13 Jupiter masses being roughly >50 AU.

Wide binary companions of the radial velocity planet candidate host stars may explain the excentric orbits of many extrasolar planets. We search for wide (sub)stellar companions around radial velocity planet host stars by near infrared imaging with the ESO 3.5m NTT+SoFI and the 2.2m telescope on Calar Alto-+MAGIC. Many faint objects were detected with distances up to 1000 AU from the star. In order to distinguish wide companions from background objects we looked for co-moving sources using images of the 2MASS IR all-sky survey as second epoch and found two stellar companions down to 15mag.

In the nucleated-instability hypothesis, envelopes of giant planets are formed as a consequence of condensable element cores that grow beyond a critical mass. To determine the physical basis of criticality we investigated isothermal protoplanets with spherical symmetry and various assumptions about the equations of state. Qualitatively similar results were found for ideal gas, with and without degenerate electrons and a "hard sphere" equation of state. Two types of envelope equilibria exist: "uniform" envelopes with the density dropping weakly with increasing radial distance, and "compact" envelopes, that have a thin but very dense nur gering abfallender Dichte, andererseits "kompakte" Hüllen mit einer geometrisch dünnen aber stark komprimierten Gasschicht, die eng um den Kern gepackt ist. Detaillierte numerische Zustandsgleichungen sind erforderlich, um die Planetenmassen, selbst im isothermen Fall, auf besser als einen Faktor zwei genau zu bestimmen. Unsere Protoplaneten zeigen einen weiten Bereich möglicher Hüllenmassen, mit mehreren Gleichgewichten für gegebene Bedingungen im präplanetaren Nebel.

Die erste Berechnung des Kollapses eines Wolkenfragmentes mit der Masse eines Braunen Zwerges ermöglichte die Bestimmung der frühesten Entwicklungsphasen eines substellaren Objektes. Die Gleichungen der Strahlungs-Hydrodynamik wurden unter Berücksichtigung der Eigengravitation und eines zeitabhängigen Konvektionsmodells gelöst. Der nach dem Ende der Akkretion resultierende junge braune Zwerg erwies sich als nur teilweise konvektiv. Während des Deuterium-Brennens erreicht der braune Zwerg das thermische Gleichgewicht. Erst nach dem Ende des Deuterium-Brennens nähert sich die Entwicklung an jene der klassischen, von Anfang an als hydrostatisch und vollkonvektiv angenommen Modelle an.



Pegasi Planeten sind Gasplaneten in einer engen Umlaufbahn um ihre Muttersterne. Die präplanetaren Nebelbedingungen an solchen Orten zeichnen sich durch relativ hohe Temperaturen und starke stellare Gezeiten aus. Das Resultat sind gravitativ stabile Nebelbedingungen für sehr große Bereiche von Oberflächendichten. Vorausgesetzt es stehen hinreichend große Reservoire von Gas und Festkörpern zur Verfügung führt das Kernwachstum zur Akkumulation and anschließender Akkretion von Gas aus dem protoplanetaren Nebel auf den jungen Planeten und damit zur raschen Entstehung eines Gasplaneten. Erstmals wurden Kernund Gasakkretion dynamisch und für die gesamte Dauer der Vor-Hauptreihenphase eines Sterns mit Sonnenmasse simuliert. Während der Massenakkumulation steigt die Leuchtkraft des Pegasi-Planeten an bis zum Leuchtkraft-Maximum in der raschen Kontraktionsphase nach dem Erreichen der kritischen Masse. Ein Vergleich mit hydrostatischen Modellen für willkürlich gewählte Anfangsbedingungen zeigt, dass der Planetenentstehungsprozess die frühe Planetenentwicklung wenigstens bis zu einem Alter von 50 Ma bestimmt (Abb. 2-19).

gas layer wrapped around the core with very low gas density further out. We demonstrated the need for detailed numerical equations of state to determine protoplanetary masses better than within a factor of two even in the isothermal case. Our solutions show a wide range of possible envelopes with multiple planetary equilibria existing for given nebula conditions.

The first calculation of the collapse of a cloud fragment that results in the formation of a brown dwarf was used to determine the early evolution of a substellar object. The equations of self-gravitating radiationgas-dynamics were solved with spherical symmetry and including a time-dependent model of convection. After the end of accretion the hydrostatic young brown dwarf turns out to be partially convective. During Deuterium-burning the young brown dwarf reaches thermal equilibrium and becomes fully convective. After the end of Deuterium-burning the evolution converges to that of the classical hydrostatic models that assume a fully convective structure from the beginning.

Abb. 2-19: Leuchtkraft eines Pegasi-Planeten für Alter von 0-50 Ma und einer Endmasse von 164 Erdmassen. Hydrostatische Modelle vergleichbarer Masse mit willkürlichen Anfangsbedingungen (Burrows, strichliert) sind zum Vergleich dargestellt.

Fig. 2-19: Luminosity of a Pegasi planet for ages of 0-50 Myr and a final mass of 164 Earth masses. Hydrostatic models of comparable mass (Burrows, dashed) with arbitrary initial conditions are shown for comparison.

Pegasi planets are giant planets in close orbit around their parent star. The preplanetary nebula conditions at such locations are characterized by relatively high temperatures and strong stellar tides. They result in the gravitational stability of the gaseous disk for a wide range of surface densities. Provided sufficient reservoirs of gas and solids exist, core-growth leads to the subsequent attraction and accretion of nebula gas and results in the rapid formation of a giant planet. For the first time core- and gas-accretion have been calculated dynamically and for the entire time-span of the premain sequence phase of a solar mass star. During the mass accumulation phase the luminosity of Pegasi planets increases until the planet's peak luminosity is attained during the rapid contraction phase after the critical mass. Comparison to hydrostatic models with arbitrary initial conditions shows that the planet formation process determines the early planetary evolution up to at least 50 Myr (Fig. 2-19).

[AMMLER, BROEG, EISENHAUER, FUHRMANN, GROS-SO, HUELAMO, JAFFE, JÖRGENS, KÖNIG, MOKLER, NEUHÄUSER, PECNIK, STELZER, TACHIHARA, WUCH-TERL]

2.2.2 Novae und veränderliche Sterne / Novae and Variable Stars

Kataklysmische Veränderliche / Cataclysmic Variables

Die Quelle 1RXS J154814.5-452845 aus der ROSAT-Himmelsdurchmusterung wurde durch Nachfolgebeobachtungen im Röntgenbereich (ROSAT und XMM-Newton) und im optischen als neuer Veränderlicher vom Typ "intermediate polar" identifiziert. Die Quelle zeigt Pulsationen mit einer Periode von 693 s in optischen und in Röntgen-Lichtkurven. Das optische Spektrum zeigt Merkmale des Begleiters, einem Stern späten Typs, breite Absorptionslinien von H

ß und Balmerlinien höherer Ordnung. Letztere entstehen wahrscheinlich in der Atmosphäre des weißen Zwerges. Röntgenspektren von EPIC/XMM-Newton zeigen die für diese Klasse von Objekten typische harte Emission, aber auch eine weiche Komponente mit der spektralen Form von Schwarzkörperstrahlung. Ähnliche Emission wird von Veränderlichen vom Typ "soft intermediate polar" beobachtet und stammt wahrscheinlich von der durch harte Röntgenstrahlung erhitzten Oberfläche des weißen Zwerges.



Die starke Variabilität des von ROSAT entdeckten magnetischen kataklysmischen variablen Sterns RX J0953.5+1458 im optischen (Photometrie & Spektroskopie) und im Röntgenlicht (Abb. 2-20) zeigt, dass dies ein selbst-bedeckendes System ist, in dem der Akkretions-Pol sowie die Akkretions-Säule periodisch hinter dem Rand des weißen Zwerges verschwinden. Es handelt sich um ein kurzperiodisches System mit einer Umlauf-Periode von 103.75 Minuten.

Eine Röntgenschattenbeobachtung der nahegelegenen Molekülwolke MBM12 (die sich wahrscheinlich in oder gerade am Rand der Lokalen Blase befindet) zeigte nur eine einzige helle Punktquelle, die kataklysmische Variable ("intermediate polar", IP) XY Ari, ein enges Doppelsternsystem mit einem Röntgenpulsar mit einer Periode von 206.2 s. Darüber hinaus ist dies der einzige bekannte IP mit einer tiefen Bedeckung im Röntgenbereich (Abb. 2-21); er wurde mit XMM-Newton EPIC pn fast 5 Stunden lang beobachtet. Eine detaillierte Spektralanalyse war zum ersten Mal mit XMM-Newton möglich wegen der viel größeren effektiven Fläche bis hin zu 12 keV. Ein Spektralmodell aus mehreren Komponenten kann die Daten

The ROSAT all-sky survey source 1RXS J154814.5-452845 was identified as a new intermediate polar from follow-up X-ray (ROSAT and XMM-Newton) and optical observations. The source shows pulsations with a period of 693 s both in the optical and X-ray light curves. The optical spectrum displays features from the late type secondary and shows the presence of broad absorption lines at $H\beta$ and higher order Balmer lines which may be a signature of the white dwarf atmosphere. The average X-ray spectra as obtained by the EPIC instruments on board XMM-Newton show hard emission typical for this class of objects but also the presence of soft blackbody-like emission similar to that seen from soft intermediate polars and thought to arise from the white dwarf surface heated by the hard X-rays.



Fig. 2-20: Lightcurve of the magnetic cataclysmic variable RX J0953.5+1458, showing strong modulation due to varying viewing angle of the accretion column. The self-eclipse of the accretion pole by the white dwarf occurs at phases 0.75-1.15.

For the ROSAT-discovered magnetic cataclysmic variable RX J0953.5+1458, strong variability in the optical (photometry and spectroscopy) and X-rays (Fig. 2-20) indicates that it is a self-eclipsing system in which the accretion pole and column periodically disappear behind the limb of the white dwarf. This is a short period system with an orbital period of 103.75 minutes.

An X-ray shadowing observation of the nearby molecular cloud MBM12 (which is probably inside or just at the edge of the Local Bubble) shows only one bright point source, the cataclysmic variable ("intermediate polar", IP) XY Ari. It is a close binary system with a 206.2 s X-ray pulsar. Furthermore, it is the only known IP with a deep X-ray eclipse. The orbital period is about 6.06 h. During an XMM-Newton EPICpn observation of slightly less than 5 h a full eclipse was observed (Fig. 2-21). Detailed spectral analysis was possible with XMM-Newton for the first time due to a much higher effective area up to 12 keV. A multicomponent spectral model satisfactorily fits the data: a power-law component with photon index 1.33 and befriedigend beschreiben: eine Komponente nach einem Potenzgesetz mit Photonenindex 1.33 und Absorption von $4x10^{22}$ cm⁻² zusammen mit einem thermischen Plasma von etwa 10 keV mit solaren Häufigkeiten und einer absorbierenden Säulendichte von $7x10^{22}$ cm⁻². Eine unverbreiterte neutrale Eisenlinie bei 6.40 keV ist zum Fit der Daten erforderlich.

<u>Table: xy_ari_lo</u>

-60

-40



Die 9-jährige Himmelsdurchmusterung von COMP-TEL zeigt ausgedehnte 1.275 MeV Emission (Abb. 2-22). Mit neueren Nova-Produktionsmodellen von 3-12 10^{-9} M_{\odot} ²²Na leiten wir eine Rate für klassische Novae in der galaktischen Zentralregion von 20.5-82 pro Jahr her; üblicherweise nimmt man eine Rate von 30 pro Jahr an. Wenn wir weiterhin analog zu M31 annehmen dass ~75% aller Novae in einer Galaxie im Zentralbereich auftreten, dann ergibt sich für diesen Bereich eine Novadichte von $>1.4 \ 10^{-5} \ pc^{-3}$, also mehr als einen Faktor 10 über dem üblichen Wert. Wir schließen allerdings nicht aus, dass ein Teil der gemessenen Linienintensität tatsächlich der Kernanregung von ²²Ne durch niederenergetische kosmische Strahlung zuzuordnen ist. Sollte dies so sein, dann könnte ein Teil der harten Röntgenemission des inneren Bereichs der Galaxis, so wie sie von GINGA, AS-CA, und Chandra gemessen wurde, durch eben diese kosmische Strahlung und ihre Wechselwirkung mit dem Gas im Innern unserer Galaxis herrühren.

-20 0 20 Galactic Latitude, [degrees] 40

60

Der Verlauf der Nova Velorum 1999 wurde mit den ACIS-S und LETGS Instrumenten auf Chandra verfolgt (Abb. 2-23). Eine große Fülle an Linien wurde in

 $4x10^{22}$ cm⁻² absorption is accompanied by a thermal plasma of about 10 keV with solar metallicities and $7x10^{22}$ cm⁻² absorbing column density. A narrow neutral iron line at 6.40 keV is required.

Abb. 2-21: Lichtkurve (Hintergrund abgezogen) des "Intermediate Polar" XY Ari im 2-10 keV Energieband. Das Zeitintervall beträgt 206.1 s (entspricht der Spinperiode des Röntgenpulsars). Die Bedeckung dauert etwa 34.86 Minuten, Eintritt und Austritt sind kürzer als ein Zeitauflösungselement. Die rote Kurve zeigt die Hintergrundlichtkurve zum Vergleich.

Fig. 2-21: Lightcurve (background subtracted) of the intermediate polar XY Ari in the 2-10 keV energy band: the time bin size was chosen to be 206.1 s (spin period of X-ray pulsar). The eclipse lasts about 34.86 minutes, ingress and egress are shorter than a time resolution elements. The red curve shows the background lightcurve for comparison.

Novae / Novae

Abb. 2-22: COMPTEL Messung des Breitenprofiles galaktischer 1.275 MeV Emission. Diese Emission wird radioaktivem ²²Na zugeordnet. Das Profil stimmt überein mit einer Form des galaktischen Kernbereichs, wie sie aus den COBE IR Messungen abgeleitet wurde.

Fig. 2-22: COMPTEL measurement of the latitude profile of 1.275 MeV line emission attributed to ^{22}Na . This profile points toward a bulge shape with the ratio of the major-to-minor bulge axis of ~2. This bulge shape is consistent with the bulge model derived from the COBE measurements of the Galactic IR-emissivity.

In the 9-year COMPTEL data-base we detect bulge extended emission in the 1.275 MeV gamma-ray line of ²²Na (Fig.2-22). Assuming nova ²²Na yields from recent models of 3-12 10^{-9} M_{\odot}, we derive the range between 20.5 and 82 yr⁻¹ for the classical nova rate in the Galactic bulge, where the lower bound value is close to the one usually quoted. Further assuming that Galactic bulge novae comprise ~75% of all Galactic novae similar to the case of M31, we estimate the space density of active classical novae systems in the bulge to be $>1.4 \ 10^{-5} \ \text{pc}^{-3}$, i.e. more than an order of magnitude higher than the favoured value. The above considerations do not exclude the possibility that part of the detected 1.275 MeV line emission in fact results from ²²Ne excitation by low-energy cosmic rays in the Galactic bulge. If this is the case, then a notable part of the hard X-ray emission in the Galactic ridge detected by GINGA, ASCA, and Chandra might be produced by the same cosmic rays interacting with the bulge gaseous matter.

The evolution of Nova Velorum 1999 was monitored with Chandra ACIS-S and LETGS (Fig. 2-23). A great wealth of emission lines were observed in the LETGS dem LETGS Spektrum beobachtet. Dessen Verbreiterte OVII und NVI Linien können durch die Ausdehnung der Nova-Hülle erklärt werden. Dieses Spektrum erlaubt es uns erstmals, einen Mangel an Fe und Na in dem von der Novae ausgeworfenen Material festzustellen. spectrum. Its broadened OVII and NVI lines are explained by the expansion of the shell in the novae. This spectrum allows us for the first time to detect a lack of Fe and Na in the Novae ejecta material.

[BREITSCHWERDT, BURWITZ, HABERL, FREYBERG, IYUDIN, KANBACH]



Abb. 2-23: Das Chandra LETGS Spektrum der Nova Velorum 1999 (=V382 Vel) beobachtet im Februar 2000. Im Spektrum finden sich kaum Spuren von Fe und Na.

Fig. 2-23: The Chandra LETGS spectrum of Nova Velorum 1999 (=V382 Vel) observed in February 2000. The spectrum hardly shows any traces of Fe and Na.

2.2.3 Endstadien der Sternentwicklung / Final Stages of Stellar Evolution

Neutronensterne / Neutron Stars

In dem ~3700 Jahre alten Supernova-Überrest Puppis-A wurde mit dem Einstein Observatorium und mit ROSAT eine zentrale Punktquelle, ein junger, kühlender Neutronenstern, entdeckt. Das nun aus Beobachtungen mit XMM-Newton im April und November 2001 erhaltene Röntgenspektrum kann durch zwei Schwarzkörperspektren mit den Temperaturen T₁=3 Millionen Kelvin und T₂=5.5 Millionen Kelvin erklärt werden. Die Radien der emittierenden Flächen R₁=2.9 km und R₂=0.5 km deuten daraufhin, dass die Strahlung nicht von der gesamten, sondern von einem begrenzten Bereich der Neutronensternoberfläche stammt. Für die mittlere Oberflächentemperatur des Sterns ergibt sich aus den XMM-Daten eine obere Grenze von $T_{\infty} \le 1.2$ Millionen Kelvin, die mit den Vorhersagen der Standardkühlungsmodelle vereinbar ist. Die aus ROSAT-Beobachtungen vermutete Rotationsperiode von 75.3 ms konnte mit XMM-Newton nicht bestätigt werden.

Der radio-leise isolierte Neutronenstern RX J0806.4-4123 wurde mit XMM-Newton und Chandra beobachtet. Die Daten der drei EPIC Instrumente erlaubten uns (i) eine verbesserte Röntgenposition mit einer Genauigkeit von 2-3 Bogensekunden abzuleiten, (ii) die ersten Spektren im weichen Röntgenbereich mit mittlerer Energieauflösung und hoher statistischer Qualität zu messen und (iii) eine mögliche Rotationsperiode für den Neutronenstern von 11.3714 s zu finden. Damit wäre der pulsierende Anteil von etwa 6% die schwächste von leuchtschwachen Neutronensternen bisher gemessene Modulation im Röntgenfluss. Die durch die Chandra Daten weiter reduzierte Unsicherheit in der Röntgenposition sollte empfindlichere Suche nach dem entsprechenden optischen Objekt ermöglichen.

The Einstein and ROSAT observatories have discovered a central compact X-ray point source in the ~3700 year old supernova remnant Puppis-A. The Xray spectrum of this putative neutron star was taken by XMM-Newton in April and November 2001. The spectrum can be modelled with two blackbody components of temperature T₁=3 million Kelvin and $T_2=5.5$ million Kelvin. The radii of the emitting areas are R₁=2.9 km and R₂=0.5 km, respectively, and suggest that the X-radiation is not from the whole neutron star surface but from small restricted areas. An upper limit for the whole surface temperature is $T_{\infty} \le 1.2$ million Kelvin which is still consistent with standard cooling models. A rotation period of 75.3 ms, as obtained 1998 from ROSAT data, could not be confirmed in the XMM-Newton data.

The radio-quiet isolated neutron star RX J0806.4-4123 was observed with XMM-Newton and Chandra. The data from the three EPIC instruments allowed us to (i) derive an improved X-ray position to an accuracy of 2-3 arcsec, (ii) accumulate the first medium-resolution soft X-ray spectra of high statistical quality and (iii) find a candidate for the neutron star rotation period of 11.3714 s. If confirmed the pulsed fraction of about 6% would be the weakest X-ray flux modulation detected from a dim isolated neutron star. The reduced size of the error circle on the X-ray position from the Chandra data should allow deeper searches for an optical counterpart.



XMM-Newton- und Chandra-Beobachtungen des Neutronen Sterns RX J1856.5-3754 ergeben, dass es sich hier um das Spektrum eines fast perfekten Schwarzkörpers mit einer Temperatur von 7.4x10⁵K (Abb. 2-24) handelt. Alle anderen klassischen Modelle für Neutronensternatmosphären können für dieses Objekt ausgeschlossen werden. Es konnte lediglich eine obere Grenze von 1.3% für periodische Variationen gefunden werden.

Abb. 2-25: Röntgenspektrum von 1E 1207.4-5209. Die mit Chandra gemessenen Daten wurden mit einem Schwarzkörperspektrum angeglichen. Die Residuen (mittleres Bild) zeigen zwei Absorptionslinien bei 0.7 und 1.4 keV, welche im unten dargestellten Spektrum berücksichtigt wurden. Damit werden die Messdaten gut wiedergegeben.

Fig. 2-25: Fit to the Chandra spectrum of 1E 1207.4-5209 with a blackbody model and its residuals (upper and middle panels). The same model with two absorption lines added (at 0.7 and 1.4 keV) nicely fits the data.

Im Januar 2000 und 2002 wurden mit Chandra zwei Beobachtungen der radio-ruhigen Zentralquelle im Supernovaüberrest PKS1209-51/52, (=1E 1207.4-5209) durchgeführt. Wir haben in dieser Quelle eine Rotationsperiode von 0.424 s mit zeitlicher Änderung $(0.7-3) \times 10^{-14} \text{ s} \text{ s}^{-1}$ entdeckt. Diese Parameter deuten auf ein Alter des Pulsars von ~0.2-1.6 10⁶ Jahren. Damit wäre der Pulsar sehr viel älter als der Supernovaüberrest, der auf ein Alter von ~10-20 103 Jahren geschätzt wird. Diese Diskrepanz könnte bedeuten, dass der Pulsar schon ungefähr mit der jetzigen Periode geboren wurde. Interessanterweise passt keines der üblichen Energiespektren (Potenzgesetz, Schwarzer Körper, oder Neutronensternatmosphäre aus leichten Elementen) zum gemessenen Spektrum von 1E 1207.4-5209; signifikante Abweichungen werden im Bereich 0.5-2.0 keV (Abb. 2-25) festgestellt. Die Abweichungen könnten mit zwei Absorptionslinien bei 0.7 und 1.4 keV erklärt werden. Diese erstmalige Entdeckung

Abb. 2-24: Zählraten Spektrum einer 505 ksec Chandra LETGS und einer 57 ksec XMM-Newton (EPICpn, -MOS and RGS) Beobachtung des isolierten Neutronen-Sterns RX J1856.5-3754. Ein Schwarzkörperstrahlungsspektrum mit einer Temperatur von 7.4x 10^{5} K erklärt die Messungen am besten.

Fig. 2-24: Count rate spectra of a 505 ksec Chandra LETGS and a 57 ksec XMM-Newton (EPIC-pn, -MOS and RGS) observation of the isolated neutron star RX J1856.5-3754. The best-fit spectrum is given by a single blackbody of temperature $7.4x10^{5}$ K.

For the neutron star RX J1856.5-3754, XMM-Newton and Chandra observations yield a nearly-perfect blackbody spectrum with a temperature of $7.4 \times 10^5 \text{K}$ (Fig. 2-24). All other classical neutron star atmosphere models can be ruled out. With all these data an upper limit of 1.3% could be found for periodic variations.



Two observations of the radio-quiet central source in the SNR PKS1209-51/52, (=1E 1207.4-5209) with Chandra in January 2000 and 2002 led to the discovery of a rotational period of 0.424 s and an estimate on the period derivative of $(0.7-3) \times 10^{-14}$ s s⁻¹. These parameters imply the pulsar's age of ~0.2-1.6 Myr, which is much larger than the estimated age of the SNR (~10-20 kyr). This discrepancy could be explained if the pulsar was born with an initial period close to the current one. The most intriguing result came from analysis of the spectral data: none of the smooth models (power law, blackbody or neutron star lightelement atmosphere) fits the detected X-ray spectrum of 1E 1207.4-5209. Significant deviations from the models are found in the 0.5-2.0 keV range (Fig. 2-25). The residuals can be modelled as two absorption features near 0.7 and 1.4 keV. This first discovery of absorption lines in the X-ray spectrum of an isolated neutron star has been later confirmed with an XMM-
von Absorptionslinien im Röntgenspektrum eines isolierten Neutronensterns wurde später mit einer XMM-Newton Messung bestätigt. Damit eröffnet sich die Möglichkeit, das Verhältnis von Masse zu Radius und das Magnetfeld dieses Pulsars direkt zu bestimmen, was besonders für die Zustandsgleichung der superdichten Materie im Innern des Sterns von Bedeutung ist.

Abb. 2-26: Falschfarbenbild der Zentralregion von M28 (rot: 0.2-1.0 keV; grün: 1.0-2.0 keV; blau: 2.0-10.0 keV). Der gestrichelt dargestellte Kreis entspricht dem Kernradius von M28.

Fig. 2-26: False colour image of the central region of M28 (red: 0.2-1.0 keV; green: 1.0-2.0 keV; blue: 2.0-10.0 keV). The pulsar PSR 1821-24 is indicated. The dashed circle corresponds to the core radius of M28.

ROSAT HRI Beobachtungen zeigten dass der Millisekundenpulsar PSR1821-24, der sich im Kugelsternhaufen M28 befindet, von ausgedehnter diffuser Röntgenemission umgeben ist. Unklar war ob diese Röntgenstrahlung von Hintergrundsquellen im Kugelsternhaufen stammt, oder durch eine Wechselwirkung des Pulsarwindes mit dem Interstellaren Medium in M28 erzeugt wird. Die hohe Winkelauflösung von Chandra erlaubte nun tatsächlich zum ersten Mal den Pulsar räumlich von benachbarten Röntgenquellen aufzulösen, so dass diese Daten nicht nur das erste unkontaminierte Röntgenspektrum des Pulsars lieferten sondern auch zeigten, dass die diffuse Röntgenstrahlung von Hintergrundsquellen in M28 stammte (Abb. 2-26). In einem Feld von 4 Bogenminuten um den Pulsar findet man 46 Röntgenquellen. Die hellste dieser Quellen, die zugleich das weichste Röntgenspektrum besitzt, konnte als Kandidat für einen Röntgendoppelstern niedriger Masse (LMXB) identifiziert werden. Die Quelle mit dem härtesten Röntgenspektrum ist der Millisekundenpulsar PSR 1821-24. Mehrere der anderen Quellen in M28 zeigen Anzeichen für Intensitätsschwankungen auf Zeitskalen von Stunden oder Wochen. Das Pulsarspektrum zeigt völlig unerwartet und zum ersten Mal bei einem Millisekundenpulsar ein Spektralmerkmal zwischen ~2.8-4.8 keV. Der Ursprung dieses Merkmals ist Gegenstand weiterer Untersuchungen. Interpretiert man es als Zyklotron-Resonanzlinie, müsste das Magnetfeld des Pulsars ca. 100 mal stärker sein als aus Radiodaten abgeschätzt.

Bei PSR J1617-5055 handelt es sich um einen 69ms Pulsar, dessen Röntgenstrahlung man aufgrund seiner räumlichen Nähe zum Supernovaüberrest RCW 103 bislang nicht sehr detailliert untersuchen konnte. Mit einem Abbremsalter von ca. 8000 Jahren gehört der Newton observation and provides an exciting opportunity to directly measure the mass-to-radius ratio and the magnetic field of this neutron star. Measuring the mass-to-radius ratio is particular important because it constrains the equation of state of the superdense matter in the star's interior.



ROSAT HRI observations have revealed extended and diffuse X-ray emission from the millisecond pulsar PSR1821-24 located in the globular cluster M28. Whether this emission was due to pulsar-wind interaction with the ISM in M28 or whether it was just due to unresolved globular cluster sources was the question of a Chandra observation. These data provide the first uncontaminated pulsar spectrum from PSR 1821-24 as Chandra allowed for the first time to resolve the pulsar from nearby sources seen in the ROSAT HRI. Fig. 2-26 shows the central region of M28 as seen by Chandra: 46 X-ray sources are detected in a field of 4 arcmin near the pulsar. The brightest source and the one with the softest spectrum is identified as a candidate low-mass X-ray binary (LMXB) whereas all the other sources turn out to have rather hard X-ray spectra. The source which emits the hardest X-rays is the millisecond pulsar PSR 1821-24. Several of the other sources are seen to be variable on time scales of hours to weeks. The pulsar spectrum shows for the first time an interesting and unexpected spectral feature between \sim 2.8-4.8 keV which is not seen in other sources. It's nature is not clear; but if it is interpreted in terms of electron cyclotron resonance emission it would mean that the pulsar magnetic field is 100 times stronger than what is expected from radio observations and the magnetic braking model.

A remarkable pulsar which up to now has not been studied in great detail at X-rays is the 69ms pulsar PSR J1617-5055 which is located near the supernova remnant RCW 103. An association between RCW 103 and PSR J1617-5055 was discussed but found to be

Pulsar jedoch zu den jüngsten rotationsgetriebenen Pulsaren. XMM beobachtete den Pulsar im September

Abb. 2-27: Röntgen- und Radiopulsprofile von PSR J1617-5055 wie man sie mit XMM und bei 1.4 GHz mit dem Parkes Radio Teleskop beobachtet. Zwei Pulszyklen sind dargestellt. Beide Profile zeigen eine auffallende Ähnlichkeit. Die Phasenausrichtung der beiden Profile ist aufgrund fehlender Phasenbeziehung willkürlich.

Fig. 2-27: X-ray and radio pulse profiles of PSR J1617-5055 as observed with XMM and at 1.4 GHz with the Parkes Radio Telescope. Two pulsation cycles are shown for clarity. Both profiles show a striking gross similarity. Profiles have been aligned arbitrarily due to the lack of accurate phase relation.

2001 und erlaubte zum ersten Mal eine detaillierte Untersuchung der mit der Rotation des Pulsars modulierten Röntgenstrahlung. Die Pulsformen im Röntgenbereich zeigen eine große Ähnlichkeit zu den im Radiobereich gefundenen, wonach man einen engen Zusammenhang der für die Röntgen- und Radiostrahlung verantwortlichen Emissionsmechanismen erwarten kann (Abb. 2-27). Der Crab-Pulsar ist der einzig bisher bekannte Pulsar bei dem die Pulsform der Röntgen- und Radiopulse so gut korreliert. Der sehr hohe Anteil von 53% gepulster Röntgenphotonen und das nicht-thermische Energiespektrum sind weitere Merkmale, die vermuten lassen, dass die Emission dieses Pulsars der des Crab-Pulsars wesentlich ähnlicher ist als bei vielen anderen jungen Neutronensternen.

Abb. 2-28: Lineare Polarisation des optischen Lichts vom Krebspulsar. Im oberen Bild ist der Polarisationsgrad (rot) und der Polarisationswinkel (blau) als Funktion der Rotationsphase dargestellt. Die optische Lichtkurve im unteren Bild soll zur Referenz auf die Emissionsstrukturen dienen. Die Strahlung wird als Synchrotronemission relativistischer Elektronen interpretiert, wobei der Grad und die Richtung der Polarisation der Magnetfeldgeometrie in den Emissionszonen der Pulsarmagnetosphäre folgen.

Fig. 2-28: Linear polarization of optical light from the Crab pulsar. The upper panel shows the degree of polarization (red) and the angle of polarization (blue) as a function of the rotational phase. The optical lightcurve shown in the lower panel serves as a phase reference for the components of optical emission. This radiation is interpreted as synchrotron emission from relativistic electrons. The degree and angle of polarization delineate the magnetic field geometry in the emission regions of the pulsar's magnetosphere.

Der Pulsar im Krebsnebel wurde mit dem schnellen Photometer OPTIMA im optischen Spektralbereich (450-950 nm) mit dem 3.6m Teleskop auf dem Calar Alto beobachtet. Die lineare Polarisation des Pulsars (Abb. 2-28) wurde in einer dreistündigen Messung mit unlikely. The spin-down age of the pulsar is ~8000 years, placing it among the youngest known rotation-



powered pulsars. PSR J1617-5055 was observed by XMM in September 2001. Most challenging are the pulsar's temporal emission properties which could be studied for the first time in greater detail. The X-ray pulses show a striking similarity with the radio pulses, suggesting a close correlation between the radio and X-ray emission mechanisms (Fig. 2-27). The Crabpulsar is the only other example for which this is observed with such clarity. The strong pulsed flux of 53% and the non-thermal power-law spectrum are other interesting indicators which suggests that this pulsar seems to be more similar to the Crab-pulsar than any other young neutron star.



The Crab pulsar and nebula were observed at 450-950 nm wavelength at the Calar Alto 3.6m telescope with MPE's fast-timing photometer OPTIMA, which is now equipped with a rotating polarization filter. The polarization characteristics of the Crab Pulsar (Fig.

bisher unerreichter Präzision und Auflösung bestimmt.

2-28) were derived from a 3 h exposure with an unprecedented precision and resolution.



Cyg X-1 ist das erste stellare System mit einem schwarzen Loch von dem nun Gamma-Emission bis zu Energien von 10 MeV nachgewiesen wurde (COMPTEL). Sein Spektrum im Bereich 1 keV bis 10 MeV (Abb. 2-29) kann charakterisiert werden durch zwei verschiedene Zustände, einen seltenen (10% der Zeit) mit hoher keV Leuchtkraft und hoher Akkretionsrate, und einen keV-leuchtschwachen mit niedriger Akkretionsrate. Aus COMPTEL Messungen ergibt sich nun eine Korrelation zwischen keV und MeV Leuchtkraft, die der bekannten keV-100 keV Antikorrelation entgegensteht. Unterschiedliche Akkretionsraten haben verschiedene Abstrahlungsgeometrien und Strahlungsmechanismen zur Folge. Global interpretiert man das Spektrum als Überlagerung von Schwarzkörperstrahlung (~keV), Compton-Streuung an thermischen und suprathermischen Elektronen, und Compton Reflektionsstrahlung. Der Ursprung der nichtthermischen Elektronen ist dabei unklar. Cyg X-1 Spektren scheinen für stellare Systeme mit einem schwarzen Loch charakteristisch zu sein, denn die Spektren der Systeme GRO J0422+32, GRS 1716-249, und GRO J1655-40 sind diesen ähnlich.

Schwarze Löcher / Black Holes

Abb. 2-29: Messungen des Compton Gamma-Observatorium haben das Hochenergie-Emissionsverhalten der beiden Zustände des Systems Cyg X-1 verdeutlicht, das wahrscheinlich ein schwarzes Loch enthält: Im "soft-high" Zustand hat die MeV Emission ein härteres Spektrum und ist oberhalb 1 MeV sogar intensiver als die durch ein steileres Potenzgesetz beschriebene MeV Emission im "soft-low" Zustand.

Fig. 2-29: The Compton Gamma-Ray Observatory measurements have clarified the high-energy behavior of the two states of the Cyg X-1 black-hole candidate: In the soft-high state, the MeV emission is harder and above 1 MeV even more intense than the steeper powerlaw obtained at MeV energies for the soft-low state.

Cyg X-1 is the first stellar BH-system from which γ ray emission has now been clearly detected up to 10 MeV, with the COMPTEL instrument. Its energy spectrum from ~1 keV to 10 MeV can be characterized by two different intensity states in the keV-range (Fig. 2-29). High keV-intensity (10% of the time) represents a state of a high accretion rate, low keVintensity one of low accretion rate. COMPTEL measurements now show that there is a direct correlation between the keV and MeV fluxes, in addition to the known anticorrelation between keV- and 100 keV flux. Different accretion rates incur different emission geometries and mechanisms, the overall spectra is interpreted as superposition of black body radiation (at keV-energies), Compton scattering of thermal and non-thermal electrons, and Compton reflection radiation. The origin of the non-thermal electrons (required above ~1 MeV) is not understood. Cyg X-1 spectra in its low and high intensity states seem to be typical for stellar black-hole systems. The spectra found from GRO J0422+32, GRS 1716-249, and GRO J1655-40 are consistent with the Cyg X-1 spectra up to the highest measured energies.

Supernovae / Supernovae

Abb. 2-30: Obere Grenzen für ⁵⁶Co Gammastrahlung von SN1998bu aus COMPTEL Die Messungen widersprechen den üblichen SNIa Modellen, insbesondere denen mit weit nach außen gemischter Radioaktivität. Anderseits wurden von der SN1991T eher höhere ⁵⁶Co Gamma-Intensitäten gemessen, als Modelle voraussagen (gestrichelt).

Fig. 2-30: COMPTEL upper limits for ⁵⁶Co gammarays from SN1998bu are in conflict with most SNIa models, in particular with well-mixed ones. On the other hand, the COMPTEL-derived flux of ⁵⁶Co gamma-rays from SN1991T (dashed) is on the bright side of model predictions.

Das bei der thermonuklearen Explosion eines weißen Zwergsterns frisch synthetisierte radioaktive ⁵⁶Ni liefert die Energie für die gesamte Abstrahlung von einer Supernovae vom Typ Ia. Obwohl SNIa empirisch als "Standard-Kerzen" bezeichnet werden, ist ihre deutli-



The production of radioactive ⁵⁶Ni during the thermonuclear explosion of a white dwarf powers the "light curve" of supernovae of type Ia across the electromagnetic spectrum. Although empirically calibrated as "standard candles", the apparent homogeneity of SNIa che Homogenität unverstanden. Gammastrahlung vom ⁵⁶Ni Zerfall (man erwartet $0.5 M_{\odot}$ ⁵⁶Ni) könnte die direkteste Messung dieser Energiequelle liefern und so komplexe Photonen-Transportmodelle ergänzen, die Zerfallsenergie in optische bis zu infraroten Photonen umrechnen. Mit dem Compton Observatorium konnten lediglich zwei hinreichend nahe SNIa beobachtet werden: SN1991T in NGC4527 in 13 Mpc Entfernung, und SN1998bu bei 11 Mpc.

Neue Auswertung der SN1991T Daten von COMP-TEL bestätigten nun das Gammasignal und eine eher hohe ⁵⁶Ni Masse von 1.65±0.9 M_☉; dabei sind die Unsicherheiten sowohl in der Messung als auch in der Objekt-Entfernung zu groß, um daraus auf die Modellklasse einer Verschmelzung zweier Zwergsterne zu schließen. Andererseits sollte SN1998bu nach Standardmodellen mit typischer ⁵⁶Ni-Menge ein deutlich messbares Gammasignal erzeugt haben, wurde aber von keinem der Teleskope auf dem Compton Observatorium trotz dreimonatiger Belichtung gesehen (Fig 2-30). Daraus muss man schließen, dass entweder die Durchmischung radioaktiver Elemente in der jungen SN-Hülle geringer ist als allgemein angenommen, oder dass unsere SN-Expansionsmodelle die Absorption von Gammastrahlung nicht korrekt wiedergeben. Es sollte jede künftige Gelegenheit für derartige SNIa Messungen wahrgenommen werden; INTEGRAL könnte innerhalb der geplanten Missionsdauer 1-2 solcher Gelegenheiten haben.

events is not understood. Gamma-rays from radioactive decay of the expected 0.5 M_{\odot} of ⁵⁶Ni could provide the most direct calibration of the SNIa energy source, complementing the complex photon transport Monte Carlo models which underlie spectral interpretations of optical to infrared emission. Two sufficiently-nearby SNIa could be observed with the Compton Observatory, SN1991T in NGC4527 at 13 Mpc, and SN1998bu in M96 at 11 Mpc.

Re-analysis of SN1991T confirms a rather large ⁵⁶Ni mass of 1.65±0.9 M_o; yet the uncertainty both in observed gamma-ray flux and distance of the host galaxy are too large to claim a model of two coalescing white dwarfs for this event from having produced more than a Chandrasekhar mass of ⁵⁶Ni. On the other hand, SN1998bu should have produced a detectable gammaray signal, if its ⁵⁶Ni yield were typical. The fact that none of the telescopes aboard the Compton Observatory has seen such emission (see our upper limits in Fig 2-30, derived from COMPTEL observations over more than 3 months) suggests that either ejecta mixing is much less than often assumed in models, or that our models of the expanding SN envelope are inadequate and do not even properly account for the evolution of gamma-ray opacity. Clearly, any opportunity for a sufficiently nearby SNIa must be taken to clarify this key aspect of SNIa; for INTEGRAL, only 1-2 chances may occur during its nominal mission lifetime.

[BECKER, BURWITZ, COLLMAR, DIEHL, GEORGII, IYU-DIN, KANBACH, KELLNER, LICHTI, SCHÖNFELDER, STEINLE, ZAVLIN]

2.2.4 Wechselwirkungen mit dem interstellaren Medium / Interaction with Interstellar Medium



Abb. 2-31: Links: [NeII] 12.8 µm Schmalbandaufnahme der UCHII-Region MonR2. Die waagrechte Linie gibt die Lage des Schnitts im rechten Diagramm wieder. Rechts: Orts/Geschwindigkeits-Schnitt für die [NeII]-Linie. Der Schnitt zeigt einen kompakten bipolaren Ausfluss am Ort der hellen Quelle sowie einen sich ausdehnenden Ring.

Fig. 2-31: Left: [NeII] 12.8 µm line flux distribution toward the UCHII region MonR2. The horizontal line shows the location of the cut in the right panel. Right: Position-velocity cut for the [NeII] line. The cut reveals the presence of a compact bipolar flow at the position of the bright source as well as an expanding ring.

Ultrakompakte HII-Regionen (UCHII) sind eine der am frühesten messbaren Erscheinungsformen massereicher Sterne (O oder frühes B). Diese Regionen sind Ultracompact HII (UCHII) regions are one of the earliest detectable manifestations of massive (O and early B) stars. These regions are hot (10^4 K) , small (<0.05

heiß (10⁴ K), klein (<0.05 pc) und dicht ($n_e > 10^4 - 10^5$ cm⁻³). Eines der größten Probleme in Bezug auf diese Objekte ist, dass es viel zu viele gibt, gegeben ihre kleinen "Querungszeiten" und die OB-Sternentstehungsrate in der Galaxis. Verschiedene Wege zur Lösung dieses anscheinenden Widerspruchs sind vorgeschlagen worden, die alle Vorhersagen über die Kinematik der UCHII-Regionen machen. Untersuchung der Kinematik dieser stark absorbierten Objekte mit Zentimeterwellen-Rekombinationslinien ist aber wegen der großen thermischen Linienbreite und der Schwäche der Linien schwierig. Die 12.8 µm [NeII]-Linie ist in UCHII-Regionen sehr hell und ihre thermische Linienbreite ~4.5mal kleiner als für Wasserstoff. Wir haben das TEXES-Mittelinfrarotspektrometer am NA-SA-IRTF benutzt, um Karten der UCHII-Region Mon R2 in [NeII] mit 2" und 4 km s⁻¹ Auflösung zu machen. Die Karten (Abb. 2-31) zeigen komplexe aber systematische kinematische Muster, die auf an der Ionisationsfront des Nebels entlangfließendes Material hindeuten. Wenn der Nebel eine ionisierte Strömung ist, kann er möglicherweise (für viele Querungszeiten) überleben.

Supernova-Überreste / Supernova Remnants

Nach einer Supernova-Explosion lässt sich die im Sterninneren fusionierte Materie beobachten. Physikalische Bedingungen vor und in der Explosion, sowie die Wechselwirkung der Explosionswelle mit der umgebenden Materie (Sternwind des Vorläufersterns und interstellares Medium) werden offenbar. Je nach Alter des Supernova-Überrests werden räumliche Bereiche von einigen AE (10^{13} cm) bis hin zu 300 Lichtjahren erschlossen.



Supernova SN1993J in M81 wurde seit ihrer Entdeckung mit ROSAT kontinuierlich überwacht und nun auch mit XMM-Newton beobachtet. Das Röntgenspektrum (Abb. 2-32) entspricht der Emission eines Plasmas mit zwei thermischen Komponenten unterschiedlicher Temperatur, die im Standardmodell dem Sternenwindmaterial und dem Sternmaterial zugeordnet werden. Allerdings widersprechen die in jeder Komponente gefundenen Elementhäufigkeiten dem Standardmodell: So findet sich das Eisen (Emissionslinie bei 6.7 keV) vornehmlich in der Hochtemperaturkomponente, wird aber als stellares Material wegen der geringeren Geschwindigkeit der einwärts laufenden Stosswelle in der kühleren Komponente erwartet.

pc) and dense ($n_e > 10^4 - 10^5$ cm⁻³). One of the greatest specific problems about these objects is that there are far too many of them, given their small "crossing times" and the OB star formation rate in the Galaxy. A variety of ways to resolve this apparent contradiction have been suggested, each of which makes predictions about the UCHII region kinematics. Probing the kinematics of these highly obscured objects with centimetre-wave recombination lines, however, is difficult both because of the large thermal width and the intrinsic weakness of the lines. The 12.8 µm [NeII] line emission from UCHII regions is very bright and the thermal width of the [NeII] line is ~4.5 times smaller than the hydrogen line width. We have used the TEXES mid-IR spectrograph on the NASA IRTF to make 2" and 4 km s⁻¹ resolution maps of the UCHII region MonR2 in [NeII]. The maps (Fig. 2-31) reveal complex but systematic kinematic patterns indicative of material flowing along the ionisation boundary of the nebula. If the nebula is an ionised flow, it can potentially survive (for many times the crossing time).

After a supernova explosion the matter created by fusion in the stellar interior can be observed. The physical conditions before and during the explosion as well as the interaction of the explosion wave with the ambient matter (stellar wind of the progenitor star and interstellar medium) become unravelled. Depending on the age of the supernova remnant spatial dimensions of a couple of AU (10^{13} cm) up to 300 light years can be explored.

Abb. 2-32: Röntgenspektrum der Supernova SN1993J. Die Messdaten sind schwarz eingezeichnet, das am besten passende Modellspektrum, das die Summe zweier Komponenten (grün und violett) ist, zeigt das rot gezeichnete Histogramm.

Fig. 2-32: X-ray spectrum of the Supernova SN1993J. The data points are drawn in black, the best-fit model spectrum, which is the sum of two components (green and purple), is shown by the histogram drawn in red.

Supernova SN1993J in M81 was monitored continuously since its discovery with ROSAT and now also observed with XMM-Newton. The X-ray spectrum (Fig. 2-32) corresponds to the emission of a plasma with two thermal components of different temperatures, which, in the standard model, are associated with stellar wind matter and stellar matter. However, element abundances found in each of the components are in contrast to the standard model. The iron (emission line at 6.7 keV) is found predominantly in the high temperature component, but being stellar matter it is expected in the cooler component because of the lower speed of the reverse shock wave. Furthermore the hotter component is photoelectrically more abZudem ist die heißere Komponente photoelektrisch höher absorbiert. Sie scheint also von weiter innen zu kommen. Nach dem Standardmodell sollte sie aber von der äußeren Stoßfront herrühren.



In der Nähe des Zentrums von RCW 103, einem ~2000 Jahre alten galaktischen Supernova-Überrest, befindet sich eine Punktquelle, die aufgrund von Chandra- und XMM-Newton-Messungen als akkretierendes Röntgendoppelsternsystem mit einem Neutronenstern erkannt worden ist. Im Tycho Überrest, der einer Supernova vom Typ Ia zugeschrieben wird, finden sich die Elemente vornehmlich in Schalen separiert, deren unterschiedliche Durchmesser mit steigendem Atomgewicht kleiner werden. Eine ähnliche Analyse zur räumlichen Anordnung der Elemente in RCW 103 unter Verwendung der XMM-Newton Röntgenspektren lässt diesen Aufbau nicht erkennen, was in Verbindung mit dem Neutronenstern eine Kernkollaps-Supernova nahe legt (Abb. 2-33).



Die Spektren der Vela Schrapnells A und E lassen auf eine Überhäufigkeit der schweren Elemente, insbesondere des Siliziums in Schrapnell A und Neon in Schrapnell E, schließen, wie sie nur im Sterninneren zu finden ist (Abb. 2-34). Elementhäufigkeitsverhältnisse von Sauerstoff und Magnesium jeweils relativ zu Neon, sowie Vergleiche mit Supernova Kernkollaps-Modellrechnungen deuten darauf hin, dass die Schrapnells aus der Gegend des Sterns stammen, der bei einem Massenradius von $5M_{\odot}$ liegt, was dem äußeren Bereich der Sauerstoffschale entspricht.

Im Südosten des Vela Supernova Überrests und überdeckt von ihm wurde mit ROSAT der Supernovasorbed. It appears to originate from regions deeper inside. But according to the standard model it is expected to be associated with the forward shock wave.

Abb. 2-33: MOS 1 Röntgenspektrum des Supernova Überrests RCW 103 mit den prominenten Emissionslinien von Ne, Mg, Si und S. Eingeblendet ist die Flächenhelligkeitsverteilung in jeder dieser vier Linien über den Überrest. Es zeichnen sich keine signifikanten Unterschiede ab, insbesondere hat der Überrest im Lichte aller vier Linien die gleiche Ausdehnung.

Fig. 2-33: MOS 1 X-ray spectrum of the supernova remnant RCW 103 with the prominent emission lines of Ne, Mg, Si and S. The insert shows the surface brightness distribution of each of these four lines across the remnant. There don't appear significant differences, in particular the extent of the remnant in the light of each of the lines is the same.

Close to the center of RCW 103, a galactic supernova remnant of ~2000 years age, a point source is present, which, based on Chandra and XMM-Newton measurements, has been identified as an accreting binary system with a neutron star. In the Tycho remnant, which is attributed to a supernova of type Ia, the elements are separated predominantly in shells, the diameters of which differ and decrease with increasing atomic number. A similar analysis concerning the spatial ordering of the elements in RCW 103 using the XMM-Newton X-ray spectra does not show a similar arrangement, which together with the presence of a neutron star favours a core-collapse supernova (Fig. 2-33).

Abb. 2-34: Die drei EPIC Röntgenspektren (pn schwarz, MOS 1 und MOS 2 - rot und grün) des Schrapnells E im Westen des Vela Supernova Überrests zusammen mit den bestpassenden Modellspektren, die als Histogramme eingezeichnet sind. Das Spektrum wird durch die Ne-K Linie bei 0.92 keV dominiert.

Fig. 2-34: The three EPIC X-ray spectra (pn - black, MOS 1 and MOS 2 - red and green) of shrapnel E in the west of the Vela supernova remnant together with best-fit model spectra which are drawn as histograms. The spectrum is dominated by the Ne-K line at 0.92 keV.

The spectra of the Vela shrapnels A and E imply an overabundance of heavy elements, in particular silicon in shrapnel A and Ne in shrapnel E, which can be found just in the interior of stars (Fig. 2-34). Element abundance ratios of oxygen and magnesium relative to Ne, as well as the comparison with supernova corecollapse model calculations indicate, that the shrapnels originate from regions in the star of a mass radius of $5M_{\odot}$, which corresponds to the outer zone of the oxygen shell.

In the south-east of the Vela supernova remnant but covered by it, the supernova remnant RX J0852.0-

Überrest RX J0852.0-4622 entdeckt. Aus der gleichen Richtung wurde mit COMPTEL auch Gamma-Emission von radioaktivem Titan gemessen. Die Röntgenemission ist am stärksten in einem schmalen kreisbogenförmigen Gebiet am nordwestlichen und südöstlichen Rand. Die Röntgenspektren der beiden Randgebiete deuten beide jeweils auf einen nicht-thermischen Emissionsprozess wie Synchrotronstrahlung.

Eine einzige, schwach angedeutete Linie bei 4 keV ist interessant. Ein direkter Bezug zu der mit COMPTEL gemessenen Ti-Linie scheint möglich. Mit weiteren Messungen (exakte Position und Breite der Röntgenlinie, mit dem Kalorimeter auf ASTRO E2 möglich; Bestätigung und Linienbreiten-Messung der Ti-Gamma-Linie mit INTEGRAL) könnten wir bedeutende Supernova-Diagnostik zu Geschwindigkeits-, Element- und Ionisations-Profil erhalten.

Die Lokale Blase, Loop I und das ISM / The Local Bubble, Loop I and the ISM

tion.

Nachdem wir eine OB Assoziation gefunden haben, die sehr wahrscheinlich für den Ursprung der Lokalen Blase (LB) verantwortlich ist (Untergruppe B1 der Pleiaden, s. Jahresbericht 2001), haben wir die zeitliche Entwicklung der LB detailliert untersucht. Dabei gehen wir davon aus, dass während der Bewegung von B1 (vor 15 Ma bis heute) durch das Gebiet, das jetzt von der LB ausgefüllt wird, diese durch etwa 20 sukzessive Supernova (SN) Explosionen entstanden ist. Der wesentliche Unterschied zu früheren Rechnungen besteht in der Beschreibung der Entwicklung der LB in einem realistischen Umgebungsmedium, das bereits 200 Ma lang durch Sternentstehung und SN-Aktivität (einzelne oder in Haufen) strukturiert wurde.



ture measurements (exact position and width of the Xray line, feasible with the calorimeter on ASTRO E2; confirmation and line width measurement of the titanium gamma-ray line with INTEGRAL) this remnant could provide important supernova diagnostics like velocity, element and lionization profiles. After having identified an OB association (subgroup B1 of the Pleiades moving group, in Annual Report 2001) probably responsible for the origin of the Local Bubble (LB), we have explored the time-dependent evolution of the LB in detail. This study is based on

4622 was discovered with ROSAT. From the same

direction also gamma-ray emission of radio-active ti-

tanium was measured with COMPTEL. The X-ray

emission is most pronounced in two narrow arc-

shaped regions at the northwest and southeast rims.

The X-ray spectra of the two rim regions suggest a

non-thermal emission process like synchrotron radia-

A single, fairly faint line at 4 keV is interesting. A di-

rect connection to the titanium gamma-ray line meas-

ured with COMPTEL appears to be possible. By fu-

the idea that as B1 passes through the region, now occupied by the LB, a local cavity is created by successive explosions of 20 supernovae (SNe) between 15 Myr ago and now. A major difference to previous studies is to follow the evolution of the LB in a realistic ambient interstellar medium (ISM). This entails a prior evolution of the Galactic ISM driven by star formation and SN explosions (random and clustered) for 200 Myr, before the LB is generated.

Abb. 2-35: Numerische Simulationen des lokalen ISM (Schnitt durch die galaktische Scheibe) mit 1.25 pc Auflösung; die Farbkodierung entspricht Teilchendichten zwischen 10^{-4} cm⁻³ (rot) und 10^{2} cm⁻³ (blau) nach 200 Ma Entwicklungszeit; 0.75 Ma später entsteht die Lokale Blase (s. Pfeil) durch die erste von 20 SNe aus einem Vorläuferstern mit 20 M_{\odot} bei x=220, $y = 400 \ pc.$

Fig. 2-35: Local ISM simulation (cut through the Galactic plane) at 1.25 pc resolution; the colour coding corresponds to the local density, ranging from 10⁻ cm^{-3} (red) to $10^2 cm^{-3}$ (blue) and represents the ISM after 200 Myr of evolution; 0.75 Myr later, the Local Bubble (s. arrow) is created by the first (out of 20) SN explosion of a 20 M_{\odot} star at x=220, y=400 pc.

Insgesamt explodierten etwa 20 Sterne mit Massen zwischen 10 und 20 M_{\odot} pro 6.5 10⁵ a bei x=220, y=400 pc (Abb. 2-35) und erzeugten dabei die LB. Die Simulationen wurden mit unserem 3D AMR Code (Multiblock-Struktur mit adaptiver Gitterverfeinerung) mit einer Auflösung von 1.25 pc durchgeführt. Die lokal erhöhte SN-Rate aufgrund des Haufens B1 führt zu einer kohärenten Struktur der LB inmitten eines massiv gestörten Umgebungsmediums aufgrund andau-

A total of 20 stars with masses between 10 and 20 M_{\odot} explode (at an average rate of $1/(6.5 \ 10^5 \ yr)$) at x=220, y=400 pc (Fig. 2-35) thus generating the LB. The simulations are based on our 3D parallel (multi-block structured) adaptive mesh refinement (AMR) scheme with the finest level resolution being 1.25 pc. The locally enhanced SN rate due to subgroup B1 produces a coherent LB structure within a highly disturbed background medium (due to ongoing star formation). Sucernder Sternentstehung. Aufeinanderfolgende Explosionen erhöhen die Temperatur und den Druck in der LB, die zunächst homogen erscheint. Nach ca. 8 Ma entstehen interne Strukturen und nach 13.5 Ma, nachdem 20 SNe stattgefunden haben, wird ein Volumen mit heißem Gas ausgefüllt, das dem der heute beobachteten LB entspricht.



Der Nordpolare Sporn ist ein Teil der dichten schockgeheizten Schale, welche die Loop I Superblase umschließt, und aufgrund ihrer geringen Entfernung von weniger als 100 pc die größte kohärente Struktur am Röntgen- und Radiohimmel darstellt. Der stellare Inhalt von Loop I, die sog. Sco-Cen-Assoziation, ist bekannt, und Abschätzungen, die auf einer Anfangsmassenverteilung (IMF) beruhen, deuten darauf hin, dass sich bis heute etwa 39 SNe ereignet haben. Wir haben deshalb Simulationen von der gemeinsamen Entwicklung von Loop I und der LB durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass es zu einer Kollision der beiden Blasen vor etwa 3 Ma gekommen sein muss, die zur Entstehung und zum Anwachsen von Rayleigh-Taylor-Instabilitäten geführt hat. Aus diesen haben sich Wölkchen gebildet, deren Größe mit unseren früheren analytischen Abschätzungen übereinstimmen (Abb. 2-36). Wir sagen vorher, dass die Wechselwirkungsschale in ca. 3 Ma fragmentieren wird, und in 10 Ma die beiden Blasen mit dem ISM verschmolzen sein werden.

cessive explosions heat and pressurize the LB, which at first looks smooth, but develops internal structure at ~8 Myr. After 13.5 Myr 20 SNe have occurred inside the LB, filling a volume roughly corresponding to the present day observed LB.

Abb. 2-36: Gemeinsame Entwicklung der Lokalen Blase (links) und der Loop I Superblase (rechts), die bei x=200 pc, y=400 pc, bzw. bei x=400 pc, y=400 pc ihren Ursprung haben, anhand numerischer Simulationsrechnungen nach t=13.5 Ma (d.h. heute), nachdem die letzte SN (von einem 10 M_{\odot}Vorläuferstern) in der LB stattgefunden hat.

Fig. 2-36: The Local Bubble (left), centred at x=200 pc, y=400 pc, and Loop I superbubble (right) originating at x=400 pc, y=400 pc (density distribution, same representation as in Fig. 2-35) at time t=13.5 Myr (i.e. today, after the last SN in the LB from a 10 M_{\odot} star occurred) after their joint evolution.

The North Polar Spur, which is the dense shock-heated part of the shell bounding the Loop I superbubble, is the largest coherent X-ray and radio structure in the sky, due to its proximity of less than 100 pc. The stellar content of Loop I, the Sco Cen association, is wellstudied, and estimates based on the initial mass function (IMF) suggest that about 39 supernovae (SNe) have occurred until to date. We have therefore simulated the expansion of the Loop I bubble jointly with the LB. Our results show that the collision of the two bubbles occurred about 3 Myr ago, inducing Rayleigh-Taylor instabilities, which at present have grown to generate cloudlets of various sizes, as has been predicted by us. Both bubbles are still bounded by shells (Fig. 2-36). We predict that in 3 Myr the interaction shell will start to fragment and break up, and in 10 Myr from now the bubbles will merge and eventually dissolve in the ISM.

Röntgenemission vom lokalen ISM / X-ray Emission from the Local ISM

Das lokale interstellare Medium (LISM) war Gegenstand einer Anzahl von dedizierten XMM-Newton-Beobachtungen. Das wissenschaftliche Ziel bestand in der Untersuchung der weichen Röntgenemission der Lokalen Blase (LB) und des galaktischen Halos. Der physikalische Zustand der LB wird durch Vergleich der Emission aus Sichtlinien in Richtung der absorbierenden Wolke ("on-cloud") und nahe vorbeigehenden Sichtlinien ("off-cloud") bestimmt. Erste Auswertungen von Daten der Ophiuchus-Molekülwolke (Abb. 2-37) zeigen, dass Plasmamodelle, die ein Stoßionisationsgleichgewicht voraussetzen bei solaren Häufigkeiten zu höheren Temperaturen (log(kT) ~0.14 \pm 0.02 The Local Interstellar Medium (LISM) has been the subject of a series of dedicated observations using the XMM-Newton X-ray observatory. The scientific goal of these observations was to study the diffuse soft X-ray emission of the Local Bubble (LB) and the Galactic Halo. We want to determine the physical state of the Local Bubble, by comparing the emission towards an opaque cloud ("on-cloud") with nearby sight lines close to the absorbing material ("off-cloud"). A first analysis of the Ophiuchus Molecular Cloud pointings (Fig. 2-37) shows that using plasma models in collisional ionization equilibrium with solar metallicies, leads to a local temperature higher (log(kT) ~0.14 \pm

keV) als dem kanonischen Wert von 106 K führen. Eine andere Möglichkeit die Daten zu fitten besteht in einer beträchtlichen Erniedrigung der Metallizitäten, was wir jedoch für unrealistisch halten, da es starke Indizien für einen Multi-Supernova-Ursprung der LB gibt (s. vorherigen Abschnitt). Demnach würde man eher super- als subsolare Häufigkeiten infolge chemischer Anreicherung erwarten. Das LB-Spektrum hat große Ähnlichkeiten mit dem des galaktischen Halos, während das der benachbarten Loop I Superblase wesentlich verschieden davon ist (wegen Temperaturen von mehr als 4x10⁶ K). Dies deutet darauf hin, dass der galaktische Halo eher durch die alte Lokale Blase als durch die aktive Loop I Superblase mit heißem Gas gespeist wird (in Form eines lokalen "Kamins").



Volumenfüllfaktor der ISM-Komponenten / Volume Filling Factor of the ISM Components

Die Verteilung des Gases im interstellaren Medium (ISM) und die Volumenfüllfaktoren fv der jeweiligen stabilen Phasen durch Modelle ab initio zu erklären ist seit über 30 Jahren ein ungelöstes Problem. Insbesondere für die heiße Phase wurde fv ~0.7-0.8 vorhergesagt. Beobachtungen aus unserer und externen Galaxien ergeben jedoch einen deutlich niedrigeren Wert von $f_V \sim 0.2$ -0.3. Wir konnten durch numerische Simulationen zeigen, dass die Expansion von Supernova-Überresten (SNRs) in einem durch Turbulenz stark gestörten Umgebungsmedium den Volumenfüllfaktor des heißen Gases auf die beobachteten Werte limitiert, selbst ohne starkes Magnetfeld (wie in früheren Arbeiten ad hoc postuliert wurde). Der Hauptgrund liegt im Transport von heißem Gas in den Halo, was zu einer galaktischen Fontäne führt. Das Simulationsvolumen betrug 1 kpc² zentriert auf die Sonne, und 10 kpc in beide Richtungen senkrecht zur Scheibe. Die Simulationszeit betrug 330 Ma und die höchste Auflösung 0.625 pc.

Die Simulationen geben viele der beobachteten ISM Charakteristiken wieder: (i) Eine dicke ausgefranste HI-Scheibe. (ii) Blasen und Superblasen, sowie deren Schalen. (iii) tunnelartige Strukturen ("Chimneys"). (iv) Eine HII-Scheibe mit einer Skalenhöhe von 1.5 kpc über der Scheibenebene. (v) Kaltes Gas, hauptsächlich konzentriert in Filamenten, und vor allem (vi) einen niedrigen Volumenfüllfaktor von ~0.2 für das heiße Gas (in Übereinstimmung mit Beobachtungen), das hauptsächlich in einem verbundenen Tunnelnetzwerk, sowie auch in einzelnen Blasen zu finden ist. Selbst eine Erhöhung der SN-Rate auf den bis zu

0.02 keV) than 10^6 K . Another way to fit the data is to substantially reduce the metallicities in the plasma, which we however consider as unrealistic, because there is evidence for a multi-supernova origin of the Local Bubble (s. previous section). Therefore rather super-solar than highly sub-solar metallicities are expected due to chemical enrichment. The Local Bubble spectrum appears very similar to the one of the Galactic Halo, whereas the spectrum of the neighbouring Loop-I superbubble is considerably different (due to temperature higher than 4×10^6 K). This may suggest that the lower Galactic Halo is fed by the Local Bubble (in the form of a local chimney) rather than by the more active Loop-I bubble.

Abb. 2-37: Aus Einzelbeobachtungen zusammengefügtes XMM-Newton EPIC-pn-Bild der Ophiuchus Molekülwolke im 0.5-0.9 keV Energieband. Die grünen Konturlinien geben die IRAS 100 µm-Emission wieder und zeigen deutlich die Antikorrelation zwischen Röntgenintensität und absorbierendem Material in der Molekülwolke.

Fig. 2-37: Merged set of XMM-Newton EPIC-pn images of the Ophiuchus Molecular Cloud in the 0.5-0.9 keV energy band. The green contours indicate the IRAS 100 µm emission and clearly show the anticorrelation between X-ray intensity and absorbing material in the molecular cloud.

The distribution of gas in the interstellar medium (ISM) and the volume filling factors, f_V , of the respective stable phases have been a problem for over 30 years. Theoretical models of the past have predicted f_V $\sim 0.7-0.8$ for the hot phase. This was never confirmed by observations in our and external galaxies, which point to values of $f_V \sim 0.2-0.3$ instead. We have shown by global ISM simulations that the expansion of supernova remnants (SNRs) in a highly disturbed background ISM, containing a substantial amount of turbulence, will limit the volume filling factor of the hot gas to the observed values, even without a strong magnetic field (as has been postulated ad hoc in previous works). A major reason is transport of hot gas into the halo, thereby driving a galactic fountain. The simulation grid has an area of 1 kpc², centred on the Sun, with a vertical extension between ± 10 kpc. The simulation time was 330 Myr and the finest level of resolution was 0.625 pc.

The simulations reproduce many of the observed ISM features: (i) A thick frothy HI gas disk. (ii) Bubbles and superbubbles and their shells. (iii) Tunnel-like structures (chimneys). (iv) A HII disk with a scale height of ~1.5 kpc above the midplane. (v) Cold gas mainly concentrated in filamentary structures. (vi) Most remarkably, the hot gas has a low volume filling factor of ~0.2, in agreement with observations and is mainly distributed in an interconnected tunnel network, and in some case it is confined to isolated bubbles. Even increasing the SN rate to two or four times the galactic rate, the hot gas filling factor never exfachen Wert ergibt nur einen Füllfaktor von 0.3 (Abb. 2-38), d.h. wesentlich geringer als bei bisherigen Vorhersagen, aber in Übereinstimmung mit Beobachtungen von externen Galaxien.

Abb. 2-38: Zeitliche Entwicklung der Volumenfüllfaktoren des ISM für $T \le 10^3$ K, $10^3 < T \le 10^4$ K, $10^4 < T \le 10^{5.5}$ K, $T > 10^{5.5}$ K Gastemperaturen der stabilen Phasen für eine Supernovarate, die doppelt so hoch wie in der Galaxis gewählt wurde.

Fig. 2-38: Time evolution of the volume filling factors of the ISM for $T \le 10^3$ K, $10^3 < T \le 10^4$ K, $10^4 < T \le 10^{5.5}$ K, $T > 10^{5.5}$ K gas temperatures of stable phases for a supernova rate being twice the Galactic value. ceeds 0.3 (Fig. 2-38), which is still way below previous theoretical predictions, but in agreement with observations of external galaxies.



2.2.5 Kosmische Strahlung / Cosmic Rays

Die Intensität kosmischer Strahlung in der Galaxis / The Cosmic-Ray Luminosity of the Galaxy

Vor kurzem erschien eine Abschätzung der Leuchtkraft unserer Galaxis in kosmischer Strahlung von 7x10⁴² erg s⁻¹, zwei Größenordnungen über dem akzeptierten Wert. Mit einem solchen Wert schieden Supernovae als Quellen kosmischer Strahlung aus. Aber man kann sich keine anderen Quellen plausibel vorstellen. Wir zeigten, dass die dieser neuen Abschätzung zugrundeliegenden Annahmen nicht gerechtfertigt sind (ein riesiger, bis 20 kpc oberhalb der Ebene reichender Halo kosmischer Strahlung mit konstanter Elektronen- und Ionendichte, und eine geringe Aufenthaltsdauer kosmischer Strahlung hierin), also exotische Quellmodelle für kosmische Strahlung nicht notwendig sind. A recent estimate of the cosmic ray luminosity of the Galaxy of $7x10^{42}$ erg s⁻¹ is two orders of magnitude higher than generally accepted. With such a high value supernovae would no longer be able to be the sources of cosmic rays. But no other objects in the Milky Way are known that could replace supernovae. We showed that the assumptions made in this estimate (a huge cosmic-ray halo of 20 kpc scale height above the plane, a constant cosmic-ray density of electrons and nuclei throughout the entire huge halo, and a small cosmic-ray life-time for this extended halo) are not justified, and that exotic models for the origin of Galactic cosmic rays are therefore not needed.

Kosmische Strahlung aus der lokalen Blase / Cosmic Rays from the Local Bubble

Die Energieabhängigkeit der Verhältnisse sekundärer zu primären Isotopen, z.B. Bor/Kohlenstoff, verringert sich bei niedriger Energie (<1 GeV/Nukleon) langsamer als erwartet. Dies wurde jüngst durch den Advanced Composition Explorer (ACE) bestätigt. Eine Standarderklärung ist eine diffusive Nachbeschleunigung im interstellaren Medium. Eine andere Möglichkeit ist, dass es lokale Quellen kosmischer Strahlung gibt, z.B. mit der Lokalen Blase assoziierte Supernovae. Lokale Quellen würden zum lokalen primären Spektrum beitragen, aber keinen Einfluss auf das sekundäre Spektrum haben (das über die gesamte Galaxis produziert wird), so dass ein lokal produziertes steiles Spektrum als Resultat die beobachtete Reduzierung des B/C Verhältnisses bewirkt. Zudem wird die Sekundärkomponente reduziert und B/C fällt weiter, weil das interstellare primäre Spektrum, das die sekundäre Kompo-

A long-standing problem in cosmic-ray astrophysics is the energy-dependence of ratios of secondary to primary isotopes, such as Boron/Carbon, which falls off at low energies (<1 GeV/nucleon) faster than expected. This has been confirmed by recent highprecision data from the Advanced Composition Explorer (ACE). One standard explanation is diffusive re-acceleration in the interstellar medium. Another possibility is that there are local sources of cosmicrays, associated for example with supernovae inside the Local Bubble. The local sources would contribute to the primary spectrum but have no effect on the secondaries (which are produced Galaxy-wide), so that if they produce a steep spectrum the result will be the observed low-energy fall-off in the B/C ratio. In addition, since the interstellar primary spectrum which produces the secondaries is lower at low energies, the

nente produziert, schwächer ist bei niedrigen Energien. Abb. 2-39 zeigt ein Modell dieser Art: das primäre Kohlenstoff-Spektrum aus galaktischer und lokaler Blase und das resultierende B/C Verhältnis. Wir können nun B/C und das sekundäre Antiproton-Spektrum im selben Ausbreitungsmodell erklären; das Beifügen einer lokalen Komponente ermöglicht eine konsistente Wiedergabe beider. Wir haben auch die Zusammensetzung der kosmischen Strahlung in der lokalen Blase berechnet, und sind zu dem Schluss gekommen, dass sie konsistent mit derjenigen normaler kosmischer Strahlung ist. Ein deutlicher Beitrag der lokalen Blase in der beobachteten kosmischen Strahlung ist wahrscheinlich; die Folgen sollten weiter erforscht werden. secondaries will be reduced, further reducing B/C. Fig. 2-39 shows a model of this type: the Galactic and Local Bubble primary Carbon spectrum, and the resulting B/C ratio. One motivation for this work was the difficulty to explain both the B/C ratio and the secondary antiproton spectrum in the same propagation model; including a local bubble component allows a consistent reproduction of both. We have also computed the cosmic-ray composition of the Local Bubble in such a model, and find that it is quite consistent with that of standard Galactic cosmic rays. Although this is still a hypothesis, it does seem very likely that a local bubble contribution is present in the observed cosmic rays, and the consequences should be investigated further.



Abb. 2-39: Links: Spektrum von Kohlenstoff der kosmischen Strahlung im Modell, mit galaktischem und lokalem Beitrag, im Vergleich zur Messung. Rechts: Beobachtetes und modelliertes Bor/Kohlenstoff Verhältnis, mit Beobachtungen von HEAO, Ulysses und ACE zum Vergleich.

Fig. 2-39: Left: Cosmic-ray Carbon spectrum in our model, with Galactic and local bubble contributions and the total, compared to the measured spectrum. Right: Observed and modelled Boron/Carbon ratio. Observations from HEAO, Ulysses and ACE are also shown.

Räumliche Verteilung von Supernova-Überresten / Spatial Distribution of Supernova Remnants

In den Stoßwellen von Supernovaüberresten (SNRs) können Teilchen auf relativistische Energien beschleunigt werden. Daher werden SNRs, zusammen mit Pulsaren, als die Hauptquellen der galaktischen Kosmischen Strahlung (CRs) betrachtet. Obwohl die Verteilung der SNRs in der Milchstraße ein Schlüsselelement zur Modellierung der CRs darstellt, wurden bisher lediglich radioselektierte SNRs untersucht. Da aber in den flussbegrenzten Stichproben ältere und weiter entfernte SNRs systematisch verloren gehen, haben wir eine Untersuchung der SNR-Verteilung in nahen Galaxien begonnen. Wir haben dazu die radiale Flächendichte von Röntgen- und Radio-SNRs in der Großen Magellanschen Wolke (LMC) und M33 analysiert. Im Röntgen-, und auch im Radiobereich stimmen die Flächendichten der SNR-Verteilung sehr gut miteinander überein, und zeigen beide einen exponentiellen Abfall mit zunehmendem Abstand vom galaktischen Zentrum. Die Ergebnisse wurden darüber hinaus mit den SNR-Verteilungen in den Spiralgalaxien M31

In the shock waves of supernova remnants (SNRs), particles can be accelerated to relativistic energies due to diffusive shock acceleration. Therefore, together with pulsars, SNRs are thought to be the primary sources of Galactic cosmic rays (CRs). Although the distribution of SNRs in the Milky Way is an important basis for modelling the distribution of the CRs and their Gamma-ray emission, only the distribution of radio selected SNRs in the Milky Way was studied in detail so far. Since in this flux limited sample, older and more distant remnants are missed systematically, we started a study of the SNR distribution in nearby galaxies in order to obtain important complementary information. We analysed the radial surface density of X-ray and radio SNRs in the Large Magellanic Cloud (LMC) and M33. Both in X-rays and in radio, the surface densities of the SNRs are in excellent agreement in both galaxies, showing an exponential decay in radius. The results were compared to the SNR distribution in the spiral galaxies M31 and NGC6946 as well.

und NGC6946 verglichen. Die radialen Skalenlängen der Verteilungen betragen ¹/₄ - ¹/₃ des optischen Galaxienradius (0.5·D25), in sehr guter Übereinstimmung mit den für die Milchstraße, die LMC und M33 erhaltenen Werten (Abb. 2-40). Daraus ersieht man, dass die SNR-Verteilung in nahen Galaxien ähnlich der in der Milchstraße ist, und sowohl die im Radio- als auch im Röntgenbereich detektierten SNRs als repräsentativ für die CR-Quellenverteilung in einer Galaxie angesehen werden können.



The radial scale length of the distribution is $\frac{1}{4} - \frac{1}{3}$ of the radius of the galaxies (0.5·D25), fully consistent with values derived for the Milky Way, the LMC, and M33 (Fig. 2-40). This shows that the SNR distribution in nearby galaxies is similar to that of the Milky Way, and that not only the radio SNRs, but also the X-ray detected SNRs are representative for the CR source distribution within a galaxy.

Abb. 2-40: Die Flächendichte der SNR-Verteilung als Funktion des auf den galaktischen Radius normierten galaktozentrischen Abstands (R: radioselektiert, X: röntgenselektiert) in halblogarithmischer Darstellung. Die Daten wurden mit einer Exponentialfunktion gefittet $f(x)=C \exp(x/R)$ und die besten Fitwerte für Normierungskonstante C und Skalenlänge R angegeben.

Fig. 2-40: The surface density of SNRs are plotted against the normalised radial distance to the galactic centres in logarithmic scale (R: radio selected, X: X-ray selected). An exponential function was fitted to the data $f(x)=C \exp(x/R)$, and the best fit values for normalisation C and scale length R are listed.

Evolutions-Effekte von Galaktischen Supernovae / Galactic-Supernovae Impacts on Earth

UV Strahlung vom Durchbruch des Explosionsschocks durch die Supernova-Hülle beeinflusst wahrscheinlich die Evolution von Leben auf Planeten, wenn eine kritische Grenze von ~600 erg cm⁻² überschritten wird. Solche Ereignisse treten etwa alle 10⁵ Jahre auf. Sie werden also die Mutationsraten beeinflussen, wobei Details von der Verteilung der Supernovae in der Galaxis und Absorption durch interstellaren Staub abhängen: die effektive Supernova-Bestrahlung ändert sich mit der Lage bezüglich der galaktischen Ebene. Unsere Simulationsrechnungen tragen diesem Effekt Rechnung, und nutzen plausible Modelle für Supernova- und Staubverteilungen. Allgemein wächst die Rate heller UV-Ereignisse mit der Höhe über der galaktischen Ebene bis zu einem Maximum bei etwa 300 pc, darüber dominiert der wachsende Abstand zu den Supernova-Ereignissen. Mit einer Oszillationshöhe von 100 pc ist der Effekt für die Sonne eher gering, für Planeten um Hochgeschwindigkeits-Sterne könnte die Dynamik allerdings eine Größenordnung betragen.

Radiation from the UV shock break-out in corecollapse supernovae probably affect the evolution of life on planets above a critical UV fluence of ~600 erg cm⁻². Rates of such irradiation events for the Earth are on the order of 1 per 10^5 y, hence will affect mutagenesis, details depend on distributions of supernovae and absorbing interstellar dust. The effective supernova exposure for the solar system changes, as the sun's height above the Galactic plane varies. Our Monte Carlo simulations for plausible supernova and dust distribution models take this effect into account. We show that in general the frequency of bright UV exposure events increases with height above the plane due to reduced dust absorption, reaching a maximum of twice the Galactic-plane position value at a height of about 300 pc; beyond this height the flux decrease with distance from the source dominates. The effect of oscillations about the Galactic plane therefore is small for the solar system, which can reach a height of about 100 pc, but would be up to one order of magnitude for planets around high-velocity stars.

Der extragalaktische Gammastrahlen-Hintergrund / Extragalactic Gamma Ray Background

Der extragalaktische Gammastrahlungs-Hintergrund (EGRB) ist von fundamentaler Bedeutung in der Hochenergie-Astrophysik. Seine Bestimmung hängt nicht nur von guten Messungen ab, sondern auch von The extragalactic gamma-ray background (EGRB) is of fundamental importance in high-energy astrophysics. Its determination depends not only on good measurements but also on a reliable model of the Galactic einem zuverlässigen Modell der galaktischen Vordergrundsemission. Diese haben wir mit unserem umfangreichen Modell der Ausbreitung kosmischer Strahlung und Gammastrahlung neu errechnet. Wir erkannten, dass die Emission von inverse-Compton Streuung in den galaktischen Halo wahrscheinlich unterschätzt worden war im Standard-Resultat des EGRET Experiments auf dem Compton-Observatorium. Wir haben deswegen das EGRET-Spektrum neu abgeleitet, indem wir unser Modell mit EGRET-Daten an Regionen fern von der galaktischen Ebene gefittet haben, wo beobachtete und vorausgesagte Gamma-Intensität in gutem linearem Verhältnis stehen. Der resultierende EGRB (Abb. 2-41) ist 1.5-fach niedriger bei 1 GeV, das Spektrum zeigt eine signifikante positive Krümmung im Vergleich zum Standard-Resultat, und ist nicht mehr mit einem Potenz-Gesetz verträglich. Dieses Verhalten ist eigentlich erwartet, wenn der Hintergrund von Blazaren erzeugt wird, wie man allgemein glaubt.

Abb. 2-41: Der extragalaktische Röntgen- und Gammastrahlungs-Hintergrund. Daten-Kompilation inklusive der hier beschriebenen neuen Bestimmung und das Standard-Spektrum aus EGRET-Messungen.

Fig. 2-41: Extragalactic X- and gamma-ray background. Compilation of data including the new determination reported here and the standard spectrum of the EGRET experiment.

foreground emission. We have used our extensive cosmic-ray propagation and gamma-ray model to obtain the best current representation of Galactic diffuse gamma rays, and this shows that the emission from inverse-Compton scattering of electrons in the Galactic halo was almost certainly underestimated in the standard derivation of the EGRB from the EGRET experiment on the Compton Observatory. We have therefore re-derived the EGRB spectrum by fitting our model to EGRET data in regions away from the Galactic plane, where there is a good linear relation between predicted and observed gamma-ray intensity. The resulting EGRB (Fig. 2-41, together with the previous standard spectrum and X-ray and gamma-ray data from other instruments) is about a factor 1.5 lower at 1 GeV, the spectrum exhibits significant positive curvature compared to the standard result, and is no longer compatible with a power-law. This is expected if the background originates in gamma-ray emission from blazars, as is generally believed.



Streuprozesse an interstellarem Staub / Scattering of Radiation on Interstellar Dust

Spektroskopie heller Röntgenquellen (z.B. Röntgendoppelsterne) hinter genügend dichten Säulentiefen interstellaren Staubs gestatten die Bestimmung der chemischen Zusammensetzung des interstellaren Mediums. Insbesondere kann durch die hohe spektrale Auflösung von Gitterspektrometern die Absorption durch feste Partikel von der durch Gase unterschieden werden.

Absorption an Staubpartikeln führen zu zusätzlichen Signaturen im Spektrum ("XAF"="X-ray absorption features") infolge von Vielfachstreuung der elektromatischen Welle an benachbarten Atomen. Allerdings beobachten wir XAFs nicht überall, so dass gegenwärtig nicht klar ist, ob ihre Existenz von den physikalischen und chemischen Eigenschaften der zirkumstellaren Materie abhängt oder von der Staubverteilung entlang der Sichtlinie. Bisher konnten wir XAFs klar in 3 Spektren von Quellen nahe des Galaktischen Zentrums (GX 5-1, GX 340+00, GRS 1915+105) entdecken. Abb. 2-42 zeigt, als Beispiel, die signifikante (4 σ) Detektion von XAFs, welche der 6.74 Å Silizium Absorptionskante im Spektrum von GX 5-1 überlagert sind. Spectroscopy of X-ray sources behind sufficiently dense interstellar dust layers, like X-ray binaries on the Galactic plane, can provide useful information on the chemistry and the abundances of the medium. In particular, thanks to the high spectral resolution of the X-ray observatories gratings, it is possible to distinguish the absorption by solid particles from that by gaseous matter.

Dust particles indeed imprint some extra absorption features ("XAF"="X-ray absorption features") due to multiple scattering of the electromagnetic wave with neighbouring atoms. Such features are not ubiquitous in this kind of sources and it is not clear at present whether this depends on particular physical-chemical conditions of the circumstellar environment, or finally on the distribution of the interstellar dust along the line of sight. So far we clearly detected them in 3 sources lying in the neighbourhood of the Galactic Centre (GX 5-1, GX 340+00, GRS 1915+105). As an example, in Fig. 2-42 the 4σ significance detection of such features superimposed on the Silicon edge at 6.74 Å of GX 5-1 is shown.



Im Gegensatz zu Beobachtungen im sichtbaren und UV-Bereich erlauben die Röntgenmessungen, beide Komponenten der interstellaren Extinktion (Streuung und Absorption) getrennt zu messen, und dies auch über größere Distanzen.

Abb. 2-42: Silizium-Absorptionskante bei 6.74Å im Spektrum von GX 5-1, beobachtet mit dem Chandra-HETG (High Energy Transmission Grating). Unterhalb der Kante sind spektrale Strukturen ("XAFs") erkennbar, die auf Absorption in festen Partikeln hindeuten.

Fig. 2-42: Si absorption edge at 6.74 Å detected by Chandra High Energy Grating in GX 5-1. The spectrum shows clearly some features (XAFs) below the edge due to absorption by solid particles (ID).

Unlike in the visual and UV region, in X-rays we can measure both components of interstellar extinction (scattering and absorption) separately and simultaneously, also over longer distances.

[ASCHENBACH, BECKER, BREITSCHWERDT, COSTAN-TINI, DIEHL, DOGIEL, FREYBERG, HARTMANN, IYUDIN, KRETSCHMER, MENDES, MOSKALENKO, PREDEHL, SASAKI, SCHAUDEL, SCHÖNFELDER, STRONG, ZIM-MERMANN]

2.3 GALAXIEN UND AGN / GALAXIES AND AGN

Normale, aktive und Starburst-Galaxien in unserer Nähe sind ideale Anschauungsobjekte zum Studium der Prozesse, die für die Galaxienentwicklung wichtig sind. Mit ihrer wissenschaftlichen Kompetenz und ihrer Fähigkeit, Instrumente zu entwickeln, die nahezu den gesamten Wellenlängenbereich überdecken - von den Gammastrahlen, den Röntgenstrahlen, dem nahen Infrarot bis hin zum Millimeterbereich - sind die Wissenschaftler am MPE in der einzigartigen Lage, diese Systeme über einen weiten Bereich von Größenskalen, morphologischen Typen und Aktivitätsgraden zu untersuchen. Im Jahr 2002 waren die Ergebnisse der extragalaktischen Forschung am MPE besonders faszinierend. Zwei der Ergebnisse wurden sogar durch die internationale Presse einem breiten Publikum bekannt (siehe das Titelbild dieser Ausgabe)! Wir wurden Zeuge eines spektakulären Ereignisses, als wir beobachteten, wie der Stern S2 in seinem Orbit um Sgr A* den nächsten Punkt seiner Bahn um das vermutete Schwarze Loch im Zentrum unserer Galaxie durchwanderte. Zu diesem Zeitpunkt bewegte er sich mit einer Geschwindigkeit von >5000 km s⁻¹ und war nur 17 Lichtstunden vom Schwarzen Loch entfernt. Mit dem Röntgen-Observatorium Chandra haben wir zum ersten Mal ein System von zwei Schwarzen Löchern im Zentrum einer Galaxie beobachtet: Das leuchtkräftige Merger-System NGC 6240. In diesem Kapitel stellen wir diese und die vielen anderen Highlights der aufregenden extragalaktischen Forschung vor, die wir im Jahr 2002 am MPE durchgeführt haben.

Nearby normal, starburst, and active galaxies provide the perfect laboratories for detailed investigation of the processes important for galaxy evolution. With the scientific expertise and instrument development capability spanning nearly the entire spectrum of wavelengths - from gamma-rays, X-rays, and near-IR through millimetre - scientists at MPE are in the unique position of being able to study these systems over a wide range of size scales, morphological type, and activity. This was a particularly fascinating year for extragalactic research at MPE, with two of our results making the international press (see the cover picture of this report)! We were witness to a spectacular event when we observed the bright stellar source S2, star closest to the putative black hole in our Galactic Centre (Sgr A*), as it passed through the pericentre of its orbit around Sgr A*. At this point it was moving at a velocity >5000 km s⁻¹, and was at a distance of only 17 light hours from the black hole. With the Chandra X-ray observatory we observed for the first time a binary black hole in one galaxy: the luminous merger system NGC 6240. In this chapter, we present these and the many other highlights from the exciting extragalactic research that we have undertaken in 2002 at MPE.

2.3.1 Das Galaktische Zentrum / The Galactic Center

Eine zentrale Standardhypothese der modernen Astronomie ist, dass super-massive schwarze Löcher von mehreren Millionen bis Milliarden Sonnenmassen in den Kernen beinahe aller Galaxien existieren. Im Zentrum unserer Heimatgalaxie, der Milchstraße, verbirgt sich eine rätselhafte Quelle von Radio- und Röntgenstrahlung, Sagittarius A* (Sgr A*), von der man seit langer Zeit glaubt, dass sie durch ein solches super-massives schwarzes Loch erzeugt wird. Radioastronomische Beobachtungen zeigen, dass sich Sgr A* exakt im Zentrum der Milchstraße befindet und relativ zu den Sternen in seiner Umgebung nicht bewegt. Dies bedeutet, dass Sgr A* eine Masse von wenigsten einigen tausend Sonnenmassen besitzt, welche in ein Volumen von weniger als 1 AE konzentriert ist. Dies macht Sgr A* zu einem vielversprechenden Kandidaten für ein super-massives schwarzes Loch.

Die Beobachtung der Eigenbewegungen und radialen Geschwindigkeiten der Sterne im zentralen Parsek um Sgr A* ist ein exzellentes Mittel, um die Form des Gravitationspotentials und den Konzentrationsgrad der dunklen Materie zu bestimmen. Die Infrarotgruppe am MPE führt ein solches Experiment mit Hilfe von hochauflösenden Nahinfrarot-Techniken seit 1991 aus. Wir konnten zeigen, dass das Gravitationspotential im A key assumption of modern astronomy is the standard paradigm that super-massive black holes of several million to several billion solar masses reside in the nuclei of almost all galaxies. Our home galaxy, the Milky Way, harbours an enigmatic radio and X-ray source, Sagittarius A* (Sgr A*), which has for a long time been suspected to be the manifestation of such a super-massive black hole. Radio observations show that Sgr A* is located precisely at the centre of the Milky Way and that it does not move relative to surrounding stars. These imply that Sgr A* has a mass of at least several thousand solar masses, concentrated in a volume of less than 1 AU, making it a prime supermassive black hole candidate.

A means for deriving the shape of the gravitational potential and the amount of concentration of the dark mass is to observe the proper motions and radial velocities of the stars in the central parsec around Sgr A*. The infrared group at MPE has carried out such an experiment since 1991, using high-resolution near-infrared imaging techniques. We have shown that the gravitational potential in the central parsec of the

zentralen Parsek der Milchstraße von einer Punktmasse von $2\text{-}3x10^6 M_{\odot}$ dominiert wird. Die wahrscheinlichste Konfiguration dieser dunklen Masse ist ein super-massives schwarzes Loch. Um jedoch andere mögliche Erklärungen für die beobachtete Massenkonzentration auszuschließen, mussten wir das Gravitationspotential in noch kleinerem Abstand zu Sgr A* vermessen, als es bis vor einigen Jahren möglich war. Neue Messungen mit der von MPIA und MPE gebauten Nahinfrarot-Kamera CONICA und dem adaptiven Optik System NAOS am VLT der ESO haben in dieser Hinsicht zu einem großen Durchbruch geführt (Abb. 2-43).



Um die Bewegungen von Sternen so genau und so nahe an Sgr A* wie möglich zu vermessen, benötigen wir die exakten astrometrischen Positionen der Sterne relativ zu diesem Kandidaten für ein schwarzes Loch. Zur Kalibrierung der Astrometrie benutzen wir die Positionen von SiO Maser Sternen im zentralen Haufen, die mit Hilfe von hochpräzisen Radiobeobachtungen gewonnen werden. Die Positionen der Maser relativ zu Sgr A* sind mit einer Genauigkeit von etwa einer Millibogensekunde bekannt. Im Gegensatz zu Sgr A* können diese Maser Sterne auch auf Infrarotbildern identifiziert werden.

Die Beobachtungen während der Testphase von NA-OS/CONICA im Frühjahr dieses Jahres führten zu einem großen Durchbruch in dieser Hinsicht: Das Gesichtsfeld von NACO ist ungefähr zweimal größer als das vergleichbarer Instrumente. Aus diesem Grund konnten wir im Vergleich zu früheren Beobachtungen mehr Masersterne benutzen, um die Infrarotbilder in das radioastrometrische System zu transformieren. Dadurch konnten wir Sgr A* mit einer Genauigkeit von ± 10 Millibogensekunden relativ zu den umgebenden Sternen positionieren.

Während weiterer Beobachtungen von Mai bis September 2002 wurden wir Zeugen eines spektakulären Ereignisses: Der helle Stern S2, der während dieser Zeit Sgr A* am nächsten war, durchlief das Perizentrum seiner Bahn um Sgr A*. S2 bewegte sich mit einer projizierten Geschwindigkeit von über 5000 km s⁻¹. Zusammen mit den Daten unseres Experiments Milky Way is dominated by a point mass of $2-3x10^{\circ}$ M_{\odot} . The most likely configuration of this central mass concentration is a super-massive black hole. However, in order to exclude possible alternative explanations for this massive concentration of dark matter in the Galactic Centre (GC), such as e.g. a neutrino ball or a dense cluster of dark astrophysical objects, we needed to probe the gravitational potential at even smaller distances to the black hole candidate Sgr A* than was possible a few years ago. New measurements obtained with the MPIA-MPE adaptive optics assisted camera CONICA on the ESO VLT have led to a major break-through in this regard (Fig. 2-43).

Abb. 2-43: Farbbild des Galaktischen Zentrums. Die Beobachtungen für dieses Bild wurden im September 2002 während des Tests von NAOS/CONICA (NACO) am ESO VLT Teleskop 4 (Yepun) in El Paranal, Chile, durchgeführt. Mit diesen Beobachtungen wurden die bisher qualitativ hochwertigsten Infrarot-Daten zum Galaktischen Zentrum gewonnen. Rot entspricht einer Wellenlänge von 3.8 μm, grün, von 2.2 μm und blau von 1.7 μm.

Fig. 2-43: Composite colour image of the GC stellar cluster. The observations for this image were taken in September 2002 during Science Verification of NAOS/CONICA (NACO) at the ESO VLT telescope 4 (Yepun) on El Paranal, Chile. These observations have provided the highest quality data on the GC up to date. Red corresponds to a wavelength of 3.8 μ m, green to 2.2 μ m and blue to 1.7 μ m.

To measure stellar motions as accurately and as close to the putative black hole as possible we have to obtain exact astrometric positioning of the stellar sources relative to Sgr A*.We obtain their positions via radio observations of SiO maser stars in the central stellar cluster. The maser positions relative to Sgr A* are known to milliarcsecond accuracy, and contrary to Sgr A*, they can also be observed in the near infrared.

We made a major breakthrough in measuring the stellar orbits this spring during the commissioning of NAOS/CONICA. The field-of-view of NACO is about twice as large as we had with previous observations, so that we had more masers for placing the infrared images with high precision onto the absolute radio astrometry frame, and could therefore place Sgr A* relative to the surrounding stars with an uncertainty of only ± 10 milliarcseconds.

We then witnessed a spectacular event in further observations from May until September 2002: the bright stellar source S2, during that period the star closest to Sgr A*, passed through the pericentre of its orbit around Sgr A*. At this point, it was moving at a velocity >5000 km s⁻¹. Combined with the ten years of proper motion data since 1992, the frequent observaseit 1992 ermöglichten es uns die häufigen diesjährigen Beobachtungen, einen eindeutigen Keplerschen Orbit für diesen Stern zu bestimmen (Abb. 2-44). Der Orbit hat eine Periode von 15.2 Jahren und eine große Halbachse von 5.5 Lichttagen. Aus diesen Parametern bestimmten wir eine Masse von $3.7\pm1.5\times10^6$ M_{\odot} für das zentrale Objekt. Die geringe Distanz des Perizentrums von Sgr A* (nur 17 Lichtstunden) bedeutet, dass die beobachtete dunkle Masse in einem Volumen konzentriert sein muss, das lediglich dreimal so groß ist wie unser Sonnensystem. tions of S2 this year enabled us to determine a unique Keplerian orbit for this star (Fig. 2-44). The orbit has a period of 15.2 years and a semi-major axis of 5.5 light days. From the orbital parameters we estimate that the mass of the central object is $3.7\pm1.5\times10^6$ M_{\odot}. The 17 light hour pericenter distance implies that the observed central dark mass has to be concentrated into a volume that corresponds to roughly three times the size of the Solar System.



Abb. 2-44: Zentraler Sternhaufen und Orbit von S2 um Sgr A^* . Das linke Bild zeigt einen Ausschnitt von $\sim 1x1^{"}$ des Sternhaufens in der Umgebung von Sgr A^* . Das rechte Bild zeigt den Orbit von S2 wie man ihn am Himmel projiziert beobachtet.

Fig. 2-44: Central cluster and orbit of S2 around Sgr A^* . The left panel shows a $\sim 1x1$ " field of the stellar cluster surrounding Sgr A^* . The orbit of S2 as seen in the plane of the sky is shown in the right hand panel.

Diese neuen Ergebnisse schließen mehrere Erklärungen aus, die für die zentrale dunkle Masse im Galaktischen Zentrum angeführt wurden. Wir können einen entarteten Ball aus massiven (10-20 keV) Neutrinos ausschließen, da die beobachtete Massenkonzentration eine Neutrinomasse von über 50 keV verlangen würde. Wir können auch einen hochkonzentrierten Haufen dunkler astrophyikalischer Objekte, wie Neutronensterne oder schwarze Löcher, ausschließen. Denn solch eine Konfiguration würde innerhalb weniger hunderttausend Jahre durch Verdampfung oder Kollisionen und Kollaps zerstört werden. Die einzige verbleibende Erklärung für die dunkle Masse, welche nicht ein schwarzes Loch ist, ist das hochspekulative Modell eines Balls aus massiven, schwach wechselwirkenden Bosonen (ein "Bosonenstern"), welcher fast genauso kompakt wäre wie ein schwarzes Loch. In diesem Fall wäre es jedoch schwierig zu verstehen, wie die Bosonen einerseits so eine kompakte Konfiguration einnehmen konnten, aber es andererseits vermeiden, durch Akkretion von Gas und Staub im Galaktischen Zentrum zu einem schwarzen Loch zu kollabieren.

Die Schlussfolgerung, dass ein super-massives schwarzes Loch im Zentrum unserer Milchstraße existiert, ist daher kaum zu vermeiden. Das Zentrum unserer Galaxie ist nun der bei weitem best belegte Fall für die Standardhypothese der Existenz schwarzer Löcher in Galaxienkernen. In Abb. 2-45 haben wir alle verfügbaren Beobachtungen zur dunklen Masse im

These new results from S2 make it possible to rule out several remaining alternative explanations as to the nature of the dark mass in the Galactic Centre. We can exclude a degenerate ball of massive (10-20 keV) neutrinos, because the observed mass concentration would imply a neutrino mass of more than 50 keV. We also exclude a highly concentrated cluster of dark astrophysical objects, like neutron stars or stellar mass black holes, since such a configuration would be destroyed by collisional collapse or evaporation within at most a few hundred thousand years. The only remaining non-black-hole explanation for the dark mass is the highly speculative model of a ball of massive weakly interacting bosons (a "boson-star"), which would be almost as compact as a black hole. However, in this case it is hard to explain how the bosons condense to such a configuration in the first place, and then avoid collapsing to a black hole through accretion of gas and dust in the Galactic Centre.

We thus conclude that the case for the existence of a super-massive black hole at the centre of the Milky Way is now nearly irrefutable. The Galactic Centre is now by far the best evidence we have for proving the "black hole" paradigm. In Fig. 2-45 we have combined all available observations to determine a best-fit black hole mass of $2.6\pm0.2\times10^6$ M_{\odot} for an assumed

Milchstraßenzentrum zusammengestellt. Bei einer angenommenen Distanz von 8 kpc zum Galaktischen Zentrum, ergibt sich ein bester Wert von $2.6\pm0.2 \times 10^6$ Mo. In den nächsten Jahren werden wir NACO benutzen, um die Wechselwirkungen des schwarzen Lochs mit seiner Umgebung detailliert zu untersuchen. Eines der wichtigsten Themen ist der Nachweis von Strahlung im nahen oder mittleren Infraroten, die aus dem Akkretionsfluss auf das schwarze Loch stammt. Andere wichtige Fragen beschäftigen sich mit dem zentralen Sternhaufen: Wie können wir die beobachteten Anisotropien in Teilen dieses Haufens verstehen? Wie wichtig sind Sternkollisionen für die Dynamik des Haufens, und beeinflussen diese die stellare Zusammensetzung? Was sind die Prozesse der Sternentstehung im Galaktischen Zentrum?

distance of 8 kpc to the Galactic Centre. In the next few years, we will use NACO for a detailed study of the interactions of the central black hole with its environment. A prime issue is to identify radiation from the accretion flow in the near- to mid-infrared wavebands. Other important questions concern the surrounding stellar cluster: How can we interpret the observed anisotropy of parts of the stellar cluster? How important are stellar collisions for the dynamics of the central cusp and do they influence the stellar content? What are the processes of star formation in the Galactic Centre?



Abb. 2-45: Eingeschlossene Masse gegen die Distanz zu Sgr A*. Die eingeschlossene Masse ist gegen die Distanz zu Sgr A* aufgetragen. Die verschiedenen Datenpunkte sind Schätzungen der Masse wie sie aus verschiedenen Analysen der Gasdynamik, radialer Geschwindigkeiten von Sternen und projizierter Bewegungen von Sternen gewonnen wurden. Der innerste Punkt (schwarzer gefüllter Kreis mit Fehlerbalken) ist der Wert, der sich aus Keplers drittem Gesetz und dem Orbit von S2 ergibt. Die beste Erklärung für die Daten liefert die Kombination von einer Punktmasse von 2.6x10⁶ M_o mit der Masse des sichtbaren Sternhaufens, wenn man für diesen eine zentrale Dichte von 3.9x10⁶ M_o/pc³ annimmt. (Diese Abbildung wurde veröffentlicht in Nature 419, 694, 2002).

Fig. 2-45: Enclosed mass against distance from Sgr A^* . The enclosed mass is plotted against the distance from Sgr A^* . The different data points are estimates of the mass derived from various analyses of gas dynamics, stellar radial velocities and stellar proper motions. The innermost point (black filled circle with error bars) is the value that results from Kepler's third law using the parameters of the orbit of S2. The best fit to all the available data results from the combination of a $2.6 \times 10^6 M_{\odot}$ point mass plus the visible stellar cluster with a central density of $3.9 \times 10^6 M_{\odot} pc^3$. (This Figure was published in Nature 419, 694, 2002.)

XMM-Newton beobachtete den Zentralbereich unserer Milchstraße im Februar 2002 für etwa 14 Stunden und im Oktober für weitere 4 Stunden. Zusammen stellt dies die bisher tiefste Röntgenbeobachtung des Galaktischen Zentrums bei Photonenenergien oberhalb von 6 keV dar (Abb. 2-46 und 2-47). Es zeigt sich, dass die Röntgenemission aus der Überlagerung unterschiedlichster Mechanismen zusammengesetzt ist: auf einer Skala, größer als das Bildfeld (23" Kantenlänge, dies entspricht etwa 50 pc bei einer angenommenen Entfernung von 8 kpc) dominiert eine sehr uniforme diffuse Strahlung, deren Ursprung aufgrund ihrer spektralen Eigenschaften kaum thermisch sein kann, wie früher einmal angenommen wurde. Diffuse Emission XMM-Newton observed the central region of our Milkyway for 14 hours in February 2002 and again for 4 hours in October 2002. Together these observations represent the deepest exposure of the Galactic Centre so far for photon energies above 6 keV (Fig. 2-46 and 2-47). We find that the X-ray image consists of different components. Rather uniform and diffuse emission dominates on scales larger than the field of view (its 23" diameter corresponds to about 50 pc at an assumed distance of 8 kpc). Due to its spectral properties, it is not likely to be of thermal origin, as assumed in the past. Rather, a low energy component of cosmic rays is likely responsible for this radiation. Another diffuse emission component is thermal (~0.9 keV)



thermischen Ursprungs (~0.9 keV) erstreckt sich vom Zentrum entlang der galaktischen Ebene in nordöstliche Richtung. Ihr Spektrum zeigt ausgeprägte Emissionslinien von Schwefel, Argon, Kalzium und Eisen. Auch senkrecht und symmetrisch zur Ebene sind zwei Gebiete zu erkennen, die aufgrund früherer Beobachtungen die Vermutung nahe legten, dass es sich bei ihnen um einen bipolaren Ausfluss handelt. Eingelagert sind einige Blasen deutlich heißeren Gases. Das hellste Objekt im Gesichtsfeld ist Sgr A Ost, vermutlich ein Supernova-Überrest. Sein Spektrum ist reich an schweren Elementen, vor allem Eisen und demonstriert so die Metall-Überhäufigkeit der Materie im Galaktischen Zentrum: Metalle sind etwa 3 mal häufiger als in der Sonnenumgebung. Eingebettet in Sgr A Ost

Abb. 2-47: Lichtkurve von Sgr A^* . Der Extraktionsradius um die Position von Sgr A^* beträgt 10". Der Helligkeitsausbruch ist mit 2600 s Dauer nur ein Drittel so lang wie ein früherer, von Chandra entdeckter, und doppelt so hell: Im Maximum wird eine Helligkeit von 2×10^{35} erg s⁻¹ erreicht, dies ist 100 mal mehr als die mit Chandra gemessene Ruheemission.

Fig. 2-47: Lightcurve of Sgr A^* . The extraction radius around the position of Sgr A^* is 10". The flare lasted about 2600 sec, a third of other flares previously detected with Chandra but twice as bright: The maximum brightness of 2×10^{35} erg s⁻¹ corresponds to more than 100 times of the quiescent emission, as measured with Chandra.

ist Sgr A*, das super-massive Schwarze Loch im Galaktischen Zentrum. Mit XMM-Newton können wir keine Punktquelle an seiner Position auflösen, so wie dies vorher bereits Chandra gelungen ist. Allerdings konnten wir in der zweiten Beobachtung einen ungewöhnlichen Helligkeitsausbruch sehen. Bereits mit Chandra waren solche Ausbrüche entdeckt worden: sie dauerten ca. 3 Stunden und zeigten eine Leuchtkraft $L_x \sim 10^{35}$ erg s⁻¹ auf. Der von uns entdeckte Flare ist lediglich eine Stunde lang, dafür aber im Maximum doppelt so hell. Diffuse Emission thermischen Ursprungs erstreckt sich vom Zentrum in nordöstliche Abb. 2-46: XMM-Newton Aufnahme des Galaktischen Zentrums. Rot kennzeichnet Röntgenphotonen mit Energien unterhalb von 1.5 keV, grün solche zwischen 1.5 und 4 keV, blaue oberhalb von 6 keV. Zusätzlich sind Bilder im Licht einzelner Spektrallinien überlagert, z.B. der 6.4 keV Linie von neutralem Eisen (türkis). Alle "roten" Objekte liegen im Vordergrund des Galaktischen Zentrums, die "blauen" im Hintergrund. Das ganze Gebiet ist in eine uniform diffuse Emission eingebettet (dunkelblau, 6.7 keV Eisenlinie).

Fig. 2-46: XMM-Newton image of the Galactic Centre. X-ray photons below 1.5 keV are red, between 1.5 and 4 keV are green, and above 6 keV are blue. In addition narrow band images within the light of individual spectral lines (e.g. 6.4 keV of neutral iron, magenta) are superimposed "red" objects lie in the foreground, "blue" objects are in the background. The hole region is embedded in a rather uniform diffuse emission (dark-blue, in the light of 6.7 keV helium-like iron).

and extends from the Centre along the galactic plane towards North-East. The spectrum shows prominent emission lines of sulphur, argon, calcium, and iron. Perpendicular and symmetrically to the galactic plane, there are two emission regions which supports earlier observations that there is a "bipolar outflow" from the Centre. Embedded are a few "blobs" with significantly higher temperature. Filaments of neutral iron K α radiation are superimposed on the diffuse, thermal emission. As origin for this fluorescent radiation it has been discussed in the past that Sgr A* had been much brighter several hundred years ago (L_x~10³⁹ erg s⁻¹ rather than at most 10³² erg s⁻¹, as observed today). The radiation impinged on the dense molecular clouds in the neighbourhood, was absorbed, and re-radiated



partly as iron-fluorescence. Due to the longer lightpath, this radiation is delayed with respect to the direct light coming from Sgr A*. The current XMM-Newton observations rule out this scenario, because we do not observe the required iron absorption edge at 7.1 keV. As an alternative, the iron lines are generated by the same sort of cosmic ray particles that give rise to the diffuse, non-thermal emission mentioned above. The brightest object within the field of view is Sgr A East, a putative supernova remnant. Its spectrum is rich in heavier elements (mainly iron) and demonstrates the enhanced metallicity of the matter in the Galactic Cen-

Richtung. In Filamenten ist ihr die Fluoreszenz neutralen Eisens überlagert. Für deren Erzeugung wurde bisher die Möglichkeit diskutiert, dass Sgr A* vor einigen Jahrhunderten sehr viel heller gewesen sein muss $(L_x \sim 10^{39} \text{erg s}^{-1} \text{ statt der maximal } 10^{32} \text{erg s}^{-1}, \text{ die man}$ heute beobachtet). Die Strahlung traf damals auf die dichten Molekülwolken in der Umgebung und regte die Fluoreszenzstrahlung an, die wir heute, wegen des verlängerten Lichtweges, verzögert sehen. Aufgrund der jetzigen XMM-Newton Beobachtung können wir dieses Szenario aber mit ziemlicher Sicherheit ausschließen: das Fluoreszenzspektrum entspricht eher dem einer klassischen Labor-Röntgenquelle, bei der energetische Teilchen auf ein Target auftreffen und dort Bremsstrahlung sowie charakteristische Linienstrahlung anregen.

tre: metals are about 3 times more abundant than in the vicinity of the sun. Sgr A*, the putative super-massive black hole in the Centre is embedded in Sgr A East and cannot be resolved by XMM-Newton. We did however, observe an unusually bright flare during the second observing run in October. Those flares had been observed with Chandra before: their duration was of the order of three hours, their peak luminosity was at $L_x \sim 10^{35}$ erg s⁻¹. The flare we observed lasted less than one hour but had a peak luminosity twice greater than the brightest flare detected with Chandra.

[GENZEL, LEHNERT, OTT, PORQUET, PRE-DEHL, SCHÖDEL]

2.3.2 Nahe normale Galaxien / Nearby Normal Galaxies

Galaxien der Lokalen Gruppe / Local Group Galaxies

Die Magellanschen Wolken (MW) sind Zwerggalaxien mit geringerer Metallizität als die Milchstraße. Sie sind daher ideal geeignet, die Rolle der Metallizität bei der Galaxienentwicklung zu studieren. Wir haben 5 gut untersuchte HII-Komplexe in der Großen und Kleinen Magellanschen Wolke (GMW und KMW) mit dem SEST Imaging Bolometer Array (SIMBA) bei einer Wellenlänge von 1.2 mm beobachtet. Das Ergebnis für eine dieser komplexen HII-Regionen, N4 im nordwestlichen Teil der GMW, stellen wir hier vor. Das ionisierte Gas, nachgewiesen durch die Ha-Emission, setzt sich aus zwei getrennten Wolken zusammen. Die hellere, N4A, bezieht ihre Energie von zwei jungen und massereichen, eingebetteten Sternen, während die schwächere Wolke N4B (ca. 30" nördlich von N4A) wahrscheinlich von einer schwächeren Quelle in ihrem Zentrum gespeist wird. CO-Beobachtungen des Komplexes belegen, dass das molekulare Ausgangsmaterial als Wolke vor dem ionisierten Gas liegt. Wir konnten Kontinuumsemission bei 1.2 mm, zentriert auf N4A, nachweisen. In Kombination mit IRAS-Daten konnten wir daraus die spektrale Energieverteilung der Quelle im Infraroten ableiten (Abb. 2-48). Anhand des Strahlungsverlaufs der beiden in der Abbildung gezeigten grauen Schwarzkörper lässt sich erkennen, dass eine zweite Komponente aus sehr kaltem Staub benötigt wird, um die Messdaten zu erklären. Wenn man von klassischen Staubmodellen ausgeht, ergibt sich eine Masse des kalten Staubes von 4x10⁶ M_☉. Dies ist um 2 Größenordnungen größer als die dynamische Masse, die sich aus CO-Messungen abschätzen lässt. Wir haben daher mögliche andere Beiträge zur Kontinuumsemission bei 1.2 mm in Betracht gezogen, wie etwa Beiträge von CO oder Frei-Frei-Emission. Beide reichen jedoch nicht aus, um den Überschuss an beobachteter 1.2mm-Strahlung zu erklären. Andere mögliche Ursachen sind: (1) Die H₂-Massen, die sich aus CO-Virialmassen ergeben, könnten erheblich unterschätzt sein. (2) Der Staub, der die Millimeterstrahlung dominiert, könnte eine wesentlich höhere Emissivität als derjeniThe Magellanic Clouds (MCs) are dwarf galaxies with metallicities lower than those in the Milky Way, and as such they provide an ideal laboratory to investigate the effects of metallicity on galaxy evolution. We have observed 5 well-studied HII complexes in the Large and Small Magellanic Clouds (LMC and SMC) at 1.2 mm with the SEST Imaging Bolometer Array (SIMBA). Here we present the results for a complex HII region in the northwest part of LMC, N4. The ionised gas traced by the H α emission is composed of two separate clouds. The brightest, N4A, is powered by two young and massive embedded stars, and the fainter N4B, (~30" north of N4A) is likely powered by a fainter situated in its centre. CO observations of the complex reveal that the parent molecular cloud lies in front of the ionised gas. We have detected 1.2 mm continuum emission centred on N4A. Combining this data with IRAS fluxes, we have constructed the IR SED of the source (Fig. 2-48). The grey black bodies shown in the figure clearly show that a second very cold dust component is necessary to fit FIR and 1.2 mm photometry. If a classical dust model is assumed, the resulting cold dust mass is 4×10^6 M_{\odot}, which is 2 orders of magnitude higher than the dynamical mass estimated from CO observations. We therefore estimated possible contributions to the observed 1.2 mm flux from sources other than dust emission, such as CO and free-free contributions. Both of these are insufficient to account for the observed 1.2 mm excess. however. Other possible explanations are: (1) The H_2 mass estimates (based on CO virial masses) are severely underestimated. (2) The dust emission dominating the millimetre emission has a much higher emissivity than that in galactic molecular clouds. (3) There could be a significant contribution from stochastically heated dust grains and molecules at 1.2 mm.

ge in galaktischen Molekülwolken haben. (3) Es könnte einen signifikanten Beitrag von stochastisch erhitzen Staubkörnern und Molekülen bei 1.2 mm geben.

Abb. 2-48: Spektrale Energieverteilung im IR- und Sub-mm-Bereich von N4 in der GMW. Zwei Grey-Body-Modelle sind gestrichelt dargestellt, die durchgezogene Linie markiert die Summe dieser Modelle. Diese Modellanpassung zeigt, dass – bei Annahme normaler Staubeigenschaften – eine sehr kalte Staubkomponente nötig ist, um die Sub-mm-Messung zu erklären.

Fig. 2-48: IR + sub-mm spectral energy distribution of N4 in the LMC in a 95" beam. Dashed lines represent 2 grey body models and the solid line is the sum. The fit shows that a very cold dust component is necessary to account for the sub-mm point (assuming a standard dust model).

Die detaillierte Untersuchung der Röntgenquellpopulation in den MW hat gezeigt, dass bei den massereichen Röntgendoppelsternen (HMXBs) der Milchstrasse oder GMW der Anteil mit einem Be Stern als Massespender 60-70% beträgt, in der KMW dagegen mehr als 90%. In XMM-Newton EPIC Beobachtungen haben wir 13 bekannte HMXBs und zwei neue Quellen entdeckt mit hartem Spektrum (XMMU J00 5735.7-721932 and XMMU J010030.2-722035), deren Position mit Emissionsliniensternen übereinstimmt und die wahrscheinlich auch Be Systeme sind. Für vier pulsierende HMXRBs konnten wir in den XMM-Newton Daten die Pulsationsperiode bestätigen und zwei weitere HMXB Kandidaten zeigen Pulsationen: XMMU J005605.2-722200 eine mit einer Periode von 140.1±0.2 s und RX J0057.8-7207 mit 152.34± 0.02 s (Abb. 2-49).





Detailed analyses of the X-ray source population in the MCs have shown, that in the Milky Way or LMC, the fraction of high mass X-ray binaries (HMXBs) with a Be star as mass donor star is 60-70%, whereas more than 90% of the HMXBs in the SMC are Be systems. In XMM-Newton EPIC observations, we detected 13 known HMXB sources, and discovered two new hard spectrum sources (XMMU J005735.7-721932 and XMMU J010030.2-722035) identified positionally with emission line stars. These sources are also probably Be systems. In addition to four known X-ray binary pulsars, for which we confirmed the pulse period in these XMM-Newton data, two other Be/X-ray binary candidates show pulsations: XMMU J005605.2-722200 with a pulse period of 140.1±0.2 s and RX J0057.8-7207 with 152.34±0.02 s (Fig. 2-49).

 $Log [\lambda (\mu n)]$

Abb. 2-49: Gefaltete Lichtkurve von RX J0057.8-7207 in den Energiebändern 0.3-2.0 und 2.0-10.0 keV. Zusätzlich werden Zählratenverhältnisse im hartem und weichen Band gezeigt.

Fig. 2-49: Folded light curves of RX J0057.8-7207 in the energy bands 0.3-2.0 and 2.0-10.0 keV. The hardness ratio is the ratio between the count rates in the harder and softer bands.

Die Röntgenspektren der schwachen Quellen können gut durch ein Potenzgesetz beschrieben werden. Für drei helle Quellen fanden wir jedoch einen klaren Überschuss im Spektrum bei niedrigen Energien. Es gibt Andeutungen von Emissionslinien im Spektrum, die auf thermische Emission mit Temperaturen von

Spectral analysis shows that for faint sources we obtained a good fit with a single power law spectrum. However, for three bright sources, we found that there is a low energy excess in the spectrum. The spectra indicate emission line features, suggesting that the emission is thermal. Modelling the soft component as

0.2-0.3 keV hinweisen.

Eine tiefe XMM-Newton Beobachtung eines GMW Feldes nahe des nördlichen Randes der übergroßen Schale (SGS) LMC 4 überdeckte drei bekannte HMXBs. Der Be/Röntgendoppelstern EXO 053109-6609.2 erlaubte als hellste Quelle im Feld eine detaillierte Untersuchung des Röntgenspektrums und Pulsprofiles. Während der Pulse werden die im Röntgenlicht strahlenden Gebiete bedeckt und zeigen erhöhte Absorption vor und nach der Bedeckung. Für RX J0529.8-6556 konnten wir die Periode von 69.2 s bestätigen und für XMMU J053011.2-655122 fanden wir eine mögliche Periode von 272 s, die es als vierten HMXB im beobachteten Feld vorschlagen.

Die KMW zeichnet sich durch ihre hohe Zahl an Be/Röntgendoppelsternen aus (sowohl in der Anzahl bezogen auf die Galaxiengröße wie auch verglichen zur Anzahl von HMXBs mit Überriesen oder Supernovaüberresten, SNRs). Dies deutet auf eine erhöhte Sternbildungsrate vor ca. 10⁷ Jahren hin (so lange dauert die Entwicklung eines massereichen Doppelsterns von der Entstehung bis zum HMXB). Die niedrigere Zahl der von jungen massereichen Sternen abstammenden Überriesen-HMXBs und Typ II SNRs deutet darauf hin, dass inzwischen die Sternbildungsrate abgenommen hat. Das untersuchte XMM-Newton GMW Feld und seine nahe Umgebung in der SGS LMC 4 ähneln der KMW bezüglich der räumlichen Dichte der HMXBs. Jedoch spricht die relativ große Zahl junger SNRs und das Überriesen HMXB System RX J0532.5-6551 für eine gleichmäßigere Sternbildungsrate während der letzten 10⁷ Jahren in diesem Teil der LMC 4 Region.

Abb. 2-50: Gemeinsames XMM-Newton 0.2-4.5 keV EPIC Bild der pn, MOS1 und MOS2 Daten von M33. Weiße Quadrate zeigen Quellen unseres ROSAT Katalogs. Die optische Ausdehnung von M33 wird durch die schwarze D_{25} Ellipse angedeutet, Extraktionsgebiete für Abb. 2-51 durch schwarze Rechtecke.

Fig. 2-50: XMM-Newton 0.2-4.5 keV EPIC image of M33 combining PN, MOS1 and MOS2 data. White squares indicate sources from our ROSAT catalogue. The optical extent of M33 is marked by the black D₂₅ ellipse, extractions areas for Fig. 2-51 as black boxes.

thermal emission yields temperatures of 0.2-0.3 keV.

Three known HMXBs were covered by a deep XMM-Newton observation of a field in the LMC near the northern rim of the super-giant shell (SGS) LMC 4. The Be/X-ray binary EXO 053109-6609.2 is the brightest source in the field, enabling a detailed analysis of its X-ray spectrum and pulse profile. During the pulse, EXO 053109-6609.2 shows eclipses of the Xray emitting areas with increased photoelectric absorption before and after the eclipse. We confirmed the detection of X-ray pulsations with a period of 69.2 s in RX J0529.8-6556 and a tentative pulsation period of 272 s in XMMU J053011.2-655122, suggesting that it is a fourth HMXB system in the observed field.

The SMC is peculiar in its high number of Be/X-ray binaries (both in absolute terms given the size of the galaxy and relative to the number of supergiant HMXBs and SNRs), which may indicate an increased star formation rate about 10⁷ years ago (the elapsed time between the formation of a massive binary and its evolution into a HMXB). The star formation rate must have declined since then as indicated by the lower number of descendants of young massive stars like supergiant HMXBs and type-II SNRs. With respect to the space density of HMXBs the observed XMM-Newton LMC field and its close neighbourhood in the northern area of the SGS LMC 4 are similar to that of the SMC. However, the existence of a relatively high number of younger SNRs and the super-giant HMXB system RX J0532.5-6551 is consistent with a more constant star formation rate over the last 10⁷ years in this part of the LMC 4 region.



Die in der Aufsicht gesehene Spiralgalaxie M33 ist die zweitgrößte Nachbargalaxie in der lokalen Gruppe und wegen ihrer scheinbaren Größe und Entfernung gut für Röntgenquellpopulationstudien mit XMM-Newton geeignet. Innerhalb des MPE garantierten Zeit Programms haben wir M33 in 15 Pointierungen beobachtet und mehr als 400 Punktquellen bis zu einer minimalen Leuchtkraft von 10^{35} erg s⁻¹ (mehr als einen Faktor 10 unterhalb der Grenzleuchtkraft früherer ROSAT Beobachtungen) innerhalb der optischen Ausdehnung der Galaxie entdeckt (Abb. 2-50). Mit Hilfe von EPIC Spektren und Zählratenverhältnissen The face-on spiral galaxy M33 is the second largest neighbour of the Milky Way in the Local Group, and due to its apparent size and distance is well suited for X-ray source population studies with XMM-Newton. As part of the MPE guaranteed time program we observed M33 in fifteen pointings. We have homogeneously detected >400 point-like sources within the optical extent of the galaxy down to a luminosity of 10^{35} erg s⁻¹ – more than a factor of 10 deeper than previous ROSAT observations (Fig. 2-50). We use EPIC spectra and hardness ratios to distinguish among different source types such as supernova remnants, super-

können wir zwischen verschiedenen Quelltypen wie SNRs, extrem weichen Quellen (SSSs), Röntgendoppelsternen (XRBs), Vordergrundsternen und aktiven galaktischen Kernen im Hintergrund unterscheiden. Die nahe dem Zentrum von M33 gelegene Quelle X8 ist die hellste ständig sichtbare Röntgenquelle in der Lokalen Gruppe und zeigt Röntgenspektrum und Zeitvariabilität, wie sie von einem HMXB mit einem schwarzen Loch erwartet werden. Wir konnten die 3.45 d Bahnlichtkurve des bedeckenden XRB X7 bestätigen, haben eine SSS in M33 im Ausbruch entdeckt und eindeutig diffuse Röntgenemission im 0.5-1.0 keV Band von der inneren Scheibe und den Spiralarmen nachgewiesen (Abb. 2-51).

Abb. 2-51: XMM-Newton EPIC pn Emissionsprofile integriert entlang der kleinen Achse von M33 (0.5-1.0 keV, durchgezogen; 1.0-2.0 keV, gepunktet; 2.0-4.5 keV, gestrichelt). Die Profile der härteren Bänder stimmen überein und werden von Punktquellen bestimmt. Das Profil im weichen Band zeigt Überschussstrahlung von heißem Gas in der inneren Scheibe.

Fig. 2-51: XMM-Newton EPIC PN emission profiles along the minor axes in the (0.5-1.0; solid line), (1.0-2.0; dotted line), (2.0-4.5; dashed line) keV band. The hard band profiles coincide and are determined by point sources. The soft band profile shows excess emission due to hot gas in the inner disk. soft sources (SSSs), X-ray binaries (XRBs), foreground stars and background active galactic nuclei. The source X8 close to the centre of M33 is the most luminous persistent X-ray source in the Local Group. The X-ray spectrum and time variability of X8 is reminiscent of a massive black hole X-ray binary HMXB. We confirmed the 3.45 day orbital light curve of the eclipsing X-ray binary X7, detected a transient super-soft source in M33, and clearly detect diffuse Xray emission in the 0.5-1.0 keV band from the inner disk and spiral arms (Fig. 2-51).



Kinematik und stellare Populationen von Frühtyp Zwerggalaxien / Kinematics and Stellar Populations of Early-Type Dwarf Galaxies

Obwohl Zwerggalaxien bei weitem zahlreicher sind als normale Galaxien, ist unser Wissen über die Kinematik und die stellaren Populationen dieser Objekte immer noch sehr gering. Im Rahmen der hierarchischen Galaxienentstehung spielen Zwerggalaxien eine wichtige Rolle, da sie die Saatkörner für die die Entstehung größerer Galaxien sein könnten. Es ist jedoch bisher nicht klar, ob Zwerggalaxien mit normalen Galaxien überhaupt in direktem Zusammenhang stehen, oder ob sie eine eigene Galaxienfamilie bilden. Die beobachtete Kontinuität bzgl. mittlerer Radien und Oberflächenhelligkeiten spricht gegen, die deutlichen Unterschiede ihrer zentralen Eigenschaften dagegen sprechen für die Existenz einer Dichotomie zwischen Zwerg- und normalen Galaxien. Sind die heutigen Zwergellipsen die fossilen Bausteine von größeren Galaxien? Wir versuchen diese Frage zu klären, indem wir Zwerggalaxien sowohl in Hinblick auf ihre Kinematik als auch auf die Eigenschaften ihrer stellaren Populationen, d.h. chemische Elementhäufigkeiten, analysieren.

Während zahlreicher Beobachtungen zwischen 1995 und 2001 haben wir mit dem TWIN Spektrographen des 3.5m Teleskops auf dem Calar Alto (Spanien) Spektren von 17 elliptischen Zwerggalaxien aufgenommen. Die Spektren decken den Wellenlängenbereich 4800 bis 5400 Å ab, mit einer spektralen Auflösung von ca. 30 km s⁻¹. Die Geschwindigkeitsverteilung entlang der Sichtlinie wurde mit der sogenannten "Fourier-Correlation-Quotient" Methode anhand der Mg Triplet Linie bei 5175 Å bestimmt. Von den Lick

Although dwarf galaxies are by far more abundant than giant galaxies, our knowledge of the kinematics and stellar population properties of these objects is still very poor. In the framework of hierarchical clustering dwarf galaxies play an important role as they may be the seeds for the formation of larger galaxies. It is still not clear, however, whether dwarf elliptical galaxies are related to giant ellipticals or form a separate family. Continuity with respect to mean radii and surface brightnesses are arguments against, the vast differences in core properties, instead, support the existence of a dichotomy between dwarf and giant ellipticals. Are the present-day dwarf ellipticals the fossilled building blocks of giant ellipticals? We aim to address these questions via a detailed spectroscopic analysis of the internal kinematic structure and the stellar population properties, i.e. metallicities and element abundance ratios, of dwarf early-type galaxies.

In several observing runs (1995 to 2002) we used the TWIN spectrograph at the 3.5m telescope on Calar Alto Observatory (Spain) to take long-slit (along the major axis) spectra of 17 dwarf early-type galaxies in the Virgo cluster and in the field. Covering the wavelength range 4800 to 5400 Å, we obtained a spectral resolution $\sigma \sim 30$ km s⁻¹. We determined line-of-sight velocity distributions from the Mg triplet near 5175 Å with the Fourier-Correlation-Quotient method and carefully tested with Monte Carlo simulations. From

Keine der 14 elliptischen Zwerggalaxien weist signifikante Rotation auf. Damit bestätigen wir für dieses deutlich größere Datensample unser ursprüngliches Ergebnis, dass elliptische Zwerggalaxien anisotrop sind. Die 3 Zwerg S0 Galaxien zeigen dagegen klare Anzeichen von Rotation. Ihre Abflachung ist jedoch so stark, dass diese Galaxien neben der Rotation dennoch auch eine leicht anisotrope Geschwindigkeitsverteilung haben müssen. Mit dem Fehlen von Rotation unterscheiden sich die elliptischen Zwerggalaxien klar von den normalen leuchtschwachen Galaxien. Zwerggalaxien und normale Galaxien gehören offensichtlich unterschiedlichen Familien an.

Abb. 2-52: Geschwindigkeitsdispersion, Metallizität und Elementverhältnis α /Fe als Funktion von blauer absoluter Helligkeit. Die roten Quadrate sind die Zwerggalaxien dieser Arbeit. Grüne Quadrate sind die Zwerggalaxien von Gorgas et al. (1997), offene Kreise die Zwerggalaxien der Lokalen Gruppe aus der Zusammenstellung von Mateo (1998). Normale Galaxien (gefüllte Kreise) sind von Mehlert et al. (2003) und Beuing et al. (2002).

Fig. 2-52: Velocity dispersion, total metallicity and element abundance ratio α /Fe as functions of absolute blue luminosity. Filled squares are the dwarf earlytype galaxies of this work. Open squares are dwarf galaxies from Gorgas et al. (1997). Open circles are Local Group dwarf spheroidals from the compilation of Mateo (1998). Giant ellipticals (filled circles) are from Mehlert et al. (2003) and Beuing et al. (2002).

In Abb. 2-52 sind Geschwindigkeitsdispersion, Metallizität und das α /Fe Element-Verhältnis gegen absolute blaue Leuchtkraft aufgetragen. Unsere Daten, die den Bereich -14>M_B>-19 abdecken, füllen die Lücke zwischen den Zwerggalaxien der Lokalen Gruppe und normalen elliptischen Galaxien. Es stellt sich heraus, dass elliptische Galaxien einer überraschend gut definierten linearen Korrelation zwischen Leuchtkraft und Metallizität über 14 Größenordnungen hinweg folgen. Dieses Ergebnis lässt darauf schließen, dass der Anteil von interstellarer Materie, die in Sterne umgewandelt wird, stetig mit der Masse des Objektes und der Tiefe seines Potentialwalls zunimmt. Je kleiner eine Galaxie, desto größer ist der Anteil an interstellarer Materie, den sie in galaktischen Winden verliert.

Der genaue Prozess der chemischen Anreicherung, insbesondere die Aufteilung zwischen Typ II und Typ Ia Supernova (die wiederum das α /Fe Verhältnis bestimmt), hingegen, scheint sehr unterschiedlich in Zwerg- und normalen Galaxien zu sein. Das Sample von Zwerggalaxien weist eine deutlich größere Streuthe Lick absorption-line indices H β , Mgb, Fe5270, and Fe5335 we derive average ages, total metallicities Z/H, and α /Fe ratios based on our own stellar population models.

None of our 14 sample dwarf ellipticals shows significant rotation. We therefore confirm for a significantly larger sample our result of 10 years ago that dwarf elliptical galaxies are anisotropic. The 3 dwarf lenticulars, instead, show clear signs of rotation. Note that, still, the latter are not fully flattened by rotation, as the anisotropy parameter $(v/\sigma)^* \sim 0.7$. The absence of significant rotation sets the clear distinction from "normal" low-luminosity ellipticals. Dwarf and giant elliptical galaxies apparently belong to form separate families.



In Fig. 2-52 we plot velocity dispersion, total metallicity and α /Fe abundance ratio as functions of absolute blue luminosity. Our data covering -14>M_B>-19 nicely fill the gap between the Local Group dwarf spheroidals and giant elliptical galaxies. We find that ellipticals follow a surprisingly well-defined linear correlation between absolute magnitude and metallicity over 14 orders of magnitude. This result suggests that the gas fraction turned into stars, i.e. the efficiency of star formation, which determines the metallicity, steadily increases with increasing mass and potential well of the object. Hence, the smaller the galaxy, the larger the gas fraction it loses through a galactic wind.

The detailed chemical enrichment process, in particular the partition between Type II and Type Ia supernovae constrained by the α /Fe ratio, instead, seems to be very different in dwarf and giant ellipticals. The dwarf galaxy sample exhibits a large scatter in α /Fe, with a median value of [α /Fe]=0, which is well below the ung in α /Fe auf. Der Median liegt bei [α /Fe]=0, ein Wert der weit unter dem typischen α /Fe von normalen Galaxien liegt. Diese relativ niedrigen α /Fe Verhältnisse stimmen mit den Elementhäufigkeiten von Einzelsternen in Zwerggalaxien der Lokalen Gruppe gut überein. Mit unserem verhältnismäßig großem Datensample, das insbesondere auch schwächere Objekte mit einschließt, bekräftigen wir die frühere Feststellung, dass eine Dichotomie zwischen Zwerg- und normalen Galaxien auch bzgl. der stellaren Populationen existiert. Die heutigen elliptischen Zwerggalaxien können demnach nicht die fossilen Bausteine von normalen Galaxien sein. typical α /Fe of giant elliptical galaxies. These relatively low average α /Fe ratios found here are consistent with the abundance determinations of individual stars in Local Group dwarf spheroidals. With our larger sample comprising also fainter objects, we reinforce previous conclusions that a stellar population dichotomy exists between dwarf and giant elliptical galaxies. Present-day dwarf elliptical galaxies are therefore not the fossil building blocks of giant ellipticals.

Alter und Metallizität von elliptischen Galaxien / Ages and Metallicities of Elliptical Galaxies



Aus dem Alter elliptischer Galaxien lassen sich wichtige Informationen über Galaxienentstehung im allgemeinen ableiten. Allerdings ist die Bestimmung des absoluten Alters stellarer Populationen erschwert durch die Entartung von Alter und Metallizität, da nämlich Alter und Metallizität ein Galaxienspektrum gleichermaßen beeinflussen. Die Calcium Triplet Linie (CaT) bei 8600 Å schien eine Möglichkeit darzustellen, diese Entartung aufzuheben, da sie fast vollständig altersunabhängig ist. Bisher waren allerdings nur wenige CaT Daten von elliptischen Galaxien in der Literatur zu finden. Wir haben diese Lücke geschlossen, indem wir die CaT Linie von 94 elliptischen Galaxien gemessen haben. Ein wichtiges Resultat ist, dass die CaT Linienstärke, im Gegensatz zu der Mg Linie, nicht mit der Geschwindigkeitsdispersion, d.h. mit der Masse der Galaxie, korreliert. Außerdem sind die absoluten Werte der CaT Linien relativ niedrig. Der Vergleich mit Populationssynthesemodellen zeigt, dass niedrigere Metallizitäten abgeleitet werden als von den optischen Absorptionsindizes (Abb. 2-53).

Abb. 2-53: Die CaT Absorptionslinie als Funktion von Metallizität und Alter. Schwarze Linien: Populationssynthese-Modelle mit kanonischer Anfangsmassenfunktion (Salpeter). Grüne Linien: Hauptreihen dominierte Modelle. Rote Linien: Zusammengesetzte Modelle mit 90% metallreichen, und 10% metallarmen Sternpopulationen. Blaue Punkte: 31 Galaxien unseres Sample für die Alter und Metallizität aus den optischen Absorptionsindizes abgeleitet wurden. Die senkrechten Linien zeigen den Abstand der Beobachtungsdaten zum zusammengesetzten Modell. Die Δ geben die mittlere Abweichung zwischen gemessenen und vom Modell vorhergesagten CaT Werten.

Fig. 2-53: The CaT line as a function of metallicity and age. Black lines: Stellar population models with canonical initial mass function a la Salpeter. Green lines: dwarf-dominated stellar population models. Red lines: Composite stellar population models containing 90% old, metal-rich stars and 10% old metal-poor stars. Blue dots: the 31 galaxies of our sample with ages and metallicities as determined with optical indices, the vertical bars showing the distance to the composite models. The labels Δ give the mean differences between measured and predicted values for the three models.

The ages of elliptical galaxies strongly constrain their formation mechanism. However, the determination of the absolute ages of stellar populations is complicated by the well-known age-metallicity degeneracy, i.e. that both age and metallicity act in the same way on the integrated spectra. The Calcium Triplet (CaT) line at 8600 Å was considered promising to break the agemetallicity degeneracy, because its strength is strongly dependent on metallicity, while being almost independent of age. However, just a handful of data were available in the literature. We have filled this gap by obtaining a sample of nearby ellipticals complete to a blue magnitude of 12. Together with our collaborators at the Universitäts-Sternwarte, we have analysed the data with up-to-date stellar population models. Our data show the following striking features: (1) The CaT does not correlate with the galaxy velocity dispersion, i.e. with galaxy mass, contrary to what is found for the Magnesium lines. (2) The absolute values of CaT are low. When compared with stellar population models (Fig. 2-53) we derive sub-solar average metallicities,

Da die CaT Absorption in Hauptreihensternen sehr schwach ist, ist eine von der Hauptreihe dominierte Massenanfangsfunktion eine mögliche Erklärung unserer Beobachtungsdaten. Dies würde allerdings Masse-zu-Leuchtkraft Verhältnisse zur Folge haben, die deutlich über den aus dynamischen Beobachtungen abgeleiteten Werten liegen. Eine attraktivere Erklärungsmöglichkeit stellen daher unsere Populationssynthese-Modelle dar, die einen kleinen Anteil einer metallarmen Sternpopulation mit einer dominierenden metallreichen verbinden. Da der CaT Index mit der Metallizität korreliert, können wir mit der Annahme der Existenz einer metallarmen Subpopulation in elliptischen Galaxien sowohl die geringen CaT Werte als auch die Linienindizes im optischen Wellenlängenbereich reproduzieren.

in disagreement with the values obtained with optical indices. Since the CaT is very weak in dwarf stars, a possible explanation of our findings is a dwarf-dominated initial mass function. However, the required exponent (4 below 0.6 M_{\odot} in the notation in which the standard Salpeter exponent is 2.35) would predict FeH bands (9900 Å) and mass-to-light ratios much higher than observed. Our recent Composite Stellar Population models provide a more plausible explanation. These models couple a small fraction (up to 10% by mass) of old and metal-poor stars with a dominant old and metal-rich population. Since the CaT decreases with decreasing metallicity, a small number of metal poor stars can explain the low CaT values measured in ellipticals, and simultaneously the optical part of the spectra.





Die XMM-Newton Durchmusterung des Coma Galaxienhaufens überdeckt mit einem Mosaik von 16 Pointierungen mit einer brauchbaren Beobachtungszeit von 400 ks eine Fläche von 2 Quadratgrad. Die statistischen Eigenschaften der Punktquellen im XMM-Newton Coma Feld setzen sich zusammen aus Röntgenstrahlenden Coma Galaxien und AGN im Hintergrund mit typischem LogN-LogS. Die Strahlung der Coma-Galaxien stammt von heißem Gas in Galaxien frühen und späten Typs, von AGN Aktivität, sowie von Stern-bildenden und einigen Zwerg-Galaxien. Die Coma Galaxien haben eine Leuchtkraft im 0.5-2 keV band von 10³⁹-10⁴¹ erg s⁻¹ und entsprechen nach Korrektur für das Lagrangsche Volumen in ihrer Verteilung und räumlichen Dichte lokalen Galaxien. Ein ausführlicher Vergleich der Röntgeneigenschaften elliptischer Galaxien (Abb. 2-54) zeigt jedoch ein unterschiedliches Verhalten und deutet an, dass sowohl Verdichtung von Gas durch das umgebende Haufen Gas wie auch reduzierte Akkretion von Gas von Satelliten-Galaxien eine Rolle spielen. Diese beiden neuen Effekte führen zu einem breiteren Verständnis des Einflusses der Haufenumgebung, wobei bisher nur Verlust von Galaxien Gas durch Staudruck und Galaxienzusammenstöße in Betracht gezogen wurden.

Abb. 2-54: Röntgen- (L_x) aufgetragen gegen optische Leuchtkraft mal Geschwindigkeitsverteilung im Quadrat $(L_B\sigma^2, ein Ma\beta für die kinetische Energie des stel$ laren Masseverlusts) für die im Röntgenbereich entdeckten Coma Haufen Galaxien. Offene Symbole stehen für Quellen, die auch mit FIRST (Radio) Quellenidentifiziert wurden, der graue Kreis zeigt möglicheAGN Aktivität. Die gestrichelte Linie zeigt die Anpassung der entsprechenden Beziehung für lokale elliptische Galaxien.

Fig. 2-54: X-ray luminosity (L_x) versus optical luminosity times stellar velocity dispersion $(L_B\sigma^2)$, indicator of the kinematical energy of the stellar mass loss) for X-ray detected Coma cluster galaxies. Open symbols denote the sources also identified as the FIRST (radio) sources, the grey circle possible AGN activity. Dashed line is a fit to similar relation for local ellipticals.

The XMM-Newton survey of the Coma cluster of galaxies covered an area of two square degrees by a mosaic of 16 pointings with a total useful time of 400 ks Statistical properties of point sources in the XMM Coma field are represented as X-ray emission from galaxies in Coma plus background AGN of typical LogN-LogS, the former is owing to the thermal emission of the gas in both early and late type galaxies, AGN activity, star-forming galaxies and a number of dwarf galaxies. The luminosities of Coma galaxies lie in the 10^{39} - 10^{41} erg s⁻¹ interval for the 0.5-2 keV band and are similar in their distribution and space density, once corrected for the Lagrangian volume of the cluster. A detailed comparison of the X-ray properties for elliptical galaxies (Fig. 2-54), however, shows quite a different relation, indicating the importance of both the gas compression imposed by the ambient cluster gas and the lack of gas accreted from the satellite galaxies. These two new effects extend our understanding of the action of cluster environment, where so far only ram pressure stripping and galaxy collisions have been considered.

[BENDER, BRIEL, CONTURSI, DENNERL, FINO-GUENOV, HABERL, MARASTON, MISANOVIC, PIETSCH, SASAKI, THOMAS]

2.3.3 Starburst Galaxien / Starburst Galaxies



XMM-Newton Beobachtungen der Starburst-Galaxie NGC 3079 / XMM-Newton Observations of the Starburst Galaxy NGC 3079

> Abb. 2-55: Echtfarben XMM-Newton EPIC-pn Bild (0.2-1.0 keV, rot; 1.0-2.0 keV, grün; 2.0-4.5 keV, blau) der Galaxie NGC 3079. Das harte Band zeigt hauptsächlich Röntgenpunktquellen und den Kern. Die weiße Ellipse entspricht der optischen D_{25} Ausdehnung der Galaxie (2 arcmin = 10 kpc).

> Fig. 2-55: Colour coded image of NGC 3079, observed with XMM EPIC-pn, in the energy bands 0.2-1.0 keV (red), 1.0-2.0 keV (green) and 2.0-4.5 keV (blue). In the hard band, mainly point sources and the nucleus show up. The white ellipse corresponds to the optical D_{25} extension of the galaxy (2 arcmin = 10 kpc).

Wir haben mit XMM-Newton die nahe (d=17 kpc), von der Seite gesehene (i~85°) Spiralgalaxie NGC 3079 beobachtet, die als SBc LINER Galaxie mit ausgeprägter Aktivität im Kern klassifiziert ist. Sie eignet sich besonders zur Untersuchung der diffusen Strahlung in der Scheibe und dem umgebenden Galaxienhalo, da die Vordergrundabsorption niedrig ist ($N_{\rm H}$ <10²⁰ cm⁻²). Wir wollten die Starburst-AGN Verbindung untersuchen, indem wir nach ausgedehnter Röntgenstrahlung außerhalb des Kerns suchten, sowie ihre spektralen Eigenschaften. Wir fanden einen riesigen weichen (0.2-1.0 keV) Röntgenhalo (Abb. 2-55), der sich 17.5 kpc senkrecht zur Galaxienscheibe ausdehnt. Das Röntgenbild und das Spektrum zeigen deutlich, dass der galaktische Starburst den Ausfluss von thermischem Gas antreibt, da es starke Hinweise auf stoßangeregte Sauerstoff und Eisen L Linien gibt (Abb. 2-56). Dass die Strahlung des Halo nur bei Energien unterhalb 1 keV deutlich zu sehen ist, gibt ein weiteres Argument für die Verbindung von Halo und Sternbildungsgebieten in der darunter liegenden Scheibe. Die Morphologie des Halo zeigt Ausläufer außerhalb des Kerns, die die Verbindung zu Starburst weiter stützen. Wir haben die Hypothese eines thermisch getriebenen Superwindes mit unseren Hydrocode Programmen getestet, die die Strahlungskühlung und Röntgenstrahlung selbstkonsistent mit der Dynamik im vollen Nichtgleichgewicht (NEI) behandeln. Dabei verfolgen wir die zeitabhängige Ionisationsstruktur des Ausflusses und nehmen nicht, wie üblich, Stoßionisationsgleichgewicht an. Wir haben das synthetische Halospektrum mit dem Detektoransprechvermögen gefaltet zum Anpassen des gemessenen Spektrums benutzt. Das Ergebnis zeigt (Abb. 2-56), dass der Halo tatsächlich eine Mehrtemperaturstruktur besitzt, und passt zu einem NEI Ausfluss, in dem Supernova geheiztes und

We have observed the nearby (d=17 kpc) edge-on (i~85°) spiral galaxy NGC 3079 with XMM-Newton. The galaxy is classified as an SBc LINER galaxy with distinct nuclear activity. The object is an ideal target for analysing the diffuse X-ray emission in the disk and the surrounding galactic halo, since galactic foreground absorption is low ($N_{\rm H} < 10^{20}$ cm⁻²). Our aim was to investigate the starburst-AGN connection, by searching for any widespread extra-nuclear X-ray emission, and to determine its spectral characteristics. We detected a huge soft (0.2-1.0 keV) X-ray halo (Fig. 2-55) extending 17.5 kpc perpendicular to the galaxy disk. The X-ray image and spectrum clearly show that the galactic starburst drives a thermal outflow; since there are strong indications for collisionally excited oxygen and iron L line complexes (Fig. 2-56). A further argument for a halo connected to star forming regions in the underlying disk is the softness of the halo, which disappears in the higher energy band (1.0-2.0 keV). The morphology of the halo also shows extranuclear spurs supporting the starburst connection. We have tested the hypothesis of a thermally driven super-wind by modelling the outflow with our galactic wind hydrocode, in which the radiative cooling and X-ray emission is treated self-consistently with the dynamics in full non-equilibrium (NEI). In essence, we follow the time-dependent ionisation structure of the outflow instead of making the usual assumption of collisional ionisation equilibrium. We have folded the synthetic halo spectrum through the instrumental response and used it to fit the observed spectrum. The result shows (Fig. 2-56) that the halo indeed exhibits a multi-temperature structure, fully consistent with an NEI outflow, in which supernova heated and mixed-in interstellar gas is injected into the base of the halo at temperatures of 3.6×10^6 K and denuntergemischtes interstellares Gas mit Temperaturen von 3.6×10^6 K und Dichten von 5×10^{-3} cm³ bei einer Anfangsgeschwindigkeit von ~220 km s⁻¹ in den niedrigen Halo eingebracht wird.

Abb. 2-56: Weiches Röntgenhalospektrum von NGC 3079 beobachtet mit XMM-Newton EPIC-pn mit noch nie dagewesener Auflösung zwischen 0.2-2 keV; die durchgezogene Linie zeigt die Anpassung mit einem selbstkonsistenten Nichtgleichgewichtstrahlungsmodell für den Ausfluss.

Fig. 2-56: The soft X-ray halo spectrum of NGC 3079 observed with XMM-Newton EPIC-pn at unprecedented X-ray resolution between 0.2-2 keV with a selfconsistent non-equilibrium emission outflow model (solid line). sities of $5x10^{-3}$ cm³ at an initial velocity of ~220 km s⁻¹.



Spektroskopie von Starburst-Galaxien im mittleren Infrarot / A Mid-IR Spectroscopic Survey of Starburst Galaxies



Abb. 2-57: Die Beziehung zwischen Metallhäufigkeit [Ne/H] und Anregungsverhältnis [NeIII]15.5/[NeII]12.8 für Starburst-Galaxien. Die Galaxien sind als Quadrate (grün) gezeichnet, solche mit Wolf-Rayet-Beiträgen in den Spektren als Quadrate in einer Raute. Vergleichbare Daten für galaktische (rote Dreiecke und blaue Kreise) und nahe extragalaktische (gelbe Sterne) HII-Regionen sind ebenfalls dargestellt. Für gegebene Metallhäufigkeit sind Starbursts niedriger angeregt als HII-Regionen. Die Metallhäufigkeit der Starbursts nimmt ab mit zunehmender Anregung.

Fig. 2-57: The relation between abundance [Ne/H]) and the excitation ratio [NeIII] 15.5/[NeII] 12.8 for starburst galaxies. The galaxies are plotted as squares (green) and those with Wolf-Rayet features in their spectra are plotted with a square enclosed by a diamond. We also plot similar data for galactic (red triangles and blue circles) and local extragalactic (yellow stars) HII regions. For a given abundance, the starburst galaxies have lower excitations than the HII regions. Starbursts show a decrease in abundance with increasing excitation.

Wir haben die Spektren von 11 Starburst-Galaxien im mittleren Infrarot untersucht, unter anderem mit dem Ziel, ein Referenzsystem für die Infrarotspektren dieser Galaxien zu erstellen. Dazu haben wir eine große Zahl an Emissionslinien im Bereich zwischen 2.38 und 25µm mit ISO-SWS beobachtet, inklusive einiger selten beobachteter Feinstrukturlinien und Wasserstoff-Rekombinationslinien. Diesen Datensatz haben wir benutzt, um die Anregungszustände und Elementhäufigkeiten von gasförmigem Neon, Argon und Schwefel in Starburst-Galaxien zu untersuchen. Die abgeleiteten Neon-Häufigkeiten variieren um etwa eine Größenordnung, bis hin zur dreifachen solaren Häufigkeit. Die gemessenen Anregungsverhältnisse We have analysed mid-infrared emission lines in 11 starburst galaxies, with the aim of providing a general reference for mid-infrared spectra of these systems. We observed a significant number of emission lines between 2.38 and 25μ m with the ISO SWS. We used this data set, which includes a large number of not commonly observed fine structure and hydrogen recombination lines, to investigate excitation and to derive gas phase abundances of neon, argon and sulphur of the starburst galaxies. The derived Ne abundances span approximately an order of magnitude, up to values of ~3 times solar abundance. The excitation ratios measured from the Ne and Ar lines correlate well with each other (positively) and with abundances (nega-

Wissenschaftliche Ergebnisse / Kosmologie

von Neon und Argon korrelieren sehr gut miteinander und stehen im umgekehrten Verhältnis zu den Elementhäufigkeiten. Objekte mit sichtbaren Wolf-Rayet-Beiträgen zeigen hohe Anregungsverhältnisse und niedrige Metallhäufigkeiten, wohingegen Objekte ohne solche Beiträge niedrige Anregung und hohe Häufigkeiten besitzen (Abb. 2-57). Für eine gegebene Metallhäufigkeit sind die Starbursts von niedrigerer Anregung als galaktische HII-Regionen, was wahrscheinlich auf alternde Sternpopulationen zurückzuführen ist. Im Vergleich zu Neon und Argon zeigt Schwefel eine relative Unterhäufigkeit um etwa einen Faktor drei. Aufgrund unserer Untersuchungen vermuten wir eine Bindung des Schwefels an Staubteilchen als wahrscheinliche Ursache dieses Defizits. Diese Schwäche der infraroten Schwefellinien hat Auswirkungen auf zukünftige Infrarot-Missionen wie SIRTF und Herschel, da Schwefellinien vermutlich weniger gut geeignet sind zum Nachweis von Sternentstehung, als Photoionisations-Modelle von Nebeln vermuten lassen.

tively). We find that objects with visible Wolf-Rayet features have high excitation ratios and low metal abundances, while those without show low excitation and high abundances (Fig. 2-57). For a given abundance, the starbursts are of relatively lower excitation than a comparison sample of galactic HII regions, probably due to aging stellar populations. By considering the abundance ratios of S with Ne and Ar we found that, in our higher metallicity systems, S is relatively underabundant by a factor of ~3. We investigated the origin of this deficit and favour depletion of S onto dust grains as a likely explanation. This weakness of the mid-infrared fine structure lines of sulphur has ramifications for future infrared missions such as SIRTF and Herschel since it indicates that sulphur lines are less favourable tracers of star formation than is suggested by nebular models.

[BREITSCHWERDT, GENZEL, LUTZ, PIETSCH, STURM, VACCA, VERMA, VOGLER]

2.3.4 Die Entwicklung der leuchtkräftigen verschmelzenden Galaxien / Evolution of Luminous Mergers

Entdeckung eines Paares Schwarzer Löcher im Zentrum der Galaxie NGC 6240 / Discovery of a Binary Black Hole in NGC 6240 with the Chandra X-ray Observatory



Mit Hilfe des Röntgenobservatoriums Chandra wurde erstmals ein Paar super-massereicher aktiver Schwarzer Löcher im Zentrum der selben Galaxie gefunden. Bei der Galaxie handelt es sich um die ultraleuchtkräftige Infrarot-Galaxie NGC 6240 (Abb. 2-58) Die beiden Schwarzen Löcher werden in einigen hundert Millionen Jahren miteinander verschmelzen und dabei ein noch größeres Schwarzes Loch bilden, ein Ereignis das von einem gigantischen Ausbruch an Gravitationswellen begleitet wird.

Der Entdeckung wurde möglich durch die Fähigkeit der Detektoren an Bord von Chandra, ein scharfes Bild der zwei Kerne im Zentrum der Galaxie aufzunehmen und gleichzeitig detaillierte Röntgen-Spektroskopie Abb. 2-58: Röntgen-Farbenbild der Galaxie NGC 6240, aufgenommen mit dem Röntgen-Observatorium Chandra. Die Farbe kodiert die Energie der Röntgenstrahlen: rot steht für niedrige Energien (0.5-1.5 keV), grün für mittlere Energien (1.5-5 keV), und blau für hohe Energien (5-8 keV). Blau markiert auch die Position der beiden super-massereichen Schwarzen Löcher.

Fig. 2-58: X-ray colour image of the galaxy NGC 6240, obtained with the Chandra X-ray observatory. Colour codes X-ray energy (red: 0.5-1.5 keV, green: 1.5-5 keV, blue: 5-8 keV). The two black holes are located at the two regions colour-coded in blue.

Observations with the Chandra X-ray Observatory have shown for the first time, a pair of super-massive black holes in the centre of the same galaxy; the ultraluminous infrared galaxy NGC 6240 (Fig. 2-58). These two black holes will merge several hundred million years from now, to create an even larger black hole resulting in an event that will unleash intense radiation and gravitational waves.

The discovery was made possible by Chandra's ability to clearly distinguish the two nuclei, and measure the details of the X-ray emission from each nucleus. X-ray spectroscopy reveals features that are characteristic of durchzuführen. Die Röntgenstrahlung aus der Richtung der beiden Schwarzen Löcher ist leuchtkräftig, hoch-energetisch, und die Spektren beider Kerne zeigen charakteristische Fluoreszenzstrahlung von Eisenatomen, wie sie bisher nur in Aktiven Galaxien beobachtet wurde (Abb. 2-59 und 2-60).



Abb. 2-60: Neben der im Kernbereich konzentrierten hochenergetischen Röntgenstrahlung zeigt NGC 6240 auch ausgedehnte Regionen niederenergetischer Röntgenstrahlung, die in der Abbildung rot dargestellt und mit einer Aufnahme des Hubble-Weltraumteleskops (gelb und blau) überlagert ist: Diese Strahlung stammt nicht von den beiden Schwarzen Löchern, sondern ist das "Nachglühen" früherer Sternexplosionen im Zentrum der Galaxie. Es handelt sich um "Superwinde", die entstehen, wenn Supernovae ihre Hüllen in den Raum schleudern. Treffen diese Sternenwinde auf das umgebende ISM, heizt sich das Gas so stark auf, dass es im Röntgenlicht leuchtet.

Fig. 2-60: Besides the high energy X-ray emission concentrated in the nuclear region, there is also extended low energy X-ray emission (red), which is shown here as an overlay on a HST image (yellow and blue). This low energy X-ray emission is not connected to the two central black holes, but is the afterglow of starbursts that occurred long ago in the centre of NGC 6240. In the past, there was a burst of supernova explosions in the central region, which ejected their outer shells into interstellar space. Once these stellar winds hit the ISM, they heat up and glow in X-rays.

Die in einer Entfernung von etwa 400 Millionen Lichtjahren befindliche Galaxie NGC 6240 ist ein Musterbeispiel für die Kollision zweier Galaxien, die gerade miteinander verschmelzen. Das Zentrum dieser Galaxie versteckt sich hinter großen Mengen staubiger Gaswolken und kann deshalb mit optischen Teleskopen nicht beobachtet werden. Röntgenstrahlen dagegen können den Schleier von Gas und Staub durchdringen.

Die Entdeckung eines Paares Schwarzer Löcher bestätigt theoretische Modelle, nach denen Schwarze Löcher in den Zentren von Galaxien durch das Verschmelzen mit anderen Schwarzen Löchern wachsen können. Dies ist wichtig für unser Verständnis der Gasuper-massive black holes: an excess of high energy photons from gas swirling around a black hole, and X-rays from fluorescing iron atoms in gas near the black hole (Fig. 2-59 and 2-60).

Abb. 2-59: Auf diesem Bild wurde die hochenergetische Röntgenstrahlung (blau), die von dem Paar Schwarzer Löcher im Kern der Galaxie NGC 6240 ausgeht, mit einer Aufnahme des Hubble-Weltraumteleskops (gelb) überlagert.

Fig. 2-59: Overlay of the high-energy X-ray emission (blue) which originates from the immediate vicinity of the binary black hole onto an Hubble Space Telescope image of the centre of NGC 6240 (yellow).



At a distance of about 400 million light years, NGC 6240 is a prime example of a massive galaxy being built from a recent collision and subsequent merger of two smaller galaxies. Because of the large amount of dust and gas in such galaxies, it is difficult to peer deep into their central regions with optical telescopes. However, X-rays emanating from the galactic core can penetrate the veil of gas and dust.

The detection of a binary black hole supports the idea that black holes can grow to enormous masses in the centres of galaxies by merging with other black holes. This is important for understanding how galaxies form and evolve. laxien-Entstehung und -Entwicklung, und des Wachstums Schwarzer Löcher.

Die beiden Schwarzen Löcher in NGC 6240 sind derzeit noch etwa 3000 Lichtjahre voneinander entfernt. Im Laufe etlicher hundert Millionen Jahre werden sie immer näher aufeinander zu spiralen und schließlich zu einem noch größeren Loch verschmelzen. Gegen Ende dieses Prozesses wird ein enormer Ausbruch an Gravitations-Wellen erzeugt. Diese breiten sich durch das gesamte Universum aus und "kräuseln" dabei die Raum-Zeit. Die Verschmelzung zweier super-massereicher Schwarze Löcher wie in NGC 6240 erzeugt die stärksten messbaren Gravitationswellensignale im Universum. Die Entdeckung eines Paares Schwarzer Löcher in der nahen Galaxie NGC 6240 zeigt, dass weit mehr ähnliche Fälle im Universum in größeren Entfernungen existieren sollten. Der gemeinsam von ESA und NASA geplante Weltraum-Detektor LISA (Laser Interferometer Space Antenna) wird nach derartigen Ereignissen suchen, die mehrere Male pro Jahr im gesamten Universum stattfinden sollen.

Over the course of the next few hundred million years, the two black holes in NGC 6240, which are about 3000 light years apart, will drift toward one another and merge to form an even larger super-massive black hole. Towards the end of this process an enormous burst of gravitational waves will be produced. These gravitational waves will spread through the universe and produce ripples in the fabric of space, which appear as minute changes in the distance between any two points. The merging of two super-massive black holes like those in NGC 6240 will create the most powerful gravitational waves in the universe. LISA (Laser Interferometer Space Antenna), the space-based detector planned by NASA and ESA, will search for gravitational waves from massive black hole mergers. These events are estimated to occur several times each vear in the observable universe.

Galaxy merging is a key driving force of galaxy evolu-

tion. In hierarchical CDM models of galaxy formation

and evolution, merging leads to the formation of ellip-

Werden aus Ultraleuchtkräftigen Infrarot-Galaxien optisch helle QSOs? / Do Ultraluminous Infrared Galaxies Evolve into Optically Bright QSOs?

Das Verschmelzen von Galaxien (merging) spielt eine große Rolle für die Galaxienentwicklung. Hierarchische CDM-Modelle der Galaxienentstehung und --entwicklung zeigen, dass Galaxienverschmelzung zur Bildung elliptischer Galaxien führt, große Starbursts auslöst und für die Bildung superschwerer schwarzer Löcher und Quasare verantwortlich ist. Um die Physik des Verschmelzungsprozesses und seine Verbindung zur Epoche der Bildung elliptischer Galaxien und QSOs bei hoher Rotverschiebung zu beurteilen, müssen wir zuerst die Details der Galaxienverschmelzungen und ihre Verbindung zu Starbursts und AGNs im lokalen Universum verstehen. Die heftigsten lokalen Galaxienverschmelzungen finden in ultraleuchtkräftigen Infrarotgalaxien (ULIRGs) statt, welche wahrscheinlich den leuchtkräftigen Mergern bei hoher Rotverschiebung sehr ähnlich sind. ULIRGs befinden sich in einem fortgeschrittenen Stadium der Verschmelzung von gasreichen Scheibengalaxien. Sie gehören zu den leuchtkräftigsten Objekten im lokalen Universum, mit ähnlicher Leuchtkraft (L> 10^{12} L_o, hauptsächlich im fernen Infrarot abgestrahlt) und räumlicher Dichte wie Quasare. In einer von Kormendy, Sanders und Mitarbeitern ausgearbeiteten Grundvorstellung entwickeln sich diese Systeme durch dissipativen Kollaps zu elliptischen Galaxien. Während dieses Prozesses durchlaufen die Merger zunächst eine Phase leuchtkräftiger Starbursts, gefolgt von einer Phase eines hinter Staub verborgenen AGNs, bevor sie sich in QSOs entwickeln, die auch im sichtbaren Wellenlängenbereich sehr hell sind.

In diesem Jahr haben wir die Analyse der Keck-und VLT-Daten fortgesetzt, die wir in unserem laufenden Nahinfrarot-Programm zur spektroskopischen Untersuchung der stellaren Dynamik von ULIRGs in späten Stadien der Verschmelzung gewinnen. Wir haben die von uns untersuchten 19 ULIRGs verglichen mit QSOs ähnlicher Rotverschiebung aus einer Studie von

tical galaxies, triggers major starbursts, and accounts for the formation of super-massive black holes and quasars. In order to assess quantitatively the physics of the merger process and its link to the epoch of elliptical and QSO formation at high redshift we must first understand the details of galaxy merging and its relationship to starbursts and AGN in the local universe. The most violent local mergers and the probably analogues to luminous high redshift mergers are the ultraluminous infrared galaxies (ULIRGs). ULIRGs are advanced mergers of gas-rich, disk galaxies. They are amongst the most luminous objects in the local universe with both their luminosities (L>10¹² L_{\odot} emerging mainly in the far-IR) and space densities similar to those of quasars. The basic scenario of ULIRG evolution outlined by Kormendy, Sanders and their collaborators is that these systems evolve into elliptical galaxies through merger induced dissipative collapse. During the process, these mergers first go through a luminous starburst phase, followed by a dust-enshrouded AGN phase, and finally evolve into optically bright OSOs.

> This year we have continued the analysis of data from our ongoing near-IR Keck and VLT spectroscopic program of the stellar dynamics in a sample of late-stage merger ULIRGs. We have compared our sample of 19 ULIRGs with a sample of QSOs located at similar redshift studied by Dunlop and collaborators. The bolometric and dereddened near-IR luminosities of our

Dunlop und Mitarbeitern, die repräsentativ ist für andere optisch selektierte QSOs und Radiogalaxien niedriger Rotverschiebung. Die bolometrischen und entröteten Nahinfrarot-Leuchtkräfte der ULIRGs sind praktisch identisch mit denen der QSOs und Radio-Galaxien. Dennoch liegen ULIRGs und QSOs/Radio-Galaxien in unterschiedlichen Teilen der sogenannten Fundamentalebene (fundamental plane) heißer Sternsysteme. QSOs und Radio-Galaxien finden sich nahe den elliptischen Riesengalaxien, mit typischen effektiven Radien von ≥ 10 kpc. Im Gegensatz dazu haben ULIRGs effektive Radien von einigen kpc oder weniger und wesentlich höhere Flächenhelligkeiten. Möglicherweise kann ein Teil dieser Unterschiede dadurch erklärt werden, dass ULIRGs kompakte, helle Sternentstehungsgebiete rings um den Kern besitzen, die das Nah-Infrarotlicht gegenwärtig dominieren, die aber in einigen Milliarden Jahren abklingen werden. Der große Unterschied zwischen den (großen) Geschwindigkeitsdispersionen elliptischer Riesengalaxien bzw. Radiogalaxien und den (geringeren) Geschwindigkeitsdispersionen der ULIRGs sollte allerdings bestehen bleiben, da Geschwindigkeitsdispersionen von solchen Entwicklungseffekten viel weniger berührt sein sollten. Wir schließen daher, dass die Wirtsgalaxien von ULIRGs und OSOs/Radio-Galaxien der gegenwärtigen Epoche unterschiedlichen Populationen entstammen. ULIRGs existieren in jungen Wirtsgalaxien mit ~1m* und großen Werten von L_{IR}/m. Optisch helle QSOs und Radio-Galaxien dagegen finden sich typischerweise in alten Wirtsgalaxien von ~10m* und kleinem L_{IR}/m, genau wie elliptische Riesengalaxien. Aus den Massen und Geschwindigkeitsdispersionen in gegenwärtigen lokalen Galaxien frühen Typs und in Bulges sowie ihrem Verhältnis zur Masse ihrer schwarzen Löcher können wir ableiten, dass ULIRGs wahrscheinlich schwarze Löcher mit Massen von typischerweise $\leq 10^8 M_{\odot}$ enthalten, was eher den Seyfert-Galaxien entspricht als den QSOs. Falls ULIRGs wie AGNs ihre Energie aus Akkretionsprozessen um schwarze Löcher beziehen, müssen sie mit etwa 50% der Eddington-Rate strahlen, um ihre Ferninfrarot-Leuchtkräfte zu erzielen, was wesentlich höher ist, als bei QSOs vergleichbarer Leuchtkraft.

Die adaptive Optik (AO) der Keck- und VLT-Teleskope erlaubt es uns, Spektroskopie mit einer räumlichen Auflösung von 0.1" oder besser zu betreiben. Diese einzigartige Möglichkeit ausnutzend, haben wir damit begonnen, die dynamischen Verhältnisse in den entscheidenden innersten paar hundert parsecs von Mrk231 zu untersuchen (Abb. 2-61). Neben dem Nachweis der Linien molekularen Wasserstoffs konzentrieren wir uns auf die stellaren Absorptionsbanden, da die stellare Kinematik nur vom Gravitationspotential beeinflusst wird, aber nicht von Schocks und Outflows. Unsere AO-Beobachtungen von Mrk231 kommen dem QSO aufregend nahe. Mit den Rotationsgeschwindigkeiten des molekularen Gases auf Skalen bis hinunter zu etwa 100 pc haben wir vielleicht zum ersten mal die (keplersche) Signatur einer zentralen, kompakten Masse nachgewiesen, in einem QSO von 160 Mpc Entfernung. Die Modellierung dieser

ULIRG sample are basically identical to those of the sample of QSOs and radio galaxies studied by Dunlop et al., which are representative of other low-z optically selected QSO/radio galaxy samples. Yet, ULIRGs and QSOs/radio galaxies are located in different parts of the fundamental plane of hot stellar systems. QSOs and radio galaxies are found near the locus of giant ellipticals, with typical effective radii of ≥ 10 kpc. In contrast, ULIRGs have effective radii of a few kpc or less, and much higher surface brightnesses. It is possible that some of the size and surface brightness differences between ULIRGs and optically selected QSOs/radio galaxies arise because ULIRGs contain compact, bright, circum-nuclear star forming regions that dominate the near-IR light at present but will fade away in a few Gyr. However, the large difference between the (large) velocity dispersions of giant ellipticals and radio galaxies, and the (modest) velocity dispersions of the ULIRGs should remain, since velocity dispersions should be much less affected by such evolutionary effects. We thus conclude that the hosts of present epoch ULIRGs and of QSOs/radio galaxies are likely drawn from different populations. ULIRGs live in young, large L_{IR}/m, ~1m* hosts, while optically bright QSOs and radio galaxies on average live in old, small L_{IR}/m , ~10m^{*} hosts, like giant ellipticals. From the host masses/velocity dispersions and the black hole mass to host mass/velocity dispersion ratios in local early type galaxies and bulges, we deduce that ULIRGs probably contain black holes of typical masses $\leq 10^8$ M_o, more akin to those in Seyfert galaxies than to those in QSOs. To attain their QSO-like far-IR luminosities ULIRGs (if powered by black hole accretion, such as those with energetically dominant AGN) must radiate at ~50% of the Eddington rate, significantly more efficiently than QSOs of comparable luminosities.

Adaptive optics (AO) on the Keck and VLT telescopes allows us to perform spectroscopy at a spatial resolution of 0.1" or better. Using this unique opportunity, we have begun to probe the dynamics of Mrk231 in the crucial innermost few hundred parsecs (Fig. 2-61). As well as tracing the molecular hydrogen line, our efforts are focussed on the stellar absorption features since the stellar kinematics is influenced only by the gravitational potential and remains unperturbed by shocks and outflows. Our AO observations of Mrk231 reach tantalizingly close to the QSO. We may have detected for the first time the (Keplerian) signature of a central compact mass from rotation velocities of molecular gas down to R~100 pc a QSO as distant as 160 Mpc. Modelling this emission as a nearly face-on, rotating disk (i= 20°, as suggested by ~1" CO mm interferometry) we set a limit to the enclosed mass of 2.5×10^8 M_o within R=100 pc (Fig. 2-61), implying a

Emission als von oben gesehene rotierende Scheibe (i=20°, wie CO mm-Interferometrie von ~1" Auflösung vermuten lässt) setzt eine Obergrenze für die eingeschlossene Masse von 2.5x10⁸M_☉ innerhalb R= 100 pc (Abb. 2-61). Dies ist erstaunlich gering im Verhältnis zur Leuchtkraft von Mrk231 und deutet daher auf eine hohe Strahlungs-Effizienz hin. Zur Bestätigung dieses Resultats werden wir Beobachtungen der stellaren Kinematik und Verteilung durchführen, die weniger von Annahmen über die Inklination abhängen, und zusätzlich Erkenntnisse über die Masse der Sterne rings um den Kern berücksichtigen. Mit solchen Daten werden wir zum ersten mal das schwarze Loch eines OSOs durch stellare Dynamik nachweisen können. Falls die oben genannte Masse zum großen Teil vom schwarzen Loch herrührt, sollte dieses etwa 100 bis 140 km s⁻¹ beitragen zur stellaren Geschwindigkeitsdispersion in den innersten ~0.1", abhängig davon, in welcher Entfernung vom Kern wir genau messen können.

surprisingly low black hole mass for Mrk231's luminosity, and hence, a large radiation efficiency. To confirm this result, we will obtain observations of the stellar kinematics/distribution, which are less sensitive to inclination assumptions and add information on the circum-nuclear stellar mass. Such data will allow us to trace, for the first time, a QSO black hole through stellar dynamics. If the above mass is due largely to the black hole, it then should contribute 100 to 140 km s⁻¹ to the central stellar velocity dispersion in the innermost ~0.1", depending on exactly how close we will be able to sample from the nucleus.

[BAKER, BURWITZ, DAVIES, GENZEL, HAS-INGER, ISERLOHE, KOMOSSA, LUTZ, PRE-DEHL, RIGOPOULOU, TACCONI, TECZA]



Abb. 2-61: Links: Positions-Geschwindigkeits-Diagramm der H_2 S(1)-Emission in Mrk231 (P.W. -25° E of N), abgeleitet aus den Beobachtungen mit NIRC2/AO am Keck-Teleskop. Rechts: Geschwindigkeits-Zentroide der H_2 -Emission (gefüllte Kreise und 1 σ -Fehler) zusammen mit einem Modell der Emissions-Intensität (Konturen und Farb-Skala) einer von oben gesehenen kepler-artigen Scheibe (Inklination 20° wie CO mm-Emission mit einer Skala von >1" anzeigt) um ein superschweres Schwarzes Loch mit einer Masse von 2.5x10⁸M_{ϕ}. Das Modell berücksichtigt die Effekte der Inklination und der endlichen räumlichen und spektralen Auflösung. Die beobachteten Geschwindigkeits-Zentroide stimmen gut mit den Vorhersagen des Kepler-Modells überein. Die Beobachtungen zeigen vielleicht zum ersten Mal kinematische Indizien für ein zentrales schwarzes Loch in einem QSO von 160 Mpc Entfernung!

Fig. 2-61: Left: position-velocity diagram of H_2 S(1) emission in Mrk231 (p.a. -25° E of N), as observed with NIRC2/AO on Keck. Right: Derived velocity centroids of H_2 emission (filled circles and 1σ errors) superposed on a model of the emission intensity (contours and colour-scale) of a face-on Keplerian disk (inclination 20°, as indicated by >1" scale CO mm emission) around a super-massive black hole of $2.5x10^8 M_{\odot}$ The model takes into account the effects of inclination and finite spatial/spectral resolution. The observed velocity centroids match well the predictions of the Keplerian model. These observations may, for the first time, show direct kinematic evidence for a central black hole in a QSO as distant as 160 Mpc!

2.3.5 Physikalische Prozesse in lokalen AGN / Physical Processes in Local AGN

Diagnostische Diagramme für AGN mit ISO / AGN Diagnostic Diagrams from ISO

Spektren im mittleren Infrarotbereich enthalten eine Vielzahl an Linien von Atomen, Ionen und Molekülen, sowie Signaturen von verschiedenen Festkörpern und kosmischem Staub. Diese Spektren sind daher hervorragend geeignet, infrarothelle Galaxien zu untersuMid-Infrared spectra contain a large number of atomic, ionic and molecular lines along with various solid-state and dust features. They are therefore an excellent tool to study the nature and properties of infrared bright galaxies, such as galaxies with active galacchen, wie etwa Galaxien mit aktivem galaktischem Nukleus (AGN). Das Weltraumteleskop ISO (Infrared Space Observatory) hat uns diesen hochinteressanten Spektralbereich zugänglich gemacht. So konnten wir die Spektren von etwa 30 AGN untersuchen, die mit ISOs Spektrographen SWS aufgenommen worden sind. Dies ermöglichte es uns, die Zustände in den Kernen (wie etwa die Elektronendichte oder die spektrale Energieverteilung der inneren Ionisationquelle) zu bestimmen und diese auf ihre Verträglichkeit mit den vereinheitlichten Modellen für AGNs zu vergleichen.



Insbesondere konnten wir Diagramme herleiten, basierend auf den Verhältnissen von Linien im mittleren Infrarot, mit deren Hilfe gemischte Quellen (bestehend sowohl aus einem AGN und einem Starburst) als solche erkannt werden können, und mit denen man unterscheiden kann zwischen einer Anregung durch einen aktiven Kern beziehungsweise durch kernnahe Sternentstehungsgebiete. Abb. 2-62 zeigt ein Beispiel eines solchen Diagramms, unter Verwendung des Verhältnisses von [Ne II] und [O IV]. In vergleichbaren ISO-SWS-Spektren von Starburst-Galaxien (in der Abbildung vertreten durch M82) erreicht dieses Linienverhältnis Werte von höchstens einigen wenigen Vielfachen von 0.01. In den AGN dagegen fällt es nicht unter die 0.1-Marke (1.0 für reine AGN). Außerdem konnten wir nachweisen, dass die Leuchtkraft der [Ne II]-Linie relativ zur Ferninfrarot-Leuchtkraft in AGN und Starburst-Galaxien sehr ähnlich ist. Aufgrund dieser Tatsache kann man das Linienverhältnis der [Ne II]-Linie zu anderen Infrarot-Linien dazu benutzen, die Beiträge von AGN und Starburst zur Gesamthelligkeit der jeweiligen Galaxie zu quantifizieren. Die rechte y-Achse von Abb. 2-62 veranschaulicht dies anhand eines Beispiels, das auf einer einfachen linearen Interpolation zwischen den Durchschnittswerten (Median) des [O IV]/[Ne II]-Verhältnisses in den puren AGN und Starburst-Galaxien unserer Studie beruht. Solche Modelle sind sehr wertvoll, um den Beitrag von AGN zur Leuchtkraft staubiger, gemischter Galaxien zu bestimmen.

tic nuclei (AGN). The Infrared Space Observatory ISO has provided access to this wealth of information. We have studied mid-infrared spectra of a sample of about 30 AGN, obtained with the SWS instrument onboard ISO. This analysis allowed us, for example, to determine the physical properties of the nuclei (like the electron densities, or the spectral energy distribution of the central ionising source), and to test their consistency with AGN unification models.

Abb. 2-62: Beispiel eines diagnostischen Diagramms zur Unterscheidung von AGNs und Starburst-Galaxien im mittleren Infrarot. Hier: Das Linienverhältnis [O IV]25.9 µm/[Ne II]12.8µm. Rauten: Seyfert-1. Sterne: Seyfert-2, Pluszeichen: NLXGs. Als typischer Starburst-Vertreter ist M82 gezeigt (Dreieck). Die rechte y-Achse stellt ein einfaches Modell des AGN-Beitrages zur Gesamtleuchtkraft dar (siehe Text).

Fig. 2-62: A mid-infrared diagnostic diagram to distinguish between an AGN and starburst power source in dusty galaxies. Here we show the ratio [OIV] 25.9 µm/[NeII]12.8µm. Diamonds: Seyfert-1. Stars: Seyfert-2, Plus signs: NLXGs. The starburst prototype M82 is shown as a triangle. The right y-axis shows a simple linear "mixing" model of AGN contribution to the bolometric luminosity.

In particular, we were able to derive mid-IR (MIR) line ratio diagrams, which can be used to identify composite (starburst + AGN) sources and to distinguish between emission excited by active nuclei and emission from (circum-nuclear) star forming regions. An example of such a diagram is shown in Fig. 2-62, using the [O IV]/[Ne II] ratio. In a comparable sample of ISO-SWS spectra of starburst galaxies, this ratio reaches values of a few times 0.01 at most (as exemplified by M82), whereas in the AGN of our sample it does not drop below 0.1 (1.0 for pure AGN). Furthermore, we found that the [Ne II]-to-Far-Infrared ratio is very similar in AGN and starbursts. This can be used to construct models for the AGN/starburst contribution to the bolometric luminosity of the host galaxy from the ratios of MIR lines to [Ne II]. On the right hand yaxis of Fig. 2-62, we show such a simple linear mixing model, using the median ratio of [O IV]/[Ne II] for the pure AGN in our sample and the pure starbursts of the comparison sample. These models provide a valuable means of quantifying the AGN contribution to the luminosity of dusty, composite objects.

Da die neuen Werkzeuge zur quantitativen Spektralanalyse Linien im mittleren Infrarot verwenden, sind sie viel weniger von Extinktion betroffen, als ihre Vorbilder bei optischen Wellenlängen. Sie sind Wegbereiter für zukünftige Infrarot-Missionen, wie etwa SIRTF, SOFIA, ASTRO-F oder Herschel. In tiefen Himmelsdurchmusterungen werden diese neuen Missionen infrarothelle Galaxien über einen weiten Bereich von Rotverschiebungen und Leuchtkräften beobachten. Unsere neuen Werkzeuge werden dabei entscheidend mithelfen, die Eigenschaften weit entfernter, staubverhüllter Galaxien zu bestimmen, die Quellen der extragalaktischen Hintergrundstrahlung zu identifizieren, oder die Ursache der Aktivität in Galaxienkernen aufzuspüren. These important new MIR emission line diagnostics are much less affected by extinction than their optical counterparts. They pave the way for the deep surveys that will be carried out by future infrared missions (such as SIRTF, SOFIA, ASTRO-F, or Herschel), which will sample infrared bright galaxies over a wide range of redshift and luminosity. The new tools will be crucial for determining the detailed properties of distant, dusty galaxies, to identify the source of the extragalactic background, and to search for the source of activity in galactic nuclei.

Chandra Beobachtungen des inneren Jets in M84 / Chandra Detection of the Inner Jet in M84

Abb. 2-63: VLA-Aufnahme von M84 im 5 GHz Radiobereich. Die überlagerten Konturlinien zeigen die mit Chandra detektierte Röntgenemission. Die Röntgenemission zeigt Intensitätsmaxima bei 2.5 und 3.3 Bogensekunden nördlich des Kerns von M84. Die Röntgenmaxima sind mit den Intensitätsmaxima der Radiostrahlung korreliert.

Fig. 2-63: VLA radio image of M84 at 5GHz, overlaid with Chandra X-ray contours of the inner region of M84. Two peaks of the X-ray emission 2.5" and 3.3" north from the M84 nucleus coinside with the first radio features in the northern jet.

Die Auswertung der Chandra Beobachtungen von M84, einer elliptischen Galaxie mit ausgedehnter Radioemission, zeigt einen Überschuss an Röntgenemission im Bereich des nördlichen Radio-Jets. Die Röntgenemission erstreckt sich vom Kern der Galaxie bis zu einer Entfernung von 3.9", wobei die Intensität der Röntgenstrahlung an den Stellen mit erhöhter Radiostrahlung ("Radio-knots") bei 2.5" und 3.3" korreliert ist (Abb. 2-63). Mögliche Erklärungen für die erhöhte Röntgenemission bei 2.5 und 3.3" sind die Intensitätserhöhung durch den relativistischen Dopplereffekt. Es erscheint jedoch unwahrscheinlich dass inverse Compton-Streuung der dominierende Prozess ist. Wir finden viele Gemeinsamkeiten zwischen dem Röntgen-Jet in M84 und der mit Chandra detektierten Röntgenemission in Galaxien mit geringerer Radioemission. Für die Mehrzahl dieser Objekte erscheint Synchrotronstrahlung die wahrscheinlichste Erklärung für die Röntgenemission zu liefern. Der M84 Röntgen-Jet kann beschrieben werden durch Synchrotronstrahlung mit einer Leuchtkraft von $L=2x10^{39}$ erg s⁻¹ im Fre-quenzbereich von 10^{7-18} Hz und einem Magnetfeld von B=140 Micro-Gauß (unter der Annahme von Äquipartition). Die Elektron-Halbwertszeit beträgt 10 Jahre bei einer Frequenz von 10¹⁸ Hz. Unter diesen Annahmen können die Elektronen eine Strecke von maximal 3 pc zurücklegen. In diesem Gebiet muss auch die Beschleunigung der Elektronen stattfinden, die die Röntgenstrahlung hervorruft.



Analysis of Chandra observations of the radio lobe elliptical galaxy M84 reveals excess X-ray emission aligned with the northern radio jet. The emission extends from the X-ray core of the host galaxy as a weak bridge and then brightens to a local peak coincident with the first detectable radio knot at 2.5" from the core (Fig. 2-63). The second radio knot at 3.3" is brighter in both radio and X-ray emission. The X-ray jet terminates 3.9" from the core. Although all the evidence suggests that Doppler boosting augments the emission of the northern jet, it is unlikely that the excess X-ray emission is produced by inverse Compton emission. We find many similarities between the M84 X-ray jet and recent jet detections from Chandra data of low-luminosity radio galaxies. For most of these current detections, synchrotron emission is the favoured explanation for the observed X-rays. For the M84 X-ray jet, the synchrotron emission mechanism is characterized by a luminosity L=2x10³⁹ erg s⁻¹ integrated over 10^{7-18} Hz, the equipartition magnetic field B=140 micro Gauss, and the electron half-life time $\tau(v=10^{18} \text{ Hz})=10$ year. The time is so short that electrons cannot have travelled more than 3 pc, implying that X-rays clearly demarcate the acceleration region.

Beiträge zum vereinheitlichten AGN Modell / Aspects of the AGN Unification Scheme



Abb. 2-64: Links: ROSAT Lichtkurve im 0.1-2.4 keV Energiebereich. Schnelle, extreme und andauernde Röntgenvariabilität wird nachgewiesen. 1ES 1927+654 ist erst der zweite radio-ruhige AGN der diese Art von Röntgenvariabilität aufweist. Die schnellen Variationen sind ein eindeutiger Hinweis auf Röntgenstrahlung aus der unmittelbaren Umgebung des zentralen Schwarzen Loches. Rechts: Ein hochqualitatives optisches Spektrum von 1ES 1927+654. Das [OIII]/H β Verhältnis ist etwa 14. Es wird keine Fe II Multiplet-Emission sowie keine breiten Komponenten der H α Linie nachgewiesen. Daraus ergibt sich eine Seyfert-2 Klassifikation. Die Extinktion im Röntgenbereich ist signifikant unterschiedlich zur Extinktion, die im optischen gemessen wird. Mögliche Erklärungen für die ungewöhnliche Kombination von optischen Typ 2- und röntgen Typ 1-Eigenschaften könnten eine BLR mit extrem schwacher optischer Linienemission, optisch dicke Röntgenabsorber oder ein hohes Staub- zu Gasverhältnis sein.

Fig. 2-64: Left: ROSAT light curves in the 0.1-2.4 keV energy band. Rapid, extreme and persistent X-ray variability is detected making 1ES 1927+654 the second radio-quiet AGN showing this type of behaviour. The X-ray variability indicates that we must have a direct view to the central AGN. Right: A high-quality spectrum of 1ES1927+654. The [OIII]/H β ratio is about 14, no Fe II multiplet lines and no broad H α wings are detected pointing to a Seyfert-2 classification. The X-ray extinction value is significantly different from the optical extinction value. Possible explanations for the unusual combination of optical type 2 and X-ray type 1 properties might be an underluminous BLR, an optically thick X-ray absorber or higher dust to gas ratios.

Eine ungewöhnliche Kombination von optischen Typ 2 und röntgen Typ 1-Eigenschaften ist in dem röntgenhellen AGN 1ES 1927+654 nachgewiesen worden. ROSAT und Chandra LETG Beobachtungen zeigen andauernde, schnelle und extreme Helligkeitsänderungen. Aus der Röntgenvariabilität kann abgeleitet werden, dass Röntgenstrahlung aus einem Gebiet von wenigen 100 Lichtsekunden um das zentrale Schwarze Loch beobachtet wird. Eine maximale Amplitudenvariation mit einem Faktor von 15 bei einem Signifikanzniveau von etwa 6σ , wurde während der ROSAT Himmelsdurchmusterung nachgewiesen (Abb. 2-64 links). Die aus dem ROSAT Spektrum abgeleitete intrinsische Absorption beträgt \hat{N}_{H} =7x10²⁰ Teilchen pro cm². Unter den Annahmen, dass (i) die empirische Beziehung zwischen Röntgenabsorption und optischer Extinktion $A_V = 4.5 \times 10^{-22} N_H$ gilt. (ii) die Staubteilchen optisch dünn für Röntgenstrahlung sind. (iii) die Röntgen- und optische Strahlung entlang der gleichen Sichtlinie beobachtet wird. (iv) die Absorption zeitlich etwa konstant bleibt, und (v) das Gas- zu Staubverhältnis dem galaktischen Wert entspricht, kann die im Röntgenbereich gemessene Absorption in die sogenannte Röntgenextinktion Av umgewandelt werden. Die maximale Röntgenextinktion ist 0.33 oder 0.58 je nach Modell.

Ein Spektrum hoher Qualität der Quelle wurde mit dem 1.93m Teleskop in Haute-Provence aufgenommen. Dieses zeigt ein typisches Seyfert-2 Spektrum

We have detected an unusual combination of optical type 2 and X-ray type 1 properties in the X-ray bright AGN 1ES 1927+654. ROSAT, and Chandra LETG observations reveal persistent, rapid and large scale variations. These X-ray timing properties indicate that the X-rays originate from a region, a few hundred light seconds from the central black hole, typical for a type 1 AGN. The maximum amplitude variability detected during the ROSAT All-Sky Survey observations was of a factor of 15, at a significance level greater than 6σ (Fig. 2-64 left). The intrinsic X-ray absorption, measured from the ROSAT soft X-ray spectral cut-off, is $7x10^{20}$ cm⁻². If one assumes (i) that the empirical relation between the intrinsic X-ray absorption and optical extinction of $A_V=4.5 \times 10^{-22}$ N_H applies to 1ES 1927 +654. (ii) that the dust grains are optically thin to Xrays. (iii) that the X-ray and optical radiation travel through the same matter. (iv) that the obscuration is not a strong function of time, and (v) a galactic gas to dust ratio, then the neutral hydrogen column densities derived from the X-ray spectra can be converted into X-ray A_V values. The maximum intrinsic X-ray A_V value is 0.33 or 0.58 depending on the model.

High quality optical spectroscopy, taken with the 1.93m telescope at the Haute-Provence observatory, reveals a typical Seyfert-2 spectrum with some host
mit Beiträgen der integrierten Emission des Sternlichtes der Galaxie (Abb. 2-64 rechts). Das Verhältnis der Linienemission von [O III] zu Hß beträgt etwa 14. Weiterhin wird keine optische Fe II Multiplet-Linienemission nachgewiesen, was eine Klassifikation als schmallinige Seyfert-1 Galaxie ausschließt. Die Halbwertsbreite der Balmerlinien beträgt etwa 330 km s⁻¹. Dies entspricht der instrumentellen Auflösung. Aus dem Ha zu Hß Flussverhältnis folgt ein Wert für die optische Extinktion von A_V=1.7 (unter Annahme galaktischer Extinktion und Fall B Rekombination). Die obere Grenze für eine breite Komponente ist kleiner als 5% der schmalen Ha Linie. Da keine breite Ha Komponente detektiert wurde folgt, dass die optische Extinktion der BLR größer als A_V=3.7 sein muss. Beobachtungen im nahen Infrarotbereich sind erforderlich, z.B. im Bereich der Bry- oder Bra-Linien, um die Extinktion der BLR genauer zu bestimmen.

Ein signifikanter Unterschied (mit einem Faktor von 6) wird somit zwischen der optischen Extinktion in der BLR ($A_V > 3.7$) und der Röntgenextinktion ($A_V = 0.58$) nachgewiesen. Eine mögliche Erklärung könnte eine extrem geringe Linienemission aus der BLR oder sogar eine nicht vorhandene BLR sein. Weitere Möglichkeiten sind optisch dicke Röntgenabsorber und/oder ein höheres Staub- zu Gasverhältnis verglichen mit dem galaktischen Wert. Die signifikanten Extinktionsunterschiede im optischen- und Röntgenbereich, wie sie in Objekten wie 1ES 1927+654 nachgewiesen werden, implizieren dass das vereinheitlichte AGN Modell die ungewöhnliche Kombination von optischen- und Röntgeneigenschaften in diesen Objekten nicht erklären kann.

Das 70 ks XMM-Newton Spektrum der am stärksten röntgenvariablen Seyfert-Galaxie IRAS 13224-3809 wurde analysiert (Abb. 2-65). Das Spektrum zeigt eine starke FeK Absorptionskante bei etwa 8 keV. Etwa ¹/₃ des absorbierten Flusses der Absorptionskante wird als

Fe K Fluoreszenzlinie wieder emittiert. Der gemessene Fluss dieser Fe K Linie ist jedoch um etwa einen Faktor 10 geringer als erwartet. Diese Diskrepanz in den Stärken der Absorption und Emission kann dadurch erklärt werden, dass das absorbierende Material in einem kleinen Raumwinkel ($\Omega << 2\pi$) um die zentrale Quelle lokalisiert ist. Ein Teil der Strahlung der Akkretionsscheibe bleibt unabsorbiert und wird als sogenannter Überschuss an weicher Röntgenstrahlung beobachtet. Der Rest wird durch eine oder mehrere Wolken entlang der Sichtlinie zur Akkretionsscheibe stark absorbiert. Es handelt sich somit um eine teilweise Verdeckung der Emission der Akkretionsscheibe. Das absorbierende Material muss in unmittelbarer Kernnähe, eventuell sogar direkt über der Akkretionsscheibe lokalisiert sein, wie von Rees erstmals erwähnt. Die Wahrscheinlichkeit dass ein Absorber in größerer Entfernung, z.B. im Gebiet des molekularen Torus, entlang der Sichtlinie zum Beobachter lokalisiert ist, wäre zu klein um den Effekt nachzuweisen. Das absorbierende Material in Kernnähe muss eine

galaxy contamination (Fig. 2-64 right). The [O III] to $H\beta$ ratio of 14 and the absence of any Fe II multiplet emission clearly rule out any Narrow-Line Seyfert-1 classification. The observed FWHM of the Balmer lines is \sim 330 km s⁻¹, which corresponds to the instrumental resolution. From the H α to H β flux ratio we determine an optical extinction of $A_V=1.7$ (corrected for galactic extinction and assuming Case B recombination). The upper limit for any broad component has to be less than 5% of the narrow H α component. The non-detection of a significant broad H α emission line suggests an extinction value of the BLR of at least $A_V=3.7$. Near-infrared spectra to search for broad emission line components, e.g. Bry or Bra, are required for estimating the extinction to the BLR.

There is a significant discrepancy (factor of 6) between the lower limit of the A_V value of 3.7 from the BLR, estimated from the optical spectrum, and the maximum A_V of 0.58 determined from the X-ray spectrum. One possible explanation for the apparent disagreement in the X-ray and optical properties is an extremely under-luminous, or even absent, BLR. Other possible scenarios include an optically thick X-ray absorber and/or higher dust to gas ratios. The significant discrepancies between the X-ray and the optical extinction in 1ES 1927+654 and other objects imply that the standard unification scheme is unable to explain the combination of optical and X-ray properties observed in these objects.

XMM-Newton Detektion von extrem starken Fe K Absorptionskanten / XMM-Newton Detection of Extremely Strong Fe K Edges

We have investigated the X-ray spectrum of the most X-ray variable Seyfert galaxy IRAS 13224-3809 obtained during a 70 ks XMM-Newton observation (Fig. 2-65). The unprecedented, high-quality X-ray spectrum shows a sharp and strong Fe K absorption edge at about 8 keV. From the fluorescent yield one expects that about one third of the edge flux will be reemitted in the Fe fluorescence line. However, we detect only a weak, narrow, He-like, Fe K line. The measured line flux is about 10 times smaller than that expected from the fluorescence yield. This so-called fluorescence yield discrepancy can be explained if the absorber, producing the strong Fe K edge does not subtend a large solid angle around the central source $(\Omega << 2\pi)$. Part of the X-ray emission from the accretion disk arrives unabsorbed, detected as the strong soft X-ray excess emission. The rest is heavily absorbed by a cloud (or clouds) in the line of sight. The absorber must be located close to the central black hole, possibly even within the accretion disk itself, as first suggested by Rees. If the absorber were located, in the molecular torus zone, the probability of having an absorbing cloud along the line of sight, would be too small. Any absorber close to the central black hole must also exhibit a high density (of about 10¹⁸ particles per cm³), as Fe is still not completely ionised. The hohe Dichte aufweisen (bis etwa 10¹⁸ Teilchen pro cm³), da Eisen noch nicht vollständig ionisiert ist. Der Nachweis solcher kühlen und dichten Wolken in unmittelbarer Umgebung des Schwarzen Loches ist von besonderem Interesse und erlaubt eine genauere Bestimmung der wesentlichen Komponenten der innersten Gebiete von aktiven Galaxien.



Weitere interessante Ergebnisse folgen aus der detaillierten spektralen Modellierung des Röntgenspektrums von IRAS 13224-3809. Die beste spektrale Anpassung ergibt sich aus einem gekrümmten Kontinuum im harten Energiebereich (>2keV), einem hochabsorbierten Potenzgesetz (mit Flächendichten des absorbierenden Materials von etwa 10²³ cm⁻²) sowie einer nichtabsorbierten Schwarzköper-Strahlungskomponente. Die Stärke der Absorption ist dabei mit der Intensität der Strahlung korreliert. Die Absorption steigt mit abnehmender Intensität an. Dieser Beobachtungsfund ist ein weiterer Hinweis auf die teilweise Verdeckung der Emission der Akkretionsscheibe (man erwartet einen geringere Intensität, wenn der Anteil der Verdeckung der Akkretionsscheibe zunimmt). Weiterhin werden die oben genannten spektralen Komponenten (insbesondere das gekrümmte harte Röntgenkontinuum) auch in galaktischen Schwarze-Loch Kandidaten beobachtet, wenn sich diese in ihrem Intensitätsmaximum befinden. Dies ist ein Hinweis auf Gemeinsamkeiten zwischen aktiven Galaxien (mit Diskrepanzen zwischen der Fe Absorption und Fe Emission wie I-RAS 13224-3809, 1H0707-495, PG 1211-143, PDS 654) und galaktischen Schwarze-Loch Kandidaten im Intensitätsmaximum.

Der Nachweis von starken Fe Absorptionskanten zwischen 7 und 8 keV mit XMM-Newton erlaubt neue Einblicke in die Physik der innersten Gebiete von aktiven Galaxien. Das Modell einer teilweisen Verdeckung der Akkretionsscheibe durch kühle dichte Wolken ist nunmehr für aktive Galaxien anwendbar. detection of such cool and dense clouds close to the central black hole is of particular interest, as it adds new complexity to the innermost region of active galactic nuclei.

Abb. 2-65: XMM-Newton Entdeckung einer starken steilabfallenden (innerhalb von 100 eV) Absorptionskante in der schmallinigen Seyfert-1 Galaxie IRAS 13224-3809. Etwa ¹/₃ des absorbierten Flusses der Absorptionskante wird als Fe K Fluoreszenzlinie reemittiert. Es wird jedoch nur eine schwache Emissionslinie nachgewiesen. Die Diskrepanz zwischen dem erwarteten Linienfluss und dem Fluss in der Absorptionskante weist einen Faktor von 10 auf. Diese Diskrepanz kann durch eine teilweise Verdeckung der Akkretionsscheibe durch dichte kühle Wolken erklärt werden.

Fig. 2-65: XMM-Newton detection of sharp spectral feature in the Narrow-Line Seyfert-1 galaxy IRAS 13224-3809. The spectral energy distribution shows a sharp (< 100 eV) and strong Fe K-absorption edge at ~8 keV. There is only a weak Fe K α line, resulting in fluorescent yield discrepancies of about 10. A soft excess component that dominates below ~1keV is not significantly absorbed. This newly detected combination of spectral features can be explained by partial covering of the emission from the accretion disk by Compton thick clouds.

Other interesting points arise from the spectral modelling of IRAS 13224-3809. We obtain the best spectral fit by using a curved hard power-law continuum (>2keV) and a highly absorbed (column densities of about 10²³ cm⁻²) power-law continuum, which is responsible for the Fe K edge, in combination with an unabsorbed black body component. When the source is in the low flux state, the column density of the absorber is significantly higher compared to when the source is in the high flux state (IRAS 13224-3809 showed persistent amplitude variations by a factor of about 10 during the XMM-Newton observations). This further supports the partial covering interpretation, where one expects stronger occultation of the central accretion disk by the absorbing clouds when the source is in the low-flux state. In addition, the spectrum consisting of a dominant soft X-ray component and a curved hard continuum is strikingly similar to the spectra of the black-hole binaries at their high flux state. This suggests that IRAS 13224-3809 and other AGN with fluorescence yield discrepancies (1H0707-495, PG 1211-143, PDS 654) are AGN analogues of the soft-state black-hole binaries.

The XMM-Newton discoveries of sharp and strong power-law cut-offs between 7 and 8 keV reveal new insights into the physics of the innermost regions of AGN. A partial covering scenario in which cool, dense clouds located within the accretion disk region, partially obscuring the hard X-rays, has been established Das Modell kann auch die beobachteten Flussvariationen in Kombination mit nur geringen spektralen Änderungen erklären. All dies sind weitere Hinweise auf gemeinsame physikalische Prozesse in super-massiven und galaktischen Schwarzen Löchern. for AGN. Partial covering can also explain the observed flux variations in combination with only small spectral changes, and further suggests analogies between super-massive and galactic black holes.

[BOLLER, BURWITZ, FINOGUENOV, GALLO, GENZEL, LEHMANN, LUTZ, PREDEHL, STURM, TANAKA, VERMA, VOGES]

2.3.6 Eigenschaften von Quasaren / Properties of Quasars

Eisenproduktion in BAL QSO APM 08279+5255 / Iron Production in the BAL QSO APM 08279+5255

Der Quasar APM 08279+5255 ist eines der leuchtkräftigsten Objekte im gesamten Universum. Er strahlt über eine Billiarde (10^{15}) Mal mehr Energie ab als unsere Sonne. Diese Leuchtkraft speist sich hauptsächlich aus dem "Absturz" von Materie in ein gigantisches Schwarzes Loch im Quasarzentrum. Das gasförmige Material heizt sich stark auf und sendet Röntgenstrahlen aus, bevor es in dem Schwarzen Loch verschwindet. Ein Teil der eingefangenen Materie wird jedoch durch den starken Lichtdruck des Zentralobjekts wieder nach außen transportiert. Bei APM 08279+5255 handelt es sich um einen "Broad Absorption Line" (BAL) Quasar, bei dem wir das Schwarze Loch zufällig durch den Schleier dieser ausströmenden Materie sehen. Der Quasar ist nicht nur selbst sehr leuchtkräftig, sein Licht wird zusätzlich durch eine sog. Gravitationslinse verstärkt. Diese Eigenschaften machen APM 08279+5255 zu einem hervorragenden "Laboratorium", um mittels Röntgenstrahlen die Bedingungen im frühen Universum und in unmittelbarer Nähe supermassereicher Schwarzer Löcher zu untersuchen.

Abb. 2-66: Die "Delle" im Spektrum des Quasars APM 08279+5255 stammt von dem Element Eisen. Ähnlich wie Mediziner mittels Röntgenstrahlen unsere Knochen darstellen können, weil sie für Röntgenstrahlung undurchlässig sind und daher dunkel erscheinen, sind die ausströmenden Eisenwolken von APM 08279+5255 undurchlässig für die Röntgenstrahlen, die im Zentrum des Quasars entstehen: Bei der für Eisen charakteristischen "Absorptionsenergie" (Pfeil) fehlt ein Teil des Röntgenlichtes.

Fig. 2-66: The "dip" in the spectrum of the quasar APM 08279+5255 is caused by the element iron. In a similar way as physicians visualize our bones using Xrays – bones appear dark since they are opaque to Xrays – the outflowing iron clouds of APM 08279+5255 are opaque for X-rays created at the quasar's centre: at the "absorption energy" characteristic for iron (red arrow), some part of the X-ray light is missing.

APM 08279+5255 wurde für etwa 100000 s mit XMM-Newton beobachtet. Das Röntgenspektrum weist eine signifikante Absorptionskante von ionisiertem Eisen auf, die höchstwahrscheinlich in dem ausströmenden Gas entsteht. Aus der "Delle" im Quasarspektrum (Abb. 2-66) konnte die Säulendichte des Eisens im Zentrum des Quasars bestimmt werden. Das Eisen scheint weitgehend das einzige entdeckte Element zu sein. Andere chemische Elemente, wie zum Beispiel Sauerstoff, machen sich kaum bemerkbar. So The quasar APM 8279+5255 is one of the most luminous objects in the Universe. Its energy output exceeds that of our sun by more than 10^{15} . This luminosity is mainly powered by gas accretion onto a giant supermassive black hole at the centre of the quasar. The material is strongly heated during this process and emits X-rays before it disappears in the black hole. Some part of this matter, however, is not swallowed but instead blown away by the intense radiation pressure of the central object. APM 8279+5255 is a "Broad Absorption Line" (BAL) guasar, indicating that we are just looking down the stream of this outflowing material. In addition to being intrinsically luminous, the quasar's light is magnified by a factor 50-100 through gravitational lensing. These properties make APM 8279+5255 an excellent "laboratory" to study the physical conditions in the early universe, and in the immediate vicinity of super-massive black holes.



We observed APM 8279+5255 with XMM-Newton for about 100 ksec. The X-ray spectrum reveals a significant absorption edge by ionised iron, most likely from the material streaming away from the centre of the quasar. From the "dip" in the quasar spectrum, (Fig. 2-66), we could determine the column density of iron located in the central region of the quasar. Interestingly, iron appears to be the only element clearly showing up. Absorption from other elements, like oxygen, is barely detected. The estimated ratio of iron to

ist das Eisen/Sauerstoff-Verhältnis etwa drei- bis fünfmal so hoch wie in unserem Sonnensystem. Jedes schwere Element, aus dem Planeten wie unsere Erde und auch wir selbst bestehen, wurde in früheren Jahrmilliarden in Sternen erzeugt. Dies gilt auch für das Eisen, das besonders in einem speziellen Typ von Supernova ("Typ I") produziert wird: Supernovae sind massereiche Sonnen, die am Ende ihres Lebens in gigantischen Explosionen die in ihrem Inneren erzeugten Elemente in den interstellaren Raum blasen. Ein Teil dieses Materials wird zur Bildung neuer Sterne verbraucht, ein anderer von den Schwarzen Löchern in den Zentren der Galaxien aufgesogen. Da aber Sterne, die als Typ I-Supernova enden, sehr lange leben (ungefähr eine Milliarde Jahre), sind große Mengen an Eisen im frühen Universum äußerst bemerkenswert.

Die Eisenhäufigkeit ist deshalb so wichtig, weil sie eine Art "kosmische Uhr" darstellt: Seit dem Urknall vor rund 15 Milliarden Jahren werden sämtliche chemischen Elemente - außer den leichtesten wie Wasserstoff und Helium - im oben beschriebenen Prozess produziert. Beim Eisen dauert das eine geraume Zeit: Mindestens 1.5 Milliarden Jahre mussten vergehen, um zum Beispiel die bei unserer Sonne gefundenen Verhältnisse zu erzeugen. Um so erstaunlicher, dass ein so junges Objekt wie APM 08279+5255 bereits einen deutlich höheren Eisengehalt aufweist als unser wesentlich älteres Sonnensystem. Entweder gibt es eine effizientere Art, Eisen zu erzeugen - quasi eine Art kosmische "Eisenfabrik" - oder das Universum ist bei einer Rotverschiebung von z=4, wie sie der Quasar besitzt, bereits älter als bisher angenommen.

Die neuen Beobachtungen zeichnen ein extremes Bild für den Innenbereich von APM 08279+5255: Es muss ein wahres "Feuerwerk" an Supernovae im Zentrum des Quasars gegeben haben, um so viel Eisen zu erzeugen. Nicht nur das: Um die hohe Leuchtkraft von APM 08279+5255 und den hohen Materieausfluss aus dem Quasarzentrum aufrechtzuerhalten, müssen jährlich sehr viele Sonnenmassen an Gas verschluckt und zum Teil wieder hinausgeblasen werden. Doch selbst eine besonders hohe Rate an Supernovae kann - wegen der langen Lebensdauer der Sterne, die als Supernova enden - nur schwer erklären, warum so früh in der Entwicklung des Universums so viel Eisen erzeugt wurde. Wahrscheinlich benötigen wir außerdem mehr Zeit, also ein größeres Alter des frühen Universums, und können auf diese Weise unabhängige Hinweise auf die Existenz der kürzlich entdeckten "Kosmologischen Konstanten" ableiten - einer Art "Dunkler Energie", die das Universum heute noch auseinander zu treiben scheint.

Die Mithilfe von XMM-Newton an APM 08279+5255 gemachten Beobachtungen liefern wichtige neue Informationen für das Verständnis der Elementsynthese und die chemische Entwicklung des frühen Universums, für die neuen "vereinheitlichten Modelle" der Geometrie der bei verschiedenen Aktivitätsformen von Quasaren ausströmenden Materie und schließlich für die Messung von Parametern wie der Kosmologischen Konstante. Während heute mit XMM-Newton nur ganz wenige, besonders helle Einzelobjekte wie APM to oxygen is about 3 to 5 times higher than in our solar system. All the heavy elements, which planets like our Earth, and we, are composed of, were created inside stars billions of years ago. This also holds for iron, which is mainly created by a type I supernova: supernovae are suns at the end of their lives, which pass away in giant explosions, blowing the elements produced in their interior out into interstellar space. Some fraction of this "star dust" is used up to build new stars; another fraction is ultimately swallowed by super-massive black holes at the centres of galaxies. Since, however, stars that pass away as type I supernovae have rather long lifetimes (about 10^9 years), large quantities of iron in the early universe are quite remarkable.

The iron abundance is of such great importance mainly because iron represents a kind of "cosmic clock": All heavy elements were produced after the big bang in the interior of stars, by the processes described above. To create iron took quite a while; at least 1.5 billion years to produce the metal abundances of our sun. It is therefore highly surprising that an object as young as APM 8279+5255 already contains a larger fraction of iron than our sun, which is much older. Either there is a more efficient way of producing iron, or the universe, at a redshift of 4, is already older than previously expected.

The new observations presented here paint an extreme picture of the centre of the guasar APM 8279+5255: there must have been substantial star formation to produce the large amount of iron observed. In addition, in order to sustain the high luminosity and the huge outflow of matter from the centre of APM 8279+5255, many solar masses of stardust have to be swallowed, and partly blown out again, every year. However, even a very high rate of type-I supernovae can only partly explain the observations of large amounts of iron. Likely, we also need more time to produce the iron, i.e., a larger age of the universe at the redshift of APM 8279+5255. This way, we find independent evidence for the existence of the recently discovered "cosmological constant", a kind of "dark energy", which still pushes the universe apart.

The XMM-Newton observations of APM 8279+5255 provide important new information about the nucleosynthesis and chemical evolution of the early Universe, new "unified models" for different types of quasar-activity, and finally the measurement of cosmological parameters like the cosmological constant. Presently, at such high redshifts we can only study very few, particularly luminous objects, like APM 8279+5255. However, in the future, we hope to use XEUS, the future large X-ray observatory of ESA, to 08279+5255 studiert werden können, wird mit XEUS, dem künftigen großen Röntgenobservatorium der ESA, eine viel größere Anzahl von schwächeren Objekten auf gleiche Weise beobachtbar werden, so dass die hier aufgeworfenen Fragen beantwortet werden können. routinely analyse X-rays from many faint, distant objects, in order to answer the questions emerging from the present discovery.

XMM-Newton Beobachtungen von Quasaren / XMM-Newton Observations of Quasars

Hoch rot-verschobene Quasare, die leuchtkräftigsten und entferntesten Quellen elektromagnetischer Strahlung, können wichtige Hinweise auf die Entstehung und Entwicklung von Galaxien sowie auf die physikalischen Bedingungen des frühen Universums geben. Ihre Röntgenemission erlaubt Rückschlüsse auf den Akkretionsmechanismus der Materie auf die massiven schwarzen Löcher und eine spektrale Analyse enthält Informationen über das intergalaktische Medium, z.B. auf Lyman- α Systeme, die auf der Sichtlinie zu den Quasaren liegen.

Wegen seiner großen Empfindlichkeit ist XMM-Newton ganz besonders geeignet, spektrale Parameter genau zu bestimmen. Wir haben zwei radio-laute Quasare (PKS 2126-158 und PKS 2149-306) sowie zwei radio-leise Quasare (Q 0000-263 und Q 1442+2931), alle bei z>2, mit XMM studiert. Für die radio-lauten Quasare ist ein einfaches Potenzgesetz mit photoelektrischer Absorption ein passendes Spektralmodell, mit Steigungen von Γ ~1.5, d.h., etwas flacher als die Werte die üblicherweise bei niedrigen Rotverschiebungen gemessen werden. Bei PKS 2128-158 (aber nicht bei PKW 2149-306) finden wir Absorption, die den galaktischen Wert übersteigt. Die Daten erlauben nicht die Unterscheidung eines kalten oder eines warmen Absorbers. Die Rotverschiebung des Absorbers kann nicht bestimmt werden; sie ist aber verträglich mit der Annahme, dass er sich in der Quelle selbst befindet. Mit Röntgenluminositäten von $\sim 10^{47}$ erg s⁻¹ und einem breitbandigen optisch-röntgen-Spektralindex von α_{ox} ~1 sind diese Quasare im Röntgenlicht signifikant heller als entsprechende Objekte bei kleinen Rotverschiebungen.

Für die radio-leisen Quasare konnten wir erstmals genauere Spektralparameter ermitteln. Ein einfaches Potenzgesetz mit galaktischer Absorption liefert eine gute Beschreibung der Spektren mit Steigungen Γ ~2, ähnlich denen von Quasaren bei niedrigen Rotverschiebungen. Die radio-leisen Objekte haben weit geringere Leuchtkräfte (L_x~10⁴⁵ erg s⁻¹) als die beiden radio-lauten Quasare und mit einem α_{ox} ~1.7 sind sie röntgen-leiser als ähnliche Objekte bei niedrigen Rotverschiebungen.

Das Verhältnis der optischen zu den Röntgen- Leuchtkräften bei radio-leisen Quasaren ist im Mittel 5x10⁻⁵, mit einer Streuung um den Faktor 5. Eine kleine Zahl von Objekten aus der ROSAT Datenbank zeigt jedoch eine um den Faktor 30 kleinere Röntgenleuchtkraft. Wir haben einige dieser röntgen-leisen Quasare mit XMM beobachtet, um den physikalischen Grund dieses ungewöhnlichen Verhaltens zu untersuchen. Einer von ihnen, der nahe und optisch sehr helle Quasar PG 0844+349, ist hoch variabel und somit röntgen-leise High red shift quasars are key objects for understanding galaxy formation and evolution, and the physical conditions in the early Universe, since they are the most luminous and distant sources of electromagnetic radiation known. The X-ray emission gives insight into the accretion mechanisms onto super-massive black holes, and the spectral analysis yields information on the intergalactic medium and of damped Ly α systems that can lie along the line of sight.

XMM's high sensitivity is particularly well suited to determine reliable spectral parameters. We have performed a spectral analysis of two radio-loud (PKS 2126-158 and PKS 2149-306) and two radio-quiet (Q 0000-263 and Q 1442+2931) z>2 quasars with XMM. For the radio-loud quasars, a simple power law with photoelectric absorption is a viable model with photon indices Γ ~1.5, slightly flatter than common values at low red shift. We confirm absorption in excess of the galactic value in PKS 2126-158, but not in PKS 2149-306. The data are consistent with both a cold and a warm absorber. The redshift of the absorber is not constrained, but is compatible with being at the source's position. With X-ray luminosities of $\sim 10^{47}$ erg s⁻¹ and an optical-X-ray broadband spectral index α_{ox} ~1 they are considerably X-ray brighter than their low red shift counterparts are.

For the radio-quiet quasars, we determined reliable spectral parameters for the first time. A simple power law with galactic absorption describes the spectra well, with slopes Γ ~2 similar to the typical low red shift values. The radio-quiet objects have much smaller X-ray luminosities ($L_x \sim 10^{45}$ erg s⁻¹) than the two radio-loud quasars and with an $\alpha_{ox} \sim 1.7$ they are more X-ray quiet than their low red shift counterparts are.

Radio-quiet quasars show on average a ratio between optical flux and soft X-ray flux of around $5x10^{-5}$, with a dispersion of a factor of 5. However, a very small number of objects in the ROSAT database have an X-ray flux smaller than a factor of 30 relative to the average. We have studied several of these X-ray quiet quasars with XMM-Newton to obtain information about the physical reason for this unusual behaviour. One of them, the optically very bright and nearby quasar PG 0844+349, is strongly variable and is thus X-

nur in seinem Niedrig-Fluss Zustand. In einer 20 ksec XMM-Newton Beobachtung fanden wir den Quasar in einem historischen Hoch-Zustand. Er zeigte ein strukturloses Spektrum mit einem starken Exzess bei niedrigen Energien über das harte Potenzgesetz. Das Spektrum lässt sich durch Comptonisierungsmodelle oder ein abbrechendes Potenzgesetz mit steiler Steigung (Γ =2.75) bei niedrigen Energien und einem flacheren Verlauf (Γ =2.25) bei hohen Energien mit einem Knick bei 1.35 keV beschreiben. Bei den Comptonisierungsmodellen ist die Gastemperatur signifikant kleiner als in normalen Seyfert-Galaxien, die optische Tiefe jedoch viel größer. Dies kann als ein Indiz für die verschiedenen physikalischen Bedingungen in diesen beiden AGN Klassen gesehen werden. Während der XMM Beobachtung variierte der Fluss von PG 0844+349 achromatisch um ~25% in einer fast linearen Weise über eine Zeitskala von einigen tausend Sekunden, was starke Einschränkungen für heutige Comptonisierungsmodelle von Koronen auf Akkretionscheiben beinhaltet.

BL Lac Objekte sind AGNs mit bemerkenswert strukturlosen Spektren in allen Energiebändern, die zudem starke Intensitäts- und spektrale Variabilität zeigen. Die Emission von BL Lacs stammt wahrscheinlich aus relativistischen Jets, die unter kleinen Winkeln zur Sichtlinie gesehen werden. Die Physik dieser Jets kann durch zeitlich aufgelöste spektrale Beobachtungen studiert werden. Die Variabilitäts-Zeitskalen werden durch Lichtlaufzeiten in der Emissionsregion sowie durch die mikroskopischen Beschleunigungs- und Kühlungsprozesse der Materie bestimmt. Gemessene zeitliche Versetzungen der Lichtkurven bei unterschiedlichen Energien erlauben die Untersuchung der Mikro-Physik der Teilchenbeschleunigung und Kühlung in den Jets.

Wir haben eine detaillierte Untersuchung aller XMM-Newton EPIC-pn Daten des hellen BL Lac Objekts Mrk 421 durchgeführt. Wir sehen die Quelle mit Flüssen, die um einen Faktor 5 variieren. Im allgemeinen ist die Quelle stärker variabel und hat ein härteres Spektrum wenn sie heller ist. Das Spektrum ist komplex und kann nicht durch ein abbrechendes Potenzgesetz oder ein gekrümmtes Spektrum beschrieben werden. Wir finden, dass kurzzeitige Flussänderungen auf Zeitskalen von einigen tausend Sekunden mit signifikanten, komplexen spektralen Variationen einhergehen. Eine Kreuzkorrelations-Analyse zeigt, dass die harten und weichen Lichtkurven gut korreliert sind, meist ohne zeitliche Verschiebungen. In einigen Fällen hinkt die weiche Lichtkurve der harten um ca. 5 min nach, in zwei Fällen folgt die Variation des harten Energiebandes der des weichen.

Es ist schwierig, daraus die zugrunde liegenden physikalischen Emissionsprozesse abzuleiten. Für das zur Zeit favorisierte Stoßwellen-Modell der Jets implizieren die Ergebnisse, dass wir entweder die Emission von mehreren Stoßwellen mit sehr verschiedenen physikalischen Parametern beobachten oder dass wir die Emission von ähnlichen Stoßwellen sehen, die sich in verschiedenen Stadien ihrer zeitlichen Entwicklung

ray quiet only in its low state. In a 20 ksec XMM-Newton observation we observed the quasar in a historically high state compared to previous X-ray observations. The quasar showed a featureless spectrum with a strong soft excess over the extrapolation of a hard power law. Comptonization models or a broken power law with a steep slope at low energies (Γ =2.75) and a flatter slope of Γ =2.25 and a break energy of Ebreak 1.35 keV are acceptable descriptions of the spectral continuum. In Comptonization models the temperature of the Comptonizing gas is considerably lower than generally found in (broad line) Seyfert galaxies, whereas the optical depth is much higher. This might be an indicator of the different physical conditions in these two classes of AGN. During the XMM-Newton observation the flux of PG 0844+349 varied achromatically in a smooth, nearly linear fashion by $\sim 25\%$ on time scales of a few thousand seconds, which puts severe constraints on current models of Comptonizing accretion disk coronae.

BL Lac objects are AGN that show remarkably featureless spectra in all energy bands, as well as strong intensity and spectral variability. The emission from BL Lacs is likely dominated by relativistic jets seen at small angles to the line of sight, and combined spectral and temporal information can greatly constrain the jet physics. Time scales are related to the crossing time of the emission regions, which depend on wavelength and/or the time scales of micro-physical processes like acceleration and radiative losses. The measured lags between the light curves at different energies enable probing the micro-physics of particle acceleration and radiation in the jet.

We have completed a detailed spectral and temporal analysis of all available XMM-Newton EPIC-pn observations of the bright BL Lac object Mrk421. We observed the source over a range of intensities varying in count rates by up to a factor of 5. In general, the source is more variable and shows a harder spectrum during higher intensities than when it is in lower states. The spectrum is very complex and cannot be fitted adequately by a broken power law or a continuously curved model. We find that the flux variations on time scales of a few thousand seconds are associated with significant and complex spectral changes. The cross correlation analysis shows that the soft and hard band light curves are often well correlated near zero lag, in other cases the hard band variations lead the soft band variations by typically ~5 min, in two cases we find the soft band leading the hard band variations.

It is difficult to deduce uniquely the underlying physical parameters for the emission process. For the currently favoured "shock-in-jet" model for the BL Lac emission the results imply that we are seeing the emission from multiple shocks that have either largely different physical parameters or that we detect the emission from similar shocks at very different states of their evolution, heavily confused by relativistic beambefinden. All diese temporären Variationen werden dann noch durch relativistische Doppler- und Laufzeiteffekte verschmiert.

Röntgen-Leuchtkraft-Funktion und Evolution der ROSAT Bright Survey BL Lac Objekte / X-ray Luminosity Function and Evolution of the ROSAT Bright Survey BL Lac Objects

BL Lac Objekte stellen eine besondere, aber gleichzeitig relativ seltene Art im Zoo der Galaxien dar, die von einem super-massiven Schwarzen Loch in ihrem Zentrum angetrieben werden. Ihre wesentlichen Eigenschaften können weitgehend im Rahmen des AGN Standardmodels erklärt werden. Im Einzelnen gibt es jedoch noch viele offene Fragen. Es ist daher von Interesse, die Röntgen-Leuchtkraft-Funktion der BL Lac Objekte, sowie ihre kosmologische Evolution mit derjenigen typischer Aktiver Galaxien zu vergleichen.



Wir berichten über die optische Spektroskopie von BL Lac Objekt-Kandidaten der ROSAT Bright Survey (RBS) und über unsere Analyse der Röntgen-Leuchtkraft-Funktion und ihrer Evolution auf der Basis von 140 RBS BL Lac Objekten mit bekannter Rotverschiebung. Dies stellt eine der größten Stichproben Röntgen-selektierter BL Lac Objekte mit bekannter Rotverschiebung dar und wir können engere Fehlergrenzen für die Evolution der Röntgen-Leuchtkraft-Funktion dieser Objekte angeben, als dies bisher möglich war. Abb. 2-67 zeigt die Breitband-Spektraleigenschaften der RBS BL Lac Objekte.

Wir haben eine Teilmenge von 87 dieser Objekte mit ROSAT Zählraten >0.2 counts s⁻¹ im harten Band (0.5-2.0 keV) benützt, um deren Röntgen-Leuchtkraftfunktion (Abb. 2-68) und Evolution zu bestimmen. Die Stichprobe ist statistisch mit keiner kosmologischen Evolution verträglich. Positive Evolution von der Größe, wie sie bei der Röntgen-LeuchtkraftBL Lac objects represent a distinctive but relatively rare species in the zoo of super-massive black hole powered galaxies. Their observed properties, in broad terms, can be understood in the framework of the unified model of AGN. However, many details are not well understood. It is therefore of interest to compare the X-ray luminosity function of BL Lac objects and its cosmological evolution with that of more common AGN.

ing and time dilatation effects.

Abb. 2-67: Die radio bis röntgen Breitband-Spektren der RBS BL Lac Objekte sind anhand der Breitband-Spektralindices α_{ox} und α_{ro} charakterisiert. Die gestrichelte Linie entspricht einem Breitband-Spektralindex von α_{rx} =0.75 und repräsentiert die Trennungslinie zwischen Röntgen- und radio-selektierten BL Lac Objekten. Objekte mit neu bestimmten Rotverschiebungen sind als blaue Rauten widergegeben. Rote Dreiecke bezeichnen Objekte, die auch Bestandteil der ausführlich untersuchten D40 EMSS Stichprobe sind. Andere RBS BL Lac Objekte sind als grüne Punkte dargestellt. Objekte deren α_{ro} Werte anhand von oberen Flussgrenzen im Radiobereich bestimmt wurden, sind mit nach unten zeigenden Pfeilen versehen.

Fig. 2-67: The radio to X-ray broadband spectral properties of the RBS BL Lac objects are expressed through their broadband spectral indexes α_{ox} and α_{ro} . The dashed line corresponds to $\alpha_{rx}=0.75$ and marks the boundary between X-ray and radio-selected BL Lac objects. Objects with newly determined redshifts are represented as blue diamonds. Red triangles refer to objects that are also part of the D40 EMSS BL Lac sample. Other RBS BL Lac objects are marked as green dots. Objects where α_{ro} was calculated from radio flux upper limits are marked by downward pointing arrows.

We report on optical spectroscopy performed on BL Lac object candidates from the ROSAT Bright Survey (RBS) and on our analysis of the X-ray luminosity function and its evolution, based on 140 RBS BL Lac objects with known redshifts. This represents one of the largest samples of X-ray selected BL Lac objects with known redshifts, and we can place tighter bounds on the evolution of the X-ray luminosity function of these objects than was previously possible. We find that the sample is consistent with no cosmological evolution. We show the broadband spectral properties of the RBS BL Lac objects in Fig. 2-67.

We used a subset of 87 of these objects with ROSAT hard band (0.5-2.0 keV) count rates >0.2 counts s⁻¹ to determine the X-ray luminosity function (Fig. 2-68) and evolution properties. The sample is statistically consistent with no cosmological evolution. Positive evolution of the magnitude observed in the AGN Xray luminosity function can be excluded at the 3σ Abb. 2-68: Gebinnte Röntgen-Leuchtkraft-Funktion in den Rotverschiebungsintervallen 0.0-0.2 (Quadrate), 0.2-0.4 (Rauten) und 0.4-0.9 (Dreiecke). Die Leuchtkraft-Funktion wurde anhand von 87 Objekten mit bekannten Rotverschiebungen und einer ROSAT Zählrate im harten Band (0.5-2.0 keV) > 0.2 counts/s unter der Annahme einer Ω_m =0.3, Ω_A =0.7 Kosmologie bestimmt.

Fig. 2-68: The binned X-ray luminosity function is plotted in the redshift ranges 0.0-0.2 (squares), 0.2-0.4 (diamonds), and 0.4-0.9 (triangles). The luminosity function was constructed from 87 objects with known redshifts and ROSAT hard band (0.5-2.0 keV) count rates >0.2 counts/s, assuming a Ω_m =0.3, Ω_A =0.7 cosmology.

level. It is still an open issue how this observational fact is best reconciled with the unified model.

[BRINKMANN, BRUNNER, FERRERO, HASIN-GER, KOMOSSA]



2.3.7 γ-laute AGN / γ-Ray Loud AGN



Abb. 2-69: Breitband-Spektren von 6 Blasaren, die von COMPTEL detektiert wurden. Die Spektren von 3C 273, 3C 279, PKS 0528+134 und PKS 1622-297 enthalten nur simultane Messdaten; die beiden anderen nicht. Die Gamma-Emission dominiert in 5 der 6 Quellen.

Fig. 2-69: Broadband SEDs of 6 COMPTEL-detected blazars. The plots of 3C 273, 3C 279, PKS 0528+134 and PKS 1622-297 contain simultaneous measurements, while the other two plots contain non-simultaneous data. The dominance of the γ -ray emission in 5 out of the 6 sources is obvious.

Um unser Verständnis der Emissionsphysik von γ lauten AGN zu erweitern, haben wir Breitband-Spektren von Blasaren erstellt, die von COMPTEL bei MeV-Energien nachgewiesen wurden. Zum ersten Mal konnten 6 solche Spektren erstellt werden, die vom Radio- bis zum γ -Bereich reichen und zum Vergleich als vF_v-Plots dargestellt sind (Abb. 2-69). Mit 3C 273 To generalize our understanding of the emission physics of γ -ray radiating AGN, we have compiled broadband spectra of COMPTEL-detected (0.75-30 MeV) blazars. For the first time 6 such spectra could be produced, covering radio to γ -ray energies, which we show as vF_v plots (Fig. 2-69). With the exception of 3C 273, all spectra are similar. They show two broad als Ausnahme sind alle Spektren sehr ähnlich, was darauf schließen lässt, dass auch breitbandig dieselbe Emissionsphysik vorliegt. Die Spektren zeigen 2 Maxima, die im IR und im γ -Bereich liegen. Die Gamma-Strahlung dominiert den Fluss und zeigt einen spektralen Übergang im MeV-Band (bei etwa 10²¹ Hz). Wir interpretieren diese spektrale Form als Zeichen von nicht-thermischer Emission, die in einem relativistischen Jet erzeugt wird. Das nieder-energetische Maximum ist synchrotron und das höher-energetische invers-Compton Strahlung. Die Vorherrschaft der beiden Emissionsmechanismen wechselt typisch im UVweichen Röntgenbereich. 3C 273 zeigt zusätzliche, wahrscheinlich thermische, spektrale Merkmale. Wahrscheinlich zeigt bei 3C 273 der AGN-Jet weiter von unserer Sichtlinie weg, wodurch die nicht-thermische Emission weniger stark verstärkt wird.

humps, peaking in the infrared and γ -ray bands. The γ -rays clearly dominate the energy flux of these sources, and show a more or less sharp spectral turnover in the MeV band (around 10^{21} Hz). We interpret these humps as signs of non-thermal emission generated in a relativistic jet. The lower-energy one is due to synchrotron and the high-energy one as inverse-Compton radiation originating from relativistic jet electrons. The dominance of the two spectral components changes within the UV- to soft X-ray band. The blazar 3C 273 shows additional – most likely thermal – spectral features. In this case the AGN jet is probably more offset to our line of sight, resulting in a lower "Doppler-boosting" of the non-thermal emission.



Abb. 2-70: Simultane EGRET und COMPTEL Spektren von 4 unidentifizierten EGRET Quellen sind dargestellt. Die durchgezogenen grünen Linien zeigen die im EGRET Bereich (>100 MeV) best-fittenden Potenzgesetze, die gestrichelten grünen Linen die $\pm 1\sigma$ Grenzen der Potenzgesetzform und die gepunkteten Linien die jeweilige Extrapolation in den MeV Bereich. Die simultanen COMPTEL Flüsse (Datenpunkte oder 2σ obere Grenzen) sind in rot gezeichnet. Ein Beispiel von jeder der im Text beschriebenen 4 Gruppen ist gezeigt.

Fig. 2-70: Combined EGRET and COMPTEL spectra of 4 unidentified EGRET sources. The solid green lines show the best-fit EGRET power-law shape at energies above 100 MeV, the dashed green lines are the $\pm 1\sigma$ boundaries on the power-law shape, and the dotted lines the extrapolations below 100 MeV. The simultaneous COMPTEL flux measurements (data points or 2σ upper limits) are plotted in red. One example from each of the 4 categories described in the text is shown in the figure.

Der Nachweis von vielen unidentifizierten γ-Quellen war eine der wichtigsten Entdeckungen des Compton Gammastrahlen-Observatoriums (CGRO). Von 271 Quellen, die EGRET bei Gamma-Energien >100 MeV nachgewiesen hat, sind ~170 bisher nicht identifiziert. Die meisten davon sind wahrscheinlich AGN, Pulsare oder Mikro-Quasare. Um zusätzliche Informationen über diese Quellen zu erhalten, haben wir für jede einzelne die zeitgleichen COMPTEL MeV-Daten analysiert. Danach haben wir die erarbeiteten Flüsse bzw. oberen Flussgrenzen mit der Extrapolation der publizierten EGRET Spektren verglichen. Unsere Ergebnisse (Abb. 2-70) können in 4 Gruppen eingeteilt werden. Bei 120 Quellen können wir nur obere, nicht einschränkende, Flussgrenzen erarbeiten, die konsistent mit der Extrapolation der EGRET Spektren sind. Wir detektieren ($\geq 2\sigma$ Signifikanz) ~20 Quellen, deren

A major legacy of CGRO has been the detection of a large number of unidentified γ -ray sources. Out of the 271 sources detected by EGRET at energies above 100 MeV, the nature of ~170 has not been identified. Most are likely AGN, pulsars, or micro quasars. To provide additional information on these unidentified EGRET sources, we derived simultaneous MeV fluxes or flux limits for each source by analysing the contemporaneous COMPTEL data. Then we compare these flux values to the extrapolations of the published EGRET spectra. Our results (Fig. 2-70) are grouped into 4 categories. For 120 sources, we could only derive nonconstraining upper limits. These limits are consistent with the extrapolations of the EGRET spectra into the MeV band. We detect ($\geq 2\sigma$) ~20 sources. Their MeV fluxes are consistent with the EGRET extrapolations, showing that the measured EGRET spectra extend into

Flüsse konsistent mit den Erwartungen aus dem EGRET-Bereich sind. Die EGRET Spektren setzen sich ohne offensichtliche Änderungen in den MeV-Bereich hinein fort. Wir finden 2 Quellen, deren MeV Flüsse über der EGRET Extrapolation liegen, ähnlich der sogenannten "MeV-Blasar" Klasse von AGN. Schließlich gibt es noch ~30 Quellen deren obere Flussgrenzen unterhalb der EGRET Extrapolation liegen, was einen spektralen "Knick" im MeV Band erforderlich macht. Diese Eigenschaft ähnelt den typischen Spektren der Gamma-Blasare. Somit können wir für insgesamt 40-50 unidentifizierte EGRET Quellen ergänzende und weiterführende spektrale Informationen im benachbarten Gamma-Band liefern. Diese, zusammen mit anderen Quelleigenschaften (z.B. Variabilität) könnten für einige Quellen Rückschlüsse auf deren physikalische Natur erlauben.

the MeV band without any obvious spectral change. We detect two sources with MeV fluxes above what is expected from the EGRET spectra, reminiscent of a specific AGN class called "MeV blazars". Finally, we find about 30 sources whose upper flux limits are below the expected fluxes from the EGRET spectra, requiring a spectral "break" at MeV energies. This spectral feature resembles that of typical γ -ray blazar spectra. In summary, for about 40-50 of the unidentified EGRET sources we can provide supplementary spectral information in the neighbouring γ -ray energy band. This and other parameters (e.g. spectral shape, variability) may for some individual sources provide clues to the underlying source nature.

[COLLMAR, SCHÖNFELDER, ZHANG]

2.3.8 Entstehung und Entwicklung von Galaxien / Formation and Evolution of Galaxies

Rekonstruktion der Sternentstehungsgeschichte naher Galaxien / Star Formation History through Fossil Records of Nearby Galaxies

Die alten Sterne einer Galaxie enthalten Hinweise auf die Entstehungsgeschichte dieses Systems. Löst man also nahe Galaxien in ihre Einzelsterne auf, so kann man die beobachtete Parameterverteilung dieser Sterne vergleichen mit theoretischen Vorhersagen, welche auf dem erreichten Verständnis der stellaren Entwicklung basieren. Dabei müssen diese Modelle sowohl die beobachterischen Fehler und Auswahleffekte berücksichtigen als auch die Metallizität und Distanz der betrachteten Galaxie. Die aus den Beobachtungen entnommene Helligkeit der hellsten roten Riesensterne gibt mit guter Genauigkeit einen Hinweis auf die Distanz der Galaxie und die Streubreite der Farben der Roten Riesen in einem Farben-Helligkeitsdiagramm erlaubt, die Metallizität der alten Sterne abzuschätzen. Damit verbleibt als wesentlicher freier Parameter des Models die zu Grunde gelegte Sternentstehungsgeschichte. Die Aussagekraft dieses Ansatzes hängt wesentlich von der Qualität der Beobachtungen ab. Ein sicher nachgewiesener Roter Riesenast im Farbenhelligkeitsdiagramm erlaubt, die Geschichte bis zu einer Milliarden Jahre zurück zu verfolgen, der Nachweis des sogenannten Horizontalastes bzw. des sogenannten "red clump" erschließt sie bis zu vielen Milliarden Jahren, der Nachweis von Sternen des Abknickpunktes der Hauptreihe erlaubt den Nachweis über fast das ganze Alter des Universums.

Wir haben diese Methode für sogenannte Blaue Kompakte Zwerggalaxien (BCD) entwickelt und angewandt. Abb. 2-71 zeigt ein Beispiel für eine Galaxie in einer Distanz von ca. 7 Mpc. Wir haben diese Vorgehensweise sowohl auf optische wie auf nah-infrarote Beobachtungen des Hubble Space Teleskops (HST) erfolgreich angewandt. BCD Galaxien sehr geringer Metalitztät sind des öfteren verdächtigt worden, junge Galaxien zu sein, die heute ihre erste Sterngeneration bilden. Wir konnten jedoch nachweisen, dass alle diese Galaxien eine alte Sternkomponente beinhalten. So haben wir beispielsweise an Hand von HST BeobachThe stellar population of galaxies contains the fossil record of their formation and assembly. Resolving nearby galaxies into individual stars enables us to compare the observed distribution in a colour-magnitude diagram with theoretical predictions based on stellar evolutionary models. These model predictions account for observational selection effects and photometric errors, as well as the metallicity and distance of the galaxy. The observed position of the tip of the red giant branch fixes the distance modules while the width of this branch indicates the metallicity of the old population. The comparison between observations and models thus allows us to estimate the star formation history. The power of this method depends on the detail and quality of the observations. Securely identified red giant branches provide a means to investigate the star formation history to 1 Gyr. Detecting the so-called "red clump" and horizontal branch stars extend this to several Gyr, while detecting the turn-off of the main sequence further extends the history to nearly a Hubble time.

We have developed and applied the method mostly for blue compact dwarf galaxies (BCD). Fig. 2-71 gives an example for a galaxy with a distance of ~7 Mpc. We applied our model to optical and near infrared data from the Hubble Space Telescope (HST). Low metallicity BCDs are often believed to be local primeval galaxies that are just now forming their first generation of stars. Our results, however, show that these systems do in fact contain an old stellar component. For example, with HST WFPC2 data we have detected the horizontal branch population in the halo of LeoA, a very low metallicity Local Group dwarf irregular tungen den Horizontalast in der extrem metall-armen Galaxie LeoA nachgewiesen, einer irregulären Galaxie der lokalen Gruppe, die bislang als "jung" eingeschätzt wurde. Während also das hierarchische Entwicklungsschema der Galaxien junge Galaxien im lokalen Universum zulässt ist bislang nicht eine einzige junge Galaxie gefunden worden. galaxy. While the hierarchical clustering scheme of galaxy formation and evolution allows for young galaxies, not a single one has been found in the local universe.



Abb. 2-71: Unsere Beobachtungen der Zwerggalaxie UGCA 290 mit dem Hubble Space Teleskop überdecken neun Größenklassen im I-Band und erlauben eine detaillierte Rekonstruktion der Sternentstehungsgeschichte. Die aus Modellen ermittelten synthetischen Farbenhelligkeitsdiagramme (links oben) werden mittels Sternzählungen in den einzelnen Bereichen mit dem beobachteten Diagramm (links unten) verglichen und erlauben den Schluss, dass vor relativ kurzer Zeit die Sternentstehungsrate für ca. 20 Millionen Jahre erhöht war, was die Signaturen produziert, die zur Klassifikation als BCD-Galaxie führen. Die gesamte rekonstruierte Sternentstehungsgeschichte (rechts) ist aber über die meiste Zeit auf einer etwas geringeren Rate weitgehend konstant gewesen.

Fig. 2-71: Our Hubble Space Telescope single-star photometry for UGCA 290 extends over nine magnitudes in I, and allows a detailed study of its star formation history. Using synthetic magnitude-magnitude diagrams (top left) in comparison to observed CMDs (top right) and number counts (bottom left), we have shown that the recent "burst" which gives this galaxy its BCD status is a moderate enhancement in star formation that lasted for approximately 20 Myr (right). The star formation history for most of the previous billion years is consistent with a constant rate.

Ein weiteres Problem des hierarchischen Entwicklungsmodels ist die sogenannte Zwerggalaxien-Krise: Das Model sagt weit mehr Zwerggalaxien als Trabanten großer Galaxien wie der Milchstrasse voraus als beobachtet werden. Kürzlich wurde nunmehr vorgeschlagen, einen Teil der seit langem aus der Radioastronomie bekannten kompakten Hochgeschwindigkeitswolken (HVC) als die fehlenden Zwerggalaxien zu identifizieren. Wir haben das ESO VLT mit dem FORS Instrument benutzt, um auf tiefen Aufnahmen nach einer stellaren Population der am besten geeigneten Kandidaten zu suchen und damit die Distanz der Wolken abzuleiten, was wiederum einen Test der Hypothese erlaubt. Es wurde keine stellare Population nachgewiesen und die sorgfältigen Tests schließen jede prominente Population in den Wolken aus. Die HVC sind also entweder reine Gaswolken im Halo der Milchstrasse oder kleine Halos aus dunkler Materie und Wasserstoffgas, die nie Sterne formten.

Bislang wurden Studien der Sternentstehungsgeschichte sowohl von uns als auch weltweit primär auf Another puzzle of the hierarchical clustering scheme is the so-called dwarf galaxy crisis: far more dwarf galaxies are predicted in the surroundings of big galaxies like the Milky Way than are actually observed. Recently, it was proposed that some of the long-known high-velocity HI clouds (HVC), namely those with a compact core, could be associated with small dark matter halos and represent the missing dwarfs. We have used FORS on the ESO VLT to search for an intrinsic stellar population to determine the distance for these clouds to test this theory. We have not detected any stellar features, and our robust upper limits rule out a major stellar population in these HI clouds. Thus, they are either gaseous phenomena of the Milky Way halo or dark matter halos that never formed any stars.

Both our population analyses and those of other teams have been restricted mostly to dwarf galaxies because Zwerggalaxien angewandt, da die bisherigen Limitierungen im Gesichtsfeld existierender Kameras keinen repräsentativen Anteil massiver Galaxien aufzeichnen können. Zwerggalaxien tragen aber nur einen kleinen Teil zur gesamten Sternentstehungsgeschichte des Universums bei. Moderne, bodengebundene Kameras mit großem Gesichtsfeld, wie sie etwa für das LBT geplant sind, werden es erlauben, diesen methodischen Ansatz effizient auf die nahen, großen elliptischen und Spiralgalaxien zu übertragen. of the limited fields of view of the current cameras. Dwarf galaxies provide only a minor contribution to the total star formation history of the universe, however. Modern ground based wide field observing devices like those at the LBT will enable us to apply the method also to larger elliptical and spiral galaxies.





Abb. 2-72: Elementverhältnis [α /Fe] als Funktion von Geschwindigkeitsdispersion σ und mittlerem Alter. Blaue und rote Symbole sind jeweils Feld- und Haufengalaxien. Dreiecke sind S0, Kreise elliptische Galaxien. Die beiden Quadrate sind die Zentralgalaxien des Coma-Haufens. Mittlere Alter und Element-Verhältnisse sind mit unseren SSP Modellen abgeleitet. Galaxiendaten sind von Gonzalez (1993), Mehlert et al. (2003), und Beuing et al. (2002).

Fig. 2-72: Element abundance ratios [α /Fe] as functions of velocity dispersions σ and mean age. Blue and red symbols are field and cluster early-type galaxies, respectively. Triangles are lenticular, circles elliptical galaxies. The two squares are the Coma cD galaxies NGC 4874 and NGC 4889. Mean ages and abundance ratios are derived with our [α /Fe] enhanced SSP models. Galaxy data are taken from Gonzalez (1993), Mehlert et al. (2003), and Beuing et al. (2002).

Wir bestimmen die mittleren Alter und Elementhäufigkeiten von 126 elliptischen Galaxien, indem wir deren Absorptionslinien Indizes mit unseren neuen Populations Synthese Modellen analysieren. Es stellt sich heraus, dass das Element-Verhältnis $\left[\alpha/Fe\right]$ klar mit der Geschwindigkeitsdispersion korreliert ist (Abb. 2-72). Nullpunkt, Steigung und Streuung dieser Korrelation sind unabhängig von der Umgebungsdichte. Das $\left[\alpha/\text{Fe}\right]$ Verhältnis korreliert auch mit dem mittleren Alter der Galaxien, so dass Objekte mit hohen $\left[\alpha/Fe\right]$ Verhältnissen relativ alt sind, und umgekehrt. Dieses Ergebnis ist ein deutlicher Hinweis darauf, dass die relativ hohen [a/Fe] Verhältnisse in elliptischen Galaxien eher durch kurze Sternentstehungszeitskalen als durch eine Abflachung der Anfangsmassenfunktion erzeugt worden sind. Ein nicht zu vernachlässigender Anteil (~15%) von S0 Galaxien, Feldellipsen, und den zentralen Coma Galaxien weicht von diesem Trend ab. Dies kann verstanden werden, wenn man annimmt, dass sich in diesen Galaxien ein geringer Teil der Sterne (~1%) erst vor relativ kurzer Zeit (d.h. vor etwa 0.2-1 Milliarden Jahren) gebildet hat.

Mit Hilfe von Modellen, die die chemische Entwicklung von Galaxien beschreiben können nun die Korrelationen aus Abb. 2-72 in Sternentstehungszeitskalen übersetzt werden. Dies ermöglicht es uns, die Epochen

With a new set of α /Fe-enhanced population synthesis models, we derive mean ages and element abundances from absorption line indices for 126 cluster/field earlytype galaxies. We find a clear correlation between $\left[\alpha/\text{Fe}\right]$ and velocity dispersion (Fig. 2-72). The zeropoint, slope, and scatter of this correlation are independent of the environment. The $\left[\alpha/Fe\right]$ ratios and mean ages of elliptical galaxies are well correlated, i.e. galaxies with high $\left[\alpha/\text{Fe}\right]$ ratios have also high average ages. This result strongly reinforces the view that the $\left[\alpha/Fe\right]$ element enhancement in ellipticals is produced by short star formation timescales rather than by a flattening of the initial mass function. A non-negligible fraction (~15%) of lenticular galaxies, field ellipticals, and the Coma cDs deviate from this trend, which we can explain, assuming they have suffered from a very recent (0.2-1 Gyr ago) minor (~1% in mass) star formation episode.

By means of chemical evolution models, the relations in Fig. 2-72 are translated into star formation timescales and the epochs of the main star formation episode as functions of velocity dispersion. We find that der wesentlichen Sternentstehung als Funktion der Geschwindigkeitsdispersion zu ermitteln. Es stellt sich heraus, dass die Entstehungszeitskalen von massereichen Galaxien kürzer sind, und dass sie sich bei einer höheren Rotverschiebung bilden (Abb. 2-73). Diese Beobachtung steht in klarem Widerspruch zu den Vorhersagen von theoretischen Modellen, die Galaxienentstehung in einen hierarchischen Kontext zu beschreiben versuchen.

Abb. 2-73: Sternentstehungsgeschichte von elliptischen Galaxien mit verschiedenen Geschwindigkeitsdispersionen (d.h. Massen).

Fig. 2-73: Star formation histories derived for elliptical galaxies of various velocity dispersions (i.e. masses).



Mit Hilfe von Populationssynthese Modellen können das Alter und die Metallizitäten von Sternpopulationen in Galaxien bestimmt werden. Durch die Messung der Absorptionslinienstärken von Magnesium und Eisen haben Worthey und Kollegen herausgefunden, dass elliptische Galaxien sehr wahrscheinlich überhäufig in sog. leichten Elementen relativ zur Sonne sind (Abb. 2-74). Dieses Ergebnis deutet auf sehr kurze Entstehungszeitskalen (t~1 Gyr) dieser Galaxien hin, was nur schwer mit der Theorie der hierarchischen Galaxienentstehung in Einklang zu bringen ist. Die Abschätzung der Elementhäufigkeiten war bisher allerdings noch sehr qualitativ, da sie mit Modellen durchgeführt wurde, die eine Vielzahl von verschiedenen Element-Verhältnissen widerspiegeln und insbethe more massive the galaxy, the shorter the formation timescale and the higher the formation redshift (Fig. 2-73), in conflict with the predictions from models of hierarchical galaxy formation.



Abb. 2-74: Absorptionslinienindizes Mgb gegen $\langle Fe \rangle$. Daten für elliptische Galaxien (kleine offene Symbole) sind von Gonzalez 1993, Kuntschner 2000, Mehlert et al. 2000 und Beuing et al. 2002. Unsere Kugelhaufen sind die roten Symbole. Blaue Linien: Herkömmliche Populationssynthese-Modelle für das Alter 3, 5, 10, 12 und 15 Gyr (von links nach rechts), und die Metallizitäten [Fe/H]=(-2.25; -1.35; -0.55; -0.33; 0.00; 0.35; 0.67 (von unten nach oben). Schwarze Linien: unsere neuen Modelle mit den selben Metallizitäten wie oben, 12 Gyr, und den Elementverhältnissen [α /Fe] = 0.0, 0.3, 0.5.

Fig.2-74: Mgb vs. average $\langle Fe \rangle$ diagram of elliptical galaxies (small open symbols, from Gonzalez 1993, Kuntschner 2000; Mehlert et al. 2000; Beuing et al. 2002). Our Bulge GCs are the red symbols. Blue lines: standard SSP models with ages 3, 5,10, 12 and 15 Gyr, from left to right, and metallicities [Fe/H]= (-2.25; -1.35; -0.55; -0.33; 0.00; 0.35; 0.67), from bottom to top. Black lines: 12 Gyr SSP models with same total metallicities, but variable [α /Fe] = (0.0, 0.3, 0.5).

We are using synthesis models of Simple Stellar Populations (SSPs) to estimate ages and metallicities of galaxies. By measuring the line strength of Magnesium and Iron (Lick Mgb and Fe indices), Worthey and his collaborators have found that elliptical galaxies are likely overabundant in light elements (Fig. 2-74). This almost inevitably implies short star formation timescales (t~1 Gyr), which are difficult to reconcile with hierarchical galaxy formation models. However, the above conclusion is largely qualitative because standard SSP models use ingredient stars that have a variety of element abundances (from GCs to Milky Way disk stars), and they are not calibrated at high metallicities. Our team is now able to assess this issue. First, we compute new-generation SSP models sondere bei hohen Metallhäufigkeiten nicht kalibriert sind. Unser Team ist nun in der Lage, diesen Vorbehalt aufzulösen. Wir haben neue Populationssynthese-Modelle mit wohl definierten Elementverhältnissen entwickelt. Wichtig ist, dass wir diese Modelle mit neuen Daten von Kugelhaufen aus unserer Galaxis kalibriert haben. Kugelhaufen sind ideal für diesen Zweck, da die chemische Zusammensetzung ihrer Sterne und auch ihr Alter durch detaillierte hochauflösende Spektroskopie von Einzelsternen bekannt ist. Mit unseren neuen Modellen für erhöhte $\left[\alpha/Fe\right]$ Verhältnisse sind wir nun in der Lage, die Stärken der Absorptionsindizes von Kugelhaufen exakt zu reproduzieren. Diese Modelle ermöglichen es auch zum ersten Mal, die Mg- und Fe-Indizes von elliptischen Galaxien quantitativ zu erfassen. Wir kommen zu dem Schluss, dass elliptische Galaxien tatsächlich sehr hohe $\left[\alpha/Fe\right]$ Element-Verhältnisse haben, die in der Theorie der Galaxienentstehung unbedingt berücksichtigt werden müssen.

that have well defined element abundance ratios $\left[\alpha/\text{Fe}\right]$ for given total metallicity. We then calibrate these models with our newly obtained data of globular clusters of the galactic Bulge. These objects are the ideal calibrators because their detailed chemical compositions and ages are known from stellar spectroscopy and their metallicities are high enough (up to $\sim Z_{\odot}$) to be relevant to ellipticals. The new models are excellent representations of the Bulge GCs as a coeval sequence of 0.3-enhanced stellar populations with various total metallicities. This is in agreement with the results of stellar spectroscopy. Our enhanced models reach for the first time the region of the diagram occupied by elliptical galaxies. We conclude that super-solar abundance ratios in ellipticals are real, and have to be taken into account to constrain the star formation histories of these galaxies.



Kugelhaufen und die Entwicklung von Galaxien / Globular Clusters: A Key to Galaxy Evolution

Eine wesentliche Einschränkung bei der Beobachtung von Galaxien außerhalb der Lokalen Gruppe ist, dass es nicht möglich ist, sie in Einzelsterne aufzulösen, sondern nur das diffuse Licht vieler Sterngenerationen analysiert werden kann. Kugelhaufen helfen, dieses Problem zu lösen, da sie um Größenordnungen heller sind, trotzdem aber jeweils nur eine Sterngeneration repräsentieren. Mit dem FORS2 Spektrographen am VLT haben wir erstmals ein großes Sample von Kugelhaufen in elliptischen Galaxien beobachtet. Eine erste Analyse zeigt die Abb. 2-75. Das wichtigste Ergebnis ist, dass die Kugelhaufen in elliptischen Galaxien ähnlich wie das diffuse Licht überhäufig in leichten Elementen sind, und somit die Existenz von Sterngenerationen mit hohen $\left[\alpha/Fe\right]$ Elementverhältnissen bestätigt wird.

Abb. 2-75: Absorptionslinienindizes Mgb gegen $\langle Fe \rangle$ von extragalaktischen Kugelhaufen (gefüllte Symbole) in unserem Sample von elliptischen Galaxien: NGC 3115 (pink), NGC 5846 (grün), NGC 7192 (türkis). Offene Symbole zeigen die Indizes des integrierten Lichts der Galaxien (NGC 3115 von Trager et al. 1998; NGC 5846 von Gonzalez 1993; NGC 7192 von Beuing et al. 2002). Die Linien sind unsere neuen Populationssynthese-Modelle für die Element-Verhältnisse [α/Fe] = 0.0, 0.3, 0.5.

Fig. 2-75: Mgb vs. $\langle Fe \rangle$ for extragalactic GCs (filled symbols) in our sample of early-type galaxies: NGC 3115 (magenta), NGC 5846 (green), NGC 7192 (cyan). Open symbols show the indices of the galaxy integrated light (NGC 3115 from Trager et al. 1998; NGC 5846 from Gonzalez 1993; NGC 7192 from Beuing et al. 2002). Solid black lines are our stellar population models for 12 Gyr and three different values of the α /Fe element ratio (0.0, 0.3, 0.5), with zero being the solar value.

The main drawback of studying galaxies through their diffuse light is the incapability to resolve individual stellar generations. Globular clusters offer a solution to this problem, because they are prototypical Simple Stellar Populations, which can provide information about the global star-formation history of the galaxies themselves. Here we present for the first time absorption line indices of a large sample of globular clusters in elliptical and lenticular galaxies. We obtained the data with FORS2 at the VLT. A first analysis on three galaxies is shown in Fig. 2-75. The result is that these external globular clusters are likely to be as overabundant in light elements as Milky Way globular clusters. The most metal-rich globular clusters (Mgb>4) are consistent with the diffuse galaxy light.

[BENDER, HOPP, MARASTON, THOMAS]

2.4 GROSSRÄUMIGE STRUKTUR UND KOSMOLOGIE / COSMOLOGY AND LARGE-SCALE STRUCTURE

Die interessantesten Entwicklungen der auf Beobachtungen gegründeten Kosmologie betreffen die immer präziser werdenden Tests kosmologischer Modelle und die Möglichkeit, die Bildung und Entwicklung von Galaxien zu immer früheren Epochen hin zu verfolgen. In den letzten Jahren haben wir damit begonnen, die Population von sehr entfernten Galaxien zu charakterisieren, bei Rotverschiebungen von 5 bis 6 durch geeignete Farbauswahl von Galaxien in ultratiefen Durchmusterungen, bei Rotverschiebungen von z=3 bis 4 durch die sogenannte Ly-Break-Technik und durch sub-mm Beobachtungen, zwischen z=1 und 2 im nahen und mittleren Infrarotbereich, und bei geringerer Rotverschiebung durch detaillierte Studien. Aus diesen Ergebnissen entsteht ein Bild der Bildungsgeschichte von Galaxien und ihren zentralen, massiven Schwarzen Löchern. Einige der interessantesten Forschungsergebnisse, die am MPE erzielt wurden, kommen aus diesen Anstrengungen im Optischen, Infraroten und sub-mm Bereich. Darüber hinaus liefern die tiefsten je durchgeführten Röntgenbeobachtungen nicht nur Einblick in die Entwicklung der Aktivität von zentralen schwarzen Löchern in Galaxien, sondern es deutet sich auch eine Verbindung an zwischen dem Entwicklungsmodell und dem Vereinheitlichungsmodell der verschiedenen Erscheinungsformen von AGN (aktiven galaktischen Kernen) zu einem einheitlichen unterliegenden physikalischen Modell.

Die massivsten Objekte im Universum, die Galaxienhaufen, haben sich im Vergleich zu Galaxien erst in jüngerer Zeit gebildet. Am MPE untersuchen wir die Struktur und Entwicklung dieser Objekte bei niedrigerer Rotverschiebung - gewinnen dabei aber durch fossile Spuren auch Einsichten in frühe Phasen der Galaxienentwicklung. Darüber hinaus bieten diese massivsten, klar definierten Objekte eine ideale Möglichkeit, die großräumige Struktur der Materieverteilung im Universum zu vermessen und zu studieren. Der Fortschritt in unseren Himmelsdurchmusterungen von Galaxienhaufen liefert dabei neue und engere Einschränkungen für mögliche kosmologische Modelle und zur Natur der Dunklen Materie und Dunklen Energie. Im folgenden ausführlicheren Bericht folgen wir den Studien von den entferntesten Beobachtungen zu den kleineren Rotverschiebungen.

The two currently most fascinating developments in observational cosmology are the increasingly precise tests of cosmological models and the possibility to trace galaxy formation and evolution through cosmic epochs to earlier and earlier times. In the last years we have started to characterize the galaxy population of distant galaxies at redshift between 5 and 6 through careful color selection in ultradeep surveys, at redshifts from z=3 to 4 by so-called Ly-break techniques and by sub-mm observations, between z=1 and 2 in the near and mid-infrared, and at lower redshifts with more detailed studies. As a result a detailed picture of the history of galaxy formation and the evolution of their central black holes is emerging. Some of the most interesting results of research at MPE come from these efforts in optical, infrared, and sub-mm observations. In addition the deepest X-ray observations ever conducted are now providing insight not only into the evolution of the activity of massive black holes in galaxies but also a connection of this evolution with the unification models which aim to describe the widely varying AGN (active galactic nuclei) phenomena with an unified under-laying physical model.

The most massive objects in the Universe, galaxy cluster, have formed more recently than most of the galaxies. At MPE we study the structure and evolution of these objects at lower redshifts – but part of the insights we obtain yield fossil records of the early episodes of galaxy formation. In addition these most massive clearly defined objects provide an ideal means to characterize and study the large-scale structure in the matter distribution of our Universe. Progress in our galaxy clusters surveys and their analysis provide new and tighter constraints on cosmological models and the nature of dark matter and dark energy. The following detailed report traces these studies from high to lower redshifts.

2.4.1 Galaxienbildung und -entwicklung bei hoher Rotverschiebung / Galaxy Formation and Evolution at high Redshift

Lyman Break-Galaxien bei z > 5 und die Ursachen der Reionisation / Lyman Break Galaxies at z > 5 and the Sources of Reionization

Aus sehr tiefen R-, I- und z-Band-Aufnahmen eines Feldes von ~42 Quadratbogenminuten haben wir mögliche sternbildende Galaxien und AGN bei z > 4.8 auf Grund der starken R- und I-Band Helligkeit ausgewählt (R-I)_{AB} > 1.5 (Abb. 2-76). Tiefe Spektroskopie By carrying out extremely deep R, I and z-band imaging of a ~42 square arc-minute field we selected candidate star-forming galaxies and AGN at z > 4.8, by the presence of a strong break between the R and I band magnitude in their spectral energy distributions



für einige dieser farbselektierten Quellen ergibt für die Mehrheit Rotverschiebungen von z=4.8 bis 5.8. Alle zeigen eine starke Emissionslinie bei 7000-8400 Å, vermutlich Ly- α , mit einem spektroskopisch sichtbaren Kontinuumssprung über die Linie hinweg (Abb. 2-77). Die Linienflüsse liegen zwischen ~10⁻¹⁸ und einigen 10⁻¹⁷ erg cm⁻² s⁻¹ entsprechend Leuchtkräften um 10⁴²⁻⁴³ erg s⁻¹ für Ly- α und Sternbildungsraten von einigen Zentel bis ~20 M_{\odot} pro Jahr. Ein weiteres Emissionslinienobjekt ohne erkennbares Kontinuum wurde zufällig spektroskopisch entdeckt. Es muss entweder eine [OII]-Quelle bei z=1.5 oder eine Ly- α -Quelle bei z=6.6 sein. Wenn diese Galaxie bei z=6.6 läge, wäre sie die entfernteste zur Zeit bekannte Galaxie. Keine aktiven Galaxienkerne mit breiten Linien (QSOs) wurden gefunden. Dies ist die gegenwärtig Abb. 2-76: Echtfarbenbilder (R, I, und z) von sechs Galaxien mit spektroskopischen Rotverschiebungen (unten links in jedem Einzelbild notiert). Der kleine Kreis in jeder Aufnahme hat einen Durchmesser von 2".

Fig. 2-76: True colour images (R, I and z) of 6 galaxies with spectroscopic redshifts (indicated at the bottom left of each individual image). The small circle in each image is 2" in diameter.

requiring $(R-I)_{AB} > 1.5$ (Fig. 2-76). Deep spectroscopy of some of these colour selected sources leads to redshifts ranging from z=4.8 to z=5.8 for a majority of the objects. All have a strong emission-line around 7000-8400 Å, presumably Ly- α with a spectroscopically detected continuum break across the line (Fig. 2-77). The line fluxes range between $\sim 10^{-18}$ and few x 10^{-17} erg cm⁻² s⁻¹ suggesting luminosities of around 10⁴²⁻⁴³ erg s^{-1} for Ly- α and star formation rates of a few tenths to $\sim 20 M_{\odot}$ per year. A further line-emitting object with no detectable continuum was incidentally detected by spectroscopy. This is either a low mass [OII] emitter at z=1.5 or a Ly- α emitter at z=6.6. If the galaxy is at z=6.6, this would be the most distant galaxy currently known. No broad-line active galactic nuclei (QSOs) were detected. This currently represents the largest



Abb. 2-77: Zwei Spektren farbselektierter Galaxien mit Rotverschiebungen um 5.8 zeigen die charakteristische Asymmetrie durch Absorption durch neutralen Wasserstoff auf der blauen Seite des Linienprofils. In Verbindung mit dem großen Farbsprung in R-I belegt diese Asymmetrie die hohe Rotverschiebung.

Fig. 2-77: Two spectra of colour selected galaxies with redshifts around 5.8 which show the characteristic asymmetry due to neutral hydrogen absorption of the blue side of the line profile. Such asymmetry in combination with the large colour break in R-I suggest these are bona fide high redshift sources.

größte Stichprobe von spektroskopisch nachgewiesenen Objekten mit z=5. Im Vergleich der Flächendichte dieser Quellen bis hinunter zu M_{AB} (1700 Å) =-20 mit Erwartungen auf Grundlage der Lyman-Break-Population bei z~3 und 4 finden wir mögliche Anzeichen, dass die Zahl sternbildender Galaxien bei z~5.3 geringer als später und ihre Leuchtkraftfunktion steiler ist. Die UV-Emission durch Galaxien über unserer Flussgrenze genügt nicht, um das durch unser Feld erfasste Volumen bei <z>~5.3 ionisiert zu halten. Diese Galaxien werden innerhalb 300 Millionen Jahren nach der sample of spectroscopically confirmed sources above z=5. Comparing the surface densities of sources detected this way down to M_{AB} (1700 Å) =-20 with what would be expected from the population of Lyman Break Galaxies detected at $z\sim3$ and 4, we find possible evidence that the number of star-forming galaxies at $z\sim5.3$ is lower than at later epochs and that the luminosity function is steeper. The UV emission from galaxies brighter than our flux limit is insufficient to keep the volume probed by our field at <z>5.3 ionized. These galaxies are observed within 300 Myr of the ep-

Reionisierungsepoche ($z\sim7$) beobachtet, damit bleibt wenig Zeit für Entwicklung der Leuchtkraftfunktion. Das, und das Fehlen von Quasaren, legen nahe, dass der größte Teil des UV-Flusses, der das Universum reionisierte, von schwächeren und masseärmeren Galaxien mit M_{AB} (1700 Å) > -20 stammt. och of reionization ($z\sim7$), with little time for the luminosity function to evolve. This, and the lack of detected quasars imply that the bulk of the UV flux that reionized the universe came from fainter, lower mass galaxies with M_{AB} (1700 Å) >-20.

Die dynamische Masse einer "Lyman Break-Galaxie" bei z ~ 3 / The Dynamical Mass of a Lyman break Galaxy at z ~ 3



Abb. 2-78: CO(3-2)-Spektrum der "Lyman-Break-Galaxie" cB58 mit etwa 50 km/s Auflösung. Geschwindigkeiten im Ruhesystem der Galaxie sind relativ zur Rotverschiebung in der Emissionslinie H α angegeben. Die Blauverschiebung von 200km s⁻¹ für CO stimmt hervorragend mit den stellaren Absorptionen im UV überein.

Fig. 2-78: CO(3-2) spectrum of the Lyman break galaxy cB58 at ~50 km/s resolution. Velocities (in the galaxy's rest frame) are relative to the redshift measured from the H α emission line; the 200 km s⁻¹ blueshift of the CO puts it in excellent agreement with the rest-UV stellar absorption features.

Galaxien bei hoher Rotverschiebung mit Sternentstehung können durch optische Aufnahmen gefunden werden, die auf die Lyman-Kante, im Ruhesystem im Ultraviolet, abgestimmt sind. Ihre derzeitigen und kürzlichen Sternentstehungsraten können durch bei z=0 geeichte Populationssynthesemodelle bestimmt werden. Im Gegensatz dazu kann die zukünftige Entwicklung der Sternentstehung und die in der heutigen Epoche erwartete Masse nicht direkt aus der UV-Emission bestimmt werden. Wir haben deshalb das IRAM Plateau de Bure-Interferometer (PdBI) benutzt, um nach Moleküllinienemission in der hellsten LBG zu suchen, dem gravitationslinsenverstärkten System cB58. Abb. 2-78 zeigt das Spektrum des CO(3-2)-Übergangs, der bei z=2.7 bei 93GHz beobachtet wird. Die Geschwindigkeitsbreite dieser Linie ist etwa 220 km/s FWHM. Zusammen mit der intrinsischen Größe im UV (abgeleitet aus dem Linsenmodell von Seitz et al. 1998) ergibt sich damit eine dynamische Masse von mindestens 2x10¹⁰ M_☉. Diese Messung stellt cB58, und damit auch andere LBGs, mitten in den Massenbereich der von massereichen Sphäroiden im nahen Universum besetzt wird.

Star-forming galaxies at high redshift can be identified by optical imaging tuned to the (rest-frame ultraviolet) Lyman break feature in their spectra. Their recent histories and current rates of star formation can be constrained from population synthesis models calibrated at z=0. In contrast, their future courses of star formation and eventual masses cannot be determined directly from rest-UV parameters. We have therefore used the IRAM Plateau de Bure interferometer (PdBI) to look for molecular line emission in the brightest known LBG - the gravitationally lensed system cB58. Fig. 2-78 shows the spectrum of the CO(3-2) transition, which for the source redshift of 2.7 is observed at a frequency of 93 GHz. The velocity width of the line is approximately 220 km/s FWHM; this can be combined with the intrinsic rest-UV source size (derived from the detailed lensing model of Seitz et al. 1998) to derive a dynamical mass of at least 2x10¹⁰ M_☉. This measurement places cB58, and by extension other LBGs, firmly in the mass regime occupied by massive spheroids in the local universe.

Mambo-Durchmusterung im Millimeterbereich / Mambo-Survey in the Millimeter Region

Die Entdeckung schwacher extragalaktischer sub-mm-Quellen vor fünf Jahren hat ein neues aufregendes Gebiet der beobachtenden Kosmologie eröffnet. Durch The detection of faint extragalactic sub-mm sources five years ago has opened a new exciting field in observational cosmology. Given their likely high infrared ihre hohen Infrarotleuchtkräfte (L_{Bol}>10¹²L_☉) verkörpern diese Quellen vermutlich eine Population von Galaxien bei hoher Rotverschiebung (1<z<5) die sehr rasch Sterne bilden. Sie könnten die Bildung von Objekten anzeigen, die bei niedriger Rotverschiebung leuchtkräftige elliptische Galaxien werden. Seit Winter 1998 führen Gruppen am MPIfR, MPE und NRAO eine tiefe 1.2mm-Durchmusterung mit dem Max-Planck-Millimeter Bolometer Array (MAMBO) am IRAM 30m-Teleskop durch. Aufgrund der großen Antennenkeule (10.7") des 30m-Teleskops und der großen Dichte schwacher optischer und nahinfraroter Quellen ist es unmöglich, allein anhand der Bolometerdaten Quellen zu identifizieren. Deshalb benutzen wir das PdBI und das Very Large Array (VLA) bei mm- bzw. cm-Wellenlängen mit einer Winkelauflösung unter einer Bogensekunde in Kombination mit tiefen Aufnahmen im Optischen und nahen Infrarot, insbesondere im Gebiet des NTT Deep Field (NDF).

Im Frühjahr gewannen wir mit ISAAC am VLT ultratiefe Aufnahmen im K-Band für drei mit PdBI untersuchte mm-Quellen, die aber bis K~22 nicht detektiert waren. Solche Quellen liegen vermutlich bei sehr hoher Rotverschiebung (z>4 mit extrem roten Farben I-K=3.5-4.2). Zwei Objekte wurden erfolgreich bei K=22 und K=22.5 identifiziert, ein weiteres bleibt bei K=22.7 unentdeckt.

Um eine größere Stichprobe im NDF zu erzeugen, benutzten wir VLA-Daten bei 1.4GHz, um ein weiteres Dutzend Quellen zusätzlich zu den drei mit PdBI untersuchten zu lokalisieren. Ihre Gegenstücke im optischen und nahen Infrarot sind recht schwach und werden bei schwachen K-Magnituden röter als Feldgalaxien. Etwa ¹/₃ der Population bleibt bis K=22 unidentifiziert. Zudem legen die radio/sub-mm und 2.2 µm/ sub-mm Spektralindizes nahe, dass diese Quellen generell bei hoher Rotverschiebung liegen und eventuell noch stärker verdunkelt sind als staubreiche lokale Starbursts (Abb. 2-79). Dies kontrastiert mit dem Ergebnis von Ivison et al. (2002), dass die Mehrzahl der SCUBA-Quellen im K-Band hell sind und Farben ähnlich wie schwache Feldgalaxien haben. Eine mögliche Ursache dieser Diskrepanz ist eine möglicherweise größere Rotverschiebung der MAMBO-Quellen. Größere Datensätze und gemessene Rotverschiebungen sind aber nötig um diese Hypothese zu überprüfen.



luminosities ($L_{Bol} > 10^{12} L_{\odot}$), these sources probably represent a population of high redshift (1<z<5) galaxies which are forming stars very rapidly. They may in fact represent the formation of what will become high luminosity early-type galaxies at low redshift. Since winter of 1998 groups at MPIfR, MPE and NRAO are carrying out a 1.2mm survey with the Max-Planck-Millimeter Bolometer Array (MAMBO) on the IRAM 30m telescope. Due to the large beam (10.7") of the 30m telescope and the high density of faint optical/near-infrared sources, it is impossible to make proper source identification using the bolometer data alone. Therefore, we use the PdBI and the Very Large Array (VLA) at mm and cm wavelength, respectively, with sub-arcsec accuracy in combination with deep optical/near-infrared imaging, in particular in the region of the NTT Deep Field (NDF).

In spring of this year, we obtained ultra-deep K-band images using ISAAC at the VLT for three mm sources studied with the PdBI but being blank fields down to K~22. Such faint sources are likely to be at very high redshifts (z>4 having extreme colours I-K=3.5-4.2). Two objects were successfully identified at K=22.0 and 22.5, another one remaining a blank field down to K=22.7.

To construct a larger sample in the NDF we used VLA 1.4GHz data to determine the location of a dozen more mm galaxies in addition to the three sources detected at the PdBI. We find that the optical/near-infrared counterparts are rather faint and become redder than field galaxies at faint K-band magnitudes. In fact, about ¹/₃ of the population remains unidentified down to K=22. Moreover the radio/sub-mm and 2.2 µm/submm spectral indicies suggest that these sources are generally at high redshifts and perhaps more obscured than local heavily enshrouded starbursts (Fig. 2-79). This is in contrast to findings of Ivison et al. (2002) that the majority of SCUBA sources counterparts are bright and have colours typical of similarly faint field galaxies. One possible cause for this discrepancy could be that the mm selected MAMBO sources are preferentially at higher redshifts, but larger data sets and measured redshifts are needed to test this inference

Abb. 2-79: Beziehung des sub-mm/radio Spektralindex und eines K-Band/sub-mm Spektralindex für verlässlich identifizierte sub-mm- und mm-Galaxien. Die obere und rechte Achse zeigen die entsprechenden Radiound K-Band-Helligkeiten einer typischen hellen submm-Quelle. Überlagerte Linien zeigen die Position für die spektralen Energieverteilungen von M82 und Arp220, rotverschoben von z=1 bis 5.

Fig. 2-79: Relation of the sub-mm/radio spectral index and a K-band/sub-mm spectral index for reliably identified sub-mm and mm galaxies. The top and right axes illustrate the corresponding radio and K-band brightnesses of a fiducial bright sub-mm source. Overplotted lines show the loci of the M82 and Arp220 spectral energy distributions redshifted from z=1 to 5.

Die dynamische Masse einer sub-mm-Galaxie bei z~3 / The Dynamical Mass of a Sub-mm Galaxy at z~3

Abb. 2-80: Konturen der 1.27mm-Emission (335µm im Ruhesystem) der sub-mm-Galaxie J02399, überlagert auf ein Bild des R-Band-Kontinuums (UV im Ruhesystem). Pfeile identifizieren die Maxima L1 und L2 der UV-Emission. Ein Kreuz zeigt die Position einer harten Röntgenquelle des Typ-2 QSO, um das sich eine massereiche Scheibe aus Gas und Staub dreht.

Fig. 2-80: Contours of 1.27mm (rest-frame 335 μ m) emission of the sub-mm galaxy J02399, superposed on an image of the R band (rest-frame UV) continuum. Arrows indicate rest-UV peaks L1 and L2; the cross denotes the location of a hard X-ray source, the type-2 QSO, about which a massive disk of gas and dust is revolving.



Lyman-Break-Galaxien sind nicht die einzigen Systeme bei hoher Rotverschiebung für die zuverlässige Massenbestimmungen meist fehlen. Noch schwieriger ist die Situation für die staubigen (sub)mm-Quellen, gewöhnlich ohne genaue Rotverschiebungen. Zu dieser Frage haben wir mit dem PdBI hochaufgelöste Karten der Staubverteilung und Gaskinematik in einer der wenigen sub-mm-Galaxien mit verlässlicher Rotverschiebung gewonnen, der z=2.8 Quelle SMM J02399-0139 (im folgenden J02399) aus dem SCUBA Lyman break galaxies are not the only high-redshift systems for which secure mass measurements are generally lacking. Yet more difficult is the situation for the dusty (sub)mm sources, usually without accurate redshifts. To address this issue, we have used the PdBI to obtain high-resolution maps of the dust morphology and gas kinematics in one of the few submillimeter galaxies that does have a solid redshift – the z=2.8SCUBA Cluster Lens Survey (SCLS) source SMM J02399-0136 (hereafter J02399). Fig. 2-80 shows that



Abb. 2-81: Dichte von Galaxien mit (baryonischen/stellaren) Massen >10¹¹ M_{\odot} im mitgeführten Koordinatensystem als Funktion der Rotverschiebung. Blaue und schwarze Linien zeigen die Vorhersagen verschiedener semianalytischer Modelle. Beobachtungen sind durch verschiedene Symbole dargestellt. Mehrere Studien bei z=0 bis 1 stimmen zufriedenstellend mit den Modellen überein. Die beiden roten Kreise stellen die sub-mm-Galaxien unter den beiden Annahmen dar, dass eine bzw. fünf der anderen hellen Quellen im SCLS so hohe baryonische Massen wie J02399 haben. Die nach oben gerichteten Pfeile zeigen die Korrektur für Quellen bei ähnlichen Rotverschiebungen die ähnlich massereich aber nicht ähnlich hell sind, da sie ihren Gasvorrat bereits verbraucht haben.

Fig. 2-81: Comoving number densities of galaxies with (baryonic/stellar) masses $>10^{11}M_{\odot}$ as a function of redshift. Blue and black curves show the predictions of different semianalytic models. Observational points are plotted with different symbols. Several studies at z=0 to 1 are reasonably consistent with the models. The two red circles represent the sub-mm galaxies assuming that, respectively, one and five of the other bright sources in the SCLS have baryonic masses as large as that of J02399. The upward arrows on each point indicate the correction for sources at similar redshifts that are equally massive but not equally luminous, because they have already consumed their gas reservoirs.

Cluster Lens Survey (SCLS). Abb. 2-80 zeigt, dass ihre Staubemission auf das hellere der beiden Maxima im Ruhesystem-UV zentriert ist, das auch eine absorthe dust emission from this galaxy is centred on the brighter of its two rest-UV peaks, which is also the location of an absorbed X-ray source. Its east-west elonbierte Röntgenquelle beherbergt. Die ost-westliche Ausdehnung hat die Orientierung der Scherung um einen Faktor 2.5, die vom Linsenmodell des SCLS vorhergesagt wird. Nach Korrektur für die Linsenwirkungund unter Berücksichtigung der Kinematik molekularen Gases (aus der CO(3-2)-Linie) folgern wir, dass J02399 einen massereichen Ring oder eine Scheibe molekularen Gases und Staubs enthält, der um ein Typ-2 QSO umläuft. Innerhalb eines Radius von 8kpc ist die Gesamtmasse dieser Struktur ~ $3x10^{11}M_{\odot}$, wovon vermutlich ²/₃ baryonisch sind. Schon die Entdeckung einer Quelle dieser Masse bei z~3 im kleinen vom SCLS durchmusterten Volumen ist überraschend im Licht der Vorhersage hierarchischer Modelle der Galaxienverschmelzung, dass die meisten massereichen Galaxien bei recht niederen Rotverschiebungen aus kleinen Stücken entstehen sollten. Abb. 2-81 zeigt im quantitativen Vergleich dass diese Diskrepanz noch deutlicher wird wenn man weitere sub-mm-Quellen und inaktive Phasen solcher massereicher Objekte berücksichtigt. Selbst die heutigen noch unsicheren Daten sind bereits ein nützlicher Test der "Massenzusammenführung" in semianalytischen Modellen der Galaxienentwicklung, innerhalb CDM-dominierter Modelle der kosmischen Strukturbildung.

gation has the same orientation as the (factor of 2.5) shear predicted by the SCLS lensing model. After correcting for lensing and considering the galaxy's molecular gas kinematics (as traced by the CO(3-2) line), we conclude that J02399 contains a massive ring/disk of gas and dust which is revolving around a type-2 QSO. Within a radius of 8 kpc, this structure's total mass is $\sim 3 \times 10^{11} M_{\odot}$, of which $\sim \frac{2}{3}$ is likely to be baryonic. The fact that even a single source of this mass is detected at z~3 in the small volume surveyed by the SCLS is surprising, given the predictions of hierarchical merging models that most massive galaxies are assembled from smaller pieces at fairly low redshifts. Fig. 2-81 shows in a quantitative comparison that this discrepancy becomes more prominent when considering other sub-mm sources and inactive phases of such massive objects. Even the present uncertain data already impose a useful "mass assembly test" on semianalytic models of galaxy evolution within a CDMdominated scenario for cosmic structure formation.

[BAKER, DANNERBAUER, GENZEL, LEHNERT, LUTZ, TACCONI]

2.4.2 Galaxienentwicklung bei mittleren Rotverschiebungen / Galaxy Evolution at Intermediate Redshifts



Die Tully-Fisher-Beziehung, Massen und Wachstum von Spiralgalaxien bei z~1 / The Tully-Fisher Relation, Masses, and Growth of Spiral Galaxies at z~1

Abb. 2-82: Typische 2D-Spektren von Galaxien bei hoher Rotverschiebung. Überlagerte Kästchen zeigen die abgeleiteten Orts- und Geschwindigkeitswerte. Zusätzlich überlagert sind die entsprechenden Flächenhelligkeitsverteilungen der exponentiellen Scheibe (obere Hälfte) und von H α (untere Hälfte). Die gestrichelte Linie durch die Orts/Geschwindigkeitssymbole zeigt das die Rotationsgeschwindigkeit bestimmende Modell.

Fig. 2-82: Typical 2D-spectra of high redshift galaxies. On top of the spectra the adopted position-velocity measurements are displayed (boxes). Additionally, we overlay the corresponding exponential disc (upper half) and H α (lower half) surface-brightness distributions. The dashed line connecting the position-velocity data points shows the model that determines the rotation speed.

Die Bestimmung der Masse von Galaxien bei hoher Rotverschiebung ist einer der leistungsfähigsten Tests für Modelle von Wachstum und Entwicklung von Galaxien. Eine der robustesten Methoden zur Abschätzung von Galaxienmassen benützt die Kinematik von Sternen oder Gas zusammen mit Größenmessungen. Zu diesem Zweck haben wir im nahen Infrarot in der H α -Emissionslinie räumlich aufgelöste Rotationskurven von Galaxien bei hoher Rotverschiebung (0.6<z <1.6) gewonnen. Damit können wir Massen abschätzen und die Tully-Fisher-Beziehung, eine empirische Determining the masses of high redshift galaxies is one of the most powerful tests of various models of the growth and development of galaxies. Among the ways in which masses of galaxies can be estimated, the most robust of these is using the kinematics of the stars or gas coupled with size measurements. To this end, we obtained spatially-resolved rotation curves of high redshift (0.6 < z < 1.6) disk galaxies in the nearinfrared using the H α emission line in order to estimate masses and to study the Tully-Fisher relationship (empirical relationship between the rotation speed and Beziehung zwischen Rotationsgeschwindigkeit und absoluter Helligkeit von Spiralgalaxien, bei z~1 studieren. Als Objekte wurden anhand von HST I-Band oder VLT J-Band-Aufnahmen aus Spiralgalaxien ausgewählt, mit Rotverschiebungen in einem Bereich so dass H α im J- oder H-Band beobachtbar ist. Diese Auswahlkriterien führen zu Galaxien mit großen Radien, mäßiger Sternentstehungsrate und einer mittleren Rotverschiebung von ~0.9 – die entfernteste Stichprobe dieser Art.



Abb. 2-84: Logarithmus des Radius bis zu einer Isophote mit Flächenhelligkeit 25 mag arcsec⁻² als Funktion des Logarithmus der exponentiellen Skalenlänge der Scheibe, beide in kpc. Symbole wie in der vorigen Abbildung. Der Unterschied in der Skalenlänge der Scheibe zwischen den Stichproben bei hoher und niedriger Rotverschiebung ist signifikant.

Fig. 2-84: The logarithm of the isophotal radius at a surface-brightness of 25 mag arcsec⁻² plotted versus the logarithm of the exponential disc scale length (both in kpc). Symbols are as in the previous figure. The offset between the high and low redshift samples in disc scale length is significant.

Bei dieser Rotverschiebung zeigen die Galaxien mit räumlich aufgelösten Rotationskurven (Abb. 2-82) eine deutliche Aufhellung um etwa 1.3 Magnituden im B-Band des Ruhesystems (Abb. 2-83). Um diese Entwicklung einzuordnen und Auswahleffekte bei hoher Rotverschiebung zu untersuchen, haben wir eine Stichprobe von Galaxien bei niedriger Rotverschiebung zusammengestellt, für die Rotationsgeschwindigkeiten und Bilder verfügbar waren, um ihre dynamischen, photometrischen, und morphologischen Eigenschaften zu untersuchen. Die Anwendung der gleiabsolute magnitude of spiral galaxies) at $z\sim1$. The objects were selected to be spiral galaxies based on deep HST I-band images or VLT J-band images and to have redshifts in the range such that H α could be observed in the J- or H-bands. These selection criteria clearly translate into galaxies that can be best described as having large isophotal radii, forming stars at moderate rates, and having a mean redshift of ~0.9 – the most distant such sample.

Abb. 2-83: Tully-Fisher-Beziehung für die Stichproben bei hoher und niedriger Rotverschiebung. Große Kästchen stehen für Galaxien bei hoher Rotverschiebung, kleinere für nahe Galaxien mit Radien über dem geforderten Minimum (siehe Text). Die kleinsten Symbole stehen für die vollständige nahe Stichprobe. Man könnte versucht sein, aus diesem Diagramm zu folgern dass die Tully-Fisher-Beziehung bei hoher Rotverschiebung steiler als die lokale ist. Da die eingeschränkte nahe Stichprobe aber die gleiche Steigung hat, muss dieser Unterschied durch einen Auswahleffekt erklärt werden.

Fig. 2-83: Tully-Fisher relation for the high and low redshift samples. Large boxes correspond to high redshift galaxies, smaller boxes to local galaxies with radii greater than the required minimum (see text). The smallest symbols belong to the complete local sample. One might be tempted to argue from this plot, that the high redshift Tully-Fisher relation has a steeper slope than the local one. However, since the restricted local sample shows the same slope this difference can only be explained with a selection effect.



At this mean redshift, our sample of galaxies with spatially resolved rotation curves (Fig. 2-82) clearly reveals a brightening of about 1.3 magnitudes in the rest-frame B-band (Fig. 2-83). To put this evolution in perspective and to investigate the role of our high redshift selection, we constructed a sample of low redshift galaxies which had rotation velocities and images available to measure their dynamical, photometric, and morphological properties. Imposing the same selection criteria on this local sample as is imposed on the high redshift sample discloses a number of significant dif-

chen Auswahlkriterien bei hoher und niedriger Rotverschiebung zeigt einige signifikante Unterschiede zwischen den Populationen. Wir finden, dass von hoher nach niedriger Rotverschiebung die Skalenlängen der Scheiben um etwa 20% gewachsen sind (Abb. 2-84), die Flächenhelligkeiten im B-Band des Ruhesystems um mehr als 1.6 Magnituden zurückgegangen sind, und die Rotationsgeschwindigkeiten um etwa 25% zugenommen haben. Zudem finden wir ein merkliches Anwachsen des Drehimpulses der Scheibe um fast 50%, verursacht durch das Anwachsen der Masse. Während alle diese Resultate im allgemeinen gut zum Standardmodell hierarchischer Verschmelzung passen, stimmt die Größe der einzelnen Effekte (z.B. der Massenzuwachs) nicht mit den vorhergesagten Werten überein. Einige dieser Unterschiede überraschen nicht, da sie von Details der Beschreibungen von Sternentstehung und Rückkopplung abhängen, die zur Bestimmung der Gesamthelligkeiten und Flächenhelligkeiten benutzt werden und sicher nicht gut verstanden sind. Die Wichtigkeit dieser Arbeit liegt daher nicht in Bestätigung oder Widerlegung eines speziellen Modells, sondern in der Einsicht, welche Prozesse oder Anfangsbedingungen wichtig sind. Sie rechtfertigt wietere Untersuchungen, um eine bessere Übereinstimmung zwischen Beobachtung und Theorie zu erhalten.

ferences between the two populations. We find that from high to low redshifts the scale-lengths of the discs have grown by about 20% (Fig. 2-84), the restframe B-band central surface brightnesses have decreased by more than 1.6 magnitudes, and the rotation speed has increased by about 25%. Furthermore, we find a substantial increase in disc angular momentum of almost 50%, which results from the increase in mass.

While all these discoveries generally fit well into the standard picture of hierarchical merging, the magnitude of the individual effects (e.g. the increase in mass) does not agree with the predicted numbers. Some of these differences are not surprising, since they rely on the details of the prescription of the starformation and feedback used in determining the total magnitudes and surface brightness which are certainly not well understood or constrained. The importance of this work is not that it vindicates or falsifies some particular model, but provides insight into which physical processes or initial conditions are important and warrant further study for getting better agreement between observation and theory.

[BARDEN, LEHNERT, GENZEL, TACCONI]

MUNICS: Eine Nahinfrarot-Durchmusterung nach Galaxienhaufen / MUNICS: A Near Infrared Cluster Survey

Nach unserer derzeitigen Vorstellung entstehen massereiche Galaxien durch Verschmelzung kleinerer Proto-Galaxien. Im letzten Jahrzehnt ist dieses Szenario durch zahlreiche Beobachtungen gestützt worden, aber es ist nach wie vor unklar, wie dieser Prozess im Detail abläuft und welche Auswirkungen er auf die intrinsischen Eigenschaften der Galaxien hat.

Durch Beobachtungen von massereichen Galaxien bei einer Rotverschiebung von eins kann man viel über die Entstehungsgeschichte dieser Objekte lernen. Denn aus der Existenz eines Maximums der Sternentstehungsrate bei Rotverschiebungen z=1.5-2 und der im Vergleich zu heutigen Galaxien vollkommen verschiedenen Morphologie (sog. "Lyman-break galaxies") bei Rotverschiebung drei könnte man schlussfolgern, dass Beobachtungen von massereichen Galaxien bei z=1 sich der Aera ihrer Entstehung nähern. Dies entspricht einer Zeitspanne von etwa 8 Milliarden Jahren vor heute, als das Universum noch nicht einmal die Hälfte seines heutigen Alters hatte. Gerade der nahinfrarote Teil des elektromagnetischen Spektrums eignet sich dazu, eine große Zahl von massiven Galaxien dieser Epoche zu entdecken.

Eine Forschungsgruppe am MPE und der Universitäts-Sternwarte München hat den "Munich Near-Infrared Cluster Survey" (MUNICS) erstellt, um die Entwicklung von Galaxienhaufen und massereichen Galaxien zu studieren. MUNICS ist eine großflächige Himmelsdurchmusterung mittlerer Tiefe in den Nahinfrarotfiltern K' und J. Die abgebildete Fläche entspricht einem Quadratgrad, mit zusätzlichen optischen Beobachtungen für etwa 0.6 Quadratgrad (Abb. 2-85). Die Our present understanding of the formation and evolution of galaxies is that they grow from mergers of smaller proto-galaxies. While observational support for this picture has grown during the past decade, there still is debate about the detailed formation history of massive galaxies.

Observations of the universe at redshifts around unity can yield important insight into the evolution of massive galaxies. From the peak of the star-formation rate at redshifts z=1.5-2 and the completely different appearance of Lyman-break galaxies at redshifts $z \sim 3$ one might conclude that observations of massive galxies at redshifts $z \sim 1$ approach the epoch of formation of those systems. This corresponds to look-back times of roughly 8 billion years, when the universe had not even half its present age. Especially observations in the near-infrared part of the electromagnetic spectrum can help to detect large numbers of massive galaxies at these epochs.

A research group at MPE and the Universitäts-Sternwarte München have conducted the "Munich Near-Infrared Cluster Survey" (MUNICS) to study the evolution of galaxy clusters and of massive galaxies. MUNICS is a wide-field medium-deep photometric survey in the near-infrared K' and J bands covering 1 square degree, with additional optical observations for about 0.6 square degrees (Fig. 2-85). The limiting magnitudes are K'=19.5, J=21.5, I=22.5, R=23.5, 50%-Grenzhelligkeiten für Punktquellen betragen K'=19.5, J=21.5, I=22.5, R=23.5, V=23.5 und B=24.0. Der resultierende Katalog enthält Galaxien mit Rotverschiebungen bis über eins und eignet sich daher hervorragend zur Untersuchung der Galaxienentwicklung und der Entwicklung der Anzahldichte von Galaxienhaufen im Universum.

Abb. 2-85: Echtfarbenbild eines der MUNICS-Felder bei Koordinaten 11:57:56 +65:35:55 (2000.0). Das Bild hat eine Kantenlänge von etwa 14 Bogenminuten und wurde aus optischen Aufnahmen in den Filtern I, R und V zusammengesetzt.

Fig. 2-85: True colour image of one of the MUNICS Survey fields at 11:57:56 +65:35:55 (2000.0). The image has a side length of 14 arcmin and was composed of I, R, and V band exposures.

Im Gegensatz zu blauen und optischen Wellenlängenregionen ist die K-Helligkeit von Galaxien viel weniger durch Staub, Sternentstehungsrate und den Galaxientyp beeinflusst. Sie ist vielmehr durch das Licht der alten, langlebigen Sterne dominiert. Daher kann man hoffen, dass man durch ein Studium der K-Band-Eigenschaften der Galaxien als Funktion der Rotverschiebung weniger über die Entwicklung der Sternentstehungsrate als über die Entwicklung der Massenzunahme in den Galaxien lernen kann, und damit die grundlegenden Vorhersagen der auf Kalte Dunkle Materie basierenden Strukturbildungstheorien überprüfen kann.

Wir verwenden den photometrischen MUNICS-Katalog von etwa 5000 Galaxien mit guter Datenqualität der B, V, R, I, J und K-Bilder (etwa 0.27 Quadratgrad). Die Entfernungen der Galaxien erhalten wir aus photometrischen Rotverschiebungen, die durch Spektroskopie von etwa 500 Galaxien kalibriert wurden. Dies ist die größte Nahinfrarotdurchmusterung vergleichbarer Tiefe, die bis heute veröffentlicht ist.

Eine der grundlegenden statistischen Eigenschaften einer Galaxienpopulation ist die Verteilung ihrer intrinsischen Helligkeiten, die sog. Leuchtkraftfunktion. Ihre Veränderung mit der Zeit (also bei verschiedenen Rotverschiebungen) erlaubt Rückschlüsse auf die Entwicklung der gesamten Galaxienpopulation. Abb. 2-86 zeigt unsere Messung der K-Leuchtkraftfunktion in vier Rotverschiebungsintervallen von 0.4 bis 1.2 sowie zwei lokale (z=0) Leuchtkraftfunktionen zum Vergleich. Eine statistische Analyse ergibt, dass unsere Daten auf eine Abnahme der Anzahldichte (30%) und eine Entwicklung zu größerer Helligkeit (0.7 mag) bis z=1 deuten.

96

V=23.5 and B=24.0 (50% completeness limits for point sources). This sample contains galaxies out to redshifts above one, and can thus be used to study the evolution of galaxies and the cosmic number density of galaxy clusters.



In contrast to the blue and optical wave-bands, the near infrared K-band light of galaxies is much less affected by dust, much less sensitive to ongoing starformation and much less dependent on galaxy type. It is dominated by the light of old and long-lived stars. Therefore, by investigating the K-band properties of galaxies as a function of redshift, we may hope to be able to move from a picture dominated by the evolution of star formation to one which focuses on the assembly history of mass in these systems – one of the most fundamental predictions of cold dark matter based structure formation theories.

We use the photometric data of the Munics survey comprising ~5000 galaxies for which high quality B, V, R, I, J, and K imaging covering 0.27 square degrees is available. Distances to the galaxies are derived using spectroscopically calibrated photometric redshifts, based on more than 500 spectroscopic redshifts. It is the largest near-IR selected survey published to date.

The luminosity function is the most basic statistic used to study galaxy populations and their evolution. Its dependence on look-back time provides important constraints on the evolution of the global properties of the galaxy population. Fig. 2-86 shows our measurement of the K-band luminosity function in 4 redshift bins in the range 0.4 < z < 1.2 and the z=0 LF for comparison. A Maximum likelihood analysis shows that the data favour very moderate total density evolution (30%) and brightening in the K band of 0.7 mag to z=1. This is also consistent with what we find in an analysis of the spectroscopic sample alone.



Abb. 2-86: Die K-Leuchtkraftfunktion von Galaxien als Funktion der Rotverschiebung. Die gepunktete und die gestrichelte Kurve stellen lokale Messungen (z=0) dar.

Fig. 2-86: The K-band luminosity function as a function of redshift. The dotted and dashed curves are local determinations (at z=0).

Um die Entwicklung der stellaren Masse abzuschätzen, verwenden wir zunächst einen Ansatz, der die stellare Masse für jede K-Leuchtkraft bei jeder Rotverschiebung maximiert. Dazu nehmen wir an, dass eine Galaxie bei gegebener Rotverschiebung so alt ist wie das Universum zu diesem Zeitpunkt. Das Masse-Leuchtkraftverhältnis erhalten wir dabei aus Modellrechnungen einer einfachen Sternpopulation. Wir nennen dies "Reine Leuchtkraftentwicklung" (PLE-Modell). Eine realistischere Abschätzung des Masse-Leuchtkraftverhältnisses kann man dadurch erhalten, dass man jede einzelne Galaxie durch ein Modell zusammengesetzter Sternpopulationen approximiert, wobei Modelle unterschiedlichen Alters, verschiedener Sternentstehungsgeschichte und unterschiedlichen Staubanteils berücksichtigt werden..

Abbildung 2-87 zeigt die Entwicklung des mittleren Masse-Leuchtkraftverhältnisses im K-Filter und Abb. 2-88 zeigt die Entwicklung der Anzahldichte von Galaxien unterschiedlicher Leuchtkraft sowie unterschiedlicher Masse, die aus der Anwendung der eben beschriebenen Methoden auf die MUNICS-Daten resultiert. Es ist offensichtlich, dass sich die Anzahldichte von leuchtkräftigen Galaxien im K-Band bis z=1.2 nicht sehr stark entwickelt. Die Anzahldichte massereicher Galaxien hingegen muss sich aufgrund der unausweichlichen Entwicklung des Masse-Leuchtkraftverhältnisses hin zu jüngeren Galaxien bei höheren Rotverschiebungen verändern. Sie ändert sich etwa um einen Faktor 6, in vernünftiger Übereinstimmung mit semianalytischen Modellen der Galaxienentstehung (vgl. auch Abb. 2-81, die einen Vergleich mit Modellen sowie die Entwicklung bei höheren Rotverschiebungen zeigt).



Abb. 2-87: Das mittlere Masse-Leuchtkraftverhältnis im K-Band als Funktion der Rotverschiebung, abgeleitet aus der Approximation von zusammengesetzten Sternpopulationen an die Vielfarbenphotometrie.

Fig. 2-87: The average K-band mass-to-light ratio, *M/L*, as a function of redshift determined from fitting CSP models to the BVRIJK colour data base.

To estimate the evolution of stellar masses, we first use an approach which maximises the stellar mass for any K-band luminosity at any redshift. A likely upper limit for the mass-to-light ratio is the mass-to-light ratio of a simple stellar population which is as old as the universe at the galaxy's redshift. We call this the PLE model. A more realistic estimate of the mass-to-light ratio can be obtained by fitting the multicolour data of each galaxy with a grid of composite stellar populations of varying star formation histories, ages and dust content, to obtain an individual estimate of the massto-light ratio of each galaxy in the survey.

Figure 2-87 shows the evolution of the mean mass-tolight ratio in the K band, and Fig. 2-88 shows the evolution of the number density of galaxies of different masses obtained by application of the methods described above to the MUNICS sample. It is evident that the number density of K-band luminous galaxies does not evolve much to z=1.2. However, because of the inevitable evolution of the mass-to-light ratio as the objects become younger at higher redshift, the number density of massive systems does change by a factor of about 6, in fair agreement with semianalytic models of galaxy formations (cp. Fig. 2-81 where a comparison with models and the evolution at higher redshifts is shown).



Abb. 2-88: Vergleich der Entwicklung der Anzahldichte leuchtkräftiger Galaxien (obere Reihe) sowie der Anzahldichte massereicher Galaxien (mittlere und untere Reihe). Die Datenpunkte stellen die in den verschiedenen MUNICS-Feldern gemessenen Werte dar, die offenen Kreise die Mittelwerte sowie die Abschätzung des Fehlers.

Fig. 2-88: Comparison of the evolution of the number density of luminous systems (upper panels) to the evolution of massive systems (middle and lower panels). The solid points denote the values measured separately in each survey field, the open circles denote the mean values over the whole survey area and its error.

Zusätzlich zum photometrischen Katalog haben wir spektroskopische Beobachtungen durchgeführt, mit dem Ziel, 0.25 Quadratgrad bis zu einer Helligkeit von K'<17.5 abzudecken. Außerdem wurden einige schwächere Galaxien mit dem ESO-VLT spektroskopiert. Aus diesen Daten haben wir die K-Leuchtkraftfunktion von Galaxien bei Rotverschiebungen z=0.2, z=0.4 und z=0.7 berechnet, die ebenfalls eine milde Entwicklung im Sinne einer 25-prozentigen Abnahme der Anzahldichte und einer Helligkeitszunahme von 0.65 mag bis z=1 ergibt.

Abb. 2-89: (J-K')-Farben von Galaxien in einem Galaxienhaufenkandidaten. Die Sequenz von Galaxien bei fast gleicher Farbe wird von den Galaxien frühen Hubble-Typs in dieser Struktur gebildet.

Fig. 2-89: J-K' colours of galaxies in the cluster discovered in the Munics Survey. The ridge of data points at constant colour marking the early type cluster galaxies is clearly seen.

Außerdem suchen wir nach Galaxienhaufen im MUNICS-Katalog, wobei wir eine erweiterte Version des sog. "Friends-of-Friends"-Algorithmus verwenWe also conducted spectroscopic observations aiming at complete coverage of 0.25 square degrees down to K'<17.5 and a smaller sparsely-selected deep sample using ESO's VLT. We have constructed the rest-frame K-band luminosity function of field galaxies at redshifts z=0.2, z=0.4, and z=0.7 (look-back time roughly half of the age of the universe) from the redshifts acquired so far, showing mild evolution (0.65 mag brightening and 25% decrease in number density) out to redshift one as compared to local samples.



Furthermore we search for clusters of galaxies in our dataset using an extended version of the friends-offriends algorithm, specifically designed for structure

den, die speziell für die Suche nach Strukturen in Galaxienkatalogen mit photometrischen Rotverschiebungen entwickelt wurde. Kurz gesagt sucht dieser Algorithmus nach Überdichten in der Galaxienverteilung, um Galaxienhaufen zu identifizieren. Mit Hilfe dieser Methode wurden 104 Haufenkandidaten im Rotverschiebungsbereich 0.4<z<1 gefunden. In Abb. 2-89 zeigen wir ein J-K' gegen K' Diagramm für einen der Kandidaten, das ganz deutlich die für Galaxienhaufen typische Sequenz roter Galaxien zeigt. finding in photometric redshift catalogues. In brief, this algorithm searches over-densities in the galaxy distribution to identify clusters of galaxies. Using this method we have selected 104 cluster candidates with redshifts 0.4 < z < 1 in 0.5 square degrees. In Fig. 2-89 we present the J-K' versus K' colour-magnitude diagram of one of the candidates, clearly showing a pronounced sequence of red galaxies in the structure, as it is typical for galaxies in clusters.

[BENDER, BOTZLER, DRORY, FEULNER, HOPP, SNIGULA]

2.4.3 Die Ermittlung der kosmischen Entwicklung von schwarzen Löchern in Galaxien aus ultratiefen Röntgenbeobachtungen / Cosmic Evolution of Black Holes in Galaxies from Ultradeep X-ray Observations



Durch die tiefen Röntgendurchmusterungen mit dem ROSAT-Satteliten konnten ungefähr 80% des Röntgenhintergrundes im weichen (0.5-2.0 keV) Energieband aufgelöst werden. Die tiefen Chandra-Durchmusterungen von 1-2 Msec im "Chandra Deep Field South (CDFS) und im "Hubble Deep Field North (HDFN)", sowie die 100 ksec-Beobachtung mit XMM-Newton im Lockman Hole, haben einen ähnlichen Anteil des harten (2-10 keV) Hintergrundes aufgelöst, wobei Quellendichten von ca. 4000 pro Quadratgrad gefunden wurden. Die Abb. 2-90 zeigt eine Falschfarbenaufnahme der 1 Msec Chandra-Beobachtung im CDFS-Feld. Im Jahr 2002 wurden das CDFS-Feld mit insgesamt ~370 ksec mit XMM-Newton beobachtet.

Die optischen Nachbeobachtungen der "ROSAT deep survey"-Durchmusterung mit 8-10m-Teleskopen wurde vor einigen Jahren vervollständigt und ergab die Aktiven Galaxienkerne (AGN) als dominierende Population der Gegenstücke von schwachen Röntgenquellen. Die optische Identifikation des CDFS-Feldes konnte durch unsere Gruppe nun nahezu abgeschlossen werden. Abb. 2-91 zeigt die Chandra-Röntgenkonturen in einem ausgewählten Gebiet im CDFS-Feld, die einer sehr tiefen BRK-Farbaufnahme überlagert sind. Die Farbaufnahme basiert auf optischen Daten Abb. 2-90: Falschfarben-Aufnahme des "Chandra Deep Field South"-Feldes von 940 ks (Pixelgröße=0.984", geglättet mit einem 1" Gaußprofil). Das Bild wurde durch die Kombination von drei Energiebändern erzeugt: 0.3-1 keV (rot), 1-3 keV (grün) und 3-7 keV (blau).

Fig. 2-90: A false colour image of the Chandra Deep Field South of 940 ks as observed with the Chandra observatory (pixel size=0.984", smoothed with a 1" Gaussian). The image was obtained combining three energy bands: 0.3-1 keV, 1-3 keV, 3-7 keV (respectively red, green and blue).

Deep X-ray surveys with ROSAT had resolved about 80% of the X-ray background in the soft (0.5-2 keV) band. Recently 1-2 Msec Chandra observations in the Chandra Deep Field South (CDFS) and the Hubble Deep Field North (HDFN), as well as 100 ksec observations with XMM-Newton in the Lockman Hole resolved a similar fraction of the harder (2-10 keV) background, reaching source densities of about 4000 deg⁻². In Fig. 2-90 the colour composite image of the 1 Msec Chandra observation of the CDFS is shown. In 2002 the CDFS was also observed with XMM-Newton for a total of ~370 ksec and a number of new diffuse sources are detected just outside the Chandra image.

Optical follow-up programs with 8-10m telescopes have been completed for the ROSAT deep surveys some years ago and found predominantly Active Galactic Nuclei (AGN) as counterparts of the faint X-ray source population. Optical identifications for the CDFS have now been largely completed by our group. Fig. 2-91 shows Chandra X-ray contours in a selected area of the CDFS superposed on a very deep BRK multicolour image based on optical data obtained with the MPG/ESO 2.2m telescope (B-band) and the FORS (R-band) and the ISAAC (K-band) instruments at the des MPG/ESO 2.2m-Teleskops (B-Band) und der FORS- (R-band) und ISAAC- (K-Band) Instrumente an den ESO "Very Large" Teleskopen (VLT). Auf Grund des hohen Positionsgenauigkeit von Chandra konnten in 85% der Fälle die optischen Gegenstücke leicht identifiziert werden. Die verbleibenden Fehlerkreise sind entweder leer oder enthalten sehr rote, schwache Nah-infrarot-Gegenstücke (siehe das sehr rote Objekt links unten, welches nur im K-Band detektiert wurde). Die optische Spektroskopie wurde mit den VLT durchgeführt. Dabei konnten für 169 von 346 Quellen Rotverschiebungen gemessen werden. Für Objekte mit Helligkeiten schwächer als R=24 konnten die Rotverschiebungen nur anhand von starken Emissionslinien eindeutig bestimmt werden. Die optische Klassifikation ergab ein Gemisch von klassischen, breitlinigen (Typ-1) AGN, schmallinigen (Typ-2) AGN und normalen Galaxien. Abb. 2-92 (links) zeigt die R-Band-Helligkeit als Funktion der Rotverschiebung für verschiedene Objektklassen. Für die verbleibenden, optisch schwachen Objekte wurde die Methode der photometrischen Rotverschiebung genutzt. Die Identifikation ist einschließlich der spektroskopischen und photometrischen Rotverschiebungen ca. 80% komplett.



Falls ein AGN schwächer als die ihn enthaltene Galaxie ist, kann er im optischen nicht detektiert werden. Viele der Gegenstücke von schwachen Röntgenquellen, die mit Chandra und XMM-Newton entdeckt wurden, zeigen optische Spektren, die durch ihre Galaxie dominiert werden. Nur eine Minderheit weist klare Anzeichen der AGN Natur auf. Daher ist die Kombination der Röntgendiagnostik mit der optischen Spektroskopie zur Klassifikation der Quelle der Röntgenemission notwendig. AGN weisen typische Röntgenleuchtkräfte oberhalb von 1042 erg s⁻¹ und Röntgenspektren in Form eines Potenzgesetzes mit häufig signifikanter intrinsischer Absorption auf. Lokale, gutuntersuchte Galaxien mit hoher Sternentstehung haben typischerweise Röntgenleuchtkräfte unterhalb von 10⁴² erg s⁻¹ und sehr weiche Röntgenspektren. Thermische Halos von Galaxien und das intergalaktische Gas in Galaxiengruppen können höhere Röntgenleuchtkräfte haben, die Röntgenspektren sind jedoch jeweils sehr weich. In Abb. 2-92 (rechts) ist das HärteverhältESO Very Large Telescope. With the excellent Chandra positioning likely optical counterparts are readily identified in about 85% of the cases, the remaining error circles are either empty or contain extremely red, weak NIR counterparts. Note the very red object in the lower left, which is only detected at K. Optical spectroscopy has been carried out with the VLT and redshifts could be obtained so far for 169 of the 346 sources in the CDFS. For objects fainter than R=24 reliable redshifts could be obtained only if the spectra contain strong emission lines. The optical classification finds a mixture of classical, broad-line (type-1) AGN, narrow-line (type-2) AGN and normal galaxies. Fig. 2-92 (left) shows the R-band magnitude as a function of redshift for the different classes of objects. For the remaining, optically faint objects we have to resort to photometric redshift techniques. Including spectroscopic and photometric redshifts the identification is about 80% complete.

Abb. 2-91: Ausschnitt vom CDFS-Feld. Eine tiefe FORS-R-Band-Aufnahme wurde mit der EIS-WFI-B-Band-Aufnahme und der GOODS-ISAAC-K-Band-Aufnahme kombiniert. Die Röntgenkonturen sind der Optisch/Nah-infrarot-Aufnahme überlagert. Das Bild zeigt eine diffuse Röntgenemission der hellen Galaxien. Das sehr rote Gegenstück der Röntgenquelle unten links ist nur in der tiefen GOODS-K-Band-Aufnahme sichtbar.

Fig. 2-91: Cut out of a part of the Chandra Deep Field South. Deep optical/NIR image have been combined from FORS (R-band), EIS WFI (B-band), and GOODS ISAAK (K-band). X-ray contours are overplotted. The image shows diffuse X-ray emission for the bright galaxies. The very red counterpart in the lower left is only visible in the deep GOODS-K-band.

If an AGN is much fainter than its host galaxy it is not possible to detect it optically. Many of the counterparts of the faint X-ray sources detected by Chandra and XMM-Newton show optical spectra dominated by their host galaxy and only a minority have clear indications of an AGN nature. Therefore X-ray diagnostics in addition to the optical spectroscopy can be crucial to classify the source of the X-ray emission. AGN have typically X-ray luminosities above 1042 erg s⁻¹ and power law spectra, often with significant intrinsic absorption. Local, wellstudied starburst galaxies have X-ray luminosities typically below 10⁴² erg s⁻¹ and very soft X-ray spectra. Thermal halos of galaxies and the intergalactic gas in groups can have higher X-ray luminosities, but have soft spectra as well. In Fig. 2-92 (right) the hardness ratio is shown as a function of X-ray luminosity. Different source types are clearly segregated in this plane. Type-1 AGNs (black diamonds) have luminosities typically above 10^{42} erg s⁻¹, with hardness ratios in a narrow range around HR φ -0.5. Type-2 AGN are skewed towards signis als Funktion der Röntgenleuchtkraft dargestellt. Die verschiedenen Quellentypen sind in dieser Darstellung klar getrennt. Typ-1 AGN (schwarze Karos) haben Leuchtkräfte typischerweise oberhalb von 1042 erg s⁻¹ mit Härteverhältnissen in einem schmalen Bereich um HR=-0.5. Typ-2 AGN liegen wegen der neutralen Gasabsorption asymmetrisch bei signifikant höheren Härteverhältnissen (HR>0), mit (absorbierten) Leuchtkräften im Bereich von 10⁴¹⁻⁴⁴ erg s⁻¹. Die nichtabsorbierten, intrinsischen Leuchtkräfte der Typ-2 AGN würden in dieselbe Region fallen, wie die der Typ-1 AGN. Die Abbildung zeigt auch Typ-2 Quasare (Sternchen), wobei die ersten Beispiele dieser Population schon im letzten Jahresbericht präsentiert wurden. Ungefähr 10% der Objekte haben optische Spektren von normalen Galaxien (durch Dreiecke gekennzeichnet), Leuchtkräfte unterhalb von 10^{42} erg s⁻¹ und sehr weiche Röntgenspektren, wie man sie im Fall von Sternentstehungsgalaxien oder thermischen Halos erwartet. Die tiefen Chandra- und XMM-Newton-Durchmusterungen detektieren zum ersten Mal die Population der normalen Sternentstehungsgalaxien bis zu mittleren Rotverschiebungen, was bedeutsam für das Studium der Sternenstehungsgeschichte des Universum unabhängig von optischen/UV, sub-mm oder Radiobeobachtungen sein könnte.

nificantly higher hardness ratios (HR>0) due to neutral gas absorption, with (absorbed) luminosities in the range 10⁴¹⁻⁴⁴ erg s⁻¹. The unabsorbed, intrinsic luminosities of type-2 AGN would fall in the same range as those of type-1's. This figure also indicates the type-2 QSOs (asterisks), the first ones of which have been presented in the last report. About 10% of the objects have optical spectra of normal galaxies (marked with triangles), luminosities below 10^{42} erg s⁻¹ and very soft X-ray spectra (several with HR=-1), as expected in the case of starbursts or thermal halos. The deep Chandra and XMM-Newton surveys detect for the first time the population of normal starburst galaxies out to intermediate redshifts, which might become an important means to study the star formation history in the universe independently from optical/UV, sub-mm or radio observations.



Abb. 2-92: Links: Optische Helligkeit als Funktion der Rotverschiebung der CDFS-Objekte. Die Objekte sind nach ihrer röntgen/optischen Klassifikation farblich gekennzeichnet: gefüllte, schwarze Karos entsprechen den Typ-1 AGN, rote Sechsecke den Typ-2 AGN und grüne Dreiecke den Galaxien. Die Sternchen markieren die Typ-2 QSOs. Rechts: Härteverhältnisse in Abhängigkeit von der Ruhesystemleuchtkraft im 0.5-10.0 keV Gesamtband. Eine kritische Dichte des Universums von $H0 = 50 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ wurde angenommen. Die Leuchtkräfte sind nicht auf mögliche intrinsische Absorption korrigiert.

Fig. 2-92: Left: Optical magnitudes as a function of redshift for the CDFS objects. Objects are coloured according to their X-ray/optical classification): filled black diamonds correspond to type-1 AGN, open red hexagons to type-2 AGN and green triangles to galaxies. The large asterisks indicates type-2 QSOs. Right: Hardness ratio versus rest frame luminosity in the total 0.5-10 keV band. A critical density universe with $H_0=50$ km s⁻¹ Mpc⁻¹ has been adopted. Luminosities are not corrected for possible intrinsic absorption.

Ein wichtiges Ergebnis ist, dass die Mehrzahl der CDFS-Objekte im Kontrast zu dem erwarteten Maximum bei z=1.5, die auf der durch die ROSAT-Durchmusterungen gewonnenen AGN-Röntgenleuchtkraftfunktion und deren Entwicklung beruhten, bei A key result of this study is, that contrary to expectations based on the AGN X-ray luminosity function and its evolution as determined from the ROSAT surveys, which predict a maximum at redshifts around z=1.5, the bulk of the CDFS objects are found at redshifts beRotverschiebungen unterhalb von 1 gefunden wurden, mit Leuchtkräften wie sie für AGN-2 und Syfert Galaxien erwartet werden. Die Rotverschiebungsverteilung hat ihr Maximum bei z~0.7, auch wenn man die normalen Sternentstehungsgalaxien aus der Stichprobe entfernt. Hierbei wird deutlich, dass die Populationssynthesemodelle durch die Einbeziehung verschiedener Leuchtkraftfunktionen und Evolutionsszenarien für AGN mit mittlerer Rotverschiebung und geringer Leuchtkraft wesentlich modifiziert werden müssen. In der Rotverschiebungsverteilung des CDFS-Feldes haben wir zwei großskalige Strukturen bei Rotverschiebungen von z=0.66 und z=0.73 gefunden, welche durch Typ-1 und Typ-2 AGN sowie durch normale Galaxien in nahezu derselben Anzahl hervorgerufen werden, wie in anderen Feldern beobachtet.

low 1 and the AGN-2 have Seyfert like luminosities. The redshift distribution peaks at $z\sim0.7$, even if the normal star forming galaxies in the sample are removed. This clearly demonstrates that the population synthesis models will have to be modified to incorporate different luminosity functions and evolutionary scenarios for intermediate-redshift, low-luminosity AGN. In the redshift distribution of the CDFS, we have discovered two large-scale structures at redshifts z=0.66 and z=0.73, respectively, which are made up of type-1 and type-2 AGN as well as normal galaxies in roughly the same proportion as observed in the field.

[HASINGER, HASHIMOTO, LEHMANN, SZOKOLY, STREBLYANSKAYA]

2.4.4 Untersuchung von Galaxienhaufen und Galaxiengruppen / The Study of Groups and Clusters of Galaxies

Viele Strukturentstehungsmodelle gehen von einem hierarchischen Wachstum kosmischer Strukturen aus, wobei größere Objekte durch das Verschmelzen kleinerer Objekte gebildet werden. Mit Röntgenbeobachtungen kann man sehr gut diesen Bildungs- und Wachstumsprozess von Galaxienhaufen, den größtem Bausteinen unseres Universums, untersuchen. Der Galaxienhaufen Abell 3667 ist einer der nahen Galaxienhaufen, in welchem man sehr gut die Dynamik des Verschmelzens einer Galaxiengruppe mit einem großen Galaxienhaufen studieren kann. A3667 wurde mit dem XMM-Newton Satelliten in 6 teilweise überlappenden Felder von jeweils etwa 15 ksec Belichtungszeit beobachtet. Diese Raster-Aufnahme war notwendig, da der Galaxienhaufen im Röntgenlicht eine Ausdehnung von fast einem Grad hat. In Abb. 2-93 (links) zeigen wir die Oberflächenhelligkeit von A3667 im Energiebereich von 0.5 bis 2.0 keV. Um die Intensitätsvariationen deutlicher zu machen, wurde das Röntgenbild einem speziellem Aufbereitungsverfahren (Wavelet-Filterung) unterzogen. Dadurch zeigen sich sehr dramatisch die Strukturen in der Oberflächenhelligkeit des Galaxienhaufens: Wie schon von ROSAT entdeckt, und kürzlich auch von Chandra bestätigt, finden wir einen sehr ausgeprägten Intensitätsabfall im süd-östlichen Bereich (im Bild links unten) von einer fast halbkreisförmigen Ausdehnung. Daran schließen sich Emissionsgebiete an (in Richtung Nord-West), in welchen die Strukturen sehr stark an turbulente Gasströmungen erinnern. Noch deutlicher wird dies in der rechten Abbildung, in welcher die Temperaturverteilung des Galaxienhaufengases gezeigt wird (überlagert sind die Intensitätskonturen). Diese Temperaturkarte wurde als Quotient zweier Intensitätskarten verschiedener Energiebereiche (0.5-2.0 keV und 2.0-7.5 keV) gewonnen. Dabei markieren die Farben verschiedene Temperaturen: von dunkelblau (ca. 50 Mill. Kelvin) über blau, rot, gelb bis weiß (ca. 100 Mill. Kelvin). Die Interpretation ist die folgende: Eine Galaxiengruppe (mit kühlem Gasinhalt) drang vor mehreren Milliarden Jahren in den Galaxienhaufen ein und bahnt sich seinen Weg durch das Intragalaxien-

Most models of cosmic structure formation involve a scenario in which larger objects are formed by the merging of smaller units. With X-ray observations we can witness this process in the formation and growth of galaxy clusters, the largest building blocks of our Universe. The galaxy cluster Abell 3667 is one of the nearby clusters in which we can study the merging of a galaxy group with a cluster in detail. A3667 was observed with XMM-Newton in 6 partly overlapping fields with about 15 ksec exposure time. This mosaic image was required because the cluster extends over almost one degree in the sky. On the left panel of Fig. 2-93 we show the X-ray surface brightness distribution in the cluster in the 0.5 to 2.0 keV energy band. To better show the structure of the cluster in detail the image was treated with a wavelet filtering. This highlights the structure of this cluster: as already observed with ROSAT and recently confirmed by Chandra, we find a very strong surface brightness gradient in the South-East part (lower left corner of the image). This region is bordering surface brightness structures to the North-West which are reminiscent of turbulent gas motions. This is even better illustrated in the right panel of the figure where we show the temperature map of the cluster (intensity contours are overlayed). This temperature map was created from two intensity maps in the energy bands 0.5-2 keV and 2-7.5 keV. The colors of the final image code the temperatures on a scale of blue, red, yellow to white ranging from 50 Mill. to 100 Mill Kelvin. The interpretation is the following: a galaxy group containing cooler gas was infalling into the cluster a few Gyrs ago and is now passing through the intracluster medium from North-West to South-East. At the front of the moving group the gas is heated in a shock wave and flows along the shock structure. In the wake a turbulent mixture of cluster gas, group gas and shock heated gas is formed.

haufengas (von Nord-West nach Süd-Ost). An der Forderfront der kühlen Gaskugel wird durch Schockwechselwirkung das Gas aufgeheizt und strömt an der Schockfront entlang. Dahinter bildet sich ein turbulentes Gemisch von Galaxienhaufengas, Galaxiengruppengas und schockgeheiztem Gas aus.



Abb. 2-93: XMM Beobachtung des Galaxienhaufens Abell 3667. Die Abbildung zeigt die Flächenhelligkeit des Haufens nach einer Wavelet-Filterung (links) und eine Temperaturkarte (rechts). Die Temperaturskala ist im Text erklärt.

Fig.2-93: XMM Observation of Abell 3667, X-ray surface brightness after wavelet filtering distribution (left) and temperature map (right) for temperature scale see text.

Galaxienhaufen sind auch ideale Laboratorien, um die chemische Zusammensetzung des intergalaktischen Mediums zu untersuchen. Man findet, dass das intergalatische Medium - zumindest wie in den Galaxiehaufen beobachtet - sehr stark mit schweren Elementen angereichert ist, die durch die Sternpopulation der Haufengalaxien synthetisiert und in die Innerhaufenumgebung ausgeworfen wurden. Das XMM-Newton-Observatorium erlaubt mit seiner guten räumlichen und spektralen Auflösung ein sehr genaues Studium der Elementhäufigkeiten des Innerhaufenmediums. Aufbauend auf einer sehr genauen Untersuchung der Temperaturverteilung im Innerhaufengas von M87 konnten nun die Häufigkeiten der 7 astrophysikalisch wichtigsten schweren Elemente, O, Mg, Si, S, Ar, Ca und Fe ermittelt werden. Die radialen Häufigkeitsprofile konnten sehr genau bestimmt werden, sowohl durch Anpassung vollständiger simulierter Spektren als auch durch die Analyse von Linienverhältnissen. Die Häufigkeiten von Si, S, Ar, Ca und Fe zeigen einen starken Abfall mit dem Radius, während O und Mg, Elemente die wesentlich nur durch Supernovae vom Typ-II synthetisiert werden, ein flaches Profil zeigen. Die zentrale Dichte der letzten beiden Elemente ist dabei nur halb so hoch wie die von Si und Fe. Diese Häufigkeitsstruktur zeigt, dass die schweren Elemente im zentralen Anreicherungsmaximum vorwiegend von Supernovae vom Typ-Ia stammen. Das Überraschende an diesem Befund ist, dass Si in diesem Maximum genauso stark angereichert ist wie Fe im Gegensatz zu den klassischen SN Ia Modellen, wo die Produktion von Fe dominiert. Dies deutet an, dass in der alten stellaren Population von M87 mehr Si und α -Elemente durch SN Ia erzeugt werden, als in analogen Modellen z.B. für unsere Milchstraße angenommen wird. Diese SN Ia mit einer inkompletten Ver-

Galaxy clusters are also ideal laboratories to study the chemical composition of the intergalactic medium. One finds that the intergalactic medium – at least as observed in clusters of galaxies - is heavily enriched by metals that have been synthesized in the stellar population of the cluster galaxies and ejected in the surroundings. The XMM-Newton observatory with its good spatial and spectral resolution allows us to study the abundance distribution in the intracluster medium in detail. Based on a detailed study of the temperature structure of the intracluster medium in the halo of M87, the abundance profiles of the 7 elements, O, Mg, Si, S, Ar, Ca, and Fe are derived. The abundance profiles have been derived with high confidence from the fitting of total spectra as well as using line ratio profiles. The abundances of Si, S, Ar, Ca and Fe show a strong decrease with radius, while O and Mg which are only produced in SN type-II display flat abundance profiles. The central abundance of the latter elements is only about half of that of Si and Fe. This abundance pattern shows that the heavy elements enrichment in the central peak is dominated by SN type-Ia products. The surprising result is herby that Si is as strongly enhanced as Fe, contrary to the classical SN Ia models where the Fe yield is dominant. This may reflect a larger yield of Si and α -elements from SN Ia in the old stellar population of the elliptical galaxy M87 than usually inferred for e.g. our Galaxy. These SN Ia with a more incomplete burning of the α -elements will also have fainter lightcurves in line with some recent findings in optical observations.

brennung der α -Elemente haben auch schwächere Lichtkurven, wie sich in jüngsten Beobachtungen auch andeutet.

Ein Vergleich der Häufigkeitsverteilung der Elemente O, Si und Fe in M87 mit der in Sternen unserer Milchstraße zeigt das wichtige Ergebnis, dass die Häufigkeitsstruktur von M87, gemessen als Funktion der chemischen Entwicklung (üblicherweise ausgedrückt durch den Parameter [Fe]/[O], auf der Entwicklungslinie der galaktischen Sterne liegt, aber zu einer noch älteren Population extrapoliert ist. Das Verhältnis der Mg/O Häufigkeit ist das gleiche wie für die Milchstraße. Daher ist die Häufigkeitsstruktur in M87 nicht ungewöhnlich und kann mit unserem Verständnis der chemischen Entwicklung unserer Galaxie erklärt werden (außer für die hohe Si Ausbeute in SN Ia).

Die thermische Struktur des Innerhaufenmediums ist nicht nur das Ergebnis der Stoßwellenheizung, die wir z.B. in Abb. 2-93 in dem Haufenzusammenstoß beobachten, sondern ist auch durch die Heizung in frühen Sternbildungsepochen beeinflusst, die ihre Signatur in den Entropieprofilen von Galaxiengruppen und -haufen hinterlassen. Dies ist eine weitere Information über die Sternbildungsgeschichte in Galaxienhaufen zusätzlich zur Elementanreicherung. Um diesen Aspekt im Detail zu untersuchen, haben wir aus Röntgenbeobachtungen mit ROSAT und ASCA dreidimensionale Modelle der Temperatur-, Dichte- und Elementhäufigkeitsprofile für mehr als 60 Galaxiengruppen und -haufen erstellt. Die Auswertung zeigt Entropieprofile mit sehr hohen Entropiewerten in den äußeren Gebieten (bis 400 keV cm²), was auf eine starke Heizung vor dem Kollaps des Galaxienhaufens hinweist (Abb. 2-94). Mit numerischen Simulationen konnten wir zeigen, dass mit einer Heizung bei einer Sternbildung bei Rotverschiebungen von etwa 2.0-2.5 diese hohen Entropiewerte erreicht werden. Nimmt man galaktische Winde als Heizungsquelle an und skaliert den Energieausstoß mit der beobachteten Metallizität, dann findet man, dass die Energieinjektion bei Gasdichten von etwa 5 bis 30 über der mittleren kosmischen Gasdichte passiert.

Um diese Schlussfolgerungen im Einzelnen zu prüfen, haben wir zum Vergleich hydrodynamische Vielkörper-Simulationen durchgeführt, um die Entropieprofile in Systemen der Größe von massearmen Gruppen bis zur Masse des Virgo-Galaxienhaufens zu reproduzieren. Wir haben uns dabei auf den Effekt der Gaskühlung, der Sternbildung und verschiedene Rezepte der Gasheizung konzentriert. Wir finden, dass man mit einer Heizung von etwa 0.7 keV pro Teilchen bei einer Rotverschiebung von etwa 3 die beobachteten Entropieprofile am besten reproduzieren kann. Dabei ergibt sich noch ein etwas hoher Anteil von Baryonen von etwa 25-30%, die für die Sternbildung verbraucht werden. Heizt man dagegen früher, etwa bei einer Rotverschiebung von 9 bevor Gas effizient kühlen kann, verzögert man die Sternbildung sehr stark, bekommt aber nicht die hohen Entropiewerte (Abb. 2-94).

We can also compare the O/Si/Fe abundance pattern in M87 to that of galactic stars to gain further insight. In this comparison the M87 abundance appear at a location which extrapolates the galactic chemical evolution (measured conventionally by the parameter [Fe]/[O] to even older stellar populations. The observed Mg/O is also the same ratio as for Galactic stars. Therefore, the abundance pattern of the ICM is not peculiar and fits into the picture of our understanding of the chemical evolution of our own Galaxy (except for the high Si yield of SN Ia).

The thermal structure of the intracluster medium is not only the result of the shock heating process that we witness e.g. during cluster mergers as seen in Fig. 2-93 but results also from heating in early star formation epochs which leave their traces in the entropy profiles of groups and clusters of galaxies. This provides another record of the star formation history in addition to the chemical abundances. To investigate this aspect in detail we have completed a three-dimensional modelling of temperature, density, and element abundance profiles for over sixty groups and clusters of galaxies, observed by both ROSAT and ASCA. The analysis of the entropy profiles for groups revealed a very high entropy level at the outskirts (up to 400 keV cm²) supporting a need of energy injection into the gas before its accretion onto potentials of the groups (Fig. 2-94). Using numerical simulations of galaxy cluster formation, we established that the accreted gas reaches these high entropy levels most probable at redshift 2.0-2.5. Adopting galactic winds as a source of preheating and scaling the released energy by the observed metal abundance, the variation in the preheating could be ascribed to energy injection when the gas had an overdensity of 5 to 30 over the mean gas density in the universe.

To check our suggestions, we carry out a comparison between observations and hydrodynamic simulations of entropy profiles of groups and clusters of galaxies with a mass range for the systems corresponding to poor groups up to Virgo-like clusters. In particular, we concentrate on the effect of introducing radioactive cooling, star formation, and a variety of non-gravitational heating schemes on the entropy structure and the amount of stars within galaxy clusters. We find that, with an heating energy budget of ~ 0.7 keV/ particle injected at z=3, we are able to reproduce the main characteristics of entropy profiles in groups and clusters, while producing a baryon fraction locked into stars in the 25-30% range. Heating at higher redshift, for example z=9, before a substantial fraction of gas can cool in small virialized halos strongly delays the star-formation, but fails to produce a sufficiently high specific entropy (Fig. 2-94).



Nicht zuletzt sind Galaxienhaufen ideale Laboratorien zum Studium von Galaxienpopulationen bestehend aus einer großen Anzahl gleichaltriger Galaxien in einer wohldefinierten Umgebung. Wir führen diese Untersuchungen auch durch, um die Beziehung zwischen dem Erscheinungsbild eines Galaxienhaufens im Röntgenbereich und im optischen Bereich, wo wir nur die Galaxienpopulation beobachten, besser zu verstehen. Nach-Beobachtungen von gut untersuchten Galaxienhaufen aus der REFLEX-Durchmusterung (siehe unten) mit dem MPIA/ESO Wide-Field-Imager (WFI) werden zu diesem Zweck untersucht und erlauben uns, den gesamten Haufen bis hinaus zum Virial-Radius zu belichten. Vergleicht man in diesen Aufnahmen die Galaxienverteilung mit der Röntgenmorphologie, kann man zusammenstoßende Galaxienhaufen leicht in beiden Wellenlängenbereichen identifizieren, um nur eine der ersten Ergebnisse aus dieser Studie zu erwähnen. Die Nachuntersuchung von röntgenselektierten (RO-SAT) Galaxienhaufen im SLOAN Digital Sky Survey bietet gar ein unbegrenztes Blickfeld auf die Haufenregionen. Ein erstes Ergebnis zeigt, dass die Untersuchungen klarer werden wenn man die Haufen durch die Röntgeneigenschaften klarer charakterisieren kann. Unsere bessere Schätzung des äußeren (virialen) Haufenradius verbessert die Hintergrundsubtraktion und die Ergebnisse der Galaxienleuchtkraftfunktion. Es deutet sich eine Variation der Leuchtkraftfunktion zwischen verschiedenen Galaxienhaufen an.

Abb. 2-94: Entropieprofile von Galaxienhaufen und – gruppen. Die Entropie ist mit der Masse in Einheiten von $10^{13} M_{\odot}$ und der Radius mit dem Radius bei einer Überdichte von Δ 500 über der kritischen Dichte des Universums skaliert. Die grauen Linien entsprechen den Beobachtungsdaten. Die schwarzen Linien zeigen die verschiedenen Simulationen. Nur die durchgezogenen und gepunkteten Linien von Modellen mit einer Heizung von 0.75 keV/Teilchen bei einer Rotverschiebung von 3 können die Beobachtungen reproduzieren.

Fig. 2-94: Entropy profiles scaled by the total mass in units of $10^{13} M_{\odot}$, measured at over-density Δ 500 and plotted against a scaling radius measured as a fraction of τ_{500} . Gray lines indicate the data. Black lines denote various simulation runs: dot-long-dash for the gravitational heating runs, short-long-dash for models including the effect of cooling, long dash and dotshort-dash for preheating at z=9, dotted and solid for preheating at z=3. We clearly note that preheating at a redshift around 3 with an energy injection of about 0.75 kev/particle reproduces the observation best.

Last but not least, galaxy clusters are perfect laboratories to study galaxy populations for a large sample of coeval galaxies in well defined environments. We are undertaking these studies also with respect to a better understanding of the correspondence of the cluster appearance in X-rays to test if there are properties in the galaxy population that correlate with the X-ray appearance of the cluster. Follow-up observations of the well studied clusters from the REFLEX Survey (described below) with the MPIA/ESO Wide-Field-Imager are allowing us for the first time to image the clusters out to the virial radius and slightly beyond into the field. Comparing the Galaxy distribution and the X-ray morphology we can clearly recognise cluster merging events in both wavelength, just to mention one of the results of those studies. A follow-up study of our X-ray (ROSAT) selected clusters in the SLOAN Digital Sky Survey provides even an unlimited field of view. As one of results in this study we found that the known X-ray properties of the clusters help very much in characterising these objects. Our better estimate of the outer (virial) radius of the clusters from X-ray estimated cluster masses improves the background subtraction and the overall result of galaxy luminosity functions determined for these clusters. We observe a variation of the luminosity function from cluster to cluster.

[BRIEL, BÖHRINGER, CHEN, FINOGUENOV, IKEBE, LYNAM, MATSUSHITA, POPESSO, SCHUECKER, ZHANG, ZIMER]

2.4.5 Untersuchung der großräumigen Strukturen des Universums / Studies of the Large-Scale Structure of the Universe

Kosmologische Tests mit Galaxienhaufen / Cosmological Tests with Clusters of Galaxies

In erster Näherung werden die globalen Eigenschaften massereicher Galaxienhaufen wie ihre Röntgenleuchtkraft und Gesamtmasse durch die Gravitation bestimmt. Galaxienhaufen bilden damit physikalisch reThe global properties of massive clusters of galaxies like their X-ray luminosity and total mass are determined to first order by gravity. Galaxy clusters thus constitute comparatively simple physically systems, lativ einfache Systeme, gut geeignet als Testobjekte zur Überprüfung kosmologischer Modelle. Erstmals durchgeführte simultane Messungen der mittleren Häufigkeit und räumlichen Verteilung von 452 RO-SAT-ESO Flux-Limited (REFLEX)-Galaxienhaufen sind konsistent mit einer mittleren kosmischen Materiedichte von $\Omega_m=0.34$ und einem Normierungsparameter von \sigma=0.71 des Leistungsspektrums der Materieschwankungen des ∆-CDM (Cold Dark Matter) -Modells (25% Gesamtfehler). Die gemessene Materiedichte ist damit in guter Übereinstimmung mit einer Reihe neuer Messungen. Der relativ kleine Normierungswert des Leistungsspektrums widerspricht allerdings dem vor einigen Jahren aufgestellten "Concordance" Δ -CDM Modell, scheint sich aber durch neuere unabhängige Messungen zu bestätigen.

Durch die Kombination der REFLEX-Galaxienhaufen mit neuen Supernova-Ia-Stichproben gelang auch die Messung des Parameters der Zustandsgleichung w der sogenannten Dunklen Energie. Diese Energie wird als Verallgemeinerung der von Albert Einstein eingeführten kosmologischen Konstanten angesehen, um die derzeit von einer Reihe von Gruppen gefundene beschleunigte Expansion des Universums zu erklären. Die Natur der Dunklen Energie ist allerdings völlig unbekannt. Deshalb versucht man mit Hilfe des w-Parameters, der das Verhältnis zwischen dem Druck und der Energiedichte der Dunklen Energie angibt, eine zumindest phänomenologische Charakterisierung zu erhalten. Der von uns gemessene Wert von w=-0.95 (30% Gesamtfehler) liegt fast genau auf dem Wert der kosmologischen Konstanten und lässt damit wenig Raum für die Einführung exotischer Sorten Dunkler Energie wie Quintessence mit -1<w<0 oder Phantom-Energie mit w<-1. Die natürlichste Erklärung ist also eine positive kosmologische Konstante mit w=-1. Falls sich die Resultate bestätigen würden, blieben leider viele Fragen bezüglich der Natur des Vakuums der Teilchenphysik und der näherungsweisen Koinzidenz der Dichte der Dunklen Materie (plus Baryonen) von Ω_m =0.3 und der Dunklen Energie von Ω_{Δ} =0.7 unbeantwortet.

Die genaue Auswertung der Messungen im (Ω_m-w) -Diagramm ergab weitere interessante Ergebnisse bezüglich des Zustandes der kosmischen Expansion. Historisch gesehen fanden Kosmologen bereits zu Beginn des letzten Jahrhunderts, dass das Universum nicht statisch ist sondern expandiert. In den letzten Jahren häuften sich die Zeichen für eine beschleunigte Expansion. Die Frage, die sich nun stellt ist, ob diese beschleunigte Expansion nicht letztendlich sogar zu einem "Zerplatzen" (Big Smash) des gesamten Universums führen kann. Bei der Beurteilung dieser Frage spielt sowohl die Dichte der Dunklen Energie (in unserem Fall betrachten wir Universen ohne Raumkrümmung, wo die Dichte der Dunklen Energie (1- $\Omega_{\rm m}$) ist) als auch die Natur der Dunklen Energie (also der Wert von w) eine wichtige Rolle. Unsere Messungen sind derzeit noch nicht genau genug, um solche katastrophalen Modelle eindeutig ausschließen zu können. Sie bevorzugen auf dem 70%-Niveau eine moderate gegenüber einer katastrophalen Beschleunigung.

well suited as probes for testing cosmological models. For the first time simultaneous measurements of the average number and spatial distribution of the 452 ROSAT-ESO Flux-Limited (REFLEX) galaxy clusters are performed, which are found to be consistent with an average cosmic matter density of Ω_m =0.34 and a normalization parameter of $\sigma_{=}0.71$ of the power spectrum of the matter density fluctuations of the Δ -CDM (Cold Dark Matter) model (25% total error). The measured matter density is thus in good agreement with several new measurements. The comparatively small value of the power spectrum normalization contradicts the "concordance" Δ -CDM model established several years ago, but seems to be supported by recent independent measurements.

The combination of the REFLEX cluster sample with the new type-Ia supernova samples yields measurements of the equation of state parameter w of the socalled Dark Energy. This energy is regarded as a generalization of Albert Einstein's cosmological constant, and is used to explain the accelerated cosmic expansion found recently by several groups. The nature of the Dark Energy is presently not known. Therefore, the w parameter which gives the ratio of the pressure and density of the Dark Energy is used to get at least a phenomenological characterization. Our measured value of w=-0.95 (30% total error) coincides almost perfectly with the value expected for the cosmological constant and thus leaves little room for the introduction of more exotic types of Dark Energies like Quintessence with -1<w<0 or Phantom Energy with w<-1. The most natural explanation thus is a positive cosmological constant with w=-1. The confirmation of this result would, however, leave many questions unanswered concerning the particle physics vacuum and the approximate coincidence of the density of the Dark Matter (plus baryons) with $\Omega_m=0.3$ and the dark energy with $\Omega_{\Delta}=0.7$.

The detailed analysis of the measurements in the (Ω_m-w) diagram yields further interesting results concerning the state of the cosmic expansion. Historically, cosmologists found already at the beginning of the last century that the Universe is not static but expanding. In the last years evidence accumulates in favour of an accelerated cosmic expansion. The question thus arises whether this accelerated expansion could not lead to a final "displosion" (Big Smash) of the whole Universe. For the evaluation of this question the density of the Dark Energy (we restrict our investigations to geometrically flat universes with the density of $(1-\Omega_m)$ of the Dark Energy) as well as the nature of the Dark Energy (and thus the value of w) play a vital role. Our present measurements are not accurate enough to completely rule out catastrophic models. However, they support on the 70% level a moderate against a catastrophic expansion.



Während mit der REFLEX Stichprobe nur das nahe Universum erfasst wird, kann man mit tieferen Durchmusterungen auch die kosmologische Entwicklung von Galaxienhaufen und der großräumigen Struktur als zusätzliche Beobachtungsgröße für kosmologische Tests heranziehen. So ist das Ziel des ambitionierten XMM-LSS Projekts die Erstellung eines Röntgenatlas von einem 8x8 Quadratgrad großen Himmelsareal, um die großräumige Verteilung von etwa 800 Galaxienhaufen zu erfassen. Da die Empfindlichkeit gegenüber der ROSAT-Himmelsdurchmusterung etwa 1000 mal größer ist, wird es erstmals möglich sein, die zeitliche Entwicklung der Strukturen auf Skalen von einigen hundert Megaparsec zwischen z=1 und heute zu studieren. Abb. 2-95 zeigt eine der ersten entdeckten entfernten Galaxien aus dem XMM-CSS Projekt.

Abb. 2-95: Entfernter Galaxienhaufen im I-Band mit überlagerten Röntgenkonturen, der im Rahmen der XMM-Large-Scale-Structure-Durchmusterung (XMM-LSS) neu entdeckt und mit VLT/FORS spektroskopisch bestätigt wurde (Rotverschiebung z=0.6). Die Spektroskopie-Resultate für eine Auswahl von insgesamt 20 Galaxienhaufenkandidaten, die anhand ihrer charakteristischen Röntgenemission ausgewählt wurden, demonstrieren sehr eindrucksvoll die Durchführbarkeit des gesamten Vorhabens: die große Sammelfläche sowie die relativ gute Abbildungsqualität von XMM-Newton ermöglichen es, mit Aufnahmen von nur 10 ks Integrationszeit die Galaxienhaufenpopulation bis zur Rotverschiebung z=1 zu untersuchen.

Fig. 2-95: Distant galaxy cluster in the I-band with overlayed X-ray contours, discovered within the XMM-LSS survey and confirmed spectroscopically (redshift z=0.6). The spectroscopic results for a subsample of 20 cluster candidates, selected from their characteristic X-ray emission, quite impressively demonstrate the feasibility of the project: the total area and the comparatively good image quality of XMM-Newton allows with 10 ks integration time per pointing the study of the galaxy cluster population up to redshifts of z=1.

Much deeper surveys of the X-ray sky for galaxy clusters is offered by observations with XMM-Newton. The goal of the ambitious XMM-LSS project is the observation of a condiguous area of 8x8 square degrees on the sky, in order to map the large-scale matter distribution with about 800 galaxy clusters. The 1000 times higher sensitivity compared to the ROSAT All-Sky Survey allows for the first time studies of the evolution of structure growth on scales up to several hundreds Megaparsecs between z=1 and today. Fig. 2-95 schows one of the first distant galaxy clusters detected in the XMM-CSS project.

[BÖHRINGER, RETZLAFF, SCHUECKER]

Die Galaxienpopulation und die großräumige Struktur / The Galaxy Population in the Large-Scale Structure

Die Kenntnis der großräumigen Struktur des Universums wird durch die nächste Generation von Galaxien-Rotverschiebungs-Durchmusterungen deutlich verbessert. Der Sloan Digital Sky Survey (SDSS) wird die Rotverschiebung von einer Stichprobe von ³/₄ Millionen Galaxien messen und damit genaue Schätzungen der Standard-Statistiken der großräumigen Struktur erhalten und damit die Möglichkeit einer anspruchsvollen Analyse der Eigenschaften der Galaxienverteilung eröffnen.

Mit der Skalierungsindex-Methode kann man die Galaxie auf Grund ihres Abstandes zu Nachbargalaxien einer topologischen Struktur zuordnen. Numerische Simulationen belegen, dass mit dem lokalen Skalierungsverhalten leicht Galaxienhaufen, Filamente und Leerräume in der großräumigen Struktur identifiziert werden können. Die beobachtete Galaxienverteilung The knowledge of the large-scale structure of the Universe is going to change by the new generation of galaxy redshift surveys. With Sloan Digital Sky Survey (SDSS) will measure a redshift sample of ³/₄ million galaxies which allows precise estimations of the standard statistics of the large-scale structure and provides the opportunity to analyse more sophisticated properties of the galaxy distribution.

The scaling index method assigns topological features to every galaxy depending on the neighbouring galaxies in a given distance. Numerical simulations confirmed that this local scaling behaviour easily identifies clusters, filaments and voids. Observed galaxy distributions show redshift space distortions caused by the peculiar velocity of galaxies. An obvious example zeigt darüber hinaus noch Verzerrungen, hervorgerufen durch die Pekuliargeschwindigkeiten der Galaxien. Ein ofensichtliches Beispiel ist der "Finger of God"-Effekt, der Galaxienhaufen in der Sichtlinie langgestreckt erscheinen lässt, was die topologische Klassifikation verändert. Verwendet man statt einer isotropen eine anisotrope Abstandmetrik, kann man diese systematischen Fehler reduzieren. Eine Anwendung dieser Methode wird die Suche nach einer Korrelation zwischen den physikalischen Eigenschaften der Galaxien (z.B. Farbe, Morphologie) und der Topologie der umgebenden großräumigen Struktur sein.

Strukturen in der kosmischen Mikrowellen-Hintergrundstrahlung / Structure in the Cosmic Microwave Background

Die Erkennung nicht-Gaußscher Signaturen in den Temperaturkarten der kosmischen Hintergrundstrahlung (CMB) ist derzeit einer der größten kosmologischen Herausforderungen, weil sie eine Trennung erlaubt zwischen verschiedenen kosmologischen Modellen (z.B. Inflationäre Szenarien, ekpyrotische/zyklische Braneworld-Szenarien, sich bewegende, nach der Wiedererhitzung erzeugte kosmische Strings usw.), die die Entwicklung des sehr frühen Universums beschreiben.

Um hochempfindliche statistische Tests zur Erkennung nicht-Gaußscher Signaturen zu erarbeiten, wendeten wir Methoden auf simulierte CMB-Karten an, die im Rahmen nichtlinearer Zeitreihenanalysen entwickelt wurden. Mit der Methode der "constrained randomisation" wurden sogenannte Surrogat-Karten erzeugt, die sowohl dem Leistungsspektrum als auch der Amplitudenverteilung der simulierten CMB-Karten folgen, die die nicht-Gaußschen Signale enthalten, während sämtliche Korrelationen höherer Ordnung ausgelöscht wurden. Die Analyse aller Karten mit Maßen, die empfindlich auf die höheren Korrelationen sind (z.B. gewichtete Skalierungsindizes, Minkowski-Funktionale) führten zu einer statistisch signifikanten Trennung zwischen den Surrogatkarten und der ursprünglichen Karte. Eine signifikante Erkennung der nicht-Gaußschen Signaturen ist deshalb möglich. Wir konnten auch zeigen, dass dieser Ansatz sehr robust ist in Bezug auf überlagertes Rauschen und dass man nicht-Gaußsche Signale mit einer höheren Signifikanz als mit anderen Methoden erkennen kann.

The identification of non-Gaussian signatures in cosmic microwave background (CMB) temperature maps is one of the main cosmological challenges today, because it allows us to discriminate between different cosmological models (e.g. inflationary scenarios or ekpyrotic/cyclic Braneworld scenarios, moving cosmic strings created after pre-heating etc.), which govern the evolution of the very early universe.

is the "Finger of God"-effect which causes clusters of

galaxies to appear elongated along the line of sight and

therefore changes the topological classification. In-

stead of using an isotropic distance metric, anisotropic

scaling indices can reduce these systematic errors in

observed data. One application of this method will be

the search for correlations between physical properties

of galaxies (e.g. colour, morphology) and the topology

[BÖHRINGER, BUNK, HUBER, MORFILL, RÄTH,

of the surrounding galaxies.

RETZLAFF, SCHUECKER]

We applied techniques developed in the field of nonlinear time series analysis to simulated CMB maps in order to design highly significant statistical tests for non-Gaussian signatures. With the method of constrained randomisation, so-called surrogate maps are generated which mimic both the power spectrum and the amplitude distribution of simulated CMB maps containing non-Gaussian signals while all higher order correlations are wiped out. Analysing all maps with measures sensitive to higher order correlations (for example weighted scaling indices, Minkowski funktionals) leads to a statistically significant discrimination between the surrogate and original maps. Thus a clear detection of non-Gaussian signatures is made possible. We could also show that this approach is very robust with respect to superimposed noise and that one can detect non-Gaussianity at higher noise level as with other techniques recently proposed.

[RÄTH, SCHUECKER]

2.5 KOMPLEXE PLASMEN / COMPLEX PLASMAS

Die hier beschriebenen Arbeiten wurden im Rahmen des "CIPS" (Centre for Interdisciplinary Plasma Science) durchgeführt (siehe auch Kapitel 3.5).

Komplexe Plasmen sind Mehrkomponenten-Plasmen, die neben Elektronen und Ionen zusätzlich kleine Mikropartikel - Partikel von Mikrometergröße - beinhalten. Diese Partikel werden durch die Wechselwirkung mit den Elektronen und Ionen im Plasma aufgeladen und bilden somit eine weitere Plasmakomponente, die aufgrund ihres abgeschirmten Coulomb-Potentials sogar dominieren können. Über ihre abgeschirmten Coulomb-Potentiale können die Mikropartikel mit ihren Nachbarn in Wechselwirkung treten und flüssige sowie kristalline Strukturen, die sogenannten "Plasmakristalle", bilden. Der neuartige Aspekt dieser speziellen Komponente im Plasma ist die dynamische Beobachtbarkeit der einzelnen Mikropartikel auf dem fundamentalsten - dem kinetischen - Niveau. Dies ermöglicht einen ganz neuen Zugang zur Plasmaphysik aber auch zur Kolloidphysik und zur Festkörperphysik.

Bei Untersuchungen komplexer Plasmen im Labor dominiert die Schwerkraft über alle anderen, viel schwächeren Kräfte. Nur in einem schmalen Bereich an der Plasmarandschicht, dort wo das elektrische Feld ausreichend stark ist, um der Schwerkraft Paroli zu bieten und die Mikroteilchen in der Schwebe zu halten (levitieren), lassen sich komplexe Plasmen mit Mikropartikeln herstellen. Allerdings sind diese Systeme durch das stark variierende elektrische Feld in der Plasmarandschicht sehr "gestresst".

Unter Schwerelosigkeit dagegen lassen sich große, 3dimensionale komplexe Plasmen dort erzeugen, wo das elektrische Feld um mehrere Größenordnungen kleiner ist. Auf der internationalen Raumstation ISS z.B. ist die Schwerkraft um mindestens vier Größenordnungen reduziert, d.h. viel schwächere Kräfte spielen hier eine Rolle und können gezielt untersucht werden. Das deutsch-russische Projekt "PKE-Nefedov" (PKE=Plasma-Kristall-Experiment) ist das erste physikalische Experiment auf der ISS. Das Experiment wurde nach dem im Januar 2001 verstorbenen russischen Co-PI Anatoli Nefedov benannt. Es ermöglicht Untersuchungen unter Schwerelosigkeit auf dem sehr jungen Gebiet der komplexen Plasmen. Ziel von PKE-Nefedov ist es, zuerst das komplexe Plasma über einen breiten Parameterbereich zu erforschen.

The investigations described here were conducted within the "CIPS" (Centre for Interdisciplinary Plasma Science) (see also chapter 3.5).

Complex plasmas are multi-component plasmas containing additional small microparticles – particles of micrometer size – besides electrons and ions. These particles are charged due to the interaction with the electrons and ions and thus form a further plasma component which may even be dominant through their screened Coulomb potentials. The microparticles can interact with their neighbours and form fluid as well as crystalline structures, the so-called "Plasma crystals". The novel aspect of this special component in the plasma is the dynamical observability of each microparticle at the most fundamental – the kinetic – level. This enables a totally new access to plasma physics but also to colloidal physics and solid state physics.

In laboratory investigations of complex plasmas gravity dominates over all other, much weaker forces. Only in a small region close to the plasma sheath, where the electric field is sufficiently strong to counter gravity and levitate the microparticles, can complex plasmas containing microparticles be formed. But these systems are heavily "stressed" due to the strongly varying electric field in the plasma sheath.

In contrast under microgravity conditions, large 3dimensional complex plasmas can be formed in regions where the electric field is smaller by several orders of magnitude. On the International Space Station ISS, for example, gravity is reduced by at least four orders of magnitude. Thus much weaker forces play a role here and can be investigated specifically. The German-Russian project "PKE-Nefedov" is the first physics experiment on the ISS (PKE stands for Plasma-Kristall-Experiment). The experiment was named after the Russian Co-PI Anatoli Nefedov who died in January 2001. It allows investigations under microgravity conditions in the very young field of complex plasmas. The aim of PKE-Nefedov is to explore complex plasmas over a broad parameter range.

2.5.1 Komplexe Plasmen unter Schwerelosigkeit / Complex Plasmas under Microgravity

Die Struktur der komplexen Plasma Grenzschicht / The Structure of the Complex Plasma Boundary

Kürzlich auf der Internationalen Raumstation durchgeführte Experimente mit komplexen Plasmen zeigten oft ein Void oder "staubfreie" Region im Zentrum des Plasmaleuchtens. Eine charakteristische Erscheinung der Grenzschicht zwischen komplexen Plasma und Void ist eine komprimierte, mehrere Teilchenabstände dicke Region. Experimentelle Beobachtungen ergaben Recent complex plasma experiments performed on the International Space Station often showed a void or "dust"-free region in the center of the plasma glow. A characteristic feature of the void-complex plasma boundary is a compressed region several inter-particle distances thick. From experimental observations this is typically 0.5 mm at 50 Pa. A simple *collisionless* mo-
typischerweise eine Drift von 0.5 mm bei 50 Pa. Ein einfaches kollisionsfreies Modell des quasineutralen komplexen Plasmas mit Mikrokugeln, die sich in einer kristallinen Struktur anordnen, und einer elektrostatischen Doppelschicht an der Grenzfläche des komplexen Plasmas wurde entwickelt. Die Schichttrennung wurde durch Lösen der Kraftgleichgewichtsgleichung, der Gleichung für die Aufladung und der Bedingung der Quasineutralität für jede Schicht erhalten. Das Modell zeigte keine Kompression im Gitterabstand nahe der Kante des Voids (Abb. 2-96). Die Grenzschichtbreite ist näherungsweise durch die Ionenabsorptionslänge $\lambda_{i,ab}$ ≈1 cm gegeben (aufgrund der graduellen Absorption von Ionen aus dem Void durch die Mikrokugeln). Ein Kriterium für die Kompression, die sich aus der Quasineutralität und der Aufladungsgleichung ergibt, zeigte, dass eine Kompression auftreten sollte, sobald der lokale Ionendichtegradient ausreichend größer als der effektive Elektronendichtegradient ist. Das "Floating"-Potenzial steigt dann an, so dass eine komprimierte Grenzschicht entsteht. Unter Benutzung von identischen Randbedingungen wurde das kollisionsfreie Modell durch Mitnahme von Ion-Neutralgas Kollisionen mit mittlerer freier Weglänge λ_{in} modifiziert. Es stellte sich heraus, dass im Falle λ_{in} $\ll \lambda_{i,ab}$ der Ionendichtegradient deutlich erhöht ist, während der lokale Elektronendichtegradient erniedrigt ist. Die Grenzschichtbreite ist ungefähr mehrere mittlere freie Weglängen dick in Übereinstimmung mit experimentellen Beobachtungen. Die Grenzschicht ist jedoch nicht komprimiert, da die Benutzung der Kollisionsfreiheit in der "Orbit Motion Limited" (OML) Theorie zu einem effektiven Elektronendichtegradienten führt, der vergleichbar mit dem Ionendichtegradienten ist. Weitere Arbeiten sind notwendig, um den Effekt der Kollisionen auf das Aufladen der Mikrokugeln in der Grenzschicht zu berücksichtigen. Es wird erwartet, dass der effektive Elektronendichtegradient abnimmt (aufgrund einer Zunahme der Absorbtionsfläche der Mikrokugeln). Als Schlussfolgerung konnte gezeigt werden, dass Ion-Neutralgas Kollisionen bei der theoretischen Beschreibung eines komplexen Plasmas berücksichtigt werden müssen.



del of the quasi-neutral complex plasma is developed with micro-spheres arranged into a crystalline structure and an electrostatic double layer at the complex plasma boundary. The layer separations are obtained by solving the force balance equation, the charging equation and the quasi-neutrality condition at each layer. The model showed no compression in the lattice separation towards the edge of the void (Fig. 2-96). Boundary widths are approximately the ion absorption length $\lambda_{i,ab} \approx 1$ cm (due to the gradual absorption of ions from the void region by the micro-spheres). A criterion for compression, which was obtained from quasineutrality and the charging equation, showed that compression should result when the local ion density gradient is sufficiently larger than the effective electron density gradient. The floating potential then increases resulting in a compressed boundary. Using identical boundary conditions the collisionless model was modified by including ion-neutral collisions with mean free path λ_{in} . It was found that if $\lambda_{in} \ll \lambda_{iab}$ the ion density gradient is significantly increased with a reduced local electron density gradient. The boundary width is approximately several mean free paths thick in agreement with experimental observations. The boundary is not compressed, however, because the use of collisionless the Orbit Motion Limited (OML) charging theory results in an effective electron density gradient that is comparable to the ion density gradient. Further work is necessary to include the effect of collisions on the charging of micro-spheres in the boundary region. It is expected that the effective electron density gradient will decrease (due to an increase in the absorption area of the micro-spheres). In conclusion, it is demonstrated that ion-neutral collisions have to be considered for the theoretical description of the complex plasma boundary.

Abb. 2-96: Variation des Schichtabstandes (Δx_l) und des normierten Floating-Potenzials (η_p) mit dem Abstand von der Leerstellengrenzschicht, x. Die Symbole an den Kurven bezeichnen die Schichtposition. Im Kollisionsfall beträgt der Druck 49 Pa bei $\lambda_{in} =$ 0.1 mm.

Fig. 2-96: Variation of layer separation (Δx_l) and normalised floating potential (η_i) with distance from the void boundary, x. Symbols on the curves indicate layer positions. For the collisional case the pressure is 49 Pa with λ_{in} =0.1 mm.

Flüssigkeitsmodell für komplexe Plasmen unter Mikrogravitationsbedingungen / Fluid Model for Complex Plasmas under Microgravity Conditions

Ein numerisches Modell zur Simulation des stationären Zustands komplexer Plasmen unter Mikrogravitationsbedingungen wurde entwickelt. Das Modell verA numerical model is developed to simulate steady states of complex plasmas under microgravity conditions. The model uses a fluid description for the wendet eine Flüssigkeitsbeschreibung sowohl für das Plasma als auch die Mikropartikel. Die Behandlung der Mikropartikel wurde gegenüber bereits vorhandenen numerischen Modellen verbessert: Wir benutzen eine geeignete Zustandsgleichung für die kristalline Phase des komplexen Plasmas und einen korrigierten Ausdruck für die auf die Teilchen wirkende Ionenreibungkraft. Das Modell wird benutzt, um die Bildung eines stabilen, in Mikrogravitationsexperimenten beobachteten "Voids" zu studieren. Wir konnten zeigen, dass die Ionenkraft ausreichend zur Erzeugung des Voids ist. Die Struktur der in diesem Modell sich ergebenden Teilchenwolke ist in guter Übereinstimmung mit Mikrogravitationsexperimenten. Es stellte sich heraus, das die Ionenkraft nicht notwendigerweise zur Elektrode zeigt, da die Ionen in einer Potenzialmulde, die sich an der Grenzschicht zum Void bildet, eingefangen werden. Dies erklärt, warum an der Void-Grenzschicht eine schmale Region mit erhöhter Staubdichte auftritt, die oft im Experiment beobachtet wird (Abb. 2-97).



plasma as well as for the microparticles. The treatment of the microparticles is improved compared to the currently existing numerical models: We use an appropriate equation of state for the crystalline phase of a complex plasma as well as a corrected expression for the ion drag force acting on the particles. The model is used to study the formation of stable "voids" observed in microgravity experiments. We show that the ion drag is sufficient to create the void. The structure of the particle cloud obtained by the model is in good agreement with microgravity experiments. It was found that the ion drag does not necessarily point towards the electrodes, because ions get trapped in a potential well which is formed at the void boundary. This explains why at the void boundary there is a very narrow region of increased dust density (Fig. 2-97). This density peak is often observed in experiments.

Abb. 2-97: Räumliche Verteilung der Elektronen-, n_e , Ionen-, n_b , und Mikropartikeldichten, n_d , zwischen den RF-Elektroden in der Flüssigkeitssimulation. Die Simulationsparameter: Ar Gasdruck 0.5 Torr, RF Spitze-Spitze-Spannung 80 V, Teilchendurchmesser 6 μ m. Die resultierende Ladung pro Teilchen beträgt $1.2x10^4$ Elektronladungen.

Fig. 2-97: Spatial distribution of the electron, n_{e} , ion, n_{i} , and microparticle, n_{d} , densities between the RF electrodes in the fluid simulations. Simulation parameters: Ar gas pressure 0.5 Torr, RF peak-to-peak voltage 80 V, particle diameter 6 μ m. The resulting charge per particle is 1.2×10^4 electron charges.

Messung der Teilchenladung in einem komplexen Plasma / Particle Charge Measurements in a Complex Plasma

Eine einfache Methode zur Bestimmung der Teilchenladung in einem 3D komplexen Plasma wurde vorgeschlagen. Durch Anlegen einer sinusförmigen Anregungsspannung an die RF-Elektrode und graduellen Anstieg der Anregungsfrequenz beobachtet man, dass die Partikeloszillationen bei einer bestimmten Frequenz ("cut-off") verschwinden. Unabhängig von der Phase des komplexen Plasmas (von gasförmig bis kristallin) ist der Wert der Cut-off-Frequenz proportional zur Plasmafrequenz, welche wiederum proportional zur Teilchenladung ist. Abhängig von der vorliegenden Phase liegt die Genauigkeit der Ladungsbestimmung bei ca. 30-50%. Für unsere letzten Mikrogravitationsexperimente bekommen wir ca. 5×10^3 Elektronladungen (e) für 3.4 μ m Partikel und ca. 10⁴ e bei 6.8 µm, in guter Übereinstimmung mit der OML Aufladungstheorie.

A simple method has been proposed to determine the particle charge in 3D complex plasmas. Applying a sinusoidal excitation voltage to the RF-electrode and increasing the excitation frequency gradually, one can observe that the particle oscillations vanish at certain ("cut-off") frequency. Independent of the phase state of a complex plasma (gaseous through crystalline), the value of the cut-off frequency is proportional to the dust plasma frequency – which, in turn, is proportional to the particle charge. Depending on the phase state, the accuracy of the charge evaluation is within ~30-50%. For our recent microgravity experiments we get ~5x10³ electron charges (e) for 3.4 μ m particles and ~10⁴ e for 6.8 μ m particles, which is in good agreement with the OML charging theory.

Kompressionswellen in komplexen Plasmen unter Mikrogravitationsbedingungen / Compressional Waves in Complex Plasmas under Microgravity Conditions

Unter Mikrogravitationsbedingungen ist die experimentelle Untersuchung von schwach komprimierten dreidimensionalen Plasmen möglich. Ein möglicher Zugang, diese Systeme zu studieren, beruht auf der Under microgravity conditions the experimental investigation of weakly compressed three-dimensional complex plasmas is possible. One way to study these systems is by the controlled excitation of lowkontrollierten Anregung von niederfrequenten Kompressionswellen. Wir haben erstmals solche Experimente mittels des PKE-Nefedov Labors auf der Internationalen Raumstation durchgeführt. Die Wellen wurde über die Modulation der Spannung an den RF-Elektroden angeregt. Durch Änderung der Modulationsfrequenz haben wir die Dispersionsrelation gemessen (Abb. 2-98). Durch Vergleich der erhaltenen Resultate mit bestehenden Theorien haben wir die Mikroteilchenladung und die Plasmaabschirmlänge, welche sehr wichtig charakteristische Eigenschaften von komplexen Plasmen darstellen, abgeschätzt.



frequency compressional waves. We performed the first of such experiments, conducted with the PKE-Nefedov laboratory on the International Space Station. The waves were excited by modulating the voltage on the RF electrodes. By varying the modulation frequency we measured the dispersion relation (Fig. 2-98). From comparison of the obtained results with existing theoretical models we estimated the microparticle charge and the plasma screening length, which are very important characteristics of complex plasmas.

[ANNARATONE, BIGELMAYR, BRYANT, DEUTSCH, GOLDBECK, HAGL, HUBER, IVLEV, KONOPKA, KLU-MOV, KHRAPAK, KRETSCHMER, MORFILL, NUNO-MURA, QUINN, ROTHERMEL, SAMSONOV, SÜTTERLIN, TARANTIK, THOMA, THOMAS, ZUZIC]

Abb. 2-98: Wellendispersionsrelation. Die Symbole stellen experimentelle Resultate dar. Die durchgezogenen Linien sind Fits von der theoretischen Dispersionsrelation der Staub-akustischen Welle (DAW). Die gepunkteten Linien sind Fits von der theoretischen Dispersionsrelation der Staub-Gitter Welle (DLW). Die oberen (unteren) Linienpaare entsprechen Teilchenladungen $Q \sim 2200$ ($Q \sim 1600$).

Fig. 2-98: Wave dispersion relation. Symbols represent results of experimental measurements. The solid lines are fits from the theoretical dust acoustic wave (DAW) dispersion relation. The dotted lines are fits from the theoretical dust lattice wave (DLW) dispersion relation. Upper (lower) line pairs correspond to grain charges $Q \sim 2200$ ($Q \sim 1600$).

2.5.2 Komplexe Plasmen im Labor / Complex Plasmas in the Laboratory

Thermophorese in Komplexen Plasmen / Thermophoresis in Complex Plasmas

Der Transport von Teilchen in einem System mit Temperaturgradient von der heißen zur kalten Seite wird als Thermophorese bezeichnet. Legt man einen Temperaturgradienten in einem komplexen, in einer RF-Kammer produzierten Plasma an, können die Mikropartikel gegen die Schwerkraft levitiert werden. Im Fall von monodispersen Melamine-Formaldehyd-Teilchen mit einem Durchmesser von 3.4 µm benötigt man einen Temperaturgradienten von 1170° K/m, indem man von unten heizt. Dieser Gradient ist in Übereinstimmung mit Abschätzungen aus der elementaren kinetischen Theorie zusammen mit gemessenen atomaren Streuquerschnitten. Wie unter Mikrogravitation füllt die Teilchenwolke, abgesehen von einer zentralen Leerstelle, das gesamte Volumen zwischen den Elektroden aus. Allerdings kann die Thermophorese nicht beliebig viele Teilchen in der Schwebe halten insbesondere bei niedrigen Drücken. Falls z.B. das System etwa eine Million Teilchen enthält und der Druck von 46 Pa auf 14 Pa beim selben Temperaturgradient reduziert wird, setzen sich die Teilchen zur unteren Elektrode hin ab, wie in Abb. 2-99 gezeigt. Dies widerspricht dem theoretisch erwarteten Verhalten, das die Unabhängigkeit der Thermophorese vom

112

The transport of particles in a system with a temperature gradient from the hot to the cold side is called thermophoresis. Applying a temperature gradient to a complex plasma produced in a RF-chamber, the microparticles can be levitated against gravity. In the case of monodisperse melamine formaldehyde particles with a diameter of 3.4 µm a temperature gradient of 1170° K/m is required, by heating from below. This gradient is in agreement with estimates based on elementary kinetic theory together with measured atomic scattering cross sections. As in the case of microgravity, the particle cloud fills the entire volume between the electrodes apart from a central void. However, thermophoresis cannot support an arbitrarily large number of particles, in particular at low pressures. If, for example, the system contains about one million particles and the pressure is reduced from 46 Pa to 14 Pa at the same temperature gradient, the particles settle down towards the lower electrode, as shown in the Fig. 2-99. This is in contrast to the theoretically expected behaviour, which predicts that the thermophoretic force is pressure independent. This settling can be reversed by increasing the pressure again to 46 Pa. As a possible explanation we propose radiation cooling by

Druck vorhersagt. Dieses Absetzen der Teilchen kann rückgängig gemacht werden, wenn der Druck wieder auf 46 Pa erhöht wird. Als eine mögliche Erklärung schlagen wir die Abkühlung der Teilchen durch thermische Abstrahlung vor, welche aufgrund der thermischen Kopplung zwischen den Teilchen und dem Neutralgas den Temperaturgradienten in der Staubregion erniedrigt. Dieser Mechanismus ist effizienter bei niedrigen Drücken, da dort die thermische Kopplung wegen der größeren mittleren freien Weglänge der Atome stärker ist. thermal radiation from the particles, which reduces the temperature gradient in the dust region due to the thermal coupling between the particles and the neutral gas. This mechanism is more efficient at low pressures, where the thermal coupling is stronger due to the larger mean free path of the atoms.



Abb. 2-99: *Teilchenwolke durch Thermophorese in der Schwebe gehalten bei einem Druck von 46 Pa (links) und 14 Pa (rechts).*

Fig. 2-99: Particle clouds suspended by thermophoresis at a pressure of 46 Pa (left) and 14 Pa (right).

Vibrationswellen in staubigen Plasmen / Vibrational Wave Modes in Dust-Plasmas

Die neuen Experimente zur Bildung von komplexen Plasmastrukturen, die in einer Gasentladung mittels Thermophorese in der Schwebe gehalten werden, eröffnen neue Möglichkeiten für die Beobachtung des Verhaltens von stark gekoppelten Teilchen auf dem kinetischen Niveau. Bisher wurde immer angenommen, dass der Temperaturgradient, welcher die thermophoretische Levitation ermöglicht, konstant ist. Jedoch neue selbstkonsistente Modelle der Prozesse des Wärmeflusses in einem Gasentladungsplasma ergaben eine nichtlineare Verteilung der Gastemperatur als Funktion des Elektrodenabstands. Die berechneten Profile zeigten eine starke Abhängigkeit von den Anfangsbedingungen und immer lokale Maxima nahe der Elektroden und ein Minimum im Zentrum der Kammer. Unter diesen Voraussetzungen haben wir die Teilchenvibrationsmoden neu betrachtet. Wir haben gezeigt, dass das nichtlineare Temperaturprofil in einer neuen spezifischen Mode der vertikalen Oszillationen der Mikroteilchen resultiert, die abhängig von der Krümmung des nichtlinearen Temperaturprofils stabil oder instabil sein kann. Auf diese Weise erhält man ein neues Werkzeug zum Betreiben von Plasmakristallexperimenten und zur Bestimmung der Plasmaparameter.

The new experiments of the formation of complex plasma structures suspended in a gas discharge plasma by thermophoresis have opened new opportunities for the detailed observations of strongly coupled particle behaviour at the kinetic level. So far, it has always been assumed that the temperature gradient, which provides thermophoretic levitation, is constant. However, recent self-consistent modelling of the heat flow processes in gas discharge plasmas showed a nonlinear distribution of the gas temperature as a function of a distance between electrodes. The computed profiles exhibited a strong dependence on the initial conditions, but always revealed local maxima near the electrodes and a minimum in the chamber center. Taking this into account, we have revised the particle vibrational modes. We have shown that the non-linear temperature profile results in the new specific mode of vertical oscillations of dust grains, which can be stable or unstable depending on the curvature of the nonlinear temperature profile at levitation levels, thus providing a new tool for operating of plasma-crystal experiments and determining the plasma parameters.

Modellrechnungen der Wechselwirkung eines komplexen Plasmas mit einem magnetischen Feld / Model Calculations on the Interaction of a Complex Plasma with a Magnetic Field

Das Verhalten eines schwach ionisierten Plasmas wurde theoretisch untersucht. Dabei wurde eine kugelförmige Wolke von Staubpartikeln in einer sphärischen RF-Entladungskammer in einem umgebenden homogenen magnetischen Feld angenommen. Während Ionisierung und Absorption die Ionen zum StröWe investigated theoretically the behaviour of a weakly ionized plasma containing a spherical cloud of dust particles, in a spherical RF-discharge chamber surrounded by a homogeneous magnetic field. Whereas ionization and absorption causes the ions to stream, the neutral gas component and the dust cloud men veranlassen, wird angenommen, dass sich die Neutralgaskomponente und die Staubwolke im Ruhezustand befinden.

Aus analytischen Lösungen der linearisierten hydrodynamischen Gleichungen untersuchten wir, wie die Hauptionengeschwindigkeit, die Teilchendichten der Ionen und der Elektronen, das elektrische Feld und das durch die Raumladungen im Plasma erzeugte Potential abhängen von der Stärke des magnetischen Feldes, dem Radius der Staubwolke, der Größe des Entladungskammer, der Ionisierungs- und Absorptionsrate, sowie von verschiedenen Plasmaparametern.

Die Konfiguration ist rotationssymmetrisch um die z-Achse und spiegelsymmetrisch um die z=0 Ebene, wobei wir ein Zylinder-Koordinationssystem benutzen (s, ϕ , z) mit der z-Achse parallel zum magnetischen Feld und mit seinem Ursprung im gemeinsamen Zentrum der Staubwolke und der Entladungskammer.

Abbildung 2-100 zeigt die Projektion der Ionengeschwindigkeit für die obere Halbebene (ϕ =const.). Die Ausdehnung der Staubwolke ist durch das Kreissegment gekennzeichnet. Die Wand der Entladungskammer befindet sich in einem Abstand von 3 cm vom Ursprung und liegt somit außerhalb der Abbildung. Es wird angenommen, dass die Teilchenzahldichte für die Staubpartikel räumlich innerhalb der Wolke konstant ist. Die Stärke des magnetischen Feldes beträgt 5 T und 10% der Ionen, die im Entladungsraum produziert werden, werden durch die Staubpartikel absorbiert.



is assumed to be at rest.

From analytical solutions of the linearized fluid equations we investigated how the ion bulk velocity, the number densities of the ions and electrons, the electric field and potential produced by the space charge in the plasma depend on the magnetic field strength, on the radius of the dust cloud, the size of the discharge chamber, on the ionization and absorption rates as well as on various plasma parameters.

The configuration is rotationally symmetric about the z-axis and mirror symmetric about the z=0 plane, where we use a cylindrical coordinate system (s, ϕ , z) with the z-axis parallel to the magnetic field and with its origin in the common center of the dust cloud and discharge chamber.

Figure 2-100 shows the projection of the ion velocity for the upper half-plane (ϕ =const.) The extent of the dust cloud is marked by the circle segment. The wall of the discharge chamber is located at a distance of 3 cm from the origin and is thus outside the figure. The number density for the dust particles is assumed to be spatially constant within the cloud. The magnetic field strength is 5 T and 10% of the ions produced in the discharge chamber are absorbed by the dust particles.

Abb. 2-100: Projektion der Ionengeschwindigkeit in eine meridionale Ebene bezüglich der Polarachse z durch das Zentrum der Staubwolke und parallel zum magnetischen Feld. Die azimutale Komponente der Ionengeschwindigkeit senkrecht zur Ebene ist nicht in der Abbildung gezeigt.

Fig. 2-100: Projection of the ion velocity into a meridional plane with respect to the polar axis z through the center of the dust cloud and parallel to the magnetic field. The azimuthal component of the ion velocity perpendicular to the plane of the figure is not shown.

Oszillationsmoden und gegenseitige Wechselwirkungen von magnetisierten Partikeln in einem komplexen Plasma / Oscillatory Modes and Mutual Interactions of Magnetized Grains in a Complex Plasma

Stimuliert durch neue Experimente zur Rolle externer magnetischer Felder bei der Teilchenlevitation, haben wir Oszillationen in einer eindimensionalen Kette von magnetischen Partikeln untersucht. Die Wechselwirkung wird dabei durch das statische Debye-Hueckel und das magnetostatische Potenzial vermittelt. Wir waren in der Lage zu demonstrieren, dass sich neue Moden in Zusammenhang mit Rotationsfreiheitsgra-

Stimulated by new experiments about the role of external magnetic fields in particle levitation, we have studied oscillations in a one-dimensional chain of charged magnetized grains. Interaction is via the Debye-Hueckel electrostatic as well as magnetostatic potential. Levitation takes place in an external confining potential and magnetic field. We were able to demonstrate that new modes associated with rotational den in solch einem System ausbreiten. Neue Erscheinungen in Zusammenhang mit diesen Rotationsmoden schließen das interessante Wechselspiel zwischen elektrostatischen und magnetostatischen Wechselwirkungen der Teilchen mit dem Plasma und untereinander ein. Wir haben gezeigt, dass die Kombination dieser Wechselwirkungen stark auf die Gleichgewichtspositionen und -orientierungen der Teilchen wirkt und deshalb in der Lage ist, Phasenübergänge in Zusammenhang mit den Rotationsmoden zu beeinflussen. degrees of freedom can propagate in such a system. New features associated with these rotating modes include the interesting interplay of electrostatic and magnetostatic interactions of the particles with the plasma and amongst themselves. We have shown that the combination of these interactions strongly affects the equilibrium positions and orientations of the particles and is thus able to influence phase transitions associated with such rotating modes.

Levitation und Agglomeration von paramagnetischen Teilchen in einem magnetischen Feld / Levitation and Agglomeration of Paramagnetic Grains in a Magnetic Field

Experimentell wurde ein komplexes Plasma mit magnetischen Teilchen hergestellt. Die Partikel wurden durch Wechselwirkung mit dem Plasma aufgeladen und besaßen aufgrund des externen magnetischen Felds magnetische Dipole. Die Wechselwirkung der Partikel mit dem externen magnetischen Feld und untereinander wurde untersucht, wobei Levitation und Agglomeration der Teilchen studiert wurde (Abb. 2-101).





Es wurde herausgefunden, dass die Levitationshöhe der Partikel zunimmt, wenn das magnetische Feld

We experimentally produced a complex plasma with magnetic particles. The grains were charged by interactions with the plasma and had magnetic dipole moments induced by the external magnetic field. We studied interaction of the particles with the external magnetic field and with each other, observing their levitation and agglomeration (Fig. 2-101).

Abb. 2-101: Magnetisierte Teilchen levitiert in einem magnetisierten Plasma. Der Strom in den magnetischen Spulen ist in der oberen rechten Ecke angegeben. (a) Ohne magnetisches Feld. Partikel bilden in der unteren Plasmarandschicht (unterer Sichtbereich) eine Mehrschichtwolke. (b) Magnetisches Feld von 0.04 T. Einige Teilchen agglomerieren und levitieren in der unteren Randschicht unterhalb der Hauptwolke (unterer Sichtbereich). Die Hauptwolke ist komprimiert und etwas nach oben verschoben. (c) Magnetisches Feld von 0.12 T. Die Wolke ist levitiert in der oberen Randschicht (obere Sichtebene). Die größeren agglomerierten Teilchen levitieren oberhalb der Hauptwolke.

Fig. 2-101: Magnetised particles levitated in a magnetised plasma. The current in the magnetic coils is indicated in the upper right corner. (a) Without the magnetic field. Particles form a multilayer cloud in the lower plasma sheath (lower viewing area). (b) Magnetic field of 0.04 T. Some particles agglomerate and levitate in the lower sheath below the main cloud (lower viewing area). The main cloud is compressed and slightly shifted upwards. (c) Magnetic field of 0.12 T. The cloud is levitated in the upper sheath (upper viewing area). The larger agglomerated particles levitate above the main cloud.

It was found that the levitation height of the grains increased when the magnetic field was switched on; angeschaltet wurde; die Teilchen wurden in Richtung des Feldgradienten nach oben gezogen. Die angestiegene Levitationshöhe wurde gemessen und zur Berechnung der Partikelladung und der Dichte der Plasmarandschicht benutzt, was eine neue Methode zur Ladungsmessung darstellt.

Ein stärkeres magnetisches Feld bewirkte, dass sich die Teilchen in die obere Randschicht bewegen, wodurch die Gravitation kompensiert werden kann.

Es wurde ebenfalls gezeigt, dass die Teilchen aufgrund der magnetischen Wechselwirkung Agglomerate bilden können. Wir haben berechnet, dass das elektrostatische Teilchen-Teilchen Wechselwirkungspotential bei der im Experiment benutzten mittleren magnetischen Feldstärke eine abstoßende Barriere erzeugt (Abb. 2-102). Dennoch hatten die Teilchen ausreichend kinetische Energie um diese Barriere zu überqueren, so dass sie sich anziehen und Agglomerate bilden konnten. Dies erklärt unsere Beobachtungen, dass einzelne Partikel mit Agglomeraten koexistieren können.



the particles were pulled upward in the direction of the field gradient. The increased levitation height was measured and used to calculate the particle charge and the plasma sheath thickness providing a new charge diagnostics method.

A stronger magnetic field caused the grains to move into the upper sheath demonstrating the gravity can be compensated in this way.

It was also shown that the particles can form agglomerates due to magnetic attraction. We calculated that the electrostatic grain-grain interaction potential forms a repulsive barrier at the intermediate magnetic field strength used in the experiment (Fig. 2-102). However, the particles had sufficiently high kinetic energy to overcome this barrier, so that they could attract and form agglomerates. This explains our observations that single particles could coexist with agglomerates.

Abb. 2-102: Wechselwirkungskraft zwischen den Partikeln (Q=4000 e, μ =4) als Funktion des Abstands. Die Kraft ist anziehend bei höheren magnetischen Feldern (B=1 T), wechselt das Vorzeichen bei mittleren Feldern (B=0.1 T), und wird abstoßend bei niedrigen Feldern (B=0.01 T).

Fig. 2-102: Interaction force between the grains $(Q=4000 e, \mu=4)$ as a function of distance. The force is attractive at high magnetic fields (B=1 T), changes sign at intermediate fields (B=0.1 T), and becomes repulsive at low fields (B=0.01 T).

Ursprung der gekrümmten Natur von Machkegelflügeln / Origin of the Curved Nature of Mach Cone Wings

Im Allgemeinen hängt die Form eines Machkegels, der durch ein sich bewegendes Objekt erzeugt wird, von vielen Parametern ab. Bei homogenen stabilen Systemen dehnt sich der Kegel linear vom Objekt aus, aber üblicherweise ist das System weder homogen noch stabil. Zur Untersuchung der Kegelstruktur wird in einem solchen Fall die Ausbreitung von so genannten Wellenstrahlen analysiert. Diese Methode wurde für den Fall eines dynamischen Machkegels verifiziert, wobei der Kegel durch eine Überschall-Punktquelle in einem Medium erzeugt wird, das räumlich homogen ist und zeitlich schwach variiert. Beides, das "direkte Problem" (wobei wir die Variation der Schallgeschwindigkeit kennen und das Kegelprofil daraus ermitteln können) und das "inverse Problem" (wir besitzen experimentelle Messungen des Kegelprofils und müssen die Variation der Schallgeschwindigkeit bestimmen) können analytisch gelöst werden.

Diese Lösungen wurden ebenso für Medien erhalten, die bezüglich des sich bewegenden Objekts inhomogen in der transversalen und longitudinalen Richtung sind, die aber nicht zeitlich variieren. Wenn der Gradient der Schallgeschwindigkeit parallel zur Bewegungsrichtung des Quellobjekts ist, werden die MachIn general the shape of a Mach cone produced by a moving object depends on many parameters. For homogenous stable systems the Mach cone widens linearly downstream of the moving perturber, but in general, the system may be neither homogeneous nor stable. For the investigation of the cone structure in such a case the propagation of so called "wave rays" is analyzed. This method was verified for the case of a dynamic Mach cone, where the cone is created by a supersonic point source in a medium, which is homogeneous in space and weakly varying in time. Both, the "direct problem" (where we know the variation of the sound speed and can obtain from that the cone profile) and the "inverse problem" (we have experimentally measured the cone profile and have to obtain the variation of the sound speed) can be solved analytically.

These solutions were also obtained for media, which are inhomogeneous in the transverse and longitudinal direction with respect to the moving object, but are not varying in time. If the sound speed gradient is parallel to the direction of the moving source, the tails of the cone wings are either 'attracted' towards or 'repelled' kegelränder von der Trajektorie des Objekts entweder "angezogen" oder "abgestoßen": wenn die Schallgeschwindigkeit im vorderen Bereich schneller ist, erhalten wir einen konvexen Machkegel, und im umgekehrten Falle divergiert der Machkegel. Weiterhin, wenn der Gradient der Schallgeschwindigkeit sein Vorzeichen ändert, können Übergangsformen beobachtet werden, wobei die Kegelflügel eine kompliziertere Form aufweisen. Kürzlich wurden in einem Experiment gekrümmte Machkegel beobachtet, bei denen die Theorie an die Experimente angepasst wurde. Die Ergebnisse unserer Simulationen zeigen eine gute qualitative Übereinstimmung mit den Beobachtungen und sagen voraus, dass die Schallgeschwindigkeit um etwa 5% variiert, wie in Abb. 2-103c dargestellt. from object's trajectory: if the sound speed is faster in the front, we get a convex Mach "cone", and in the opposite case the Mach "cone" diverges. Furthermore, if the sound speed gradient changes in sign, transient forms can be observed where the cone wings have a more complicated form. In a recent experiment, bent Mach cones were observed and the theory was fitted to the experiments. Results of our simulations are in good qualitative agreement with the observations and predict that the sound speed varies by about 5% as indicated in Fig. 2-103c.



Abb. 2-103: Machkegel in einem inhomogenen Medium. a) Experimente von Melzer et al. (2000) b) Machkegel-Profil (Objektgeschwindigkeit in der Simulation v=4.68 cm s⁻¹, Länge der Inhomogenität L=5cm) c) Benutztes Profil für Schallgeschwindigkeit $C_s(y) = C_0[1+[(x-2)/L]^2]^{-1}$, $C_0=2.25$ cm s⁻¹.

Fig. 2-103: Mach cone in an inhomogeneous medium. a) experiment Melzer et al (2000) b) Mach cone profile (simulation source velocity v=4.68 cm s⁻¹, inhomogeneity length L=5cm) c) Sound speed profile used $C_s(y) = C_0[1+[(x-2)/L]^2]^{-1}$, $C_0=2.25$ cm s⁻¹.

Natürliche Phononenspektren in einem 3-dimensionalen Plasmakristall / Natural Phonon Spectra in a 3-dimensional Plasma Crystal

Wir haben natürliche Phononenspektren longitudinaler und transversaler Moden in einem 3-dimensionalen (3D) Plasmakristall experimentell untersucht. Die Phononen (Wellen) werden durch die Zufallsteilchenbewegungen auf natürliche Weise angeregt. Wie in jedem Festkörper existieren auch im Plasmakristall Zufallsbewegungen der Teilchen bei endlicher Temperatur.

Wir haben die Zufallsteilchenbewegung in einem 3D Plasma durch Beleuchtung der Teilchen mit einem Farbgradienten und Aufnahme des Streulichts in einer farbsensitiven CCD-Kamera gemessen. Alle drei Teilchenkoordinaten wurden gleichzeitig bestimmt: Die lateralen Koordinaten wurden wie üblich aus den Positionen auf den CCD-Bildern ermittelt und die Tiefenkoordinate aus der Farbe der Teilchenbilder. Wir erhielten die Teilchengeschwindigkeiten aus aufeinanderfolgenden Bildern und fouriertransformierten diese in den Wellenzahl- und Frequenzraum, um natürliche Phononen zu entdecken.

Folgende Resultate wurden gefunden (Abb. 2-104): Erstens wurde beobachtet, dass die natürlichen Phononen einer charakteristischen Kurve im Wellenzahlund Frequenzraum folgen, die wir als ihre DispersiWe experimentally investigated natural phonon spectra of longitudinal and transverse modes in a 3-dimensional (3D) plasma crystal. The phonons (waves) are naturally excited by random particle motions. Like in any kind of solid matter, in plasma crystals too, the random particle motions always exist when it has a finite temperature.

We measured random particle motions in a 3D plasma crystal by illuminating the particles with a colour gradient and imaging the scattered light by a colour sensitive CCD camera. All three particle coordinates were measured at the same time: the lateral coordinates were obtained in the usual way from the positions on the CCD images and the depth coordinate is determined from the colour of the particle images. We obtained particle velocities from consecutive images and Fourier transformed those into the wave number and frequency space to detect natural phonons.

The following results were obtained (Fig. 2-104): first, the natural phonons were observed to occupy a characteristic curve in wave number and frequency space, which we identified as their dispersion relation. Seconsrelation identifizierten. Zweitens war diese Dispersionsrelation dispersiv über die erste Brillouin Zone für die longitudinale Mode, aber nicht für die transversale. Drittens stimmte die Breite des Spektrums mit der aus der Neutralgasreibung erwarteten Dämpfungsrate überein.



ond, this dispersion relation characteristic was dispersive for the longitudinal mode, but non-dispersive for the transverse mode over the first Brillouin zone. Third, the spectrum width agreed with the damping rate expected from neutral gas drag.

Abb. 2-104: Phononenspektren für eine longitudinale Mode (oben) und eine transversale Mode (unten) mit Propagationsrichtung z (oben) und Polarisationsrichtung x (unten). Die Farben bezeichnen die Energie der gemessenen Mode-blau: niedrige Energie, rot: hohe Energie (in willkürlich normierten Einheiten).

Fig. 2-104: Phonon spectra for a longitudinal mode (top), and a transverse mode (bottom) with propagation direction z (top) and polarization direction x (bottom). The colours represent the energy of the measured mode-blue: low energy, red: high energy (in arbitrary normalised units).

Stabförmige Teilchen in Gasentladungsplasmen / Rod-like Particles in Gas Discharge Plasmas

Mikrostäbchen (oder Nadeln) sind längliche Teilchen mit Durchmesser von ca. 1-10 µm und Länge von ca. 0.1-1 mm. Mehrere Experimente wurden in RF- und DC-Plasmen durchgeführt, wobei das Verhalten von geladenen Mikrostäbchen untersucht wurde, die in einem starken elektrischen Feld (in der RF-Elektrodenrandschicht oder in DC-"Striations") in der Schwebe gehalten wurden. Wir haben eine Theorie entwickelt, welche das Aufladen der Stäbchen selbstkonsistent beschreibt und die Landungsverteilung in Abhängigkeit von der Orientierung bezüglich des elektrischen Feldes (Plasmafluss) auf den Stäbchen angibt. Es wurde gezeigt, dass der Betrag der Gesamtladung sehr sensitiv vom Wert der Ionentemperatur abhängt. Typische Ladungs-Massen Verhältnisse für Mikrostäbchen sind eine Größenordnung kleiner als für Mikrokugeln mit demselben Durchmesser. Das bedeutet, dass sehr viel stärkere elektrische Felder zur Levitation eines stabförmigen Partikels notwendig sind. Diese Schlussfolgerung wird durch Experimente in RF-Entladungen, in denen die Mikrostäbchen normalerweise näher an der Elektrode schweben, bestätigt. Es wurde auch gezeigt, dass nur zwei Typen von Gleichgewichtsorientierungen möglich sind - senkrecht (horizontal) oder parallel (vertikal) zum elektrischen Feld abhängig von der Länge der Stäbchen. Diese Schlussfolgerung stimmt auch mit dem Experiment überein. Wir folgerten, dass die Wechselwirkung zwischen Stäbchen in der Plasmarandschicht sehr ähnlich zur Wechselwirkung zwischen sphärischen Teilchen ist. Trotz der Tatsache, dass das Potenzial der Stäbchen signifikante Dipol- und Quadrupolbeiträge haben kann, besteht der Ladungs-Ladungs-Beitrag zur Wechselwirkungsenergie auch bei Distanzen vergleichbar mit oder größer als die Stäbchenlänge. Deshalb sollten 2D kristalline, aus Stäbchen geformte Strukturen sehr ähnlich zu denen in Experimenten mit sphärischen Teilchen beobachteten sein. Unsere Experimente bestätigen diese Schlussfolgerung - die Stäbchen ordnen sich in hexagonalen Strukturen an.

Microrods (or needles) are elongated particles of diameter ~1-10 µm and length ~0.1-1 mm. Several experiments have been performed in RF and DC plasmas, where the behaviour of charged microrods suspended in a strong electric field (in RF-electrode sheath or dc-striation) was investigated. We developed a theory which describes the charging of rods selfconsistently and which gives the charge distribution over the rod length, depending on the orientation with respect to the electric field (plasma flow). It is shown that the magnitude of the total charge is very sensitive to the value of the ion temperature. Typical charge-tomass ratios for microrods are an order of magnitude less than that for microspheres of the same diameter. This means that much stronger electric fields are necessary to levitate a rod-like particle. This conclusion is confirmed by experiments in RF-discharges, where microrods suspended in the sheath usually levitate closer to the electrode. It was also shown that only two types of equilibrium rod orientation are possible perpendicular (horizontal) or parallel (vertical) to the electric field, depending on the length of the rod. This conclusion also agrees with experiments. We concluded that the interaction between rods suspended in the plasma sheath is very similar to the interaction between spherical particles. Despite the fact that the potential of the rods can have considerable dipole and quadrupole terms, the charge-charge contribution to the coupling energy prevails at distances comparable to and higher than the rod length. Therefore, 2D crystalline structures formed by rods should be very similar to those observed in experiments with spherical particles. Our experiments confirm this conclusion the rods arrange themselves in hexagonal structures.

[ANNARATONE, BRYANT, GOLDBECK, HUBER, KO-NOPKA, KRETSCHMER, NUNOMURA, QUINN, RATYN-SKAIA, ROTHERMEL, SAMSONOV, SHIMIZU, SÜTTER-LIN, TARANTIK, THOMAS, ZUZIC]

2.5.3 Komplexe Plasmen – Theorie / Complex Plasmas – Theory

Makroskopische Dichteverteilung eines 2D Plasmakristalls / Macroscopic Density Distribution of a 2D Plasma Crystal

Wir haben ein analytisches Modell für die Untersuchung eines 2D Plasmakristalls bei niedriger Temperatur entwickelt und die mittlere Dichteverteilung (für Längenskalen > Teilchenabstand, Abb. 2-105) mit Resultaten verglichen, die aus molekular-dynamischen Simulationen ermittelt wurden. Die Plasmakristall-Partikel wechselwirken über ein abgeschirmtes Coulombpotential und werden radial durch einen parabolischen elektrostatischen Potentialtopf eingeschlossen. Das Modell ist gültig für Abschirmstärken $\kappa=a/\lambda\sim1$, wobei λ die Debye-Abschirmlänge ist.



Abb. 2-105: Gleichgewichts-Partikelpositionen in der Simulation. Abstände sind in Maßeinheiten der Abschirmlänge dargestellt (die Mitte ist gekennzeichnet) Parameter: Q=-16000 e, λ_D =0.75 mm, Ω =2 s⁻¹, v = 2.4 s⁻¹, M=5.5x10⁻¹⁰ g, N=721.

Fig. 2-105: Equilibrium particle locations in the simulation. Distances are in units of screening length (center is marked) Parameters: Q=-16000 e, λ_D =0.75 mm, $\Omega = 2 s^{-1}$, $\nu = 2.4 s^{-1}$, M=5.5x10⁻¹⁰ g, N= 721.

Unser einfaches Modell wurde entwickelt in Analogie zu dem ausgedehnten Zustand eines massiven Zylinders, der sich um seine Symmetrieachse mit einer konstanten Winkelgeschwindigkeit dreht. Hier wird die Rolle der zentripetalen Beschleunigung durch die Kompression der horizontalen Begrenzung ersetzt. Das Modell beschreibt die stationären Verschiebungen der Partikel aus ihren idealen Positionen in einem gleichförmigen 2D Plasmakristall. Im Kontinuumsgrenzfall wird die Dichteverteilung der Teilchen n(r) in Abhängigkeit von n₀, der Dichte in der Kristallmitte, abgeleitet. Die Anzahlverteilung (N(r) = Gesamt-Partikelanzahl innerhalb eines Kreises mit Radius r) hat im zylinderförmig symmetrischen Fall eine logarithmische Abhängigkeit.

Unsere Theorie wurde mit einer 721 Teilchen 2D-Kristall MD Simulation verglichen. Abb. 2-105 zeigt die 2D Gleichgewichtverteilung. N(r) wurde aus den We developed an analytic model for the investigation of a low temperature 2D plasma crystal and compared the mean density distribution (for length scales > the interparticle separation, Fig. 2-105) with results obtained from molecular dynamical (MD) simulations. The plasma crystal particles interact through a screened Coulomb potential and are confined radially by a parabolic electrostatic potential well. The model is valid for screening strengths $\kappa=a/\lambda\sim1$, where λ is the Debye screening length.



Abb. 2-106: Zahl von Partikeln innerhalb eines Kreises mit gegebenem Radius für den in Abb. 2-105 gezeigten Kristall. Die analytische Anpassung ergab: $a_0 = 1.12 [n_0 = 2/(3^{1/2}a_0^2)], k=0.00177.$

Fig. 12-106: Number of grains inside a circle of given radius for the crystal shown in Fig. 2-105. The analytical fit yielded: $a_0=1.12[n_0=2/(3^{1/2}a_0^2)]$, k=0.00177.

We develop our simple model through an analogy with the stretched state of a solid cylinder rotating around its symmetry axis with a fixed angular velocity. Here the role of centripetal acceleration is replaced by the compression of the horizontal confinement. The model describes the steady-state displacements of the particles from their ideal locations in a uniform 2D plasma crystal. In the continuum limit, the grain radial density distribution n(r) is derived in terms of n₀, the density at the crystal center. The number distribution (N(r) = total particle number inside a circle of radius r) has a logarithmic dependence, in the cylindrically symmetric case.

We compared our theory with a 721 grain 2D-crystal MD simulation. Fig. 2-105 shows the 2D equilibrium distribution. N(r) was computed from the simulation

Simulationsresultaten (Abb. 2-106) berechnet und eine analytische beste Anpassung wurde vorgenommen. Die Übereinstimmung zwischen dem analytischen Resultat und der numerischen Simulation ist, besonders nahe der Kristallmitte, sehr hoch. results (Fig. 2-106) and an analytical best fit was constructed. The agreement between the analytical result and the numerical simulation is very close, especially near the crystal center.

Struktur und Dynamik dissipativer Yukawa Systeme (komplexe Plasmen) / Structure and Dynamics of Dissipative Yukawa Systems (Complex Plasmas)

Wir haben die strukturellen und dynamischen Eigenschaften von 3D isotropen komplexen Plasmen im Rahmen des dissipativen Yukawa Modells kinetisch untersucht. Wir haben einen modifizierten Coulomb-Kopplungsparameter, dessen Wert allein die Lage der Schmelzlinie des komplexen Plasmas bestimmt, vorgeschlagen. Dieses impliziert, dass der Phasenübergang einer universellen Skalierung auf dem kinetischen Niveau gehorcht. Im Detail zeigte unsere molekulardynamische Untersuchung, dass die Dynamik des Systems im Grenzwert von hoher als auch niedriger Reibungsdissipation universell (aber verschieden) ist, während sie im intermediären Bereich deutlich von der Dissipationsrate abhängt. Wir haben den Einfluss der Wechselwirkungsstärke auf die Einteilchendiffusionskonstante und die Anwendbarkeit dynamischer Kriterien für Einfrieren studiert. Weiterhin haben wir die Anwendung der gefundenen Ergebnisse auf die Diagnostik komplexer Plasmen betrachtet.

We investigated the structural and dynamical properties of 3D isotropic complex plasmas kinetically within the framework of a dissipative Yukawa model. We proposed a modified Coulomb coupling parameter whose value alone determines the location of the complex plasma melting line. This implies that the phase transition has a universal scaling at the kinetic level. In detail, our molecular dynamics investigations show that the system dynamics is universal (but different) in the limits of high as well as low frictional dissipation, while in the intermediate case it depends considerably on the dissipation rate. We studied the influence of the interaction strength on the single particle diffusion constant and the applicability of dynamical criteria for freezing. Furthermore, we considered the application of the obtained results for complex plasma diagnostics.

Numerische Simulationen von Kristallisationsprozessen in komplexen Plasmen / Numerical Simulations of Crystallization Processes in Complex Plasmas

Wir haben eindimensionale bis dreidimensionale molekular-dynamische Berechnungen für das Staubpartikelverhalten in einem, in einer RF Entladung gebildeten, Potentialtopf durchgeführt. Die Energie-Relaxation in stark gekoppelten Systemen verläuft viel langsamer als bei schwach gekoppelten Zuständen (wenn die Energie eines jeden Partikels unabhängig voneinander aufgrund von Neutralgasreibung abnimmt). Der Übergang von einem metastabilen kristallinen Zustand zu einem anderen, niedrigeren Energieniveau kann Dutzende Sekunden dauern. Dieses wird hier in Abb. 2-107, in einer MD-Simulation des beschriebenen Experimentes, gezeigt. Das Abklingen der kinetischen Energie dauert offenbar viel länger als durch Epstein-Gasreibung gegeben. Vermutlich ist dies so, weil die meiste Energie in der gegenseitigen elektrostatischen Kopplung gespeichert ist, und jeder lokale Übergang zwischen "benachbarten" Energieniveaus gibt nur einen kleinen Energieteil frei. In den Experimenten beobachteten wir, dass die Kristallisation nahe der Elektrode beginnt und sich dann (manchmal in Form einer glatten Front) ins Innere fortpflanzt. In unseren MD-Berechnungen beobachten wir das gleiche Verhalten. Die Kristallisation pflanzt sich zur Mitte des Simulationsvolumens fort. Der Kollaps der Front führt zur Ausbildung von konvektiver Bewegung der Staubpartikel. Selbst wenn das System das "Gesamt"-Gittergleichgewicht erreicht, kann es "rauschen" - eingefangene Teilchen oszillieren mit relativ niedrigen Frequenzen. Zusätzliche konvektive Bewegung und Vortexausbildung werden in unseren numerischen Berechnungen beobachtet. Die Variation der

We have performed 1D to 3D molecular dynamics calculations of dust particle behaviour in the potential well formed in a RF discharge. The energy relaxation in strongly coupled systems proceeds much more slowly than in weakly coupled states (when the energy of each particle decays independently due to neutral gas friction). Transition from one metastable crystalline state to another, lower energy level can take dozens of seconds. This is shown in Fig. 2-107, in a MD simulation of the experiment described here. The decay of kinetic energy is clearly much longer than that given from Epstein gas drag. Presumably, this is because most of the energy is stored in the mutual electrostatic coupling, and each local transition between "neighbouring" energy levels releases only a small fraction. In experiments, we observed that the crystallization starts near the electrode and then propagates (sometimes, in the form of a smooth front) inward. In our MD calculations we observe the same behaviour. The crystallization propagates to the center of the box. The "collapse" of the front results in formation of convective motion of dust particles. Even when the system reaches "overall" lattice equilibrium, it can be "noisy" - caged particles oscillate with rather low frequencies. Additionally convective motion, and vortex formation are observed in our numerical calculations. Dust particle kinetic energy variation at late stages is the consequence of these effects.

kinetische Energie der Staubpartikel in späteren Stadien ist die Konsequenz dieser Effekte.



Abb. 2-107: Zeitliche Abhängigkeit vom Potential (grün), kinetischer (rot) und Gesamtenergie (blau) der Mikroteilchen, umgeben von Neutralgas. Eine molekular-dynamische Methode wurde verwendet, um die Dynamik der Partikel in einem Kasten mit "spiegelnden" Wänden zu beschreiben. Partikel wechselwirken miteinander über ein Yukawa-Potential. Die Parameter der Berechnungen entsprechen typischen Experimenten mit komplexen Plasmen: Partikelzahldichte 10^5 cm⁻³, Partikelradius 3,5 µm, Abschirmlänge 75 µm, Neutralgasreibungskoeffizient (Epstein) entspricht einer Gasteilchendichte von 10^{16} cm⁻³. Bei t=0 werden alle Partikel zufällig im Kasten verteilt, mit zufälliger Geschwindigkeitsverteilung und einer kinetischen Energie, die erheblich größer als die potentielle Energie ist. Es wird festgestellt, dass die anfängliche Abnahme der Gesamtenergie dem reinen Epstein-Reibungsgesetz folgt. Wir zeigen in der Abbildung den anfänglichen (zufälligen) und den abschließenden (kristallisierten) Zustand der Staubpartikel. Zusätzlich wird eine 2D Scheibe des Zwischenzustandes des Systems bildlich dargestellt, die die komplizierte konvektive Bewegung der Staubpartikel aufzeigt.

Fig. 2-107: Temporal dependence of potential (green), kinetic (red) and total energy (blue) of microparticles embedded in neutral gas. A molecular dynamics method was used to describe the dynamics of the particles in a box with "mirror" walls. Particles interact via a Yukawa potential. Parameters of the calculations correspond to typical complex plasma experiments: Particle number density 10^5 cm⁻³, particle radius 3.5 µm, screening length 75 µm, neutral drag (Epstein) coefficient corresponds to a gas number density 10^{16} cm⁻³. At t=0 particles are randomly distributed in the box, with random velocity distribution and kinetic energy significantly larger than the potential energy. It is clearly seen that the initial decay of the total energy obeys the pure Epstein drag law. We show on the figure both the initial (random) and final (crystallized) state of dust particles. Additionally a 2D slice of the intermediate state of the system is depicted, showing the complicated convective motion of dust particles.

Streuung in einem attraktiven Yukawa Potenzial unter großen Winkeln / Large-angle Scattering in an Attractive Yukawa Potential

Wir haben Streuung unter großen Winkeln in einem attraktiven abgeschirmten Coulomb (Yukawa) Potenzial untersucht. Diese Näherung entspricht einer starken Wechselwirkung zwischen den Stoßpartnern (die Wechselwirkungsreichweite ist größer als die Abschirmlänge) und ist entgegengesetzt zur wohlbekannten Theorie der Coulomb Streuung in gewöhnlichen Elektronen-Ionen Plasmen. In komplexen Plasmen sind die Mikroteilchen stark geladen und ihre Wechselwirkung mit den Ionen ist typischerweise stark. Deshalb finden die meisten Ionenstreuungen unter großen Winkeln statt. Wir haben die Ionentrajektorien beim Stoß mit den Mikropartikeln berechnet und den Wirkungsquerschnitt für Einfang und Impulsübertrag erhalten. Letztere wurden zum Studium der Aufladung der Teilchen jenseits der Anwendbarkeit der Orbit Motion Limited Theorie verwendet und zur Abschätzung der Ionenkraft, die auf die Mikropartikel in Nie-

We investigated scattering with large angles in an attractive screened Coulomb (Yukawa) potential. This limit corresponds to "strong" interaction between colliding particles (interaction range is larger than the screening length) and is opposite to the well known theory of Coulomb scattering in usual electron-ion plasmas. In complex plasmas microparticles are highly charged and their interaction with ions is typically strong. Therefore, most of the ion scattering is with large angles. We calculated ion trajectories during their collision with a microparticle and obtained the collection and momentum-transfer cross sections. The latter are applied to study the microparticle charging beyond the applicability of the orbital motion limited theory and to estimate the ion drag force acting on microparticles in low-pressure bulk plasmas. The obtained results are important for a number of basic processes in complex plasmas (formation of a void

derdruck-Hauptplasmen wirkt. Die gefunden Ergebnisse sind wichtig für eine Reihe von grundlegenden Prozessen in komplexen Plasmen (Bildung eines Voids unter Mikrogravitation, niederfrequente Wellenausbreitung, langreichweitige Wechselwirkung zwischen Mikropartikeln, etc.) under microgravity conditions, low-frequency wave propagation, long-range interaction between microparticles etc.)



Wir haben den Einfluss von elektronegativen Gasen auf die wichtigsten Plasmaparameter in RF Entladungskammern mit Mikropartikeln untersucht. Etwas Kontamination, z.B. Sauerstoff, Wasserdampf, CO₂, usw. ist in einem RF Argonplasma immer anwesend. Unter bestimmten Bedingungen kann der Einfluss solcher Verunreinigungen sehr bedeutend sein. Ein numerisches Modell wurde entwickelt, das die Plasmazusammensetzung und die räumliche Verteilung der Plasmaparameter (Potential, Dichte usw.) in verunreinigten Argonentladungen mit vorhandenen Staubpartikeln beschreibt. Wir konnten zeigen, dass sogar kleine Mengen von molekularem Sauerstoff die Plasmazusammensetzung drastisch ändern können (Abb. 2-108). Dies kann die räumliche Verteilung des elektrostatischen Potentials erheblich stören und die Transporteigenschaften des Plasmas beeinflussen. Im Detail wurde die Auswirkung eines kleinen Anteils von molekularem Sauerstoff auf ein Argonplasma mit Mikroteilchen analysiert. Die Resultate können wie folgt zusammengefasst werden: Das Vorhandensein einer sogar kleinen Menge molekularen Sauerstoffes hat drastische Auswirkungen. Die Hauptionen sind positive Ionen O_2^+ und negative Ionen O_2^- , mit erheblich verringerter Elektrondichte. Negative Ionen führen zu einer beträchtlichen Verringerung des elektrischen Feldes im Hauptplasma. Dies führt zu einer bedeutenden Abnahme von sowohl der Ionenreibung als auch der elektrostatischen Kraft, die auf Staubpartikeln wirken. Zusätzlich wird die Aufladung der Staubpartikel in Anwesenheit von molekularem Sauerstoff in Argonplasmen stark verringert. Infolgedessen ändert sich die räumliche Abhängigkeit des Verhältnisses der Ionenreibung zur elektrostatischen Kraft in Anwesenheit von negativen Ionen erheblich. So können negative Ionen z.B. die "void" Bildung in komplexen Plasmen beeinflussen.

Einfluss von negativen Ionen in komplexen Plasmen / The Influence of Negative Ions in Complex Plasmas

Abb. 2-108: Zusammensetzung eines Argonplasmas aufgetragen gegen das Mischverhältnis, $[O_2]/[Ar]$ bei Bedingungen eines mittleren Havnes-Parameters. Die kleine Abbildung zeigt die räumlichen Verteilung des Kraftverhältnisses der Ionenreibung zur elektrostatischen Kraft für reines Argon und Argon-/Sauerstoff Plasmen.

Fig. 2-108: Argon plasma composition versus molecular oxygen mixing ratio, $[O_2]/[Ar]$ at conditions of moderate Havnes parameter. The small figure shows the spatial distribution of the ion drag-to-electrostatic force ratio for both pure argon and argon/oxygen plasmas.

We investigated the influence of electronegative gases on the key plasma parameters in RF discharges with microparticles. Some contaminations, for example oxygen, water vapour, CO_2 , etc. are often present in a RF argon plasma. Under certain conditions the influence of such contaminations can be very significant. We have developed a numerical model describing the plasma composition and the spatial distribution of the plasma parameters (potential, density etc) in contaminated argon RF discharges with dust particles embedded. We could show that even tiny fractions of molecular oxygen can change the plasma composition drastically (Fig. 2-108). This can significantly disturb the spatial distribution of electrostatic potential and affect transport properties of the plasma. We analyzed in detail the impact of a small fraction of molecular oxygen on an argon plasma with microparticles. The results can be summarized as follows: the presence of an even tiny amount of molecular oxygen is of drastic consequence. The main ions are positive ions O_2^+ and negative ions O⁻, with significantly decreased electron density. Negative ions result in a considerable reduction of the electric field in the bulk plasma. This leads to a significant decrease of both the ion drag and electrostatic force acting on dust particles. In addition, the charge of the dust particles is strongly decreased in the presence of molecular oxygen in argon plasmas. Consequently the spatial dependence of the ion drag/electrostatic force ratio changes significantly in the presence of negative ions. Thus, negative ions can affect e.g. the void formation in complex plasmas.

Das Vorhandensein von molekularem Sauerstoff kann auch eine Aufheizung des Neutralgases verursachen. Ein beträchtlicher Anteil von metastabilem Sauerstoff $O(^{1}D)$ wird in der Entladung produziert. Die Reaktion der Argonatome mit metastabilem Sauerstoff kann die Gastemperatur um einige Grad erhöhen. Die Aufheizung verursacht eine auf die Staubpartikel wirkende thermophoretische Kraft, die in einigen Fällen mit der Ionenreibungskraft vergleichbar sein kann. The presence of molecular oxygen can also cause heating of a neutral gas. A significant fraction of metastable oxygen $O(^{1}D)$ is produced in the discharge. The reaction of argon atoms with metastable oxygen can increase the gas temperature by several degrees. The heating induces a thermophoretic force acting on the dust particles which can be comparable in some cases with the ion drag force.

Parametrische Anregung niederfrequenter Wellen in komplexen (staubigen) Plasmen / Parametric Excitation of Low-frequency Waves in Complex (Dusty) Plasmas

Eine Theorie der Anregung niederfrequenter Wellen in komplexen Plasmen, die aus periodischen Modulationen der Teilchenladung im Gleichgewicht folgt, wurde untersucht. Wir haben beide Möglichkeiten betrachtet, die Staub-akustische und die Staub-Gitter Mode, und die Bedingungen für die parametrische Resonanz dieser Wellen formuliert. Ausgehend von den betreffenden Basisgleichungen haben wir gezeigt, dass die parametrische Instabilität der Staub-akustischen und der Staub-Gitter Wellen im Falle kleiner Modulationen durch Mathieus Gleichung beschrieben werden kann, und wir haben das Kriterium für Resonanz formuliert. Es wurde auch gezeigt, dass die parametrische Resonanz der Staub-akustischen und Staub-Gitter Wellen ein brauchbares Werkzeug zur Bestimmung der Gleichgewichtsladungen des Staubs liefern.

A theory of the excitation of low-frequency waves in complex plasmas resulting from periodic modulation of the equilibrium particle charges has been investigated. We considered both possible regimes: the dustacoustic and the dust-lattice modes and formulated the conditions for the parametric resonance of these waves to occur. Starting with the respective basic equations, we have shown that the parametric instability for the dust-acoustic and dust-lattice waves can be described by Mathieu's equation in the case of small modulation and we formulated the resonance criteria. Also, it was shown that the parametric resonance of the dustacoustic and the dust-lattice waves provide a useful tool for the determination of the equilibrium dust charges.

Eine neue Art von solitonartigen Wellen in Plasmakristallen: Soliton-Paket / New Type of Soliton-like Wave of the Plasma Crystal: Envelope Soliton

Wie wohl bekannt ist, können lineare und nichtlineare Wellen in einem Plasmakristall auftreten. Viele Faktoren sind verantwortlich für eine Vielfalt von Wellen. Darunter befindet sich eine geometrische Welle: Unter bestimmten experimentellen Bedingungen bilden die geladenen Teilchen, aus denen sich der Plasmakristall zusammensetzt, eine quasiplanare hochgeordnete einschichtige Struktur. Manchmal bilden die Teilchen eine Scheibe oder Wolke mit einer gut aufgelösten vielschichtigen Struktur. Normalerweise sind die Bindungen in einer Schicht stärker als die zwischen zwei Schichten. Deshalb kann man nicht zwischen Wellen, die sich in einer Ebene ausbreiten, und solchen mit einer reinen Ausbreitung außerhalb der Ebenen unterscheiden, wenn man Wellen in guasiplanaren Kristallstrukturen betrachtet. Kürzlich wurden verschiedene Typen von Wellen vorhergesagt und im Experiment erfolgreich beobachtet. Dies schließt lineare Scherwellen mit Ausbreitung in einer Ebene, lineare Wellen inner- und außerhalb der Ebenen, lineare longitudinale Wellen, nichtlineare Kompressionssolitonen usw. ein.

In dieser Arbeit haben wir einen neuen Typ von nichtlinearen Wellen theoretisch und durch Simulation untersucht. Wir haben die Existenz eines Wellentyps, bei dem die vertikale und horizontale Ausbreitung stark gekoppelt ist und welcher in pulsartigen, räumlich isolierten Wellenpaketen organisiert ist, demonstriert. Die Struktur dieses Wellenpakets ist das sogenannte "Soliton-Paket". Soliton-Pakete sind in verschiedenen Medien bekannt. Ein gutes Beispiel ist das berühmte Langmuir Soliton. Für das Auftreten eines

As is well known, many linear and non-linear waves can be sustained in a plasma crystal. Many factors are responsible for this variety of waves; among them there is a geometric one: under certain experimental conditions the charged grains constituting a plasma crystal form a quasi-planar higher-ordered monolayer structure. Sometimes grains form a disk or a "cloud" with a well-resolved multi-layer structure. Usually, the in-layer bonds are stronger than inter-layer bonds. Therefore, when considering waves in 'quasi-planar' crystal structures, one cannot separate waves with inplane motion and waves with pure out-of-plane motion. Recently, different types of waves were predicted and successfully observed experimentally: this includes linear shear waves with in-plane motion, linear waves with in-plane and with out-of-plane motions, linear longitudinal waves and non-linear compression solitons etc.

In this work, we investigated a new type of non-linear wave, both in theory and in simulation. We demonstrated the existence of a wave type in which the vertical and horizontal motions of the particles are strongly coupled and which is organised into a pulse-like, spatially isolated wave-packet. The structure of this wave packet is a so-called "envelope soliton". Envelope solitons are known for different media. For instance, the famous Langmuirs' soliton is a good example. To sustain an envelope soliton, a medium should have Soliton-Paketes sollte ein Medium "optische Phononen" im Spektrum aufweisen. Ein Plasmakristall ist bekannt dafür, Staub-Gitter (akustische Phononen) und Staub-Ion-akustische Wellen zu besitzen, welche als Analogie zu einem optischen Ast angesehen werden können. Dann ist das Soliton-Paket im Plasmakristall eine selbstkonsistente Ansammlung von hochfrequenten Oszillationen außerhalb einer Ebene, longitudinalen Oszillationen und relativ langreichweitiger Kompression. Ein spezielles Beispiel für die vertikalen Oszillationen eines Hüllensolitons ist in Abb. 2-109 dargestellt.



Die Solitongeschwindigkeit, -amplitude, und -breite hängt stark von der Trägerwellenlänge, λ_0 ab, vom Parameter des vertikalen Einschlusses, Ω_0 , und selbstverständlich vom Wechselwirkungsparameter, a/λ_D der die Skala für die Repulsion zwischen den Teilchen bei gegebener Kristallstruktur charakterisiert. Daher können Beobachtungen von Soliton-Paket von großem Interesse für die Diagnostik von stark gekoppelten Strukturen sein. Natürlich ist es daneben auch sehr interessant, ihre Eigenschaften auf dem kinetischen Niveau zu verstehen.

Ein Ansatz zur Informationsextraktion aus den experimentellen Daten stellt die Phasenraumrekonstruktion mit Hilfe sogenannter "verzögerter Koordinaten" dar. Diese Methode basiert auf der Theorie dynamischer Systeme (deterministisch, rauschfrei), die auch in Fällen mit gemischten, d.h. mit deterministischen und

stochastischen, Anteilen erfolgreich angewendet wurde (z.B. medizinische EKG Daten). Die Daten für die hier vorgestellten Untersuchungen wurden in Laborexperimenten gewonnen, in dem ein Kristall erzeugt und über 2 Min. bei konstanten Plasmaparametern aufgenommen wurde. In den resultierenden Bildern wurden die Partikel segmentiert und ihre Trajektorien zeitlich verfolgt. Um die für die weiteren Untersuchungen geforderte "Quasi-Stationarität" zu erhalten, wurden die Datensätze mit der Methode der kleinsten Quadrate nach linearen Trends untersucht und diese so eliminiert, dass die Koordinaten die Abweichung von der Gleichgewichtposition eines jedes Partikels darstellen. Da jedes Partikel ein Probeteilchen des Systemzustandes zu gegebener Zeit repräsentiert, wurde die Phasenraumrekonstruktion mit allen Partikeln über

"optical phonons" in the spectrum. A plasma crystal is known as having dust lattice waves (acoustic phonons) and dust ion acoustic waves, which may be viewed as an optical branch by analogy. Then the plasma crystal envelope soliton is a self-consistent collection of highfrequency out-of-plane oscillations, longitudinal oscillations and relatively long-scale compression. A particular example of the envelope soliton vertical oscillations is shown in Fig. 2-109.

Abb. 2-109: Soliton-Paket. Eine Kette von 400 Teilchen, die über Yukawa-artige Kräfte miteinander wechselwirkt, wurde für die Simulation benutzt. Die räumliche Skala ist gegeben durch die Abschirmlänge. Die Zeitskala ist als die inverse Einsteinfrequenz definiert.

Fig. 2-109: Envelope soliton structure. A chain with 400 grains interacting via Yukawa-type-forces was used for simulations. Space-scale is equal to the screening length; time-scale is defined by the inverse Einstein frequency.

The soliton velocity, amplitude, and width depends strongly on the "carrier wave-length", λ_0 , on the parameter of the vertical confinement, Ω_0 , and, of course, on the interaction parameter, a/λ_D , characterizing the scale of the inter-grain repulsion for a given crystal structure. Therefore, observations of envelope solitons can be of great interest for diagnostics of the strongly coupled structure, in addition to understanding their properties at the kinetic level.

Rekonstruktion des Phasenraums für Plasmakristalle / Phase Space Reconstruction for Plasma Crystals

One of the non-linear time series methods that have been used to extract information from experimental data is delay embedded phase space reconstruction. The method has its foundation in the theory of dynamic systems (deterministic, noise free) but has been extended and successfully applied to systems with mixed deterministic and stochastic components (e.g. ECG medical data). In the present investigation, data were collected in a laboratory experiment, where a crystal was generated and imaged over 2 min under constant plasma parameters. The collected images were segmented and the segmented particles tracked over time. Particle trajectories were then detrended by a the linear least-square method and normalized so that coordinates represent the absolute deviation from the equilibrium position of each particle. Since each particle is a probe of the system state at a given time, the phase space reconstruction was performed using all particles over the whole time sequence. The time delay was determined as the first minimum in the "mutual information function" and space dimension by the "false nearest neighbour method", where sevdie gesamte Zeitsequenz durchgeführt. Die für die Phasenraumrekonstruktion notwendige Zeitverzögerung wurde als das erste Minimum in der "Transinformation" definiert, die Einbettungsdimension durch die Methode der "falschen nächsten Nachbarn", indem verschiedene Kriterien gleichzeitig betrachtet wurden, einschließlich Rauscheffekte. Dieses ist ein sehr wichtiges Detail, da der Rauschterm die Rekonstruktion erheblich beeinflusst. Der rekonstruierte Phasenraum wurde mit theoretischen Resultaten verglichen, dynamische Messgrößen wie der Lyapunov-Exponent und die Korrelationsdimension wurden berechnet und Möglichkeiten zur Ermittlung von Nichtlinearitäten und von Nichtstationaritäten im Phasenraum wurden erforscht. eral criteria were simultaneously considered, including noise effects. This is a very important detail since the noise term is known to affect the reconstruction significantly. The reconstructed phase space has been compared to theoretical results, dynamic measures like the Lyapunov exponent and correlation dimension were computed and possibilities of detecting nonlinearites and nonstationarity in the phase space was investigated.

[ANNARATONE, BRYANT, HADZIAVDIC, IVLEV, KHRA-PAK, KLUMOV, MOKLER, MORFILL, MÜLLER, PILIPP, STEINBERG, TSYTOVICH, VLADIMIROV, YAROSHENKO, ZHDANOV]

3 EXPERIMENTELLE ENTWICKLUNG UND PROJEKTE / EXPERIMENTAL DEVELOPMENT AND PROJECTS

3.1 PHYSIK DES ERDNAHEN WELTRAUMS / SPACE PHYSICS OF THE NEAR-EARTH ENVIRONMENT

In diesem Arbeitsbereich des Instituts untersuchen wir plasmaphysikalische Vorgänge im Sonnensystem. Für diese Untersuchungen werden Experimente eingesetzt, die das Studium solcher Vorgänge in-situ gestatten, vor allem in der Magnetosphäre der Erde und im interplanetaren Raum. 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.

Experimente auf Erdsatelliten und Raumsonden / Experiments on Earth Orbiting Satellites and Deep Space Missions

Die Mission Cluster ist einer der "Cornerstones" des wissenschaftlichen Programms der ESA. Die Aufgabe von Cluster ist die Untersuchung von Prozessen an Plasma-Grenzschichten. Mit insgesamt vier Satelliten mit identischer Instrumentierung, die in einer variablen Tetraeder-Konfiguration fliegen, ist es zum ersten Mal möglich, dreidimensionale Strukturen und deren zeitliche Variation zu untersuchen und räumliche und zeitliche Variationen zu unterscheiden. Die Laufzeit der Mission wurde durch Beschluss der ESA in diesem Jahr bis Ende 2005 ausgedehnt. Dies ermöglicht Messungen in einem größeren Bereich von Separationsdistanzen zwischen den Satelliten, wie in Abb. 3-1 dargestellt. Durch Einsatz einer zusätzlichen Bodenstation (Mas Palomas) konnte im Juni dieses Jahres auch die Datenüberdeckung von 50% auf 100% erhöht werden.



Das MPE ist an zwei Instrumenten der wissenschaftlichen Nutzlast wesentlich beteiligt, und zwar beim *Elektronendrift-Instrument EDI* und beim *Cluster-Ionen-Spektrometer CIS*. Das Elektronendrift-Instrument misst die Driftbewegung des Plasmas infolge elektrischer Felder. Die EDI Methode basiert auf der Injektion zweier künstlicher Elektronenstrahlen von ~1 keV ins umgebende Medium und der Messung ihrer Versetzung infolge der Plasmadrift. Das Cluster-Ionen-Spektrometer besteht aus zwei Sensoren, *CODIF*

The Cluster mission is one of the "cornerstones" of ESA's scientific program. The prime purpose of Cluster is the identification and detailed study of the spacetime structure of the processes in plasma boundaries. 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 three-dimensional and time-varying phenomena and makes it possible to distinguish between spatial and temporal variations. Earlier this year ESA decided to extend the mission duration until the end of 2005. This allows for a variety of interspacecraft separations, as illustrated in Fig. 3-1. Since June this year the data return has also been increased from 50% to 100%, thanks to the addition of an extra ground station (Mas Palomas).

Abb. 3-1: Separationsdistanzen zwischen den Cluster Satelliten während der gesamten Laufzeit des Projekts. Fig. 3-1: Separation distances between the Cluster spacecraft for the entire mission duration.

MPE has been heavily involved in two instruments of the science payload: the *Electron-Drift Instrument*, *EDI*, and the *Cluster Ion Spectrometer*, *CIS*. The Electron-Drift Instrument measures the plasma drift resulting from the electric fields. The EDI technique is based on injecting two weak beams of 1-keV electrons into the plasma and detecting their displacement induced by the plasma drift. The Cluster-Ion-Spectrometer consists of two sensors, *CODIF* (Composition and Distribution Function Analyser, CIS-1) and (Composition and Distribution Function Analyser, CIS-1) und *HIA* (Hot Ion Analyser, CIS-2) (s. a. Jahresbericht 2001).

Im Berichtsjahr wurden die Messmöglichkeiten von EDI durch Einführung eines neuen Messmodus für natürliche Elektronen erweitert. Da die beiden Elektronendetektoren von EDI zusammen jederzeit den gesamten Raumwinkelbereich überdecken, lassen sich so vollständige Pitchwinkelverteilungen der Elektronen mit hoher Zeitauflösung bestimmen. Dies ist für die Auslotung von Magnetfeldstrukturen außerordentlich nützlich. *HIA* (Hot Ion Analyser, CIS-2) (s. a. Annual Report 2001).

This year the measurement capabilities of EDI were extended by introducing a measurement mode for natural electrons. Since the two electron detectors together cover the full solid-angle sphere at all times, we can determine the full pitch-angle distribution of the electrons with very high time-resolution. This is a very useful tool for the sounding of the magnetic field topology, which we will explore in the future.



Abb. 3-2: Vergleich der von CIS (Linie) und WHISPER (Datenpunkte) bestimmten Plasmadichten. Die CIS Werte sind durch Integration über die gemessene dreidimensionale Geschwindigkeitsverteilung der Ionen ermittelt (die Linie im unteren Panel). WHISPER misst das elektrische Wellenspektrum und ermittelt daraus die Plasmafrequenz, die proportional zur Plasmadichte ist (Datenpunkte im unteren Panel).

Fig. 3-2: Comparison between plasma densities obtained from CIS (line-plot) and WHISPER (data points). The CIS values are determined by integration over the entire three-dimensional velocity distribution of the ions. WHISPER measures the electric wave spectrum and extracts the values of the plasma frequency from it. The plasma frequency is proportional to the plasma density.

Komplexe Flugzeit-Massenspektrometer wie CODIF erfordern umfangreiche Eichmessungen, sowohl vor dem Start, als auch während der Betriebsphase. Darüber hinaus ist bei Cluster die Gegen-Eichung der Sensoren auf verschiedenen Satelliten, sowie die Kenntnis der Zeitvariation besonders wichtig, da Parameter wie z.B. Dichtegradienten oder Geschwindigkeitsunterschiede bestimmt werden sollen. Gegen-Eichung der Plasmadichte geschieht regelmäßig durch Vergleich mit der von WHISPER gemessenen Plasmafrequenz. Abb. 3-2 zeigt ein Beispiel eines solchen Vergleichs. Die Ergebnisse der Flugeichung werden eingesetzt, um die Kalibrierungsfiles, die zur Umwandlung der Messgrößen in physikalische Parameter notwendig sind, regelmäßig auf den neuesten Stand zu bringen.

Eine weitere Möglichkeit für die Gegen-Eichung von CIS ist der Vergleich der von CIS-CODIF und EDI gemessenen Plasmadriftgeschwindigkeiten. EDI bestimmt die Elektronendrift unmittelbar. CIS-CODIF misst zunächst die dreidimensionale Geschwindigkeitsverteilung verschiedener Ionen. Aus diesen lässt sich durch geeignete Integration die Geschwindigkeit des Plasmas berechnen, sofern die Plasmadichte groß genug ist und das Verhältnis aus Driftgeschwindigkeit Complex mass spectrometers using time-of-flight techniques for mass separation require extensive preflight and in-flight calibration, as well as in-flight cross-calibration. Furthermore, on Cluster the crosscalibration of the instruments on different spacecraft and the knowledge of their time variation is essential for the reliable determination of, for example, density gradients or velocity differences. Inter-calibration of the plasma density has been achieved from an in-flight check of the sensitivity of the instruments using monitor rates and through comparison with the plasma frequency measurements from the WHISPER instrument. Fig. 3-2 shows the result of such a comparison. The inter-calibration results are used for regular updates of the calibration files used for on-board moment calculations and ground data analysis.

Another possibility for cross-calibration of CIS is the comparison of the plasma drift velocities measured by CIS-CODIF and EDI. EDI determines the drift velocity of electrons directly. CIS-CODIF measures the three-dimensional velocity distributions of various ions. From those one can determine the plasma bulk velocity by proper integration over velocity space, as long as the plasma density is sufficiently high, and the ratio between the bulk velocity and the thermal velocund thermischer Geschwindigkeit der Ionen nicht zu klein ist. Abb. 3-3 zeigt einen Vergleich der von CIS-CODIF gemessenen Driftgeschwindigkeit von Sauerstoffionen mit der von EDI direkt gemessenen Elektronendrift. In Anbetracht der extrem unterschiedlichen Messmethoden ist die gute Übereinstimmung bemerkenswert.



Das Deutsche Cluster Science Data Center (GCDC) an unserem Institut 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 MPAe 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 Daten können dann von allen Ko-Investigatoren abgerufen werden. Das GCDC stellt außerdem Übersichtsplots der Daten aller Cluster Instrumente her, die an die anderen Zentren verteilt werden.

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. Die wesentlich verbesserte Massenauflösung wird die Messung einzelner Ladungszustände von schweren Ionen im Massenbereich C bis Fe gestatten. Außerdem wurde der Energiebereich bis 100 keV/e erweitert, um den Bereich suprathermischer Ionen, die an der Sonne oder im interplanetaren Raum beschleunigt werden, abzudecken. In diesem Jahr wurden die Flugzeitelektronik für das EQM Modell fertiggestellt, sowie die Qualifikationstests für die Flugmodelle durchgeführt.

Seit einigen Jahren ist das MPE auch an Experimenten zur Untersuchung der Wechselwirkung des Sonnenwindes mit planetaren und kleinen Körpern des Sonnensystems, sowie der Konstitution dieser Körper selbst, beteiligt. Hierbei stehen die Staubexperimente *CIDA* für die Kometenmission *Stardust* der NASA und *COSIMA* für die *Rosetta-Mission* der ESA im Vordergrund.

COSIMA, das Analysegerät für kometaren Staub auf der ESA Mission Rosetta, ist im Juli nun voll funktio-

ity of the ions is not too small. Fig. 3-3 shows a comparison between the drift velocity of Oxygen ions measured by CIS-CODIF and the electron drift velocity measured directly by EDI. In view of the extremely different measurement methods the good agreement is truly remarkable.

Abb. 3-3: Vergleich der aus den CIS-CODIF und EDI Messungen bestimmten Plasmadriftgeschwindigkeit während einer Passage der polaren Magnetosphäre. CIS-CODIF bestimmt die Driftgeschwindigkeit aus der Integration der dreidimensionalen Geschwindigkeitsverteilung der O^+ Ionen, während EDI diese aus der Versetzung der Bahnen von künstlich injizierten 1 keV Elektronen bestimmt.

Fig. 3-3: Comparison of plasma drift velocities obtained with CIS-CODIF and EDI during a passage of the polar magnetosphere. CIS-values are from integration of the measured three-dimensional velocity distribution of O^+ ions, the EDI values are obtained from the measured displacement of the orbits of artificially injected 1-keV electrons.

The German Cluster Science Data Centre (GCDC) located at our institute 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 MPAe 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. The data can then be retrieved from any Cluster Co-Investigator. The GCDC is also responsible for the production of survey plots of all Cluster instruments that are distributed to the other data centres.

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. PLASTIC is based on the design of the *CIS-CODIF* sensor onboard Cluster. However, it has a much improved mass resolution to resolve individual ionic charge states of heavy ions in the solar wind. The energy range is also extended to 100 keV/e, to cover suprathermal ions accelerated at the Sun and in interplanetary space. This year, the time-of-flight electronics for the EQM model was delivered to UNH and the qualification tests of the flight model electronics was carried out.

Since several years the MPE is also involved in studies of the solar wind interaction with Planetary and Small Bodies of the Solar System and of the constitution of these bodies. In this context the dust analysers *CIDA* on the cometary mission *Stardust* of NASA and *CO-SIMA* to be flown on the *Rosetta* mission of ESA are of prime interest for the institute.

COSIMA, the time-of-flight secondary ion mass spectrometer for the analysis of cometary dust for the nierend, erfolgreich abgeliefert worden. Die Integration ging ohne Probleme vor sich. Die zahlreichen Tests im kompletten Raumfahrzeug sind positiv absolviert, so dass wir gespannt auf den Start der Kometensonde ab 13. Januar 2003 warten. Zur Zeit wird ein Referenzmodell erstellt, mit dem alle Operationen, die mit dem Fluggerät vorgenommen werden sollen, zuvor im Labor getestet werden können. Dieses Modell dient auch dazu, Betriebserfahrung zu sammeln und die restlichen Fehler der Betriebssoftware aufzuspüren. Dazu wird das Gerät im Vakuum gehalten, mit jeweils interessanten Proben versehen und – wie das Fluggerät – aus der Ferne betrieben, indem die Kommandos über das Internet eingespielt werden.



Unser Instrument CIDA auf Stardust war die ganze Zeit ausgeschaltet, da das Raumfahrzeug zu weit von der Sonne entfernt war, um genügend elektrische Leistung zur Verfügung stellen zu können. Bei einem Test im November funktionierte das Instrument fehlerfrei. Zum Jahreswechsel soll es wieder eingeschaltet werden und angeschaltet bleiben bis zum Vorbeiflug am Kometen Wild-2 im Januar 2004.

Das *CIDA* Instrument auf *CONTOUR* ist verloren, weil die Sonde nach einem reibungslosen Start am Ende des Einschusses auf die Interplanetare Bahn explodierte. Die Ursache für das Unglück wird noch untersucht.

Das MPE ist ebenfalls an *RoLand*, dem Landemodul der Rosetta Mission beteiligt (s. a. Jahresbericht 2001). Im Berichtszeitraum wurde die Integration der Flugeinheiten der beiden Harpunen abgeschlossen. Die Einheit ist nun bereit zum Start, der für 13. Januar 2003 geplant ist.

Das Projekt Cluster (EDI, CIS) wurde unterstützt von ESA (1501073-2499). Die folgenden Projekte wurden von DLR unterstützt: Cluster: GCDS (50.OC.9302 und 50.OC.0104), EDI (50.OC.0001), CIS (50.OC. 8906 und 50.OC.0102), Rosetta (50.QP.9701 und 50.QP.9706). Rosetta mission of ESA, has been delivered fully operational in July. The integration of the flight unit was easy and also the tests within the fully assembled spacecraft revealed no further problems, so we await the launch of the comet probe for January 13, 2003. Currently we assemble a "reference model", primarily to check operations of the flight hardware, before they are executed in space. In addition we will gain operational experience and find the remaining bugs in the flight software by operating it remotely. For this purpose the instrument remains in a high vacuum, is equipped with interesting targets and the commands are fed through the internet.

Abb. 3-4: COSIMA Flugeinheit: Kometare Staubteilchen fliegen von links in das Gerät ein und werden dort auf einem Substrat gesammelt. Primärionen aus der (um 40° schräg nach oben stehenden) Ionenquelle erzeugen die Sekundärionen, deren Flugzeit durch das Spektrometer (vergoldete Röhre mit Reflektor aus Keramik) gemessen wird.

Fig. 3-4: COSIMA flight unit: Cometary dust particles enter from the left side and are collected on target substrates. Primary ions from the ion source (pointing 40° upwards) sputter away the secondary ions, the time to pass the spectrometer (gold plated tube and ceramic reflector) is measured.

The Stardust CIDA instrument was switched OFF for the entire year as the spacecraft was too far from the sun to provide the necessary power. At a short test in November it functioned flawlessly and is expected to be turned ON and left on for the mission phase until comet Wild-2 encounter in January 2004.

The *CIDA* instrument on *CONTOUR* was lost when the spacecraft apparently exploded after a flawless launch at the end of final orbit injection. The reason for this mishap is under investigation.

MPE is also involved in *RoLand*, the lander of the Rosetta mission (s. a. Annual Report 2001). This year we completed the integration of the flight units of the harpoon – anchor system. The system is now ready for launch scheduled for January 13, 2003.

The project Cluster (EDI, CIS) has been supported by ESA (1501073-2499). The following projects have been supported by DLR: Cluster: GCDS (50.OC.9302 and 50.OC.0104), EDI (50.OC.0001), CIS (50. OC.8906 and 50.OC.0102), Rosetta (50.QP.9701 and 50.QP.9706).

3.2 IR / SUBMILLIMETER ASTRONOMIE / IR / SUBMILLIMETER ASTRONOMY

Mit der erfolgreichen Inbetriebnahme von CONICA am VLT und seiner Übergabe an die europäischen Astronomen hat unser Instrumentierungsprogramm im nahen Infrarot Teleskope der 8m-Klasse erreicht. Die hervorragenden CONICA-Aufnahmen des Zentrums unserer Milchstraße zeugen vom großen Potential hochaufgelöster und empfindlicher Beobachtungen im nahen Infrarot. Als nächste unserer Nahinfrarot-Instrumente werden SPIFFI für Gastbeobachtungen am VLT in 2003 und der PARSEC-Laser für die VLT-Laserleitsterneinrichtung in Betrieb gehen. Gleichzeitig unternehmen wir große Anstrengungen für unser Instrumentierungsprogramm im fernen Infrarot, mit dem großen Projekt PACS für das Herschel Space Observatory und mit FIFI-LS für das Flugzeugteleskop SO-FIA. Damit wird uns eine neue Instrumentengeneration für viele Wellenlängen, spektrale und räumliche Auflösungen zur Verfügung stehen, um zentrale Fragen, zum Beispiel zur Entwicklung von Galaxien, zu untersuchen.

Für das *Herschel Space Observatory* der ESA, das im Frühjahr 2007 gestartet wird, trägt das MPE als PI-Institut innerhalb eines europäischen Konsortiums aus 14 Instituten in 6 Ländern die Verantwortung für den Bau und Betrieb eines der drei Fokalebeneninstrumente. *PACS* (Photodetector Array Camera & Spectrometer) ist ein abbildendes Photo/Spektrometer für den Wellenlängenbereich 57-210 µm.

Im Photometriebetrieb arbeitet PACS gleichzeitig in zwei Wellenlängenbändern, 60-85 oder 85-130 µm und 130-210 µm. Dazu werden zwei Bolometer-Arrays mit 16x32 bzw. 32x64 Pixel eingesetzt. Die überlegene Empfindlichkeit und Winkelauflösung wird vor allem bei tiefen Durchmusterungen zum Tragen kommen, die uns einzigartige Information über die Entstehung von Galaxien im frühen Universum geben werden sowie neue Einblicke in die Sternenstehung im Innern von Molekülwolken. Im Spektroskopiemodus wird PACS ein Gesichtsfeld von ~50"x50" abdecken und dabei für jeden der 5x5 Bildpunkte gleichzeitig ein Linienspektrum mit einer Auflösung von ~170 km/s erzeugen. Dies wird ermöglicht durch einen optischen Bildfeldzerleger in Verbindung mit einem Gitterspektrographen. Als Detektoren dienen 2-dimensionale Detektorarrays aus 25x16 gedrückten Germanium-Photoleitern. Damit sind z.B. detaillierte Untersuchungen an Galaxien und ihren Kernregionen möglich bis hin zu einer Bestimmung der Energiequellen hoch rotverschobener, ultraleuchtkräftiger Objekte.

Eine der großen Aufgaben in diesem Jahr war die Fertigung der Untereinheiten für das Strukturmodell sowie das Qualifikationsmodell der Fokalebeneneinheit. Diese extrem gewichtsreduzierten Strukturen (Abb. 3-5) müssen die optische Präzision des Instruments nach Abkühlung auf Heliumtemperatur gewährleisten, was eine aufwändige Fertigung in mehreren Schritten und mit mehrfachem Kryotempern erforderte. Der Ablauf dieser ebenso anspruchsvollen wie

VLT and its handover to the European community, our near-infrared instrumentation program has reached 8m class telescopes. CONICA's superb data for the center of our Galaxy are evidence for the great potential of high resolution, sensitive near-infrared observations. Our next near-infrared instruments to go online are SPIFFI, scheduled for guest instrument observation at the VLT in 2003 and the PARSEC Laser for the VLT laser guide star facility. At the same time, we devote large efforts to our far-infrared instrumentation program with the major development of PACS for the Herschel Space Observatory, and FIFI-LS for the SOFIA airborne telescope. A new generation of instruments will thus become available to us to tackle key questions, for example related to the evolution of galaxies, over a wide range of wavelengths and spectral and spatial resolving powers.

With the successful commissioning of CONICA at the

For the *Herschel Space Observatory*, an ESA cornerstone mission to be launched in spring 2007, MPE as the PI-institute in a European consortium of 14 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), will be an imaging photo/spectrometer for the wavelength range 57-210 µm.

In photometry mode, PACS will image simultaneously in two wavelength bands, 60-85 or 85-130 µm and 130-210 µm. This is facilitated by two bolometer arrays with 16x32 and 32x64 pixels, respectively. The superior sensitivity and angular resolution will be crucial, particularly for deep surveys which will give us unique information about the formation of galaxies in the early Universe, as well as new insight into star formation inside nearby molecular clouds. In spectroscopy mode PACS will cover a field-of-view of ~50"x 50" and simultaneously produce a line spectrum for each of the 5x5 spatial pixels with a spectral resolution of ~170 km/s. This is made possible by an optical image slicer which is feeding a grating spectrograph. As detectors we use 2-dimensional arrays of 25x16 stressed germanium photoconductors. This allows, for example, detailed studies of galaxies and their nuclei including a discrimination of the energy sources in highly redshifted, ultraluminous objects.

One of the big challenges this year was the manufacture of the subunits for the structural/thermal model and for the qualification model. These extremely lightweighted structures (Fig. 3-5) have to maintain the optical precision of the instrument after cool-down to helium temperature, which required a very elaborate manufacture process in several steps with multiple cryo-tempering. Our mechanical shop was responsible for the organization of this extensive and demanding umfangreichen Arbeiten wurden von der mechanischen Werkstatt organisiert und im Haus sowie bei den Feinmechanischen Werkstätten Markl (Deisenhofen) durchgeführt, in enger Absprache mit den Konstrukteuren bei Kayser-Threde. work which was performed partly in house, partly at Feinmechanische Werkstätten Markl (Deisenhofen), in close coordination with the design engineers at Kayser-Threde.



Abb. 3-5: Eine der 5 Untereinheiten der PACS-Struktur (Eingangsoptik mit Chopper, Größe ca. 60x40x20 cm). Zur Gewichtseinsparung und zum Erreichen der geforderten Fertigungstoleranzen sind diese sehr komplexen Strukturen jeweils aus dem Vollen gefräst.

Fig. 3-5: One of the 5 subunits of the PACS structure (entrance optics with chopper, size about 60x40x20 cm). To reach the required lightweighting factor and manufacturing tolerances, each of these very complex structures have been milled out of one block.

Die Fertigung der Module für die zweidimensionalen Germanium-Detektorarrays bei ANTEC (Kelkheim) machte zwar den vorgesehenen Fortschritt, jedoch ergaben sich bei der Beistellung der kryogenen Ausleseelektronik erhebliche Verzögerungen, die aussagekräftige Messungen an der kompletten Detektionskette bisher nicht zuließen. Konstruktion und Fertigung der Detektorgehäuse am MPE sind nahezu abgeschlossen, ihre Integration in die Fokalebeneneinheit wird derzeit am Strukturmodell erprobt. Die kryogene Ausleseelektronik für die Detektoren, die bei IMEC (Leuven) entwickelt wird, bleibt eine der größten Herausforderungen des Projektes. Zwar wurden inzwischen die meisten Spezifikationen erfüllt, ein erhöhtes Eingangsstromrauschen konnte bisher aber nicht beseitigt werden. IMEC, MPE und MPIA arbeiten gemeinsam an einer Lösung dieses Problems.

Die Entwicklung der Bolometereinheit bei CEA (Saclay) hat sowohl im Bereich der Bolometer selbst als auch des 0.3 K Kühlers wichtige Meilensteine erreicht. Der Kühler hat nach anfänglichen Problemen und Änderungen in der Konstruktion die kritischen Schütteltests bestanden. Bei den Bolometer-Arrays und ihrer Ausleseelektronik wurde ein regelrechter Durchbruch erzielt: Empfindlichkeit, Bandbreite und Rauschwerte der gesamten Detektionskette eines 16x16 Subarrays haben die angestrebten Werte erreicht und somit die Machbarkeit der Fokalebenen-Arrays für das Photometer endgültig nachgewiesen.

Als wichtige Untereinheiten des Fokalebenen-Einheit werden am MPIA (Heidelberg) der Chopper und bei CSL (Liege) die Gitterbaugruppe entwickelt. Für beide kryogenen Präzisionsmechanismen wurden Entwicklungsmodelle erfolgreich getestet. Die Lebensdauer-

The manufacture of the modules for the twodimensional germanium detector arrays at ANTEC (Kelkheim) made progress according to plan, but the provision of the cryogenic readout electronics was substantially delayed. This delay prevented any meaningful measurements of the complete detection chain. Design and manufacture of the detector housings at MPE have been nearly completed, their integration into the Focal Plane Unit is presently being practiced with the structural model. The cryogenic readout electronics for the detectors which is developed at IMEC (Leuven) remains one of the major challenges of this project. Most of the specifications have been met by now, but some excess input current noise could not be removed, yet. IMEC, MPE, and MPIA are working together to find a solution for this problem.

The development of the bolometer unit at CEA (Saclay) has reached important milestones both in the area of the bolometers proper but also for the the 0.3 K sorption cooler. The cooler – after initial problems and some design changes – has passed the critical vibration tests. In the area of the bolometer arrays and their readout electronics a real breakthrough has been achieved: responsivity, bandwidth, and noise of the entire detection chain of one 16x16 subarray have reached the target values, ultimately demonstrating the feasibility of the photometer focal plane arrays.

Two important subunits of the focal plane unit, the chopper and the grating assembly, are being developed at MPIA (Heidelberg) and CLS (Liege), respectively. For both high-precision cryo-mechanisms development models have been successfully tested. The lifetests am Chopper mit 650 Millionen Lastwechseln wurden kürzlich ohne jede Leistungseinbuße abgeschlossen. Beim Gitterantrieb traten Probleme mit der Startverriegelung auf, die derzeit neu gebaut wird. Nach erfolgreicher Fertigung und einer Reihe von Tests an einem verkürzten Modell des Beugungsgitters wurde mit der Fertigung des Qualifikationsmodells in voller Größe begonnen.

Der Bau der Ingenieurmodelle für die warmen Elektronikeinheiten bei unseren Partnern IAC (Teneriffa), IFSI (Rom) und CSL (Liege) wurde abgeschlossen; Tests auf Instrumentenebene wurden im Sommer 2002 am MPE durchgeführt. Dabei traten eine Reihe von Problemen mit Hardware und Software auf, an deren Behebung jetzt gearbeitet wird. Durch die frühzeitige Testkampagne ist der Zeitplan des Projekts davon jedoch nicht betroffen. Die Charakterisierung und Eichung des Instruments erfolgt in der Verantwortung des MPE. Inzwischen wurde die Konstruktion aller benötigten Eich- und Testeinrichtungen weitgehend abgeschlossen und die Fertigung am MPE und bei externen Werkstätten ist in vollem Gang. Der Bau des großen Testkryostaten zur Eichung des Gesamtinstrumentes bei Cryovac (Troisdorf) ist bereits weit fortgeschritten.

Die Zusammenarbeit mit Alcatel (Cannes) als Hauptauftragnehmer für das Herschel/Planck-Projekt sowie Astrium (Friedrichshafen) als Unterauftragnehmer für den Herschel-Kryostaten wurde aufgebaut; in der Zwischenzeit haben wir gemeinsam viele kritische Schnittstellen geklärt und an einem integrierten Zeitplan für den Bau und die Tests auf Instrumenten- und Systemebene gearbeitet, der einen Start im Frühjahr 2007 sicherstellen soll.

MPE beheimatet auch das Instrument Control Center (ICC) für PACS, verantwortlich für Softwareentwicklung, Eichung und Betrieb. In diesem Jahr war ein Hauptschwerpunkt unserer Arbeit die Vorbereitung der Eichverfahren, Kommandoprozeduren und Software für die Instrument Level Tests sowie eines Instrumentsimulators. Die ersten Softwaresysteme, besonders zur Kommandierung, wurden bereits während der Tests der warmen Elektronik eingesetzt.

Mit den 2002 erzielten Fortschritten liegt das *SOFIA* (Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy) Projekt im konsolidierten Zeitplan (erster Flug 2004). Am MPE entwickeln wir mit *FIFI LS* (Field-Imaging Far-Infrared Line Spectrometer) eines der beiden deutschen Instrumente der ersten Generation für SOFIA. Um die Beobachtungseffizienz zu optimieren wird erstmals für Beobachtungen im fernen Infrarot ein feldabbildendes Spektrometer aufgebaut. Das Instrument besitzt zwei unabhängige Gitterspektrometer mit mittlerer Auflösung (R~1700), welche zwei großflächige Ge:Ga Detektorarrays von jeweils 25x16 Pixel ausleuchten. Dieses Jahr haben wir das erste "gedrückte" Gesamtarray für das ferne Infrarot fertiggestellt, weltweit das Größte seiner Art.

In diesem Jahr konnte ein Großteil der optischen Komponenten von FIFI LS, z.B. die großen Kollimatorspiegel, beschafft werden. Die räumliche Umordnung des Bildfeldes wird durch drei spezielle, in Füntime tests of the chopper with 650 Million load cycles have been completed recently without any performance degradation. In the grating drive mechanism problems occurred with the launch lock which is presently being modified. After the successful ruling of a reduced size model of the diffraction grating and a series of tests, the manufacture of the full-size qualification model has started.

The development of the engineering models for the warm electronics units by our consortium partners, IAC (Tenerife), IFSI (Rome), and CSL (Liege), has been finished; instrument level tests have been performed at MPE in the summer of 2002. A number of problems with hardware and software occurred and need to be fixed as an ongoing effort. Thanks to the early test campaign, the project schedule is not affected by the identified problems. MPE is responsible for the complete characterization and calibration phase of the instrument. Meanwhile, the design of all required test- and calibration equipment is nearly complete, and the manufacture at MPE as well as external shops is in full progress. The construction of the large test cryostat for the calibration of the integrated instrument at Cryovac (Troisdorf) is already quite advanced.

The collaboration with Alcatel (Cannes) as the prime contractor for the Herschel/Planck project and with Astrium (Friedrichshafen) as the subcontractor for the Herschel cryostat has been established; meanwhile we have, together with industry, clarified many critical interfaces and have worked on an integrated schedule for the development and tests on instrument and system level to ensure a launch in the spring of 2007.

MPE also hosts the Instrument Control Center (ICC) for PACS, responsible for software development, calibration and operations. This year, a main focus of our work was the preparation of calibration methods, command procedures and software to be used in the Instrument Level Tests and of an instrument simulator. The first software systems, in particular in the commanding area, were already used during tests of the warm electronics.

The *SOFIA* (Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy) project is proceeding on a consolidated schedule (first flights 2004) with significant progress during 2002. At MPE, we are developing one of the two, first generation German instruments for SOFIA: *FIFI LS* (Field-Imaging Far-Infrared Line Spectrometer). To optimize observing efficiency, we use for the first time in the far-infrared an integral field spectrometer with two independent, separate medium resolution (R~1700) grating spectrometers with common fore-optics feeding two large format Ge:Ga arrays of 25x16 pixels each. This year, we have completed the first total "stressed" array for the far infrared, the largest of its kind worldwide.

This year, we where able to procure most of the optical components of FIFI LS including the large size collimator mirrors. The integral field or spatial multiplexing design is achieved by using an optical slicer fergruppen angeordnete Spiegel erreicht. Diese so genannten Bildfeldzerleger (Abb. 3-6) zerschneiden das zweidimensionale Bildfeld von 5x5 Pixel in 5 Reihen und arrangieren diese dann entlang einer einzigen, 25 Pixel langen Reihe, entsprechend dem Eintrittsspalt eines traditionellen Spaltspektrografen. Um die Optik kompakt zu halten werden in beiden Spektrometern anamorphotische Kollimatoren eingesetzt, welche die Eingangspupille auf die Beugungsgitter abbilden. Hier wird das Bild spektral zerlegt und dem Detektorarray zugeführt. So wird der komplette Datenkubus (spektrale- und Ortsinformation) aufgezeichnet.



Im Zuge der Lufttauglichkeitsprüfung durch die FAA wurden in diesem Jahr die Konstruktionszeichnungen sowie die Finite-Elemente-Analysen des Kryostaten und der Haltestruktur zur Begutachtung eingereicht. Außerdem wurden die Tests der kryomechanischen Komponenten wie Gitterantrieb und mechanische Durchführungen fortgeführt. Nicht zuletzt wurden die Arbeiten an den Elektronikkomponenten für FIFI LS fortgesetzt.

Ferninfrarot-Detektoren auf der Basis von n-leitendem Galliumarsenid mit sogenannter "Blocked Impurity Band (BIB)"-Struktur würden bei einer Betriebstemperatur um 1.6 K bis zu ca. 320 µm Wellenlänge empfindlich sein und könnten aufgrund ihrer monolithischen Bauweise die Verwirklichung großer zweidimensionaler Arrays zulassen. Dies ist das Ziel unserer laufenden Aktivitäten. Dazu sind – wie Simulationen zeigen - mehrere anspruchsvolle Eigenschaften der Detektorstruktur einzuhalten: Die Sperrschicht muss extrem rein sein, die infrarotabsorbierende aktive Schicht muss kontrolliert mit z.B. 4x10¹⁵ Tellur-Atomen pro cm³ dotiert werden, die Übergangszone zwischen Sperrschicht und aktiver Schicht muss innerhalb von 1 µm drei Größenordnungen Unterschied in der Dotierungsrate sicherstellen.

Unsere Aktivitäten erfolgen in einer internationalen Zusammenarbeit von MPE, UCB, LBNL und der Fairfield Universität. Mit der Inbetriebnahme der Flüssigphasenepitaxie-Zentrifuge an der Universität in Berkeley vor zwei Jahren haben wir die Voraussetzung zur Herstellung größerer GaAs Wafer geschaffen. In diesem Jahr wurde ein Physiker zur Durchführung der Forschungsarbeiten bzw. zur Betreuung der Anlage eingestellt. Probeläufe zur Erzielung optimierter Betriebsparameter und zur Erlangung höherer Materialreinheit dauern an. Detaillierte Untersuchungen (Fig. 3-6). These three specialty mirrors, in sets of five, slice the 2D image of 5x5 pixels into 5 rows, then optically rearrange the 5 rows into a single 1-D row of 25 pixels - effectively a traditional long slit. The slit is then passed through anamorphic collimating mirrors, which keep the optics compact in the cross-dispersion direction, and onto a grating. The grating spectrally disperses the images of the slit that is then imaged onto the detector arrays. In this manner, the entire data cube (spectral and spatial information) is then obtained.

Abb. 3-6: Ein Bildfeldzerleger, wie er in FIFI LS zur räumlichen Umordnung des zweidimensionalen Bildfeldes entlang eines eindimensionalen Pseudospalt eingesetzt wird. Die Abbildung rechts zeigt den Blick "rückwärts" durch den Bildfeldzerleger und illustriert, wie der Bildfeldzerleger ein zerschnittenes Bild eines Kreises optisch wieder zusammensetzt.

Fig. 3-6: An optical image slicer as used in FIFI LS to rearrange the two dimensional field of view into a one dimensional pseudo slit. The image on the right shows the view 'backwards' through the slicer and illustrates, how a cut image of a circle is optically recombined by the slicer.

For the airworthiness design review that is required by the FAA, we where able to submit the actual design of the cryostat and the mounting structure including a complete finite-element analysis for review by the FAA. In addition, testing for the critical cryomechanisms such as grating drive and mechanical feed throughs has been continued. Finally, we have continued work on the components of the FIFI LS electronics.

Far infrared detectors based on n-type gallium arsenide having a "blocked impurity band" type structure (BIB) could extend the sensitivity range up to about 320 μ m wavelength at an operating temperature of 1.6 K. Realization of large format two dimensional arrays through the use of a planar multi-layer concept seems to be feasible. This is the aim of ongoing activities now. Numerical modelling suggests several demanding requirements on the detector materials: The GaAs blocking layer needs to have ultra high purity, the IR absorbing active layer requires a controlled donor doping with $4x10^{15}$ Tellur atoms/cm³, the interface between blocker and absorber has to assure a steep gradient over three orders of magnitude in doping rate within 1 μ m.

Our activities are carried out in an international cooperation between MPE, UCB, LBNL and Fairfield University. A liquid phase epitaxy centrifugal growth facility was set into operation at the Physics Department of UCB two years ago, a prerequisite for production of larger sized wafers. This year, UCB hired a physicist to increase the manpower dedicated to the research program and operation of the centrifuge. Currently, growth runs for optimizing operational parameters and improving material purity are in progress. Detailed investigations of the grown GaAs samples are performed an den jeweils gezüchteten Schichten erfolgen unmittelbar im Anschluss an die Herstellung in den Labors der Partner, dabei werden unterschiedliche elektrische und spektroskopische Messverfahren eingesetzt. Das Forschungsprogramm konzentriert sich zur Zeit vorrangig auf die Lösung der Probleme mit der geforderten Materialreinheit und optimierter Kristallstruktur. Ein Antrag auf zusätzliche Fördermittel von seiten NASA wurde gestellt.

CONICA/NAOS, ein Nah-Infrarot (1-5 μ m) Instrument für beugungsbegrenzte Abbildung und Spektroskopie, lieferte erstmals am 25. November 2001 am VLT Bilder. Danach folgten bis August 2002 umfangreiche Tests und die Einbindung des Instrumentes in die VLT Software-Umgebung. Während dieser Zeit konnten insbesondere die spektakulären beugungsbegrenzten Aufnahmen des galaktischen Zentrums gewonnen werden. Seit Oktober 2002 steht CONICA/NAOS allen Astronomen zur Verfügung.



Nachdem wir im vorigen Jahr die Konstruktion für das SPIFFI (SPectrometer for Infrared Faint Field Imaging) Instrument erfolgreich abschließen konnten, war in diesem Jahr die Zeit reif, die Pläne in die Realität umzusetzen. SPIFFI ist ein abbildendes Spektrometer, das mit Hilfe eines Bildzerlegers in einer einzelnen Belichtung die Spektren von über 1000 Punkten aus einem zweidimensionalen Bildfeld aufzeichnen kann. Die Empfindlichkeit ist im gesamten nahinfraroten Wellenlängenbereich von 1 bis 2.5 µm hervorragend, da das Instrument komplett mit flüssigem Stickstoff auf -190°C gekühlt ist, und die spektrale Auflösung hoch genug ist, um zwischen den im Infraroten hellen Nachthimmelslinien beobachten zu können. Im Sommer konnten wir das Instrument erstmals im Labor in Betrieb nehmen, und dann am Jahresende zum Verv Large Telescope der Europäischen Südsternwarte in Chile transportieren. In der Zeit nach der ersten Inbetriebnahme im Labor bis zum Versand des Instruments im Dezember wurde SPIFFI ausführlich getestet, und dabei die Optik und Elektronik weiter optimiert. Die Abb. 3-7 zeigt SPIFFI am sogenannten Teleskopsimulator, mit dem die Funktion des Geräts bei verschiedein the laboratories of the partners with different electrical and spectroscopic characterization methods. The present development program concentrates on solving the problems with ultra pure GaAs material and optimized crystallographic properties. A NASA research proposal has been submitted asking for additional funding.

CONICA/NAOS, the diffraction limited imager and spectrograph for the near-infrared $(1-5 \mu m)$ spectral range, received first light at the VLT on 25 November 2001. This event was followed by extensive commissioning and software adaption to the VLT system which lasted until August 2002. During this period it was possible to obtain in particular the spectacular diffraction limited images of the Galactic center. CONICA/NAOS is available to the ESO community since October 2002.

Abb. 3-7: Das abbildende Spektrometer SPIFFI bei den Tests am Teleskopsimulator im Integrationslabor des MPE. Das Instrument ist für Beobachtungen im Infraroten mit flüssigem Stickstoff vollständig auf -190°C gekühlt.

Fig. 3-7: The imaging spectrometer SPIFFI mounted to the telescope simulator in the MPE integration hall. The complete instrument is cooled with liquid Nitrogen to -190° C to allow observations at infrared wavelengths.

After finalizing the design of the SPIFFI (SPectrometer for Infrared Faint Field Imaging) instrument successfully in 2001, the time has come this year to make the dreams come true. SPIFFI is an imaging spectrometer, which is based on a so called image slicer, and which allows to observe the spectra of more than 1000 image points of a two dimensional field in a single exposure. With its high spectral resolution, which allows to observe between the bright infrared night sky emission lines, and by cooling the complete instrument to -190°C with liquid Nitrogen, SPIFFI provides optimum sensitivity over the whole nearinfrared wavelength range from 1 to 2.5 µm. We could put SPIFFI into operation for the first time this summer, and moved the instrument to the Very Large Telescope of the European Southern Observatory in Chile at the end of the year. In the time between the first laboratory operation and the transport of SPIFFI in December, we could extensively test the instrument, and further optimize its optics and electronics. Fig. 3-7 shows SPIFFI at the so-called telescope simulator to test the functionality of the instrument for varying observing conditions. We plan to operate SPIFFI for a

nen Stellungen des Teleskops überprüft wird. SPIFFI soll im Frühjahr 2003 für eine mehrwöchige Beobachtungsperiode am VLT genutzt werden. Im Jahr 2004 wird SPIFFI dann mit einer von der ESO entwickelten adaptiven Optik kombiniert, und anschließend den europäischen Astronomen für beugungsbegrenzte Beobachtungen zur Verfügung stehen.

PARSEC, der Laser für das Laserleitsternsystem des VLT, hat dieses Jahr zwei wichtige Schritte erfolgreich hinter sich gebracht. Auf den Laserauswahltest zur Demonstration des Arbeitsprinzips folgte kurz darauf die endgültige Entwurfsprüfung. Im Sommer wurden die vier Verdi V10 Festkörperlaser geliefert, die zum Pumpen der Farbstoffstrahlen im Verstärker benutzt werden. Mit nur zwei davon erreichte der Prototyp von PARSEC eine Ausgangsleistung von 10.5 W, ein hervorragendes Ergebnis das andeutet was mit allen vier Pumplasern möglich sein sollte. Einer der wichtigsten Beiträge zu diesem Ergebnis ist der Entwurf der Phasenkopplung, die einen zusätzlichen roten Laser benutzt, um die Länge des Verstärkerhohlraums zu stabilisieren. Die Bandbreite dieses Regelkreises ist 20 kHz; Schwingungen bei den niedrigsten Frequenzen werden um 40dB unterdrückt. In einer zweiten Stufe der Phasenkopplung wird die Resonanzfrequenz des Hohlraums sehr fest an die Frequenz des Referenzstrahls in der Natriumlinie gekoppelt.

Mit zwei neuentwickelten Methoden sollte ein hoher Automatisierungsgrad des Lasers erreicht werden. Zum einen wird in der Leistungsregelung die Ausrichtung der Hohlraumspiegel angepasst bis die maximale Ausgangsleistung erreicht ist. Zum anderen wird in einer Frequenzsuche die Laserfrequenz angepasst bis sie die Natriumlinie erreicht, und dann mit ihr gekoppelt. Außer dem Start brauchen beide Methoden keinen Bedienereingriff. Beide sollen in der ersten Hälfte kommenden Jahres implementiert werden. Nach Verschiffung des Lasers zum Paranal folgt in der zweiten Jahreshälfte eine Integrations- und Inbetriebnahmephase, gipfelnd in den ersten Beobachtungen mit dem Laserleitstern im Herbst.

Das *Large Binocular Telescope (LBT)* ist ein doppeltes 8.4-Meter Teleskop in Bau auf Mt. Graham in Arizona, USA, mit geplantem erstem Licht Mitte 2004. Fünf deutsche Institute, darunter MPE, besitzen einen 25%-Anteil am LBT. Als Teil des MPE-Beitrags zum Projekt stellen wir 14 steife Unterstützungspunkte für die beiden Hauptspiegel her. Der erste Satz wurde Mitte 2002 zum Einbau an das Spiegellabor des Steward Observatory geliefert. Der zweite Satz Unterstützungspunkte (für den zweiten Hauptspiegel) wird derzeit getestet und soll im Februar 2003 nach Arizona geliefert werden.

LUCIFER kombiniert Nahinfrarotkamera und Spektrograph im Bereich von 1 bis 2.5 µm, für beugungsund seeing-begrenzte Beobachtungen am LBT. Das Instrument wird von einem deutschen Konsortium unter Führung der Landessternwarte Heidelberg gebaut. MPE entwickelt dafür eine kryogene Multi-Objekt-Einheit, die Spaltmasken für Multi-Objekt-Spektroskopie (MOS) speichert und bereitstellt. Schwierigkeiten mit der Einpassung in LUCIFER haben die several weeks observing period at the VLT in the beginning of 2003. A year later, SPIFFI will be combined with an adaptive optics build by ESO, and will then be offered to all European astronomers for diffraction-limited observations.

PARSEC, the laser for the VLT Laser Guide Star Facility, successfully completed two major milestones during this year. These were the Laser Selection Test (designed to demonstrate the principles of the laser) and, shortly afterwards, the Final Design Review. During the summer the four Verdi V10 solid state lasers, which will be used to pump the dye jets in the amplifier, were delivered. Using only two of these in the prototype version of PARSEC, an output power of 10.5 W was achieved, an outstanding result which indicates what should be achievable when all four pump lasers can be used. One of the key developments which enabled this result was the design of the phase lock, which uses an additional red laser to stabilise the length of the amplifier cavity. The bandwidth of the loop is 20 kHz, and vibrations at the lowest frequencies are suppressed by 40dB. In a second stage of the phase-lock loop, the resonance frequency of the cavity can be locked very robustly to the frequency of the injected sodium-line beam.

Two procedures have been developed which should allow a high degree of automation in the laser to be reached. The first of these is "Powertrack" which adjusts the pointing of cavity mirrors until the maximum output power is reached. The second is "Autoscan" which can tune the frequency of the laser until it reaches that of the sodium line, and then lock it there. Neither of these require intervention from an operator except to initiate them. The procedures will be implemented during the first half of the coming year. Once the laser has been shipped to Paranal, the second half of 2003 will see an intensive integration and commissioning phase, culminating with first light on the sky for the laser guide star in the autumn.

The Large Binocular Telescope (LBT), a twin 8.4 meter telescope is being erected on Mt. Graham in Arizona, with first light expected for mid 2004. Five German institutes, including MPE, hold a 25% share in this telescope. As part of MPE's in-kind contribution to the project, the institute is fabricating 14 hard points, which provide the stiff supports for the two primary mirrors. The first set was delivered to the Steward Observatory mirror laboratory for integration in mid 2002. The second set of hard points (for the second primary) is presently undergoing final testing, and will be delivered to Arizona in February 2003.

LUCIFER is the near-infrared (1-2.5 μ m) camera and spectrograph for seeing and diffraction limited observations at the LBT, which is being built by a German consortium led by the Landessternwarte at Heidelberg. MPE contributes a cryogenic multi-object unit storing and supplying slit masks for multi-object spectroscopy. Difficulties with the integration into LUCIFER delayed the MOS unit design, which has been finished in November 2002. Fig. 3-8 is a 3D model of the MOS

Konstruktion der MOS-Einheit verzögert. Abb. 3-8 zeigt ein 3D-Modell der im November 2002 abgeschlossen Konstruktion. Dargestellt sind die wichtigsten Komponenten, allerdings ohne die Struktur, in die sie eingebaut sind. Die Teile des Roboters, der Magazine mit den Masken zwischen Speicher und Fokalebene transportiert, wurden gefertigt und integriert, da diese Einheit keine direkte Schnittstelle zu LUCIFER hat. Alle anderen Komponenten können erst gefertigt werden, wenn der Entwurf von LUCIFER abgeschlossen ist. Schwierig ist der Transport der Magazine zwischen LUCIFER und den Hilfskryostaten, in denen die Magazine zum Aufwärmen bzw. Abkühlen gespeichert werden. Für diesen Vorgang müssen die Schienen auf denen das Magazin fährt mit einer Genauigkeit von 0.5 mm und einer Verkippung unter 0.5° zueinander ausgerichtet sein. Da die Schienen in verschiedenen Kryostaten montiert und bei Betriebstemperatur nicht zugänglich sind, ist ihre Justierung sehr aufwändig. Zum Test der MOS-Einheit und des Magazin-Transports wurde ein Kryostat mit einem Arbeitsvolumen von 1.2 m Durchmesser und 1.2 m Höhe entwickelt. Dieser Kryostat wird auch für Tests von KMOS-Komponenten eingesetzt.



Die Studienphase für KMOS, einem Nah-Infrarot (1-2.5 µm) multi-feldabbildenden Spektrographen der zweiten Generation für das VLT begann Ende 2001, nachdem ESO dazu aufgerufen hatte, vorläufige Vorschläge für ein derartiges Instrument einzureichen. KMOS besitzt etwa 20 frei positionierbare feldabbildende Einheiten (IFUs) mit je etwa 100 Bildelementen, sodass gleichzeitig etwa 2000 Spektren gemessen werden können. Jede IFU erfasst ein Feld von wenigen Bogensekunden und kann frei im nicht vignettierten Gesichtsfeld des VLT mit 7.2 Bogenminuten Durchmesser positioniert werden. Die Studie wird von einem Konsortium unter Führung der Universitäts-Sternwarte München durchgeführt, an dem neben der Infrarotgruppe und der Gruppe interpretative Astronomie des MPE auch mehrere britische Gruppen beteiligt sind. Mit KMOS setzen wir die 2001 unter der Bezeichnung CROMOS (siehe JB 2001) begonnenen Arbeiten an Mikrolinsen/Glasfaser IFUs und einem kryogenen Roboter zur Positionierung der IFUs fort. Die Transmission und die Degradation des Öffnungsverhältnisses von Fasern wurde im J- und H-Band gemessen. Ein Aufbau für Messungen im K-Band mit

unit, showing its main components without the support structure. The mask manipulation unit, which has no direct interface to other LUCIFER components has been manufactured and is now being integrated. Manufacturing of all other components requires a closer coordination with the not yet completed LUCI-FER design, and is therefore delayed. A major task is the transfer of the magazine containing the slit masks between LUCIFER and the auxiliary cryostat accepting the magazine for warm-up and cool-down. For this procedure the rails in the two cryostats carrying the magazine have to be aligned with a position accuracy of about 0.5 mm and a tilt of less than 0.5°. The rails are mounted in different cryostats and not accessible at operating temperature, which makes their alignment a non trivial procedure. For cryogenic tests of the MOSunit, including the mask magazine transfer, a test cryostat with a cold working volume of 1.2 m diameter and 1.2 m height has been designed. This test cryostat will also be used for KMOS component tests.



Fig. 3-8: 3D model of the main components of the multi-object spectroscopy unit of LUCIFER. The slit masks placed in magazines are transported to the focal plane.

The study phase for KMOS, a 2nd generation nearinfrared (1-2.5 µm) multi-integral-field spectrograph for the VLT, started late in 2001 after a call for preliminary proposals for such an instrument had been issued by ESO. KMOS features about 20 deployable integral field units (IFUs) of about 100 spatial elements each, resulting in about 2000 simultaneously recorded spectra. Each of these IFUs covers a field of a few arcseconds width and can be positioned anywhere in the unvignetted VLT field of 7.2 arc-minutes diameter. The study is done by a consortium led by the Universitäts-Sternwarte München and includes the infrared and interpretative astronomy groups at MPE and several British groups. With KMOS we continue the work started in 2001 under the project name CROMOS (annual report 2001) on micro-lens coupled fiber integral field units (IFUs) and the development of a cryogenic positioning robot for these IFUs. The transmission and focal ratio degradation of several fibers has been measured in J- and H-band, and a setup for K-band measurements with the speckle camera SHARP I has been prepared. The IFU procurement turned out to be difficult, and we may have to integrate

der Speckle-Kamera SHARP I wurde vorbereitet. Die Beschaffung der IFUs hat sich als sehr schwierig erwiesen. Es ist daher möglich, dass wir die IFUs aus monolithischen Mikrolinsen-Arrays und Glasfasern selbst integrieren müssen. Ein neuer Positionier-Roboter wurde konstruiert und wird Anfang 2003 gefertigt. Die englischen Gruppen untersuchen Bildfeldzerleger (ähnlich dem in SPIFFI benutzten) als IFUs, und werden davon ebenfalls einen Prototypen einer IFU und eines Positionier-Roboters bauen und testen. Ende 2003 sollen beide Konzepte anhand von Kalttests und ihrer wissenschaftlichen Leistungsfähigkeit beurteilt werden. Die ausgewählte Lösung wird dann in den Vorschlag für das endgültige Instrument aufgenommen.

Das ISO-Spektrometerdatenzentrum (ISOSDC) am MPE unterstützt zusammen mit SRON (Groningen) die Nutzung und weitere Verbesserung des Archivs der ISO-Mission, durch Hilfe für Nutzer und Entwicklung und Verbesserung von Methoden zur Datenreduktion. Die dritte Version der offenen SWS Interactive Analysis Software (OSIA), die Wissenschaftlern die Reduktion der SWS-Daten an ihren Heimatinstituten erlaubt, wurde im Februar freigegeben. Wir haben zur Vervollständigung der Dokumente in der ISO Explanatory Library beigetragen. MPE ist eines von fünf Mitgliedern im Koordinierungsausschuss für die aktive Archivphase (AAP), der vom ISO Datenzentrum in Villafranca (Spanien) geleitet wird. Die AAP soll von 2002 bis 2006 dauern und optimalen Zugangs zu den ISO-Daten für die wissenschaftliche Analyse und die Vorbereitung der Folgeprojekte SIRTF, AST-RO-F Herschel, und JWST bieten. Durch Experten reduzierte Daten aus unseren Untersuchungen wissenschaftlich motivierter Stichproben aus dem Archiv sind oder werden dort verfügbar sein.

Das UCB/MPG Center for International Exchange in Astrophysics and Space Science ist eine gemeinsame Einrichtung der MPG und der University of California, Berkeley. Ziel ist die Zusammenarbeit auf allen Gebieten der Astrophysik, Astronomie, und extraterrestrischen Forschung. Wissenschaftleraustausch, Arbeitsaufenthalte und Konferenzen werden ergänzt durch gemeinsame Projekte wie SOFIA und die Detektorentwicklung für das ferne Infrarot. MPE koordiniert dieses Projekt von sieben Max-Planck-Instituten. Im Jahre 2002 gab es etwa 25 Besuche von Max-Planck-Mitarbeitern an der UCB und umgekehrt.

DLR fördert Herschel/PACS (50 OF 9901 1 und 50 OF 0101) und das ISO-Spektrometerdatenzentrum (50 QI 0202). Die Europäische Union unterstützt die Projekte POE und EURO3D (HPRN-CT-2000-00138, HPRN-CT-2002-00305). Unsere Zusammenarbeit mit der Universität Tel Aviv wird mit einem GIF-Grant (I-0551-186.07/97) gefördert. Wir erhalten Unterstützung der Verbundforschung für ISO und LUCIFER (50 OR 9913 7, 05 AL9EE1 7, 05 AL2EEA1) our IFUs from monolithic micro-lens arrays and fibers. A new positioning robot has been designed and will be built in early 2003. The British groups investigate image slicers as IFUs (similar to the one used in SPIFFI) and will produce and test a prototype IFU and a positioning robot. At the end of 2003, both concepts will be evaluated on the base of the cryo-tests and scientific capabilities. The winning solution will be incorporated in the final instrument proposal.

The ISO Spectrometer Data Centre (ISOSDC) at MPE supports, in collaboration with SRON (Groningen), use and further improvement of the ISO Data Archive through user support and training, development and improvement of data reduction methods. The third version of the Open SWS Interactive Analysis software (OSIA), allowing scientists to process SWS data at their home institutes, was released in February of this year. We have contributed to completion of the supporting documents comprising the ISO Explanatory Library. MPE is one of the five active members of the ISO Active Archive Phase (AAP) Co-ordination committee lead by the ISO Data Centre (Villafranca, Spain). The AAP, which began this year and is due to last until the end of 2006, has the primary aims of providing optimal access to the ISO data for scientific analysis and preparation for subsequent projects SIRTF, ASTRO-F, Herschel, and JWST. Expert reduced data obtained from our research on scientifically driven samples from the IDA are or will be available in the IDA.

The UCB/MPG Center for International Exchange in Astrophysics and Space Science is a joint project of MPG and University of California, Berkeley. Its goal is cooperation in all fields of astrophysics, astronomy and space sciences. Exchange of scientists, visits and conferences are supplemented by joint projects like SOFIA and the detector development for the far-infrared. MPE is coordinating this project of seven Max-Planck institutes. In 2002, there were approximately twenty-five visits of Max Planck staff to UCB and vice versa under the auspices of the program.

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 the projects POE and EURO3D (HPRN-CT-2000-00138, HPRN-CT-2002-00305). Our collaboration with Tel Aviv University is supported by a GIF grant (I-0551-186.07/97). We receive support from Verbundforschung for ISO and LUCIFER (50 OR 9913 7, 05 AL9EE1 7, 05 AL2EEA1).

3.3 RÖNTGENASTRONOMIE / X-RAY ASTRONOMY

Das Röntgenobservatorium ROSAT, das bislang größte Projekt unseres Institutes, hat in 8.5 Jahren äußerst erfolgreicher Mission (Juni 1990 bis Dezember 1998) etwa 200.000 neue Röntgenquellen vermessen. Die Ergebnisse dieser umfangreichen Datenbasis liegen in Form von Himmelkarten und Quellkatalogen vor, und dienen u. a. als Basis für Beobachtungsprogramme der aktuellen Röntgensatelliten. An zahlreichen Forschungsinstitutionen im In-und Ausland besteht immer noch relativ hohes Interesse Originaldaten der ROSAT Beobachtungen zu analysieren. Deshalb unterhält das Institut auch weiterhin einen Beratungs- und Software Dienst, obwohl mit der Abgabe des ROSAT Schlussberichtes an die fördernde Institution, das BMFT vertreten durch das DLR, das Projekt jetzt offiziell abgeschlossen wurde.

ROSAT Quellen werden u. a. auch mit Hilfe des *SLO-AN Digital Sky Survey (SDSS)* identifiziert. Die im letzten Jahr eingerichtete "mirror site" der öffentlich zugänglichen Daten (zusammen mit dem MPI für Astrophysik und dem MPI für Astronomie in Heidelberg) erlaubt es insbesondere Aktive Galaxien, Sterne und Galaxienhaufen detailliert zu studieren.

In geringerem Umfang werden auch noch Daten der X-ray Satelliten *ASCA* (Japan), *BeppoSAX* (Italien) und *RXTE* (USA) im Hause benutzt und ausgewertet.

Der Ende 1999 in den Orbit gebrachte europäische Röntgen-Satellit *XMM-Newton* ist für die Röntgengruppe am MPE, die Design und Bau der Instrumentation in großem Umfang mitbestimmt hat, das zur Zeit wichtigste Beobachtungsinstrument. Neben der Analyse von Beobachtungsdaten ist unsere Gruppe kontinuierlich mit der Überwachung und der Kalibration der im Haus gebauten EPIC pn-CCD Kamera beschäftigt.

Für den Stromsparbetrieb im Erdschatten, der erhebliche Temperaturprobleme ausgelöst hatte, brachte jetzt eine verbesserte Prozedur den erhofften Erfolg. Die Temperaturen in der pn-CCD Kamera waren in der letzten Schattenphase auf $\pm 5^{\circ}$ C stabil.

Die "garantierten Beobachtungen" für die am Bau des Satelliten beteiligten Gruppen sind jetzt fast vollständig durchgeführt und die Datenanalyse läuft auf Hochtouren. Die erste für alle Wissenschaftler "öffentliche" Beobachtungsperiode (AO-1) läuft noch bis März 2003. Für die nächste einjährige Periode, AO-2, wurde achtmal mehr Beobachtungszeit beantragt als zur Verfügung steht. Unser Gruppe gewann bei der Auswahl 1.7x10⁶ sec Beobachtungszeit, was ca. 10% der zu vergebenden Gesamtzeit entspricht.

Etwa 5% der Beobachtungszeit wird für Kalibrationszwecke genutzt. Dadurch konnte insbesondere die Kreuzkalibration mit anderen Instrumenten wesentlich verbessert werden. Einen bedeutenden Fortschritt brachte ein am Institut durchgeführter Kalibrations-Workshop mit Kollegen der MOS und RGS Kameras.

Als Folge des Durchgangs durch die Strahlungsgürtel

The X-ray observatory *ROSAT*, up to now the most demanding project in-house, found during the 8.5 years of its extremely successful mission (from June 1990 to December 1998) about 200.000 new X-ray sources. The results are available in form of sky maps and source catalogs, and serve also as basis for the observational programs of actual X-ray satellites. Numerous research institutes in Germany and abroad are still highly interested to analyse the original data of ROSAT observations. For this reason our institute continues to maintain the consultant and software service for that mission, even though with the submission of the ROSAT final report to the supporting institution, the BMFT represented by the DLR, the project now was officially closed.

ROSAT sources are also identified using the *SLOAN Digital Sky Survey (SDSS)*. A mirror site installed last year together with the MPI für Astrophysik and the MPI für Astronomie in Heidelberg, containing all the publicly available data, allows to study in detail especially active galaxies, stars, and galaxy clusters.

To a smaller extent also data of the X-ray satellites *ASCA* (Japan), *BeppoSAX* (Italy), and *RXTE* (USA) are being used and evaluated in the institute.

The European X-ray satellite *XMM-NEWTON*, installed in orbit in 1999, is presently the most important observatory platform for the X-ray group at MPE, that to a large extent played a decisive role in the design and the construction of its instrumentation. In addition to the analysis of datasets from the observations, our group is continuously occupied checking and calibrating the EPIC pn-CCD camera built inhouse.

The operation with reduced power for the instruments while the satellite is passing through the shadow of the earth, produced strong temperature problems. A change in the operational procedures has now successfully stabilized the temperatures in the pn-CCD camera during the last shadow period to $\pm 5^{\circ}$ C.

The "guaranteed observations" of the groups involved in the construction of the satellite payload are almost completely done and the analysis of the data from our observations is our major task. The first observation period (AO-1) that is public for every scientist continues up to March 2003. The demands on observation time for the following one year period AO-2 were a factor of 8 above what is available. In the proposal selection our institute received a total of 1.7×10^6 sec in observations corresponding to about 10% of the total available time.

About 5% of the time available for observations is presently used for calibration tasks. Thus especially the cross calibration with other instruments could be improved considerably. An important step forward could be achieved during a calibration workshop at MPE with colleagues of the MOS and RGS cameras.

As consequence of the transition through the radiation

der Erde degradieren alle CCD Detektoren. Dabei geht ein ständig wachsender Teil der durch ein Photon ausgelösten Ladung beim Transport zur Auslese-Elektronik verloren. Die genaue Kenntnis dieser "Charge Transfer Inefficieny" (CTI) ist für spektrale Untersuchungen von großer Bedeutung. Die CTI wird aus mehrmals pro Monat durchgeführten Eichmessungen an Bord bestimmt. Die beobachtete Zunahme der CTI (Abb. 3-9) der pn-CCD Kamera unseres Institutes stimmt mit der Vorhersage sehr gut überein.



Eine weitere Art der Degradation ist die Zunahme der Anzahl von Bildelementen (Pixel) mit erhöhtem Rauschen, welche auch durch Einschläge von Mikrometeoriten ausgelöst werden kann (siehe Jahresbericht 2001). Konstruktionsbedingt sind dafür, ebenso wie für die Zunahme der CTI, besonders die MOS-CCDs empfindlich, die in den englischen MOS und RGS Kameras eingesetzt sind. Durch einen Betrieb der CCDs bei tieferen Temperaturen kann man dieser Degradation entgegenwirken. Im November 2002 wurde deshalb die Temperatur der MOS Kamera um 20°C auf -120°C und die der RGS Kamera um 10°C auf -110°C abgesenkt. Die Anzahl der "hot pixels" ging daraufhin drastisch zurück und das spektrale Auflösungsvermögen ist wieder so gut wie am Anfang der Mission. Für unsere pn-CCD Kamera ist ein solcher Schritt derzeit noch nicht notwendig.

Das amerikanische Röntgenobservatorium *Chandra* startete 1999 und besitzt einen 1.2 m Spiegel, der besonders scharfe Bilder liefert. Eines der Instrumente an Bord ist ein Niederenergie-Gitterspektrograph, gemeinsam vom MPE und der Dutch Space Research Organisation (SRON) entwickelt und gebaut, um hochaufgelöste Spektren heller Röntgenobjekte zu gewinnen. Damit konnten bereits viele interessante Ergebnisse erzielt werden. Doch fordert eine immer genauere Eichung des Instrumentes noch erhebliche Anstrengungen, die wir zusammen mit SRON und dem Chandra Science Center durchführen.

Mit der Satellitenmission *ROSITA* (RÖntgen Survey with an Imaging Telescope Array) planen wir eine vollständige Himmelsdurchmusterung bei mittleren Röntgenenergien (0.5-10 keV) durchzuführen. Dazu soll ein Teleskop aus 7 einzelnen Wolterspiegeln und einem großen CCD Detektor auf der Internationalen Raumstation ISS installiert werden, auf der durch die Bewegung um die Erde ein fest montiertes Teleskop den Himmel quasi automatisch abtastet (Abb. 3-10).

belts of the earth, all CCD detectors suffer damages and a continuously growing part of the initially available electronic charge is lost during the transport to the read-out electronics. The exact knowledge of this socalled "charge transfer inefficiency" (CTI) has great importance for spectral investigations. The CTI is determined from calibration measurements performed onboard several times per month. The observed increase of the CTI of the pn-CCD camera of our institute is in good agreement with the predictions (Fig. 3-9).

Abb. 3-9: "Charge Transfer Inefficieny" (CTI) der EPIC-pn Kamera im "Full Frame Mode" bei 6 keV während der ersten drei Jahre nach dem Start. Sollte sich der beobachtete Verlauf weiter so fortsetzen, würde es 30 Jahre bis zu einer Verdoppelung der CTI gegenüber dem ursprünglichen Wert dauern.

Fig. 3-9: "Charge transfer inefficiency" (CTI) of the EPIC-pn camera in "full frame mode" at 6 keV during the first 3 years in orbit. With the observed trend it will take about 30 years to double the size of the initial CTI value.

Another type of degradation, which can also be produced by impacts of micro-meteorites, is the increase of the number of image pixels with enhanced noise (see Annual Report 2001). Especially sensitive for this type of damage, as well as for the increase of the CTI, are by its construction the MOS-CCDs as used by the English MOS and RGS cameras. By operating the CCDs at lower temperatures it is possible to counteract the degration. Therefore in November 2002 the temperature of the MOS CCD camera was lowered by 20°C to -120°C and the temperature of the RGS camera by 10°C to -110°C. The number of "hot pixels" is now drastically reduced and the spectral resolution is the same as at the beginning of the mission. For our pn-CCD camera such a step is not yet necessary.

The American X-ray observatory *Chandra* was launched in 1999 and carries a telescope mirror with a diameter of 1.2 m delivering images with especially high spatial resolution. One of the onboard instruments is a low energy grating spectrograph, jointly designed and constructed by MPE and the Dutch Space Research Organisation (SRON), to obtain highly resolved spectra of brighter X-ray objects. Many interesting results have already shown up. But the calibration of the instrument with increasing accuracy, which we are performing jointly with SRON and the Chandra Science Center, will continue to require more efforts.

With the satellite mission *ROSITA* (RÖntgen Survey with an Imaging Telescope Array) we plan to perform an all-sky survey at medium X-ray energies (0.5-10 keV). To meet that end we intend to install a telescope consisting of 7 individual mirrors (Wolter type) and a large CCD detector on the International Space Station (ISS). By the continuous movement around the earth a telescope fixed to the platform will quasi-automatically scan the sky (Fig. 3-10).



Abb. 3-10: Das ROSITA-Teleskop ist über einen Schwenkarm an die Adapterplatte zum Columbus-Modul auf der Internationalen Raumstation ISS angekoppelt. Die Schwenkbarkeit ist nötig, um auch die Polregionen des Himmels beobachten zu können. Sie wird aber auch benutzt, um das Teleskop in eine sichere Position zu bringen (rechte Abbildung), um z. B. Kontamination beim Andocken des Space Shuttle zu verhindern.

Fig. 3-10: The ROSITA telescope is fixed via a manipulator to an adapter plate of the Columbus module on the International Space Station ISS. The slewing capability is required for observing also the pole regions of the sky. It will also be used to place the instrument to a safe position, for example to avoid contamination when the Space Shuttle is docking to the ISS.

In Vorbereitung einer Phase A Studie in der Industrie hat die europäische Raumfahrtagentur ESA unseren Vorschlag vom März 2002 technisch begutachtet und in einigen Punkten modifiziert, da ROSITA die Vorgaben für Standard-Nutzlasten hinsichtlich Masse und Größe überschreitet. Stirling-Motoren sollen den Detektor auf -80°C kühlen.

Durch die unmittelbare Nähe zur Raumstation besteht während der Mission die Gefahr einer Kontamination von Spiegel und Detektoren. Zum Test wurden ebene goldbedampfte Spiegelproben sowohl am Boden (Russland) als auch auf der Raumstation typischen Umweltbedingungen ausgesetzt. Inzwischen bei uns untersuchte Spiegelproben scheinen in Russland unsachgemäß abgewischt worden zu sein.

Gleichzeitig wurden für ROSITA im MPE-Halbleiterlabor die ersten Prototyp-Detektoren, basierend auf der bei XMM-Newton erfolgreich eingesetzten pn-CCD Kamera des MPE, gefertigt und getestet. Neben der an die Auflösung der ROSITA-Teleskope angepassten Bildzellengröße von 75 µm x 75 µm wurde eine Trennung des belichteten Bildbereiches und des Signalspeicherbereiches realisiert. So wird eine "Verschmierung" des Bildes durch Röntgenphotonen, die während der Signalauslesezeit einfallen, bei diesen "frame store pn-CCDs" genannten Siliziumdetektoren weitgehend vermieden. Auch konnten die bisherigen Signalverluste beim Transfer der generierten Ladungsmenge vom Photoneinfallsort bis zur Auslese um eine Größenordnung verringert werden. Durch Verbesserungen beim Strahlungseintrittsfenster konnte weiterhin die Energieauflösung der niederenergetischen Röntgenstrahlung unterhalb von 1 keV wesentlich verbessert werden. Außerdem haben wir eine mechanische und thermische Modellierung des Kamerakopfes durchgeführt und ein elektronisches Konzept erarbeitet.

Die geplante ESA-Mission *XEUS* (X-ray Evolving Universe Spectroscopy) soll vor allem die hochenerge-

In preparation of a phase A study in industry the European Space Agency ESA technically judged our proposal of March 2002 and modified a few points, because ROSITA exceeds the requirements of standard payloads with respect to mass and size. The detector will be cooled by Stirling motors to $-80^{\circ}C$.

Due to the immediate neighbourhood to the space station during the mission the risk of contaminating both the mirrors and the detector systems exists. To check for possible effects, we exposed gold evaporated mirror probes to typical environmental conditions both on ground, in Russia, as well as on the space station. Unfortunately some of the mirror probes checked in our labs seem to have been wiped off improperly in Russia.

At the same time we built and tested in the solid state laboratory of MPE the first prototype detectors for ROSITA, that are based on the design of the in-house built pn-CCD camera successfully flown in the XMM-NEWTON observatory. In addition to the new pixel size of 75 µm x 75 µm, adapted to the spatial resolution of the ROSITA telescopes, a separation of the illuminated part of the detector and the part that stores intermediately the signals was realized. With this approach one avoids to a large degree in the images of the silicon detectors, called "frame store pn-CCDs", a mixing with those photons that arrive during the readout time. We succeeded also to reduce by an order of magnitude the signal losses during the transfer of the charges generated at the location of the incident photon to the read out location. Furthermore we achieved an appreciable improvement in the energy resolution of the low energy X-ray radiation below 1 keV by optimising the entrance window for the radiation. In addition a mechanical and thermal modelling of the camera head has been worked out, as well as a concept for the overall electronics.

The ESA mission *XEUS* (X-ray Evolving Universe Spectroscopy) is planned to observe in particular the

tischen Prozesse in den Objekten des frühen Universums (Rotverschiebung z=5-10) beobachten, wie sie insbesondere in den Quasaren stattfinden. Ziel ist es, die ersten Populationen dieser Objekte zu untersuchen, und so deren Entstehungsprozess und frühe Entwicklung im Zusammenhang mit der Strukturbildung im Universum zu studieren.



Um das wissenschaftliche Ziel zu erreichen, soll das XEUS Teleskop bei einer Brennweite von 50 m eine effektive Sammelfläche von mehr als 20 m² bei 2 keV und mehr als 1 m² bei 8 keV besitzen und eine Winkelauflösung von mindestens 5, besser 2 Bogensekunden haben. Der Spiegel soll zunächst einen Durchmesser von 4 Metern besitzen (XEUS-1) (Abb. 3-11) und später auf 10 Meter Durchmesser erweitert werden (XEUS-2). Die Röntgendetektoren müssen auf Grund der Sammelfläche extrem hohe Photonenflüsse bewältigen.



chst einen Durchmes S-1) (Abb. 3-11) und ser erweitert werden en müssen auf Grund hotonenflüsse bewäl müssen auf Grund
mirror, in a first realization step, is supposed to have a diameter of 4 meters (XEUS-1) (Fig. 3-11) and in a second step should be enlarged to a diameter of 10 meters (XEUS-2). Due to the large collecting area, the X-ray detectors have to manage extremely high photon fluxes.
Abb. 3-12: Zur Formgebung wird das ebene Float-Glas soweit erwärmt, dass es sich unter seinem Eigengewicht in eine präzise gefertigte Gussform schmiegt.

Fig. 3-12: To achieve the proper form the float glass is heated up to the point, when under its own weight it bends in a precisely manufactured casting mould.

Die Entwicklung der Röntgenspiegel für XEUS ist eine große technische Herausforderung, geht es doch darum, tausende sehr dünner Spielgelsegmente mit geringer Masse aber hoher Formgenauigkeit und extrem geringer Mikrorauhigkeit herzustellen. Als Alternative zu der bei XMM-Newton bewährten Replikationstechnik mit goldbeschichteten Nickelschalen verfolgt das MPE zusammen mit dem Osservatorio Astronomico di Brera (OAB) und der Firma Schott in Mainz den Ansatz, die Spiegel aus dünnem, sog. Float-Glas herzustellen (Abb. 3-12). Der Vorteil liegt in einer deutlich höheren Steifigkeit, einer geringeren Dichte und einer einfacheren Massenproduktion. Es zeigte sich, dass das Verfahren grundsätzlich funktioniert, jedoch ist eine weitere Optimierung und Verifizierung der Prozessparameter erforderlich.

The development of the X-ray mirrors for XEUS is a great technical challenge, because one faces the task to produce thousands of very thin mirror segments with very small mass but a high form accuracy and with extremely low micro roughness. As an alternative to the replication process with gold evaporated nickel shells, proven in the XMM-Newton design, the MPE in collaboration with the Osservatorio Astronomico di Brera (OAB) and the company Schott in Mainz is investigating the idea to manufacture the mirrors from thin so-called float-glass (Fig. 3-12). Advantages lie in the clearly higher stiffness, a smaller density, and a simpler production process. It was shown that the manufacturing process works in principle, but that further optimisation and verification of the process parameters are still required.

high energy processes in objects of the early universe at redshifts between 5 and 10, that are at work especially in the quasars. It is the aim to investigate the first populations of these objects and thereby to study the processes of their origin in connection with the formation of structures in the universe.

Abb. 3-11: Wegen der Brennweite von 50 m besteht das XEUS Teleskop aus 2 exakt zueinander ausgerichteten Satelliten, im Hintergrund rechts der Spiegel-Modul, im Vordergrund der Detektormodul.

Fig. 3-11: Due to the long focal length of 50 m the XEUS telescope will consist of 2 exactly aligned satellites. On the right in the background the mirror module is to be seen and in the foreground the detector module.

In order to achieve the scientific goal, the XEUS tele-

scope is planned to have a focal length of 50 m and an

effective collecting area of more than 20 m² at 2 kev

and more than 1 m² at 8 keV, with an angular resolu-

tion of at least 5 arcsec and preferably 2 arcsec. The

Im Rahmen einer von der ESA geförderten Detektorstudie zur Entwicklung eines wide field imagers für die XEUS-Mission werden großflächige aktive Pixelsensoren (APS) entwickelt. Sie erlauben im Gegensatz zu CCD-Detektoren das selektive Auslesen von Bildzellenbereichen. Des weiteren entfällt ein Transfer der Signalladung und der damit verbundene Signalhöhenverlust. Die dafür nötigen integrierten Ansteuerchips werden in Zusammenarbeit mit der Universität Bonn entwickelt. Nach der Durchführung zahlreicher Simulationsrechnungen wurde mit der Fertigung der ersten Bauelemente im MPI-Halbleiterlabor begonnen. Sie beinhaltet eine Vielfalt an Layout- und Technologievarianten zur Entwicklung eines optimalen Detektors.

Des weiteren sind Siliziumdriftkammern als Hochratendetektoren für die XEUS-Mission in Planung. Mit ihnen wird hochauflösende Spektroskopie von Röntgenphotonen bis zu einer Rate von 10^7 cts /s möglich sein. Die Entwicklung erfolgt in Zusammenarbeit mit einer Gruppe des CESR in Toulouse.

Mit *DUET* (Dark Universe Explorer Telescope) sollen mit einem Weitfeld-Röntgenteleskop einige 10.000 Galaxienhaufen vermessen werden, um kosmologische Modelle zu testen und die Natur der dunklen Materie aus der großräumigen Struktur der Galaxienhaufen zu erschließen. Die ESA/NASA Mission wurde, trotz hoher Priorität, nicht im aktuellen NASA Programm akzeptiert, soll aber bei der nächsten Auswahlrunde wieder vorgeschlagen werden. Die MPE Beteiligung sieht einen Ersatzdetektor, die Eichung, die Missionsplanung und begleitende optische Durchmusterungen am Südhimmel vor.

Mit dem CERN Experiment *CAST (CERN Axion Solar Telescope)* will man Axionen von einigen keV aus dem Inneren des Sonnenplasmas nachweisen oder gegebenenfalls deren Existenz im untersuchten Parameterraum ausschließen. Axionen wurden vor etwa 30 Jahren in der Elementarteilchenphysik vorgeschlagen um zu erklären, warum bei der starken Wechselwirkung, im Gegensatz zur schwachen Wechselwirkung, keine Verletzung der CP Symmetrie auftritt.

Die Erzeugung von Axionen im Innern der Sonne sollte u.a. durch den Primakoff-Effekt erfolgen: ein thermisches Photon kann im starken elektrischen Feld des Sonnenplasmas in ein Axion umgewandelt werden und wegen seiner geringen Wechselwirkung ungehindert die Sonne verlassen. Die so erzeugten Axionen haben ein durch das Sonnenplasma bestimmtes thermisches Spektrum im Energiebereich von 1 keV bis 10 keV. Der Nachweis der Teilchen erfolgt über den zeitlich umgekehrten Primakoff-Effekt.

CAST besteht aus einem supraleitenden Magneten (~9 Tesla), an dessen 4 Austrittsöffnungen 3 Proportionalzähler und ein vom MPE gebautes Röntgenteleskop montiert sind. Aufgrund des kräftigen Magneten und dem durch das Teleskop wesentlich verbesserten Signal zu Rausch Verhältnis kann CAST die Nachweiswahrscheinlichkeit für Axionen um mindestens einen Faktor 10 im Vergleich zu anderen Experimenten verbessern. In the framework of a detector study, supported by ESA, to develop a wide field imager for the XEUS mission, we are developing active pixel sensors (APS) with large areas. In contrast to CCD detectors they allow a selective readout of image regions. Furthermore there is no transfer of the signal charge and thus no losses of the signal strength. The integrated chips required to drive these detectors are developed in collaboration with the University of Bonn. After performing numerous simulations, we now have begun to produce the first component parts in our semiconductor laboratory. The production requires numerous variants of the layout and the technology to develop an optimal detector.

In addition we are planning silicon drift chambers as high input rate detectors for the XEUS mission. They will allow high resolution spectroscopy of X-ray photons up to a rate of 10^7 cts/s. The development is done in collaboration with a group of CERS in Toulouse.

DUET (Dark Universe Explorer Telescope) is a survey mission planned to discover with a wide-field X-ray telescope some 10,000 galaxy clusters in order to test cosmological models and deduce the nature of dark energy from the large-scale structure of galaxy clusters. Despite its high ranking the ESA/NASA mission was not accepted for the actual NASA programme, but it will be proposed again in the next selection round. The MPE participation will probably include the provision of a spare detector, the calibration, the mission planning and accompanying optical surveys in the southern sky.

With the CERN experiment *CAST (CERN Axion Solar Telescope)*, one tries to detect axions of some keV from the interior of the solar plasma or possibly exclude their existence within the investigated region of parameters. Axions have been proposed about 30 years ago in the physics of elementary particles to explain why, in the strong interaction in contrast to the weak interaction, no break of the CP symmetry shows up.

A production of axions in the sun should take place by the Primakoff-effect: a thermalized photon can be converted to an axion in the strong electric field of the solar plasma and leave the sun unhindered because of its very low cross section. The axions produced this way have a thermal spectrum determined by the solar plasma in the energy region between 1 and 10 keV. The detection of the particles is performed via the Primakoff-effect in reverse time order.

CAST consists of a superconducting magnet (about 9 Tesla), where 3 proportional counters and an X-ray telescope built by MPE are mounted in the 4 outlets. Due to the strong magnet and due to the considerably enhanced signal to noise ratio by the telescope, CAST is able to enhance the detection probability of axions by at least a factor of 10 in comparison to other experiments.

Das vom MPE beigestellte Röntgenteleskop (Abb. 3-13) besteht aus einem Prototypen des ABRIXAS Spiegelsystems (Zusammenarbeit mit der Firma Zeiss). Der Röntgendetektor ist ein Nachbau einer 1x3 cm² großen pn-CCD Kamera aus dem XMM Projekt. An der Testanlage PANTER erfolgte die Kalibration des Röntgenteleskops sowie die Eichung der verschiedenen Detektoren, wie MICROMEGAS (ein abbildender Detektor), TPC (ein Vieldrahtproportionalzähler), sowie einer Halbleiterdiode des Max-Planck-Instituts für Physik in München. Ein wichtiger Aspekt der Untersuchungen war es ein möglichst niedriges Eigenrauschen der Detektoren zu erreichen. Das Experiment wurde innerhalb eines Jahres aufgebaut und ist seit August 2002 in der Erprobungsphase. Der Routine Betrieb soll im Februar 2003 beginnen.



Im Rahmen des Deutschen Astrophysikalischen Virtuellen Observatoriums *GAVO* soll für die deutschen astronomischen Institute der Aufbau eines Hochleistungs-Datennetzes, der Zugang zu dezentralen Datenarchiven und die Bereitstellung neuer Werkzeuge zur Datensuche, Datenanalyse und Darstellung der Ergebnisse geschaffen werden. Die Aktivitäten werden in enger Zusammenarbeit mit internationalen Gruppen durchgeführt. Das BMBF hat für den Zeitraum 1.10.2002 bis 31.3.2005 eine Anschubfinanzierung für 3 Stellen (davon 2 am MPE) bewilligt, um die Durchführbarkeit des GAVO-Modells nachzuweisen.

Im Wissenschaftlichen Datenzentrum für die Röntgenastronomie findet zur Zeit hauptsächlich die Auswertung der Daten der XMM-Newton Mission und der Chandra Mission statt. Für diese und weitere Projekte wird Auswertesoftware entwickelt und gewartet. Außerdem unterhalten wir im Web Informationsseiten zu den verschiedenen Projekten der Gruppe. Hardwaremäßig wurden die etwa 80 Arbeitsplätze der Röntgengruppe jetzt mit lokalen PCs und Flachbildschirmen ausgestattet und haben über eine 100 Mbit Anbindung Zugang zu den DEC Multiprozessor Compute Servern. Ein LINUX Compute Server auf Basis von Multiprozessor PC Systemen und einem Raid basierten SAN (Storage Area Network) ist im Aufbau und soll künftig einen Teil der Rechenlast übernehmen, da die jetzige Hardware für manche Anwendungen bereits Limitationen erkennen lässt. Der Einsatz von Laptops an den Arbeitsplätzen steigt kontinuierlich an.

The X-ray telescope (Fig. 3-13) provided by MPE consists of a prototype of the former ABRIXAS mirror system (collaboration with the company Zeiss). The X-ray detector is a rebuild of a pn-CCD camera of 1x3 cm² area from the XMM project. In the test facility PANTER, the calibration of the X-ray telescope took place as well as the calibration of different detectors, e.g. of MICROMEGAS (an imaging detector), of TPC (a multi-wire proportional counter), and of a semiconductor diode of the Max-Planck-Institut für Physik in München. An important aspect of the investigations was to reduce as much as possible the detector noise. The experiment, set up within a timescale of one year, runs since August 2002 in a test phase. Routine operation is planned to start in February 2003.

Abb. 3-13: Das CAST-Teleskop im Reinraum der Testanlage.

Fig. 3-13: The CAST telescope in the clean room of the test facility.

With *GAVO* (German Astrophysical Virtual Observatory) it is intended to provide the German astrophysical community with a network grid providing high computing power, the access to decentralized data archives, and the building of new tools for data searching, data analysis, and the presentation of results. The activities are run in close cooperation with international groups. The BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) has granted for the period January 1, 2002 up to March 31, 2005 a total of 3 posts (2 at MPE), in order to check and prove the feasibility of the GAVO model.

The Science Data Centre of the X-ray astronomy group at MPE at present is mostly occupied with the analysis of data from the XMM-Newton and the Chandra missions. For these and other missions we develop and maintain evaluation software. In addition we maintain in the web information pages for the different projects of the group. On the hardware side all of the about 80 working places of the X-ray group have now been equipped with local PCs and flat screen monitors and have, via a 100 Mbit cable connection, direct access to our DEC multiprocessor compute servers. A LINUX compute server on the basis of multiprocessor PC systems and a raid based SAN (Storage Area Network) is being installed and will in the near future take over some of the computing load, because with the actual hardware we are already recognizing certain limitations in some of the applications. The usage of laptops in the offices is Für eine erfolgreiche Beteiligung der Röntgengruppe an nationalen und internationalen Röntgenprojekten sind leistungsfähige Testanlagen und Labors von ausschlaggebender Bedeutung. Mit der 130 m langen Testanlage PANTER besitzen wir eine im internationalen Vergleich bedeutende Einrichtung, um nicht nur einzelne Spiegelkomponenten und Detektoren auf ihre Eigenschaften im Röntgenlicht zu untersuchen, sondern auch die Kalibration vollständig integrierter Teleskope durchzuführen. Die kleinere Testanlage PUMA dient der detaillierten Vermessung und Eichung von einzelnen Komponenten. Im Halbleiterlabor (HLL) werden speziell auf die Bedürfnisse der Röntgenastronomie und der jeweiligen Projekte abgestimmte Detektoren entwickelt, gebaut und in den Testanlagen ROESTI und CALIFA untersucht.

Nach dem erfolgreichen Start der großen Röntgenobservatorien Chandra (NASA) und XMM-Newton (ESA), an deren Entwicklung und Bau die Testanlage PANTER mit umfangreichen Tests beteiligt war, gingen die Aktivitäten an der Testanlage in neue Richtungen. Zum einen wurden Messungen an den geplanten kleineren Röntgenexperimenten ROSITA, CAST und SWIFT durchgeführt. Zum anderen wird aber auch schon für die nächste Generation von Röntgenmissionen, wie XEUS oder Simbol-X, geplant. Für diese sind jetzt begonnene Modifizierungen der Testanlage unerlässlich, z.B. Röntgenquellen mit möglichst reinen Linien, die Ausdehnung des Energiebereichs zu höheren Energien hin und der Einsatz von absolut kalibrierten Detektoren. Schließlich beschäftigen wir uns auch mit neuen Technologien zur Weiterentwicklung von Spiegelsystemen.

Röntgenspiegel kann man, ähnlich der Vergütung von optischen Linsen, mit dünnen Schichten bedampfen, um dadurch die Reflektivität zu erhöhen bzw. zu höheren Energien hin auszudehnen. Eine Gruppe am Osservatorio Astronomico di Brera in Italien hat erste vielschichtige, sogenannte *Multilayer Spiegel* hergestellt. Es handelt sich dabei noch um ebene Proben, bedampft mit einer Kombination aus 500Å Nickel und 50Å Kohlenstoff bzw. mit einer Kombination aus 500Å Nickel und 100Å Platin. Untersuchungen in unserer Testanlage ergaben, dass bei der Nickel-Kohlenstoff-Kombination die Voraussagen der Theorie bestätigt werden konnten, bei der Nickel-Platin-Version hingegen eine Verschlechterung auftrat, möglicherweise durch Degradierung der Schichten.

Um die Sammelfläche eines Röntgenteleskops zu vergrößern kann man es höher "nesten", d.h. mehr Schalen ineinander schachteln. Am Osservatorio Astronomico di Brera versucht man die bei XMM erfolgreiche Methode der *Nickelabformung* in diese Richtung weiter zu treiben. Je dünner die Schalen, umso problematischer wird ihre Halterung ohne dabei Kräfte einzubringen und die Schalen zu verformen. Abb. 3-14 zeigt Aufnahmen von Tests in der PANTER Anlage.

Der spektrale Strahlungsfluss der Röntgentestanlage *PUMA* wurde im letzten Jahr aufwändig geeicht. Zusätzlich haben wir die Anlage durch den Einbau von Manipulatoren und einer Kühleinrichtung (Stirling-

continuously increasing.

For a successful participation of the X-ray group in national and international X-ray projects effective Test Facilities and laboratories are of prime importance. With the 130 m long test facility *PANTER* we own an installation that has high importance within the international community. Here we are not only investigating the properties of individual mirror components and detectors, but are also performing the calibration of completely integrated telescopes. The smaller test facility *PUMA* is occupied with special measurements and calibrations of individual components. In the semiconductor laboratory, the HLL (Halbleiterlabor), we develop and build detectors specifically tuned for the requirements of X-ray astronomy and the relevant projects, which are then investigated in the test facilities ROESTI and CALIFA.

After the successful launch of the large X-ray observatories Chandra (NASA) and XMM-Newton (ESA), where the test facility PANTER was involved in the development and construction with extended tests, the activities in the test facility took up new directions. On the one hand we performed measurements with the planned smaller X-ray experiments ROSITA, CAST, and SWIFT. On the other hand we are already planning for the next generation of X-ray missions, as there are XEUS and Simbol-X. For these missions, modifications of the test facility are absolutely necessary, for example X-ray test sources with especially pure spectral lines, the extension of the available energy range to higher X-ray energies, and the usage of absolutely calibrated detectors. Finally we are also involved in new technologies for further developments of the mirror systems.

It is possible to evaporate onto X-ray mirrors extremely thin layers, as one does in the coating of optical lenses, in order to enhance the reflectivity or extend it to higher energies. A group at the Osservatore Astronomica di Brera in Italy has manufactured first examples of *multi-layer mirrors*. At present these are still plane test pieces, coated with a combination of 500Å nickel und 50Å carbon or with a combination of 500Å nickel und 100Å platinum. Investigations in our test facility showed that with the nickel carbon combination one could verify the theoretical predictions, but with the nickel platinum version a deterioration was detected, that is possibly due to a degradation in the layers.

In order to enhance the collecting area of an X-ray telescope one can nest many telescope shells one inside the other. At the Osservatorio Astronomico di Brera they are investigating to improve the method of *forming nickel shells*, that was successfully used in the XMM mission. The thinner the shells, the more problematic it becomes to mount them without introducing forces that may distort the shells. Fig. 3-14 shows images of test runs in the PANTER facility.

The spectral radiation flux of the X-ray test facility *PUMA* was carefully calibrated last year. In addition we enhanced the capabilities of the facility by installing manipulators and adding a cooling device (Stirling

Motor) erweitert. Damit können in Zukunft Detektoren wartungsfrei gekühlt werden. Zur Bestimmung der Durchlässigkeit von Röntgenfiltern im sichtbaren Licht wurde eine neue Messeinrichtung entwickelt. motor). This way detectors can be cooled in the future without attendance. In order to determine the transmission of X-ray filters by optical light a new measurement set-up was developed and installed.



Abb. 3-14: Extrafokale Abbildung einer Punktquelle durch dünnwandige Ni-Spiegelschalen. Links mit 12 Halterungspunkten und rechts mit 24 Halterungspunkten, wodurch die Kreisform deutlich besser eingehalten wird. Da jeder Halterungspunkt aber Sammelfläche abschattet, gilt es einen Kompromiss zwischen deren Anzahl und einer noch akzeptablen Verformung zu erzielen.

Fig. 3-14: Images of a point source produced by a thin nickel mirror shell, taken outside of the focus. On the left with 12 points of mounting and on the right with 24 mounting points, where the circular shape is much better maintained. Because each of the mounting points shades some of the collecting area, one has to search a compromise between the number of mounting points and a still acceptable degree of distortion.

Neben den oben erwähnten Detektorentwicklungen für ROSITA und XEUS verfolgt das MPI-Halbleiterlabor (HLL) auch ein neues Detektorkonzept zur orts- und zeitaufgelösten Spektroskopie im Energiebereich von 0.5 keV bis 30 keV für das von der CEA in Saclay vorgeschlagene SIMBOL-X Projekt, einer Vorläufermission von XEUS. Um eine Bildzellengröße von etwa 750 µm x 750 µm realisieren zu können, werden die Vorzüge der Siliziumdriftkammer mit der des aktiven Pixelsensors für XEUS vereinigt. Die von einem Röntgenphoton erzeugte Signalladungsmenge driftet zum Zentrum der Bildzelle, wo die Signalladung unter einem DEPFET-Transistor gespeichert wird, bis sie ausgelesen und schließlich gelöscht wird. Die sogenannten "Midi-Pixel"-Detektoren können mit hoher Energieauflösung und Nachweiswahrscheinlichkeit den Energiebereich bis etwa 20 keV abdecken, während dahinter angeordnete CdZnTe-Detektoren Photonen bis etwa 70 keV erfassen.

In der *ROESTI*-Testanlage im MPI-Halbleiterlabor wurden, neben den oben erwähnten Untersuchungen von Prototyp-CCDs für die ROSITA Mission, auch neue Elektroniksysteme zur Datenerfassung getestet. Daneben finden Messungen zur Bestimmung und Minimierung der Hintergrundstrahlung für den Einsatz eines CCD-Detektors beim CAST-Projekt statt.

In der *CALIFA*-Testanlage wird insbesondere die Strahlenhärte von Siliziumdriftkammern untersucht. Zur Bestimmung der Energieauflösung wird eine am Institut entwickelte Mehrfachtarget-Röhre eingesetzt.

Die Projekte der Röntgenastronomie wurden wie folgt gefördert: DLR unterstützte die Projekte ROSAT (50.QR.9002.0), XMM (50.OX.9601.7, 50OX.9302.5, 50OX.9701.5), ROSITA (50OZ0101) und das Halblei-

Beside the above mentioned detector developments for the ROSAT and XEUS projects, the MPI semiconductor laboratory (HLL) is investigating a new detector concept for spatially and timely resolved spectroscopy in the energy region from 0.5 to 30 keV for the SIM-BOL-X project, a prototype mission for XEUS, proposed by CEA at Saclay. To be able to realize image pixels with a size of about 750 µm x 750 µm, the advantages of silicon drift chambers will be combined with those of the active pixel detectors for the XEUS project. The signal charge produced by an X-ray photon drifts towards the centre of the image pixel, where the charge is stored below a DEPFET transistor until it is read out and finally deleted. The so-called "Midi Pixel"-detectors can cover with high energy resolution and detection efficiency the energy region up to about 20 keV, while CdZnTe-detectors arranged at the rear detect photons up to some 70 keV.

In the *ROESTI* test facility within the MPI semiconductor laboratory we tested, besides the above mentioned prototype CCDs for the ROSITA mission, also new electronic systems for data read-out. In addition measurements are performed to determine and minimize the background radiation for the operation of a CCD detector in the CAST project.

In the test facility *CALIFA* especially the radiation insensitivity of silicon drift chambers is investigated. To determine the energy resolution of the devices we use a multiple-target tube, developed in-house.

The projects of the X-ray astronomy group were supported as follows: DLR is funding the projects ROSAT (50.QR.9002.0), XMM (50.OX.9601.7, 50OX.9302.5, 50OX.9701.5), ROSITA (50OZ0101)
terlabor (50RT0202). ESA/ESTEC förderte XEUS (15851/01/NL/HB) und XMM (10469/93/NL/RE und 8873/90). Desy unterstützte CAST (05CC2EEA/9) und GAVO (05AE2EE1/4). Wir erhielten auch Mittel von der Verbundforschung (50.OR.0207), von der Dr. Johannes Heidenhain Stiftung und aus der EU-Förderung (FMGE-CT98-0106).

and the semiconductor laboratory (50RT0202). ESA/ ESTEC supports XEUS (15851/01/NL/HB) and XMM (10469/93/NL/RE and 8873/90). Desy supports CAST (05CC2EEA/9) and GAVO (05AE2EE1/4). We also received funds from the Verbundforschung (50.OR. 0207), from the Dr. Johannes Heidenhain Stiftung and from EU-projects (FMGE-CT98-0106).

3.4 GAMMA-ASTRONOMIE / GAMMA-RAY ASTRONOMY

Der Höhepunkt des Jahres für die Gamma-Gruppe des Instituts war der Start der Gamma-Mission INTEG-RAL (International Gamma-Ray Astrophysices Laboratory). Das MPE ist an diesem ESA-Projekt maßgeblich beteiligt: einerseits durch Entwicklung und Bau der Antikoinzidenz des Spektrometers SPI, andererseits durch Entwicklung von Software für die Datenauswertung.



The highlight of the year for the institute's gammagroup was the launch of the gamma-mission INTE-GRAL (International Gamma-Ray Astrophysics Laboratory). MPE is significantly involved in the project: both through development of the anticoincidence of the spectrometer SPI and through development of software for the data analysis.



Abb. 3-15: *INTEGRAL, montiert auf der Spitze der PROTON-Rakete.*

Fig. 3-15: INTEGRAL in flight configuration on top of the PROTON-rocket.

Der Start von INTEGRAL fand am 17. Oktober 2002 von Baikonur aus statt (Abb. 3-15). Eine russische PROTON-Rakete brachte den Satelliten in die vorgesehene exzentrische 72-stündige Umlaufbahn mit einem Perigäum von 9000 km und einem Apogäum von 153000 km. In den ersten zwei Monaten der Mission wurden die Instrumente optimal eingestellt und mit Hilfe der Himmelsquelle Cyg X-1 geeicht. Die Eigenschaften des Spektrometers SPI entsprechen im wesentlichen den Erwartungen: Die Energieauflösung im Bereich um 1 MeV beträgt 2.5 keV FWHM, das Energiespektrum von Cyg X-1 ließ sich während einer 24stündigen Beobachtung von etwa 25 bis 500 keV reproduzieren und der Ort der Quelle ließ sich bis auf eine Ungenauigkeit von 0.4 Bogenminuten bestimmen (Abb. 3-16). Während die Zählrate des Antikoinzidenz-Subsystems genau bei dem vorher errechneten Wert liegt (80000 Ereignisse pro sec.), ist die Zählrate der Germanium-Kamera etwa einen Faktor 2 über den Erwartungen (47 Ereignisse pro sec.). Daher wird bei den im Januar 2003 beginnenden astronomischen Beobachtungen nicht genau die angestrebte Empfindlichkeit des Teleskops erreicht werden können (40% Sensitivitäts-Verlust). Im Prinzip lässt sich der Verlust durch längere Beobachtungszeiten kompensieren.

Die Fähigkeit des Spektrometers SPI, Linienprofile mit bisher unerreichter Schärfe und Genauigkeit zu

Abb. 3-16: *Abbild der Eichquelle Cyg X-1, gemessen mit dem Spektrometer SPI.*

Fig. 3-16: Image of the calibration source Cyg X-1, obtained by the spectrometer SPI.

The launch of INTEGRAL took place on 17 October 2002 from Baikonur (Fig. 3-15). A Russian proton rocket brought the satellite into the required eccentric 72-hour orbit with a perigee of 9000 km and an apogee of 153000 km. In the first two months of the mission the instruments were optimally adjusted and calibrated on the celestial source Cyg X-1. The properties of the spectrometer SPI correspond generally with expectation: the energy resolution in the region around 1 MeV is 2.5 keV FWHM, and the energy spectrum of Cyg X-1 from 25 to 500 keV could be reproduced using a 24-hour observation, and the position of the source could be determined to an accuracy of 0.4 arcmin (Fig. 3-16). While the count-rate of the anticoincidence subsystem is exactly the expected value (80000 events per second), the count-rate of the Germanium camera is about a factor 2 above expectation (47 events per second). Hence for the astronomical observations beginning in January 2003 the hoped-for sensitivity will not be fully met (40% sensitivity loss). In principle the loss can be compensated by longer observation times.

The potential of the spectrometer *SPI* to measure lineprofiles with hitherto unobtainable sharpness and acmessen, wurde bereits 5 Tage nach dem Anschalten der Germanium-Kamera demonstriert, als am 10.11.02 durch einen solaren Protonen-Flare im Satelliten verschiedene Gammalinien erzeugt wurden, deren unterschiedlichen Profile von SPI gemessen wurden (Abb. 3-17).



Auch die Fähigkeit, mit Hilfe der Antikoinzidenz des Spektrometers Gamma-Bursts zu registrieren, wurde gleich am Anfang der Mission mehrfach demonstriert. Aus der gemessenen absoluten Zeit des Burst-Anfangs lässt sich im Rahmen des interplanetaren Networks (IPN) die Position der Burst-Quelle durch Triangulation errechnen (zum IPN gehören derzeit Ulysses, Konus, Mars Observer und INTEGRAL). Ab 2003 werden die Ergebnisse der INTEGRAL Mission die wissenschaftlichen Arbeiten der Gamma-Gruppe bestimmen. Die Arbeiten an COMPTEL-Daten werden damit wohl auslaufen.

Die übrigen Aktivitäten in der Gamma-Gruppe galten im Berichtsjahr der Vorbereitung zukünftiger Missionen. Eine dieser Missionen ist GLAST, eine Mission der NASA, die die erfolgreichen Messungen von EGRET und BATSE auf dem Compton Gamma-Ray Observatory fortführen soll. GLAST besteht aus zwei Instrumenten, dem Large-Area Telescope (LAT) und dem GLAST-Burstmonitor (GBM). Das LAT soll Gammastrahlen bei hohen Energien messen. Ein Schwerpunkt vom LAT wird die Messung des hochenergetischen Nachleuchtens sein, wie es von EGRET bei einigen Gammabursts beobachtet wurde. Die Aufgabe des GBM ist es, diese Messungen zu niedrigen Energien hin zu erweitern. Während drei Wissenschaftler des Instituts als "Associate Investigators" am LAT beteiligt sind und Software für die Kalibrierung und die Auswertung der Daten entwickeln sowie Simulationen über den diffusen galaktischen Hintergrund durchführen werden, besteht beim GBM eine direkte Hardware-Beteiligung. So wird das MPE die Detektoren sowie die Nieder- und Hochspannungsversorgung des GBM bauen und liefern.

Beide GLAST-Instrumente zusammen werden Energiespektren von Gammabursts über ~7 Energiedekaden (von ~10 keV bis ~500 GeV) messen. Damit wird man zum ersten Mal die hochenergetische Emission in Bezug zur niederenergetischen setzen können und die Energie E_p , bei der die maximale Emission eines Bursts stattfindet, genauer als bisher bestimmen können. Die Arbeiten am GBM konnten mit der Phase B fortgeführt werden. Der Entwurf der Detektoren und der Elektronik wurde verfeinert und im April beim curacy was demonstrated only 5 days after switch-on of the Germanium camera, when, on 10.11.02, several gamma-ray lines were produced within the satellite structure by a solar proton event, whose different profiles were measured by SPI (Fig. 3-17).

Abb. 3-17: Von SPI gemessenes Gammalinien-Spektrum während des solaren Protonen-Flares vom 10.11.02. Zu erkennen sind insbesondere verbreiterte Linien bei 2.21 MeV (^{27}AL), 3.004 MeV (^{27}AL) und 4.43 MeV (^{12}C und ^{16}O) und eine scharfe Linie bei 6.13 MeV (^{16}O).

Fig. 3-17: Gamma-ray line spectrum measured by SPI during the solar proton event of 10.11.02. Especially recognizable are the broadened lines at 2.21 MeV (^{27}Al), 3.004 MeV (^{27}Al) and 4.43 MeV (^{12}C and ^{16}O), and a narrow line at 6.13 MeV (^{16}O).

Also the potential to register gamma-ray-bursts with the anticoincidence of the spectrometer was demonstrated several times right at the start of the mission. From the measured absolute time of the start of the burst, the position of the burst source could be computed by triangulation using the interplanetary network (currently consisting of Ulysses, Konus, Mars Observer and INTEGRAL). From 2003 the INTE-GRAL results will determine the scientific work of the gamma group. The work on COMPTEL data will therefore run down.

The other activities of the gamma-group in the year of this report were devoted to the preparation of future missions. One of these missions is GLAST, a NASA mission, which will continue the successful measurements by EGRET and BATSE on the Compton Gamma-Ray Observatory. GLAST consists of two instruments, the Large Area Telescope (LAT) and the GLAST-Burst Monitor (GBM). The LAT will measure gamma-rays at high energies. A main objective of LAT will be the measurement of the high-energy afterglow which was observed for a few bursts by EGRET. The objective of the GBM is to extend these measurements to low energies. While three scientists from the institute are involved in LAT as "Associate Investigators", and are developing software for the calibration and analysis of the data as well as simulation of the diffuse Galactic emission, for the GBM we have a direct hardware involvement. Thus MPE will build and deliver the detectors and the low- and highvoltage power supplies.

The two GLAST instruments will measure the energyspectra of gamma-ray bursts over ~7 decades of energy (from ~10 keV to ~500 GeV). Hence we will for the first time be able to determine the relation of highto low-energy emission, and determine better than previously the energy E_p at which the maximum emission of a burst occurs. The work on the GBM was continued with Phase B. The design of the detectors and electronics was refined and presented to an expert panel of NASA at the PDR in April. The design of the PDR einem Expertengremium der NASA vorgestellt. Der Design des GBM wurde akzeptiert, so dass die Entwicklungsarbeiten weitergeführt werden konnten.

Auch der geplante Satellit *SWIFT*, eine Kollaboration der USA, Großbritanniens, Italiens und Deutschlands, dient der Erforschung von Gamma-Ray Bursts. Der Start von SWIFT soll 2003 erfolgen. Er enthält 3 Instrumente: (i) einen GRB Detektor (BAT; 10-150 keV), (ii) ein Röntgenteleskop (JET-X Flugersatz-Instrument; 0.5-10 keV), und (iii) ein UV/optisches Teleskop (UVOT; 170-650 nm).

Der BAT Detektor hat eine um einen Faktor ~5 höhere Empfindlichkeit als BATSE auf CGRO. Trotz seines kleineren Blickfeldes werden 150 bis 360 GRB Beobachtungen pro Jahr erwartet. Sobald der BAT Detektor einen GRB registriert hat, wird dessen Position am Himmel innerhalb von ca. 5 Sekunden bestimmt, und der ganze Satellit autonom so geschwenkt, dass das Röntgenteleskop und UVOT auf die GRB-Position ausgerichtet sind. Es ist das Ziel, mit diesen Teleskopen innerhalb von 30-50 Sekunden nach einem GRB mit den Nachfolgebeobachtungen zu beginnen. Das Röntgenteleskop wurde Mitte September bis Mitte Oktober 2002 einem end-to-end Test in der MPE-Panter Anlage unterzogen.

GROND (Gamma-Ray burst Optical and Near-infrared Detector) ist eine optisch/infrarote 7-Kanal Kamera zur schnellen Beobachtung von Gamma-Ray Bursts, die ab Ende 2003 mit dem GRB-Satelliten SWIFT gemessen werden. GROND soll permanent am MPG/ ESO 2.2m Teleskop auf La Silla (Chile) montiert werden, und innerhalb von ca. 10 Minuten nach einem GRB mit der Beobachtung beginnen. Das Gesichtsfeld beträgt ca. 9"x9". Durch simultane Photometrie in 4 optischen Bändern (Sloan g, r, i, z) und 3 infraroten Bändern (J, H, K) soll eine Serie von Breitbandspektren des GRB Nachleuchtens zwischen 10 min bis ca. 10 Stunden nach dem GRB aufgenommen werden. Damit lassen sich zwei wissenschaftliche Haupt-Themen untersuchen: (1) Eine schnelle Bestimmung der Rotverschiebung anhand der Ly-Kante. Das besondere Interesse liegt dabei in dem Auffinden von GRBs bei hohen Rotverschiebungen (z>5). Wenn dies schnell genug erfolgt, können noch in derselben Nacht spektroskopische Nachbeobachtungen an Teleskopen der 8m Klasse durchgeführt werden, und somit die Host-Galaxien in Absorption studiert werden. Damit ließen sich eine Reihe von kosmologisch interessanten Fragestellungen bearbeiten, wie z.B. die Entwicklung der Elementhäufigkeit und der Sternentstehungsrate, oder der Re-Ionisation des Universums. (2) Das Verfolgen der Änderung der Breitbandspektren entsprechend der Vorhersagen des Feuerball Szenarios, d.h. die Beobachtung des Durchganges des cooling breaks vom kurz- zum langwelligen Spektralbereich. Damit lassen sich die Energie des GRB sowie die Dichte der Umgebung bestimmen.

Im Laufe des vergangenen Jahres wurde das optische Design der Kamera entwickelt, und erste experimentelle Vorarbeiten begonnen. GROND wird in enger Zusammenarbeit mit der Thüringer Landessternwarte Tautenburg und der Sternwarte der Universität Bonn GBM was accepted, so that the development work proceeds further.

The planned *SWIFT* satellite, a collaboration between USA, UK, Italy and Germany, should also help to investigate the largely not understood gamma-ray bursts. The launch of SWIFT is planned for the end of 2003. It consists of 3 instruments: (i) a GRB detector (BAT; 10-150 keV), (ii) a X-ray telescope (JET-X Flight space instrument; 0.5-10 keV) and (iii) an UV/optical telescope (UVOT; 170-650 nm).

The BAT detector has a ~5 times larger sensitivity than BATSE on CGRO. Despite its small field-ofview, between 150 and 360 GRB detections per year are expected. As soon as the BAT detector registers a GRB, its position will be determined within 5 seconds and the whole satellite autonomously re-oriented, so that the X-ray telescope and UVOT are pointed at the GRB position. The goal is to begin the follow-up observation with these telescopes 30-50 seconds after the GRB. The X-ray telescope was subjected to an end-toend test in the MPE PANTER facility from mid-September to mid-October.

GROND (Gamma-Ray burst Optical and Near-infrared Detector) is an optical-infrared 7-channel camera for the fast observation of gamma-ray bursts which will be measured by the dedicated GRB satellite SWIFT from the end of 2003. GROND will be permanently mounted on the MPG/ESO 2.2 m telescope on La Silla (Chile), and begin the observation 10 minutes after a GRB. The field-of-view is 9"x9". By means of simultaneous photometry in 4 optical bands (Sloan g, r, i, z) and 3 infrared bands (J, H, K) a wide-band spectrum of the GRB afterglow from 10 minutes to about 10 hours after the GRB will be obtained. This will allow two scientific themes to be investigated: (1) A fast determination of the red shift on the basis of the Lyman edge. The special interest lies in the discovery of GRBs with high redshift (z>5). If this can be done fast enough, spectroscopic follow-up observation can be performed in the same night on an 8m class telescope, and hence the host galaxy studied in absorption. This will allow a range of cosmologically interesting questions to be addressed, for example the development of element abundances and the star-formation rate, or the re-ionisation of the Universe. (2) To follow the development of the wide-band spectrum corresponding to the predictions of the fireball scenario, i. e. the observation of the progression of the cooling break from the short to the long wavelength spectral region. This allows to determine the energy of the GRB as well as the density of the environment.

The optical design of the camera was developed over the last year and the first experimental preparatory work was begun. GROND will be developed and built in close collaboration with the Thüringer Landessternwarte Tautenburg and the Observatory of Bonn

entwickelt und gebaut.

OPTIMA, unser optisches Hochgeschwindigkeits Photometer, wurde im Jahr 2002 in drei Messkampagnen eingesetzt. Das Gerät ist jetzt mit einem Polarimeter und einem 4-Farben Spektrographen ausgerüstet. Wir bereiten einen Umbau von OPTIMA vor, um zeitlich hochaufgelöste Beobachtungen des frühen optischen Nachleuchtens von Gammabursts, die von SWIFT getriggert werden, zu ermöglichen.

Neben den Aktivitäten für zukünftige Gammaburst-Detektoren werden seit Jahren Anstrengungen unternommen, ein Nachfolgeprojekt namens MEGA für den unteren Gammaenergiebereich (0.5-30 MeV, COMP-TEL, INTEGRAL) bis zur Messgrenze von GLAST (ca. 50 MeV) zu realisieren. Der Prototyp des MEGA Teleskops wird jetzt für den Einsatz an einem Beschleuniger Eichstrahl und für einen Ballonflug im Juni/Juli 2003 vorbereitet. Eine neue robuste mechanische Struktur mit einer mobilen Temperaturkammer, die einen Betrieb bei konstanten Temperaturen (ca. 20°C) erlaubt, wurden installiert. Der primäre Spurdetektor (doppelseitige Si-Streifenzähler) von MEGA ist zu ca. 80% funktionstüchtig. Die 20 Module des CsI Kalorimeters, die Elektronik und Datenerfassung sind vollständig in Betrieb. Die Eichung der ca. 12000 einzelnen Detektorkanäle wurde mit radioaktiven Quellen durchgeführt und individuell ausgewertet. Entwicklung und Inbetriebnahme einer digitalen, programmierbaren Triggerelektronik war im Berichtsjahr eine zentrale Aufgabe. Die Entwicklung von MEGA wird mit umfangreichen Simulationsrechnungen begleitet. Eichmessungen am Gammastrahl der High-Intensity Gamma-Ray Source an der Duke University, NC in Kollaboration mit der University of New Hampshire und dem GSFC, NASA sind für die ersten Monate 2003 geplant. Der Eichstrahl hat eine. einstellbare Energie von ~1 bis 55 MeV und ist vollständig polarisiert. Es wird deshalb erstmals möglich sein, die polarimetrischen Eigenschaften von MEGA experimentell zu bestimmen. Um die Eigenschaften von MEGA in einer Strahlungsumgebung, die für eine niedrige Erdumlaufbahn repräsentativ ist, zu testen, bereiten wir einen Ballonflug für den MEGA Prototypen vor. Dazu wird der Gammadetektor noch mit einem Antikoinzidenzdetektor aus Plastikszintillator umgeben, um die geladene kosmische Teilchenstrahlung zurückzuweisen. Der Ballonflug ist von der sizilianischen Ballonbasis Milo (Trapani) nach Arenosillo (Andalusien) im Juni/Juli 2003 geplant und wird vom "MEGABall Konsortium" durchgeführt.

Das GRO-Projekt COMPTEL wird durch Mittel der DARA/DLR gefördert unter 50.QV.90968. INTEG-RAL wird von der DLR unter 50.QV.9003 gefördert. Wir wurden aus Mitteln der Verbundforschung unterstützt (50.OR.9701.4).

University.

Our optical fast timing photometer *OPTIMA* was used in three observational campaigns in 2002. The instrument is now equipped with a polarimeter and a 4-color spectrograph. We plan to rebuild OPTIMA to enable high time resolution observations of gamma ray bursts in the early optical afterglow phase, which are expected from the SWIFT satellite.

Parallel to the activities for future detectors of gamma ray bursts, the development of a new telescope for the low energy gamma-ray range, named MEGA, has been pursued for several years. The MEGA project is a successor for COMPTEL and INTEGRAL (0.5-30 MeV) and will cover energies up to the lower limit of GLAST (~ 50 MeV). A MEGA prototype telescope is now being readied for a beam test calibration and preparations for a balloon flight of the telescope in June/July 2003 are proceeding. The detector units are now installed in a new, robust mechanical support structure and are enclosed in a mobile air-conditioned chamber to control and stabilize the thermal operating conditions to a level of about 20°C. The primary detector of MEGA, a tracking chamber with a stack of double-sided Si strip detectors, is functional in about 80% of all channels. For the secondary detector, a finely segmented CsI calorimeter, the read-out electronics and data acquisition systems are fully functional. The calibration and evaluation of ~12000 individual detector channels was performed with radioactive sources. The development and implementation of a digital and programmable trigger unit was one of the central tasks in 2002. The MEGA hardware development is complemented with extensive simulation calculations. Beam calibrations at the High-Intensity Gamma-Ray Source of Duke University, NC in collaboration with the University of New Hampshire and GSFC, NASA are planned for the first months of 2003. The calibration beam features an adjustable energy from ~1 to 55 MeV and is completely polarized. It will thus be possible to verify experimentally the polarimetric properties of MEGA. In order to investigate the properties of MEGA in a natural cosmic-ray background, representative of a near earth orbit, we are preparing a balloon flight of the prototype. The gamma-ray detector will then be encased in an anticoincidence shield made of plastic scintillator to reject charged cosmic ray particles. The balloon flight is foreseen from the Sicilian base in Milo (Trapani, Italy) to Arenosillo (Andalusia, Spain) in June/July 2003 and will be performed by the "MEGABall consortium".

The GRO project COMPTEL is supported by DARA/DLR under 50.QV.90968. INTEGRAL is supported by DLR under 50.OG.9503.0 and the GLAST Burst Monitor under 50.QV.0003. We have received support from the Verbundforschung (50.OR.9701.4).

3.5 KOMPLEXE PLASMEN / COMPLEX PLASMAS

3.5.1 CIPS / CIPS

Zum 1. Januar 2000 wurde das "*Centre for Interdisciplinary Plasma Science" (CIPS)* als Forschungseinrichtung des Max Planck Instituts für exraterrestrische Physik und des Max Planck Instituts für Plasmaphysik gegründet. Bestimmte Bereiche der plasmaphysikalischen Forschung (Theorie und Komplexe Plasmen) und der Analyse (Statistische und Komplexe Plasmen) beider Institute werden hier zusammengefasst. Das CIPS wird seitens der MPG mit ca. 4 Mio. \in für die Aufbauphase der ersten 5 Jahre unterstützt. Das CIPS wird von Prof. Morfill (MPE) und Prof. Dose (IPP) gemeinsam geleitet.

In 2002 fand die erste Evaluierung des CIPS durch den Fachbeirat statt. Aus diesem Anlass wurde ein Zwei-Jahresbericht erstellt, in dem sowohl die MPE als auch die IPP CIPS-Aktivitäten zusammengefasst wurden. Dieser Bericht ergänzt die Zusammenfassung hier und ist vom MPE erhältlich. On January 1st 2000 the "Centre for Interdisciplinary Plasma Science" (CIPS) was founded as a joint research activity of the Max Planck Institut für extraterrestrische Physik and the Max Planck Institut für Plasmaphysik. In this centre, certain areas of plasma physics research (theory and complex plasmas) and analysis (statistical and complex techniques) are brought together for mutual benefit and synergy. CIPS is financed by the Max-Planck-Gesellschaft during the start-up phase of 5 years by an amount of approximately 4 Mio. \in . CIPS is directed jointly by Prof. Morfill (MPE) and Prof. Dose (IPP).

In 2002 CIPS was evaluated by the "Fachbeirat" for the first time. In order to facilitate the work of this visiting committee, a 2-year report of MPE/IPP-CIPSactivities was compiled. This report complements the presentation given here and is available through the MPE.

3.5.2 Weltraum- und Laboraktivitäten / Space and Laboratory Activities



Abb.3-18: Kosmonaut Yuri Gidzenko, Kommandant und Pilot der 3. Taximission zur ISS, an Bord der Raumstation bei der Bedienung unseres Telescienc-Computers.

Fig. 3.-18: Cosmonaut Yuri Gidzenko, commander and pilot of the 3^{rd} Taxi Mission to the ISS, on board of the space station at the operation on our Telescience computer..

PKE-Nefedov ist eine Experimentanlage, die zur Zeit in deutsch-russischer Kooperation auf der Internationalen Raumstation ISS betrieben wird. Sie wurde von den Kosmonauten und Astronauten der ersten Langzeitbesatzung als erstes physikalisches Experiment an Bord aufgebaut und in Betrieb genommen. Seit Beginn der Experimente unter Schwerelosigkeit liefert die Apparatur interessante neue Ergebnisse und detaillierte Einblicke in die Welt der sogenannten komplexen Plasmen (siehe dazu auch Kapitel 2.5). Während des Jahres 2002 wurden zwei weitere Missionen mit PKE-Nefedov auf der ISS durchgeführt, im Mai mit



Abb. 3-19: Kosmonaut Tretchov, Bord-Ingenieur der 5. permanenten Crew, mit unserer in der Transferkammer montierten Experimenteinheit.

Fig. 3-19: Cosmonaut Tretchov, board engineer of the 5^{th} permanent crew, with our experimental unit mounted in the transfer chamber.

PKE-Nefedov is an experiment which is currently operated in a German-Russian cooperation on board of the International Space Station ISS. It was built up and activated as the first experiment in physics by the cosmonauts and astronauts of the first long-term crew. From the beginning of the experiments under zero gravity the device produced interesting new results and detailed insights into the world of the so-called complex plasmas (see also chapter 2.5). In 2002 two further missions with PKE-Nefedov were conducted on the ISS, in May with the taxi mission 3 (cosmonaut Y. Gidzenko, Fig. 3-18) and in August with the expeder Taximission 3 (Kosmonaut Y. Gidzenko, Abb. 3-18) und im August mit Expedition 5 Crew (Kosmonaut Tretchov, Abb. 3-19). Diese beiden Missionen waren dedizierten Experimenten gewidmet, dem gezielten Kristallwachstum und der Untersuchung der Entladung komplexer Plasmen nach dem Ausschalten der Plasmaquelle.

Im Oktober wurde am Institut das 2. PKE-Nefedov Symposium ausgerichtet. Wissenschaftler, die Kosmonauten, die beteiligten Firmen und Agenturen haben zum Gelingen dieses Symposiums durch ihre Berichte beigetragen.

PKE-Nefedov ist das erste Experiment seiner Art im Orbit. *PK3-Plus* wird das Nachfolgemodell sein, mit einer verbesserten Technik, die weitere Experimente unter Schwerelosigkeit ermöglichen wird und damit ein besseres Verständnis der Physik komplexer Plasmen verspricht.

Im Oktober 2002 veranstaltete das DLR eine Parabelflugkampagne für insgesamt ca. zehn wissenschaftliche Experimente aus den Bereichen der Life Science, Medizin und Physik. Die Kampagne fand in Bordeaux statt, wo ein für Parabelflüge ausgerüsteter Airbus A300 für wissenschaftliche Experimente zur Verfügung steht (Abb. 3-20). Es fanden vier Flüge zu je 31 Parabeln statt. Die Organisation lag in den bewährten Händen von Frau Dr. Friedrich (DLR).



Eines der Experimente war unsere PK3-Plus Nutzlast. Die neue Apparatur unterscheidet sich von PKE-Nefedov durch eine homogenere Gasentladung, sechs Mikropartikeldispensoren (vorher zwei), ein modifiziertes Gasfüllsystem und eine verbesserte Messelektronik.

Primäres Messziel war die Charakterisierung der neuen Plasmakammer unter Schwerelosigkeit (Abb. 3-21). Besonders interessant in diesem Kontext ist die Verwendung von besonders großen Partikeln, die im Labor wegen ihres Gewichts nicht im Plasma gefangen werden können. Aber auch besonders feine Körnungen im 1µm Bereich liefern wichtige Informationen über etwaige Konvektionsbewegungen des Neutralgases bei eingeschalteter Gasentladung. Wichtig im Hinblick auf den Einsatz auf der Raumstation sind auch Alternativen bei der Auswahl des zu verwendenden Edelgases (Neon, Argon, Krypton, Xenon). Obwohl rein technische Fragen den Aufwand einer Parabelflugdition 5 crew (cosmonaut Tretchov, Fig. 3-19). Both missions were dedicated to specifc experiments, the crystal growth and the investigation of the discharging of complex plasmas after switching off the plasma source.

In October the 2^{nd} PKE-Nefedov symposium took place at the Institute. Scientists, the cosmonauts, participating companies and agencies contributed to the success of the symposium by presenting their reports.

PKE-Nefedov is the first experiment of its kind in the orbit. *PK3-Plus* will be the follow-up model with an improved engineering, which will allow further experiments under zero gravity, promising a better understanding of the physics of complex plasmas.

In October 2002 DLR organized a parabolic flight campaign for in total about ten scientific experiments from the fields of Life Science, Medicine and Physics. The campaign took place in Bordeaux, where an Airbus A300 equipped for parabolic flights is available for scientific experiments (Fig. 3-20). There were four flights with 31 parabolas each. The organization was done reliably by Frau Dr. Friedrich (DLR) as usual.

Abb. 3-20: Einbau der PK 3-Plus Experiment-Nutzlast in den Airbus A300 zum Test auf Parabelflügen.

Fig. 3-20: Integration of the PK 3-Plus experiment payload into the Airbus A300 for test on parabolic flights.

One of the experiments was our PK3-Plus payload. The new set-up differs from PKE-Nefedov by a homogenous gas discharge, six microparticle dispensors (instead of two), a modified gas filling system, and an improved measuring electronics.

The primary goal of the measurement was the characterization of the new plasma chamber under zero gravity (Fig. 3-21). Of particular interest in this connection is the use of especially large particles, which cannot be confined in a laboratory plasma due to their weight. But also very small grains in the 1 μ m regime provide important informations on possible convection streams of the neutral gas at running discharge. Alternatives in the choice of the noble gases (Neon, Argon, Krypton, Xenon), are also important with respect to their employment on the space station. Although purely technical questions cannot justify the expenses of a parabolic flight campaign, the flights are very valuable kampagne nicht rechtfertigen können, sind die Flüge auch von diesem Aspekt äußerst wertvoll, weil der Einsatz einer Nutzlast außerhalb des Labors regelmäßig technische Schwächen aufzeigt.



PK4 ist ein neue Experimentierapparatur für Mikrogravitationsexperimente auf der ISS und befindet sich zur Zeit in einer Vorentwicklungsphase am MPE und dem Institut für Hochenergie-Dichte-Forschung (I-HED) in Moskau, die vom DLR finanziert wird. Die zentrale Eigenschaft des Apparats ist eine gläserne Vakuumröhre in welcher DC, induktive RF und kombinierte Entladungen verwendet werden, um die Mikropartikel einzuschließen und zu kontrollieren. Die Vorteile dieses Designs umfassen sowohl einen größeren optischen Zugang bei der Partikeldiagnostik und der Lasermanipulation als auch die Möglichkeit elongierte Systeme, z.B. Soliton- oder Schockwechselwirkungsexperimente und Partikelwolken-Kollisions-Experimente, zu studieren.



also with respect to this aspect since the use of a payload outside of the laboratory shows regularly technical difficulties.

Abb. 3-21: Das Herzstück der neuen PK3-Plus Apparatur, die Plasmakammer. Zu erkennen ist das violette Leuchten des Plasmas und der Laserstrahl, der zur Beleuchtung der Mikropartikel benutzt wird.

Fig. 3-21: The heart of the new PK3-Plus apparatus, the plasma chamber. One recognizes the violet glow of the plasma and the laser beam used for illuminating the microparticles.

PK4 is a new experiment device for microgravity complex plasma experiments on the ISS and is currently in a pre-development phase at the MPE and at the Institute for High Energy Density Research (I-HED) in Moscow, with financial support from the DLR. The central feature of the apparatus is a glass vacuum tube in which DC, inductive RF and combined discharges will be used to confine and control micron-sized particles. Advantages of this design include greater optical access for both particle diagnostics and laser manipulation, as well as the possibility to study elongated systems, for example, soliton or shock interaction experiments and cloud collision experiments.

Abb. 3-22: *Experimentaufbau des PK4 Laborprototyps.*

Fig. 3-22: Snapshot of the PK4 laboratory prototype experiment set-up.

Wir beabsichtigen, am Ende der Vorentwicklungsphase (Februar 2004) über ein Labor- und Parabelflugmodell zu verfügen, welches in einer Parabelflugkampagne getestet sein wird. Mittels diese Modells werden wir in der Lage sein, mit den Anforderungen an das Flugmodell in der nächsten Phase weiterzumachen. In Abb. 3-22 ist der zur Zeit betriebene Laborprototyp gezeigt. Der Prototyp erfährt täglich Verbesserungen und Charakterisierungsstudien der Entladung werden bereits vorgenommen. Der nächste größere Schritt im Experiment wird die Parabelflugkampagne sein. Sie wird im November 2003 stattfinden und soll zum eiAt the end of the pre-development phase (February 2004), we expect to have a laboratory and parabolic flight model system, tested in a parabolic flight campaign. With this model we will be able to move ahead with flight model requirement definitions in the next phase. Shown in Fig. 3-22 is the current working laboratory prototype. The prototype is undergoing daily upgrades and the first characterization studies of the discharge are underway. The major upcoming milestone in the experiment is the parabolic campaign. It will take place in November 2003 and is intended to test dust distribution and confinement in the discharge

nen die Staubverteilung und den Einschluss in der Entladung zum anderen mehrere Prototypexperimente für den Einsatz auf der ISS testen. Weitere Informationen zu PK4 befinden sich unter http://www.mpe. mpg.de/pk4.

Die Arbeiten zur Vorentwicklungsstudie der International Microgravity Plasma Facility IMPF, die Mitte 2000 begonnen und von DLR finanziert wurden, wurden Ende 2002 fertiggestellt. Die Entwicklung, an denen das MPE als "Principal Investigator" beteiligt ist, hat in 2002 einen weiteren Schritt in Richtung Realisierung getan. Durch die Zusammenlegung von IMPF mit einer Einrichtung zur Untersuchung der "Wechselwirkung in kosmischen und atmosphärischen Teilchensystemen" (ICAPS) wurden Synergien ausgenutzt, um somit eine größere Wissenschaftsgemeinde anzusprechen. Die Zusammenlegung der beiden Einrichtungen, beide haben in einer ESA-Ausschreibung die höchste Benotung "outstanding" bekommen, wurde dem IMPF Advisory Board (AB) bei dessen 9. Treffen in Durban, Südafrika, von ESA und dem Industriepartner Kayser-Threde erstmalig vorgestellt.

Neben den neuen Entwicklungen wurden vergleichende Laboruntersuchungen an Plasmen mit einer Langmuirsonde und einem Spektroskopen durchgeführt. Die Ergebnisse wurden auf dem 10. Advisory Board Treffen im Dezember in München vorgestellt.

Mit dem neuen *Hochfeld-Labor* fügt das MPE dem Plasmakristall-Experiment die letzte fehlende Komponente hinzu, die man i.A. bei Plasmen in der Natur findet: Das Magnetfeld. Anders als im Paramagnet-Labor, wo das Magnetfeld benutzt wird, um Teilchen zu levitieren, wird im Hochfeld das Verhalten komplexer Plasmen in einem starken, homogenen Magnetfeld untersucht.



as well as several prototype ISS experiments. Please see the PK4 website http://www.mpe.mpg.de/pk4 for more information.

The work within the pre-development phase of the International Microgravity Plasma Facility *IMPF*, which started in the middle of 2000 financed by DLR, was completed at the end of 2002. The development, in which the MPE participates as "Principal Investigator", has proceeded further towards its realization. By combining the IMPF with a facility for investigating "Interactions in Cosmic and Atmospheric Particle Systems" (ICAPS), synergetic effects have been utilized for addressing a large scientific community. The combination of the two facilities, which obtained both the highest ranking "outstanding" in an ESA invitation, was introduced for the first time to the IMPF Advisory Board (AB) by ESA and the industrial partner Kayser-Threde at the 9th meeting in Durban.

Besides the new development comparing laboratory investigations on plasmas with Langmuir probes and spectroscopes were performed. The results were presented in December at the 10^{th} Advisory Board meeting in Munich.

With the new *High-Field Laboratory* the MPE adds the last missing component to the plasma crystal experiment, which is found in plasmas in nature in general: the magnetic field. In contrast to the paramagnetic laboratory, where the magnetic field is used for levitating particles, the behavior of complex plasmas in a strong, homogenous magnetic field is investigated.

Abb. 3-23: Erster Testaufbau im Hochfeld-Labor mit einer kugelsymmetrischen Plasmakammer.

Fig. 3-23: First test set-up in the high-field laboratory with a spherical symmetric plasma chamber.

Nach der Lieferung des supraleitenden Magneten im Februar 2002 wurde dieser einem Abnahmetest unterzogen. Hierzu wurde der Magnet über einen geschlossenen He-Kühlkreislauf innerhalb einer Woche auf eine Temperatur von 3-4°K abgekühlt. Die spezifizierte maximale Induktion von 4 Tesla wurde erreicht, unabhängig von der Lage des schwenkbaren Magneten. Auch die geforderte Homogenität von weniger als 1% innerhalb eines Zylinders von 5 cm Höhe und 10 cm Durchmessers konnte bestätigt werden. Anschließend wurden erste Experimente vorbereitet. Eine zuvor entwickelte Unterstützungsstruktur wurde dafür in den Magneten integriert. Die eigentliche Plasmakammer, ein Verschiebetisch mit Kamera und Beleuchtungssystem, wie auch der Partikel-Zerstäuber wurden darauf montiert. Letzterer musste stark modifiziert werden, da keinerlei ferromagnetische Materialien ins Innere des Spulensystems gebracht werden dürfen. Als Plasmakammer diente bei den ersten Experimenten eine Kugelkammer, wie sie bereits in Parabelflügen im Jahr 2000 unter anderen Gesichtspunkten erfolgreich erprobt wurde. Die kapazitive Entladung erfolgt dabei zwischen zwei parallelen Elektrodenringen. (Abb. 3-23). Es zeigte sich jedoch, dass diese Konfiguration für Experimente im starken Magnetfeld wenig geeignet ist, da bereits bei kleinen Magnetfeldstärken das Plasma stark inhomogen wird und die eingebrachten Mikropartikel aus dem beobachtbaren Gesichtsfeld verschwinden. Für weitere Experimente wurde eine Kammer verwandt, wie sie auch für das PKE Projekt entwickelt wurde. Diese muss jedoch noch modifiziert werden. Um des weiteren den Sicherheitsanforderungen an das Magnetsystem gerecht zu werden, wurde eine fernbedienbare Unterstützungsstruktur entwickelt, so dass die Justagen der wesentlichen Experimentkomponenten inklusive der Ausrichtung der Plasmakammer aus sicherer Distanz vorgenommen werden können.

Einige Komponenten für das *Paramagnetische Labor* wurden vom IPP gestellt, andere mussten speziell entworfen und gebaut werden. Der erste Systemtest fand im Februar 2002 statt und im April 2002 konnten die ersten erfolgreichen Experimente durchgeführt werden. Abb. 3-24 zeigt den momentanen Zustand des Labors.



After the delivery of the superconducting magnet in February 2002, the magnet was subjected to an acceptance test. For this purpose the magnet was cooled down to 3-4°K within one week by a closed He cooling circuit. The specified maximum induction of 4 Tesla was achieved independently of the position of the swivel magnet. Also the required homogeneity of less than 1% within a cylinder of 5 cm height and 10 cm diameter could be confirmed. Afterwards first experiments were prepared. For this a previously developed support structure was integrated in the magnet. The actual plasma chamber, a movable mounting table with camera and illuminating system as well as the particle dispensor were mounted on this structure. The dispensor had to be modified to a large extent, since ferromagnetic materials must not be brought into the interior of the coil system. A spherical chamber, which had been tested successfully in parabolic flights already in 2000 under a different point of view, served as the plasma chamber. The capacity discharge occurs between two parallel electrode rings (Fig. 3-23). It turned out, however, that this configuration is not suited for experiments in strong magnetic fields as the plasma becomes inhomogeneous already at a small magnetic field strength and the injected microparticles leave the observable field of view. For further experiments a chamber was employed, which had been developed for the PKE project. This chamber, however, has still to be modified. Furthermore, for obeying the security requirements concerning the magnet system, a support structure manageable by remote control was developed. In this way the adjustment of the essential experiment components including the orientation of the plasma chamber can be done from a secure distance.

Entwicklung und Projekte / Komplexe Plasmen

Some components for the *Paramagnetic Laboratory* were provided by IPP, some had to be designed and manufactured specially. The first system test took place in February 2002 and in April 2002 the first successful experiments were conducted. Fig. 3-24 shows the current status of the laboratory.

Abb. 3-24: Das paramagnetische Labor. Die Magnetfeldspulen sind oberhalb der hier sichtbaren Experimentapparatur angebracht.

Fig. 3-24: The paramagnetic Laboratory. The magnetic field coils are mounted above the experimental set-up visible here.

Ein neuer Prototyp der *Adaptiven Elektrode (A.E.)* mit einer reduzierten Pixelfläche und einer innovativen

A new prototype of the *Adaptive Electrode (A.E.)* with a reduced area of the pixels and an innovative technol-

Technologie für die Vorschübe wurde realisiert und getestet. Die vollständige Reaktion des Plasmas auf die Anregungen durch die A.E., lokal oder global, kann nun mittels einer Theorie auf andere Kammern übertragen werden. Partikel, die von oben oberhalb der A.E. injiziert werden, visualisieren die Plasmarandschicht in verschiedenen Operationsmoden. Unter diesen ist die positive Randschicht besonders interessant, da die negativ geladenen Teilchen nur dann in einer Doppelschicht levitiert werden, wenn die Elektronen, beschleunigt durch die Doppelschicht, eine Energie vergleichbar zur Ionisationsenergie erreichen (Abb. 3-25). Diese Forschungen mit zugehöriger Diagnostik durch optische Emissionsspektroskopie und Langmuir-Sonde machen Fortschritte. Vorläufige Studien der Zeitabhängigkeit wurden unternommen. Eine neue Software wird bald die volle Kontrolle der Pixel bis zu 100 Hz erlauben. Durch Anregung einer Reihe von Pixeln können wir eine ebene Front von levitierten Teilchen erzeugen. Experimente mit Teilchenwolkenkollisionen unter verschiedenen Winkeln sind geplant. Die wissenschaftliche Arbeit schreitet parallel mit industriellen Kontakten voran, die auf der Hannover Messe hergestellt wurden und zu Kooperationen führen dürften.



In Zusammenarbeit zwischen den experimentellen Gruppen "Komplexe Plasmen" am MPE und der "Niedertemperatur-Plasmaphysik" am IPP, wurde ein neues Experiment zum Wachstum von Kohlenstoff-Mikropartikeln in einem Kohlenwasserstoffplasma aufgebaut. Der wesentliche Punkt des Experiments ist die Möglichkeit, die Energieverteilung der Elektronen durch eine spezielle, patentierte Kontrolle zu manipulieren, um *Diamantwachstum* auf Diamantkeimen zu erreichen. Wir waren in der Lage, Teilchen im Plasma zu levitieren und eine Teilchenwolke mittels eines Videosystems zu beobachten. Für in-situ Messungen der Teilchengröße haben wir Mie-Streuung-Ellipsometrie installiert.

Die Projekte PKE-Nefedov (Förderkennzeichen FKZ 50 WM 9852), IMPF-Vorentwicklung (FKZ 50 WM 0038), PK 3-Plus (FKZ 50 WB 0203), PK4 (FKZ 50 WB 0204) und Adaptive Elektrode (FKZ 50 RT 0207) werden vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt DLR gefördert.

ogy for the feed-throughs has been realised and tested. The full response of the plasma to the A.E. solicitations, either local or global, can now, by means of a theory, be transferred to other chambers. Particles injected above the A.E. visualise the plasma sheath in different modes of operation. Among those the positive sheath is particularly interesting because the negatively charged particles are levitated in a double layer only if the electrons accelerated by the double layer reach an energy comparable with the ionisation (Fig. 3-25). This research is in progress with the associated diagnostics of optical emission spectroscopy and Langmuir probe. The time dependence has been preliminary studied. A new software will soon allow the full control of the pixels up to 100Hz. Exciting one row of pixels in sequence we can create a planar front of levitated particles. Experiments are planned in which fronts of particle's clouds collide with different angles. The scientific work proceeds in parallel with some industrial contacts, established during the Hannover Industrial Fair, which may lead to collaborations



Fig. 3-25: Particles levitated in the field inversion double layer above a positive pixel of the adaptive electrode.

In a collaboration between the experimental groups "Complex Plasmas" at MPE and "Low-temperature Plasma Physics" at IPP, a new experiment for the growth of carbon micro particles in a hydrocarbon plasma was constructed. The key point of the experiment is the possibility to control the electron energy distribution by a specific proprietary control to achieve *diamond growth* on diamond seed particles. We could levitate particles in a plasma and observe a particle-cloud by a video system. For in-situ measurements of particle size, we installed Mie scattering ellipsometry.

The projects PKE-Nefedov (Förderkennzeichen FKZ 50 WM 9852), IMPF-Pre-Development (FKZ 50 WM 0038), PK 3-Plus (FKZ 50 WB 0203), PK4 (FKZ 50 WB 0204) and Adaptive Electrodes (FKZ 50 RT 0207) are supported by the DLR (Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt).

3.6 ASTRONOMIE / ASTRONOMY

3.6.1 Astro-WISE / Astro-WISE

Die europäische Initiative Astro-WISE (Astronomical Wide-field Imaging System for Europe) wird die Software-Werkzeuge entwickeln, um die Daten der neuen Generation von Durchmusterungskameras zu reduzieren und die entstehenden Datenarchive der Allgemeinheit nutzerfreundlich zugänglich zu machen (sogenanntes "data-mining"). Diese Initiative kombiniert die Anstrengungen der Europäischen Südsternwarte (ESO) und mehrerer nationaler Datenzentren innerhalb der EU, um die enormen Datenmengen (20 Tbyte/Jahr) dieser Himmelsüberwachungskameras beherrschbar für den einzelnen Astronomen zu machen. Dabei fließen die Erfahrungen der einzelnen Partner ein, um optimierte Software-Pakete zu entwickeln, die dann insbesondere auch auf verschiedenen Hardwarekonfigurationen, wie sie in den verschiedenen Instituten vorliegen, lauffähig sein sollen. Die Benutzer sollen dann eigenständig die komplette Kalibration, Daten-Analyse sowie Quellextraktion durchführen können. Die neu zu entwickelnden Software-Werkzeuge sollen ein dynamisches Archiv erzeugen, das sowohl parallele Bearbeitung sehr großes Datenmengen als auch "on-the-fly-reprocessing" erlauben. Astro-WISE wird damit die erste lauffähige Realisierung eines virtuellen Observatoriums.

The Astro-WISE (Astronomical Wide-field Imaging System for Europe) programme will provide an astronomical survey system by creating the tools necessary to reduce and mine the data produced by the new generation of wide-field sky survey cameras. The programme coordinates and significantly enhances the efforts by ESO (European Southern Observatory) and national data centres throughout the EU and prepares for the enormous increase in data rates (20 Tbyte/year) from sky survey cameras. The programme consolidates the common expertise of the partners and coordinates the development of software tools including an exchangeable computing infrastructure with which users can calibrate, analyse, and extract sources from wide-field images. The programme has ambitious goals in terms of "on-the-fly-reprocessing", parallel processing, data-basing of very large data volumes, designing and creating dynamic archives, and federating data volumes over the various national data centers involved. Astro-WISE will become one of the first operational Virtual Observatory systems.

Moderne Durchmusterungen des Himmels / Wide-field Imaging of the Sky

Die rasante Entwicklung der CCD Detektor Technologie erlaubt nunmehr, den gesamten Himmel in bislang ungeahnter Qualität abzubilden, sowohl in bislang unerreichter Tiefe der einzelnen Aufnahmen als auch ihrer Auflösung. Gleichzeitig wird es möglich sein, dieses Ziel für eine Vielzahl unterschiedlicher Farbfilter zu ermöglichen. Speziell zu diesem Zweck entwickelte Grossfeld-CCD-Kameras sind sowohl für Teleskope des Nord- wie des Südhimmels kurz vor der Vollendung. Am ESO-Observatorium Paranal (Chile) ist ein neues Teleskop, das VST mit dem Instrument OmegaCAM in Entwicklung, das vor allem Objekte für Detailuntersuchungen mit den 8m Teleskopen des ESO-VLT liefern soll (siehe 3.6.2).

Die enorme Datenrate dieser modernen Durchmusterungssysteme bringt die Astronomie an den Rand der Leistungsfähigkeit moderner Informationstechnologie. Für *OmegaCAM* wird die jährliche Rohdatenrate bei ca. 30 Terabytes (1 Tbyte = 1000 Gbyte) in Bilddaten liegen, die nach der Bild-Datenreduktion immer noch 10 Terabyte im Jahr darstellen. Dabei wird jedes OmegaCAM Bild ca. 10^5 astronomische Quellen beinhalten und die daraus erstellten Kataloge mit Quellpositionen, Helligkeiten, Morphologien, und Farben werden im Datenumfang auf immer noch ca. 1 Terabyte/Jahr geschätzt.

Diese neue Beobachtungstechnik ist massiv im Vormarsch: VST und OmegaCAM werden voraussichtlich The recent rapid development of large digital CCD detectors allows deep and ultra-sharp imaging on previously unheard of scales (i.e. the complete sky), in a multitude of different filters. In both the northern and southern hemisphere dedicated wide field imaging cameras are in advanced phases of construction. At ESO's Paranal (Chile) site a new telescope is under construction which will be entirely dedicated to the wide-field imaging (s.a. OmegaCam) of the sky - the 8m VLT Survey Telescope (VST) (see 3.6.2).

The enormous data volumes produced by this widefield imager brings astronomical research to the edge of modern information technology. For *OmegaCAM*, an annual rate of about 30 Tbytes (1 Tbyte = 1000 Gbyte) of raw science image data is expected, which after reduction will deliver about 10 Tbytes/year of image data ready for scientific research. Each Omega-CAM image will contain about 10^5 astronomical objects and the estimated yearly production of tables describing the properties of these objects (brightness, position, shape descriptors, colour) will be of the order of 1 Tbyte/year.

This new branch of observational astronomy is now well on its way: the VST and OmegaCAM will be de-

2004 den Betrieb aufnehmen, das nördliche Gegenstück, MegaCAM, wird von Französischen Astronomen zur Zeit in Hawaii in Betrieb genommen. In wenigen Jahren schließlich wird ESO das Teleskop VISTA auf dem Paranal installieren, das entsprechende Durchmusterungen im nahen Infrarot ermöglichen wird. livered in 2004, and in Hawaii, French astronomers plan to commission the Northern hemisphere counterpart camera (MegaCAM). A few years later, ESO will install VISTA at Paranal, a wide-field telescope optimised for near infrared wavelengths.

Ein Durchmusterungssystem für Europa / An Astronomical Wide-field Imaging System for Europe

Im Rahmen von Astro-WISE werden nationale Datenzentren in Deutschland, Italien, Frankreich und den Niederlanden die Benutzer unterstützen und ihnen die notwendige Infrastruktur an Rechenleistung und Speichermedium zur Verfügung stellen. Diese Zentren werden Beowulf-Cluster mit 32 Knoten unter dem Betriebssystem Linux betreiben und mehrere Terabyte an direkt adressierbaren Speicherplatz zur Verfügung haben. Kleinere Satellitensysteme gleichartiger Architektur sind ebenfalls geplant (z.B. in Leiden und Padua). Diese Datenzentren haben zusammen mit ESO eine Kollaboration gestartet, um ein gemeinsames Durchmusterungssystem zu etablieren, das die komplette Reduktion der großformatigen Himmelsaufnahmen erlaubt und den einzelnen Forscher dabei unterstützt, dem Datenstrom die für seine Arbeit relevante Information zu entnehmen. Diese Partnerschaft der Zentren bezieht sich sowohl auf die gemeinsame Entwicklung von Softwarewerkzeugen als auch den Austausch bereits existierender Expertise und Programmen wie auch von Daten (Abb. 3-26).



Die wissenschaftlichen Zielsetzungen von Astro-WISE sind daher: (i) Entwicklung, zur Verfügungstellung und Pflege des Zugangs zur Computerumgebung,

In the context of Astro-WISE, national data centres in Germany, Italy, France, and the Netherlands, will support their users' community and provide the infrastructure for the processing, storage, and distribution of these enormous data volumes. The centres will operate Beowulf Linux 32-node computer clusters and provide many Terabytes of direct access storage. National data centers will also replicate to smaller satellite centres (e.g. Leiden and Padua). These national centres have started a partnership, together with ESO, to commonly build a survey system to reduce and disseminate widefield imaging data and support individual scientists in their research with the data. The partnership involves the building of software tools and the exchange of both expertise and image data, as well as all auxiliary data and code (Fig. 3-26).

Abb. 3-26: Illustration des Datenumfanges, der im Falle von OmegaCAM erwartet wird: Das oberste Diagram zeigt den Südhimmel in einem 10°x10° Raster. Das Gesichtsfeld, das OmegaCAM in einer Belichtung abdeckt ist durch das kleine Quadrat symbolisiert. Rechts sieht man eine simulierte Aufnahme von OmegaCAM, die die Bildstruktur der 32 CCD Chips veranschaulicht. Links wird an Hand einer echten Aufnahme der BTC Kamera am Mayall Teleskop ein typischer Himmelsausschnitt, wie ihn ein einzelner dieser CCD Chips aufzeichnet, dargestellt. Ganz unten sieht man aus diesem Bild eine Ausschnittsvergrößerung, die den vollen Informationsgehalt erst deutlich macht. Obwohl dieser Ausschnitt lediglich 1/95 eines einzelnen OmegaCAM Feldes entspricht, enthält er bereits mehr als 1500 Quellen.

Fig. 3-26: An Illustration of the volume of data expected from an OmegaCAM sky survey. Top: The Southern sky with a 10° by 10° raster. The size of the field covered by a single OmegaCAM exposure is shown as a small square. Right: A Simulated Omega-CAM exposure, with the 32-CCD mosaic clearly visible. Left: An actual CCD image, made with the BTC camera on the CTIO Mayall telescope (covering the same amount of sky as each OmegaCAM CCD). The lower image is a sub section of the CCD displayed at the resolution of the printed page. Although it measures a mere 1/95 of a single OmegaCAM field, it contains more than 1500 sources.

The specific objectives of Astro-WISE are: (i) To develop, maintain and provide access to a computational environment to process wide-field imaging data; the

in der die Bilddaten verarbeitet werden können; die EU-einheitliche Umgebung wird dabei sowohl die stetig aktualisierte Kalibration als auch Reduktionssoftware enthalten. (ii) Entwicklung und Verteilung von Software-Werkzeugen, die den Zugang und die Darstellung der Bilddaten im Terbyte-Bereich adequat erlaubt. (iii) Die Entwicklung der Infrastruktur, um diese Bilddaten im Rahmen des Konzeptes des virtuellen Teleskops zu nutzen. Das Erreichen dieser Zielsetzung mit Terabyte-Datenmengen unterscheidet sich vom derzeit verfolgten Konzept, in dem Rohdaten durch eine Standard-Pipeline geschickt werden und oft fertige Kataloge direkt erstellt werden. Im dynamischen Astro-WISE Konzept werden die Daten aller Art über das Netzwerk der Datenzentren verteilt und Ergebnisse können aktualisiert und neu verknüpft werden. Dadurch wird die Arbeitsbelastung effektiv über alle Partner verteilt und die Erstellung wissenschaftlicher Resultate profitiert von den Beiträgen, die an allen beteiligten Stellen geleistet werden. So kann der einzelne Benutzer die Ergebnisse sowohl von Standardreduktionen als auch von anderen Nutzern abfragen, aber auch eigene Beiträge leisten - der erste notwendige Schritt zum virtuellen Observatorium. Weitere detaillierte Information findet man auf folgender web-Seiten: http://www.Astro-WISE.org/

EU-wide shared environment will house both up-todate calibration data and software to process the raw data. (ii) To develop and disseminate software tools needed to access the wide-field image data (e.g. search and visualisation tools scalable to Tbyte regimes). (iii) To provide infrastructure for the production and dissemination of survey data to be accessed by virtual observatories. The implementations of these objectives in the Terabyte regime differ from the current approach in which raw data is processed with a standard pipeline to deliver a catalogue. Instead, with Astro-WISE's dynamical approach the results can be rederived. The various calibration data and other input files are distributed over the network which connects the data centres. This way the manpower load is efficiently spread over the community and for the production of survey results, each site benefits from the work done elsewhere. A given user can query the system but can also re-derive results with the addition of his own "plug-ins". The system would provide a first necessary step towards the building of a Virtual Observatory. For more information see web page: http://www.Astro-WISE.org/

3.6.2 OmegaCAM / OmegaCAM



Abb. 3-27: Mechanisches Design von OmegacCAM. Blick von oben auf die Fokalebene, man erkennt die Plätze der Filtermagazine sowie den Platz im Strahlengang eines der jeweils 27.2x27.2 cm großen Filter. Das Gesamtgewicht einschließlich der Steuerelektronik wird über 1000 kg liegen und der Durchmesser ist fast 2 m.

Fig. 3-27: Design drawing of OmegaCAM looking down on the focal plane. The individual filters (each 27.2x27.2cm in size) and filter array is shown in light grey. The total instrument and electronics will weigh more than 1000 kg and have an overall diameter of almost two meters.

OmegaCAM wird das einzige Gerät des 2.6m VLT Survey Telescope (VST) am Paranal Observatorium der ESO sein und auf Grund des Gesichtsfeldes von einem Quadratgrad großflächige optische Durchmusterungen erlauben. Die Inbetriebnahme wird im Som-



Abb. 3-28: Der von der Universität Bonn bereits fertiggestellte Belichtungsverschluss von OmegaCAM im Größenvergleich zu einem notebook.

Fig. 3-28: The shutter for OmegaCAM as completed at the Universität Bonn. A laptop has been placed in the field opening for scale.

OmegaCAM is a $1^{\circ}x1^{\circ}$ wide-field, optical camera intended as the sole instrument for the 2.6m VLT Survey Telescope (VST), expected to become operational at ESO's Paranal observatory during the year 2004. OmegaCAM is being built by a consortium of insti-

mer 2004 erwartet. OmegaCAM wird von einem internationalen Konsortium von vier Instituten gebaut, wobei jedes der Institute (außer ESO) in seinem Land wiederum Konsortialführer einer nationalen Arbeitsgemeinschaft ist.

Das VST zusammen mit OmegaCAM werden eine reine Durchmusterungseinheit darstellen, die in der vorgesehenen Betriebszeit von 10 Jahren einen erheblichen Teil des von Chile aus sichtbaren Himmels (30000 Quadratgrad) erfassen kann. Dies wird nur möglich auf Grund des ambitioniertes Designs des Gerätes. OmegaCAM wird gleichzeitig 32 große CCDs zur wissenschaftlichen Aufnahme betreiben, die ein Bildfeld von 16384x16384 Pixel, jedes mit 0.2"/pixel, aufspannen. Darüber hinaus werden vier CCDs zur Kontrolle der Nachführung und der optischen Aberation des Teleskops ständig arbeiten. Das Bildfeld der Kamera hat eine Kantenlänge von einem Grad und kann den Vollmond viermal überdecken. Damit ist OmegaCAM die größte Digitalkamera der Welt (Abb. 3-27 und 3-28). Würde man ihr Bild mit der Standardauflösung von Computerschirmen darstellen benötigte man einen Schirm von 20 m² Größe.

OmegaCAM wird es ermöglichen, sichere Statistiken auch für weit entfernte Objekte abzuleiten und so ihre astrophysikalische Bedeutung besser einschätzen zu können. Seltene Objekte werden effizient gesucht werden können. OmegaCAM wird diese Eigenschaften sowohl im Rahmen allgemein zugänglicher Durchmusterungen als auch im Rahmen dezidierter Projekte entwickeln können, die nahezu den gesamten Bereich der Astrophysik tangieren - von den Planetoiden des Kuiper-Gürtels über die Suche entfernter Supernovae, die Beobachtung von Gamma-Ray Bursts und hoch-rotverschobenen Galaxien und Quasaren genauso wie dem Studium der Dynamik unserer Milchstrasse durch die Ermittlung der Eigenbewegung von Milchstraßensternen. Eine wesentliche Rolle spielt OmegaCAM und das VST auch als Suchmaschine für Objekte, deren detailliertes Studium den Einsatz der großen 8m Spiegel des VLTs lohnt - VST und OmegaCAM sind gewissermaßen die Spürhunde des VLTs. Weitere Informationen kann man auf den OmegaCAM homepages der Institute finden:

http://www.usm.uni-muenchen.de

/people/vst/WEBPA/OMEGACAM.html

http://www.astro.rug.nl/~omegacam/

http://ariete.pd.astro.it/

http://www.eso.org/instruments/omegacam/

Das Projekt Astro-WISE wurde durch die Europäische Union gefördert. Das OmegaCAM-Projekt durch das BMBF.

tutes with each, in turn, coordinating contributions of further institutes in several European countries.

OmegaCAM and the VST will act as a pure survey instrument. During its 10 year mission OmegaCAM will map a large fraction (30000 square degrees) of the visible sky in Chile. To achieve this extraordinary area, OmegaCAM combines 32 CCD detectors (with a further four CCDs used for guiding and image quality control) to create a 16384x16384 pixel array. At a pixel scale of 0.2"/pixel this implies a field of view of one square degree (equivalent to 4 full moons), making OmegaCAM the worlds' largest digital camera (Fig. 3-27 and 3-28). Expressed in standard computer monitor resolution, an OmegaCAM exposure would result in a picture measuring more than 20 m², whereas the size of the total survey would be almost one square kilometre.

OmegaCAM will be instrumental in providing statistics on large samples of objects, as well as finding unusual rare objects. Aside from its role in providing large area public surveys, a large number of individual science programmes have been proposed. These include searches for supernovae, Kuiper belt and Oort cloud objects, gamma ray bursts, and high proper motion objects, as well as mapping large scale structures, Galactic halo populations, and high redshift galaxies and quasars. Clearly, the VST and Omega-CAM will provide a veritable flood of objects for follow-up observations with the VLT telescopes. For more information, please see the related web pages at: http://www.usm.uni-muenchen.de /people/vst/WEBPA/OMEGACAM.html http://www.astro.rug.nl/~omegacam/ http://ariete.pd.astro.it/ http://www.eso.org/instruments/omegacam/

[BENDER, HOPP]

The project Astro-WISE was supported by the Europäische Union. The OmegaCAM-Project by BMBF.

3.7 TECHNOLOGIETRANSFER / KNOW-HOW TRANSFER

3.7.1 Komplexitätsanalyse / Complexity Analysis

Das MPE arbeitet an vorderster Front der Wissenschaft und Technologie. Deshalb ist es möglich, einige unserer Erkenntnisse entweder direkt in Projekten zusammen mit der Industrie zu transferieren, oder über Lizenzen aus unseren Patenten in die kommerzielle Nutzung zu überführen. Bei letzterem, so hat sich herausgestellt, brauchen die Industriepartner gewöhnlich Unterstützung bei der Einführung der Verfahren - nur so kann Wissenstransfer effizient durchgeführt werden. Das MPE fühlt sich verpflichtet - obwohl primär in der Grundlagenforschung tätig - diesen Wissenstransfer in angemessener Weise auszuführen. Ähnliches gilt bei der Unterstützung anderer Forschungsdisziplinen, beispielsweise für Wissenstransfer in die Halbleiterforschung, Elementarteilchenphysik und Medizin. Der Transfer erfolgt hauptsächlich aus den Bereichen Theorie und Detektorentwicklung. So werden Analyseverfahren zur Struktur- und Mustererkennung aus astrophysikalischen Fragestellungen (z.B. Materieverteilung im Universum) oder zum Studium von Phasenübergängen bei Komplexen Plasmen in die Medizindiagnostik oder Ingenieurwissenschaft transferiert. Röntgendetektoren, die für unsere Weltraumteleskope entwickelt wurden, werden einer industriellen Verwertung z.B. im Strahlungsdosismonitoring zugeführt.

Die Arbeitsgruppe "Komplexe Systeme" beschäftigt sich mit der Entwicklung und dem Transfer von Methoden fortgeschrittener Datenanalyse und Datenmodellierung in interdisziplinären Projekten. Zahlreiche dieser Entwicklungen sind durch Problembehandlungen im astrophysikalischen Kontext motiviert, wie z.B. die Beschreibung der großräumigen Strukturen im Universum oder die stochastische Analyse des kosmischen Mikrowellen-Hintergrundes (siehe Kapitel 2.3). In den folgenden Beispielen werden einige typische Datenanalyse-Aufgaben betrachtet, wie das Identifikations- oder Segmentierungsproblem, die Modellierung und Vorhersage oder – soweit die Bildanalyse betrachtet wird – die Segmentierung und strukturelle Charakterisierung.

Ein Standardproblem der digitalen Bildverarbeitung ist das *Segmentierungsproblem*. In diesem Bereich wurden am Institut Vorarbeiten zur Detektion/ Segmentierung von Zellen in Fluoreszenzaufnahmen durchgeführt. Ein zuverlässiges automatisches Segmentierungsverfahren ist eine wesentliche Voraussetzung für große Durchmusterungen (high-throughput Screening) in der biologisch-medizinischen Forschung. Hierbei genügt es oft nicht, beliebige Zellen zu segmentieren, sondern es müssen auch morphologische Aspekte zur Diskriminierung verschiedener Zelltypen berücksichtigt werden.

Hilfreich für solche auch zukünftig zu bearbeitende Probleme kann die neuronale Formulierung der Ska-

The MPE researches at the cutting edge of science and technology. For this reason it is possible to achieve breakthroughs, which can be transferred into industrial applications. This may happen either through direct contacts and cooperations within projects or through license agreements with our patents. In the latter case, we have noted that our industrial partners require some initial support to make the transfer of know-how efficient. The MPE feels some obligation to support this (within appropriate limits), although our main calling is basic science, of course. Similar arguments hold for transferring our know-how into other branches of science, for example semiconductor research, elementary particle physics and medicine. Currently, know-how transfer comes mainly from the theory group and from the detector development. For instance new analysis techniques developed for structure and pattern quantification in the astrophysical context (e.g. matter distribution in the Universe) or for the study of phase transitions in complex plasmas are transferred to engineering or medical diagnostics. The development of X-ray detectors for our space telescopes are utilized for industrial applications for example in dosimetry.

The working group "complex systems" deals with the development and the transfer of methods provided for an advanced data analysis and data modelling in interdisciplinary scientific projects. Many of the developments are inspired by problems with an astrophysical background, e.g. the description of the large scale structure of the universe and the analysis of the cosmic microwave background that are considered in the related section (see chapter 2.3). In the following examples, we focus on some typical data analysis tasks as for example the identification or classification problem, the modelling and prediction, and – as far as image analysis is concerned – the segmentation or textural characterization.

A standard problem in digital image processing is the *segmentation*. In this field preparatory work has been carried out for the detection/segmentation of cells in fluorescent images. A reliable automatic segmentation procedure is a fundamental prerequisite for large surveys (high-throughput screening) in biological and medical research. In these applications a simple segmentation of cells is often not sufficient, because also different cell types have to be discriminated by considering morphological features.

The neural formulation of the scaling-index-method (SIM) could be helpful in such problems, which will

lierungs-Index-Methode (SIM) sein. Anhand digitaler Bilder aus Plasmakristall-Experimenten wurde untersucht, ob eine Verbesserung der Partikeldetektion einer Kristallschicht mit einem solchen neu entwickelten Ansatz erreicht werden kann. Aufgrund komplizierter Streueigenschaften auf der Partikeloberfläche, Bewegungsartefakten, Digitalisierungseffekten und optischer Überlagerungsphänomene aus benachbarten Kristallschichten ist auch dieses Segmentierungs- bzw. Identifikationsproblem schlecht konditioniert.

Das neu entwickelte Segmentierungsverfahren wurde hinsichtlich der Kriterien Detektionsgüte und Robustheit untersucht. Die Segmentierung erfolgt letztendlich schwellwertbasiert. Abb. 3-29 illustriert die Detektion der Partikel aus dem links dargestellten Bildausschnitt. Es wurden fast alle Partikel detektiert; darüber hinaus wurden einige Partikel gefunden, auf die die Referenzmethode nicht angesprochen hat, die aber bei nachträglicher visueller Inspektion verifiziert werden konnten.

Zur Untersuchung der Robustheit der Partikeldetektion wurden verschiedene Netze generiert, die jeweils mit Partikeln mit aufsteigendem Mindestgrauwert trainiert wurden. Verglichen wurden die Segmentierungsergebnisse mit jenen eines Netzes, das mit dem gesamten Spektrum vorhandener Grauwerte trainiert wurde. Dabei zeigte sich, dass die Erkennungsrate nur wenig von der Grauwerteverteilung der Trainingsdaten abhängt, sondern vielmehr auf strukturellen Eigenschaften basiert. also arise in future applications. On the basis of digital images of the plasma crystal experiments it was studied, whether the particle detection in a crystal layer can be improved using this new approach. This segmentation and identification problem is ill-conditioned due to complicated light scattering properties on the particle surface, digitalisation effects and optical superposition phenomena from adjacent crystal layers.

The newly developed segmentation procedure was investigated with respect to detection quality and robustness. The segmentation itself is finally based on thresholding. Fig. 3-29 illustrates the detection of the particles from the image on the left side. Almost all particles were detected and furthermore some particles could be identified, which were not found with the reference method, but could be verified by a subsequent visual inspection.

In order to characterize the robustness of the particle detection, several nets have been generated, which were trained with particles of increasing minimum grey-value. The segmentation results were compared to those of a net, which has been trained with the whole spectrum of grey-values. It turned out, that thedetection rate depends only weakly on the grey-value distribution in the training set, but aims at structural properties.



Abb. 3-29: Das linke Bild zeigt einen Ausschnitt eines Bildes aus den Plasmakristall-Experimenten. Das Ergebnis der Partikeldetektion mit der neuronalen Formulierung der Skalierungs-Index-Methode ist im rechten Bild dargestellt. Die grün markierten Partikel wurden sowohl vom Referenzalgorithmus als auch vom neu entwickelten Verfahren detektiert. Vom neuronalen Ansatz nicht erkannt wurden die rot gekennzeichneten Partikel, während die blau markierten Partikel vom Referenzverfahren nicht erkannt wurden.

Fig. 3-29: The left panel shows an image segment from the plasma crystal experiments. The result of the particle detection using the neural formulation of the scaling-index-method is shown in the right image. Both the reference algorithm and the newly developed method have detected the green marked particles. The neural net has not identified the particles labelled in red, while the reference algorithm has not spotted the blue marked particles.

Die Partikeldetektion mit diesem adaptiven Verfahren, das auf strukturellen Komplexitätsmaßen basiert, weist in den Experimenten eine hohe Zuverlässigkeit und Robustheit auf. Ein quantitativer Vergleich der Detektionsraten des bisherigen und des neu entwickelten Algorithmus wird durch die Verwendung von Plasmakristall-Simulationsdaten erwartet.

Der Schwerpunkt unserer Studien im Bereich der me-

In the experiments the particle detection with this adaptive method, which is based on structural complexity measures, revealed a high degree of reliability and robustness. A quantitative comparison of the detection rates of the present and newly developed algorithm is expected from the use of simulation data of the plasma crystal experiment.

The main focus of our studies in medical image proc-

dizinischen Bildverarbeitung lag in der Analyse von Knochenstrukturen, wie sie sich in hochauflösenden dreidimensionalen tomographischen Kernspinresonanzbildern (MR-Bilder) darstellen. Ziel ist es, die Diagnosegenauigkeit von Osteoporose zu erhöhen und eine bessere Risikoabschätzung von Knochenbrüchen zu erreichen (laut Weltgesundheitsorganisation WHO zählt die Osteoporose zu den zehn wichtigsten Krankheiten weltweit). Diese Arbeiten wurden im Rahmen eines sogenannten "Tandem-Projekts" in Zusammenarbeit mit dem Institut für Röntgendiagnostik der Technischen Universität München durchgeführt.

Die Bedeutung von nichtlinearen Korrelationen für die quantitative Beschreibung von Knochenstrukturen konnte mit Hilfe von Surrogatdaten (Ersatzdaten) statistisch nachgewiesen werden. In diesen Surrogaten der dreidimensionalen Bilddaten ist sowohl das Leistungsspektrum als auch die Verteilung der Intensitätswerte der Bilddaten erhalten. Die Berechnung nichtlinearer statistischer Maße, wie z.B. des Spektrums der Skalierungsindizes, offenbart sehr deutliche Unterschiede zwischen den Surrogaten und den Originaldaten. Dies deutet darauf hin, dass nichtlineare statistische Maße notwendig sind, um eine angemessene Beschreibung der Daten zu ermöglichen.

In einer großen in vitro Studie wurde die Korrelation zwischen den neu definierten statistischen Maßen, die die mikroskopischen Eigenschaften der trabekulären Knochenstrukturen quantifizieren, und den makroskopischen biomechanischen Eigenschaften (z.B. Bruchfestigkeit="maximal contraction strength (MCS)") untersucht. Aus dem Spektrum der Skalierungsindizes, die die lokalen Skalierungseigenschaften in Bildern quantifizieren, wurde ein spektraler Bereich $\Delta P(\alpha)$ identifiziert, der sensitiv für diagnoserelevante Strukturinhalte ist. Die besten Ergebnisse wurden für Proben von Wirbelsäulenknochen erzielt, bei denen ein Korrelationskoeffizient R = 0.93 zwischen $\Delta P(\alpha)$ und MCS erreicht werden konnte. Dieses Resultat ist signifikant besser als die Korrelation zwischen der gegenwärtig verwendeten Knochendichte ("bone mineral density"=BMD) und MCS (R=0.73).

Derzeit wird eine große klinische Studie durchgeführt, in der validiert werden soll, wie gut die abgeleiteten Strukturmaße das Risiko von Wirbelbrüchen bei postmenopausalen Frauen vorhersagen können. Bis jetzt wurden von 40 Patienten (17 Patienten mit Bruch / 23 Gesunde) MR Bilder (Abb. 3-30) des distalen Radius (= Speiche) aufgenommen und analysiert. Das Strukturmaß $\Delta P(\alpha)$ wurde in einer sehr ähnlichen Weise wie in der in vitro Studie bestimmt: mit Hilfe einer ROC-Analyse wurden Bereiche im $P(\alpha)$ -Spektrum, d.h. Strukturkomponenten im Knochen, gesucht, die optimal zwischen Patienten mit und ohne Fraktur unterscheiden. Die Güte der Diskriminierung lässt sich durch die Berechnung der Flächen (A) unter der ROC-Kurve bestimmen. Das derzeit beste Ergebnis ist A=0.86. Unseres Wissens konnte eine solch gute Diskriminierung bisher mit keiner anderen Methode erreicht werden.

essing using nonlinear techniques was the analysis of bone structures as displayed in high resolution threedimensional tomographic magnetic resonance (MR) images. The aim is to improve the diagnosis of osteoporosis and to allow for a better risk assessment of fractures (according to the World Health Organisation WHO osteoporosis is among the ten most important diseases worldwide). All these studies were conducted within the framework of a so-called "tandem-project" in collaboration with the Institute of Radiology at the Technische Universität München.

Applying the method of surrogates proved the significance of nonlinear correlations for the quantification of bone structures in MR images. In order to do so we generated surrogates for the 3D data sets, which preserved both the power spectrum and the distribution of intensity values of the image. By applying non-linear statistical measures such as the spectrum of scaling indices a clear discrimination between the original and surrogate data was possible. From this we can conclude that bone structure contains non-linear statistical measures to enable an appropriate description of the data sets.

In a large in vitro study we investigated the correlation of our newly defined statistical measures that quantify the microscopic properties of the trabecular bone structures with macroscopic biomechanical properties (for example maximal contraction strength (MCS)). From the spectrum of scaling indices, which quantifies the local scaling properties in an image, we derived a spectral range $\Delta P(\alpha)$, which is sensitive to diagnostically relevant bone structures. We obtained the best results for specimen taken from the spine where a correlation coefficient R = 0.93 between $\Delta P(\alpha)$ and MCS was achieved. This result is significantly better than that obtained after correlating the bone mineral density (BMD) with MCS (R=0.73).

A large clinical study is now conducted in order to assess how well the structure measures can predict the risk of spine fractures for postmenopausal women. Until now we have collected and analysed high resolution MR images (Fig. 3-30) from the distal radius of 40 patients (17 fractures / 23 healthy). The structure measure $\Delta P(\alpha)$ has been determined in a very similar way to that of the in vitro study: by means of a Receiver Operator Characteristic (ROC) analysis we searched for a range of the $P(\alpha)$ -spectrum (that is equivalent to the structural component of the bone), which is optimal to discriminate between patients with fracture and patients without fracture. The degree of discrimination is quantified by calculating the area (A) under the ROC curve. Our best result is A=0.86. To our best knowledge, such a degree of discrimination has never been achieved using other methods.



Abb. 3-30: Hochauflösende Kernspinresonanzbilder des distalen Radius (Speiche). Links: gesunder Knochen, rechts: osteoporotischer Knochen. Der Verlust der trabekulären Knochenstrukturen ist in diesem Fall klar mit dem bloßen Auge sichtbar.

Fig. 3-30: High resolution MR images of the distal radius. Left: healthy bone, right: osteoporotic bone. The loss of the trabecular bone structures is in this case clearly visible by eye.

Im Bereich der Tumordiagnostik wurden die Möglichkeiten der Erkennung und Quantifizierung von früher Nekrose bei Brustkrebs durch MR Bildgebung untersucht. Insbesondere wurde der Effekt des Kontrastmittels "Gadophrin" auf die Detektionsrate und Quantifizierung von früher Nekrose analysiert. Hierzu wurden Brusttumorzellen in Mäuse implantiert und die Tumore anschließend mittels MR Bildgebung mit und ohne Gadophrin dargestellt. Die Ausdehnung der Tumore sowie ihrer nekrotischen Areale wurden bestimmt, indem am MPE entwickelte Segmentierungsalgorithmen verwendet wurden. Anschließend wurden diese Ergebnisse mit histologischen Befunden verglichen. Es konnte gezeigt werden, dass mit Gadophrin der Nachweis von Nekrose verbessert werden kann. Dies kann in der Zukunft eine bessere und frühere Beurteilung von Wirkungen von z.B. Chemotherapie bei Brustkrebspatientinnen ermöglichen.

In Zusammenarbeit mit dem Department für Geo- und Umweltwissenschaften der Ludwig-Maximilians-Universität München wurden Simulationen zur Erklärung von rastertunnelmikroskopischen (STM) Aufnahmen durchgeführt. Die Experimente bestanden in der Erzeugung von Arrays von molekularen Nano-Drähten auf einer Kristall-Oberfläche durch dynamische Selbst-Assemblierung.

Mit Hilfe von molekülmechanischen Simulationen, sogenannten Kraftfeldrechnungen, wurde die Struktur der selbst-assemblierten Nano-Drähte aufgeklärt. Hierbei werden die einzelnen Atome als individuelle Teilchen behandelt, die durch Potentiale wechselwirken. Die Potentialfunktionen werden durch Summation von empirisch ermittelten zwei-, drei- und vier-Körper-Potentialen berechnet. Durch simuliertes Tempern (simulated annealing) wird ein Minimum der Gesamtenergie berechnet. In Abb. 3-31 ist die rastertunnelmikroskopische Aufnahme eines solchen Nano-Drahtes gezeigt. Dem Bild überlagert sind die Ergebnisse einer Energieminimierung. Die vier Molekülmodelle (oben) erklären die Anordnung der Moleküle im In the field of *tumor diagnostics* the possibilities of detection and quantification of early necrosis in breast cancer by MR imaging were investigated. We evaluated the effect of the contrast agent "Gadophrin" on the detection rate and quantification of early necrosis in breast cancer. Therefore breast tumors, which were implanted in mice, underwent MR imaging with and without the injection of Gadophrin. The extent of the tumor necrosis was quantified by applying segmentation algorithms developed at the MPE during the last years, and the result was correlated with the histological findings. We found that using the contrast agent Gadophrin the detection of early necrosis is enhanced. These findings may allow for better assessment of early tumor response on chemotherapy in the future.

In collaboration with the Department für Geo- und Umweltwissenschaften of the Ludwig-Maximilians-Universität München simulations have been carried out in order to explain the results of scanning tunnelling microscopic (STM) images. In the experiment, arrays of molecular nano-wires on crystal-surfaces were generated by dynamic self-assembly.

Using molecular-mechanic simulations, so called force field calculations, the structure of the self-assembled nano-wires has been clarified. In the simulation the single atoms are treated as individual particles, which interact through potentials. The potential functions are calculated by summation of empirically determined two-, three- and four-body potentials. The minimum of the total energy is calculated by using simulated annealing techniques. In Fig. 3-31 a scanning tunnelling microscopic image of such a nano-wire is shown. Overlaid are the results of an energy-minimization calculation. Shown are four molecular models (upper part) that visualize the arrangement of the molecules in the nano-wire. The H-bonds, which stabilize the

Nano-Draht. Gestrichelt eingezeichnet sind Wasserstoff-Brückenbindungen, die den Draht stabilisieren und vermutlich als Elektronenbrücken bei der Elektronenleitung fungieren.



Abb. 3-31: STM-Bild eines QAC Nanodrahts. Eingezeichnet ist die lokale Zustandsdichte (simuliertes STM-Bild).

Fig. 3-31: STM-Image of a QAC nano-wire. Shown in the overlay is the local density of states (simulated STM-Image).

Wie man weiß, ist das benutzte Material der Nano-Drähte (Quinacridon) im Festkörper ein Halbleiter. Für einen Nano-Draht aus Quinacridon sind jedoch die elektrischen Eigenschaften weitgehend unbekannt. Um die elektronischen Eigenschaften eines Nano-Drahts zu untersuchen wurde deshalb eine quantenmechanische Simulation durchgeführt. Bei der sogenannten Dichtefunktionaltheorie handelt es sich um eine Vereinfachung der Hatree-Fock-Gleichungen der vollen Quantenmechanik durch die Einführung eines Potentials, das nur von der lokalen Zustandsdichte der Elektronen abhängt.

Dadurch ergibt sich eine starke numerische Beschleunigung, allerdings müssen immer noch die Wellenfunktionen aller Elektronen im gesamten System berechnet werden. Das vereinfachte Lagrange-Funktional kann dann mit Hilfe von Minimierungsalgorithmen (simulated annealing, conjugate gradient) zur Bestimmung des Grundzustands der Elektronen verwendet werden. Als Insert in Abb. 3-32 (unten) ist die so erhaltene Zustandsdichteverteilung des Orbitals des wire and probably act as bridges for the electronconductivity, are shown as dashed lines.





Abb. 3-32: Dargestellt ist die Ladungsdichte-Oberfläche eines QAC-Moleküls (oben), die Farben kodieren das elektrostatische Potential. In der unteren Abbildung ist die Zustandsdichte(DOS) eines Drahts gezeigt.

Fig. 3-32: Charge-density surface of a QAC-molecule coloured with the electrostatic potential. In the lower panel the density of states (DOS) of the wire is shown.

As is well known, the material under study (Quinacridon) behaves as a semi-conductor when measured in the bulk. For a nano-wire made of Quinacridon the electronic properties are largely unknown. In order to investigate the electronic properties quantummechanical simulations have been performed. The socalled density functional theory is a simplification of the Hatree-Fock-Equations of the full quantummechanical problem by the introduction of a potential, which only depends on the local density of states (LDOS) of the electrons.

Thus one obtains a large reduction of the numerical computing time, although all wave functions of all electrons have to be calculated. The simplified Lagrangian can be used for the determination of the ground state of the electrons by using minimization algorithms (simulated annealing, conjugate gradient). In Fig. 3-32 (lower part) the obtained local density of states of the orbital of the electrons, that is responsible for the image contrast of the scanning tunnelling im-

Elektrons, das für den Bildkontrast des Rastertunnelbilds verantwortlich ist, eingezeichnet. Es entspricht einem simulierten Rastertunnelbild. In Abb. 3-32 unten ist die Zustandsdichte der Elektronen (DOS - Density Of States) in einem Quinacridon-Draht aufgetragen. Der Nullpunkt der Abszisse entspricht der Fermi-Energie. Man erkennt, dass die Bandlücke zwischen dem Leitungs- und Valenz-Band (blau bzw. rot eingefärbt) in der Größenordnung von ca. 2 eV liegt, was für Halbleiter charakteristisch ist. In Abb. 3-32 oben ist ein Modell eines Quinacridon-Moleküls gezeigt. Die beiden eingezeichneten Oberflächen entsprechen der Wellenfunktion eines Elektrons im Leitungsband (unten) und der Ladungsdichte aller Elektronen (oben).

Unsere Arbeiten im Wissenstransferbereich werden durch Sonderzuwendungen der Max-Planck-Gesellschaft (Tandem-Projekt) unterstützt. age is shown as an insert. It is equivalent to a simulated scanning tunnelling image. In Fig. 3-32 (lower panel) the Density Of States (DOS) of a Quinacridonwire is plotted. The origin of the abscissa is equivalent to the Fermi-Energy. As can be seen, the band gap between the conduction- and the valence band (blue and red coloured, resp.) is of the order of \sim 2 eV, which is characteristic for a semi conductor. In Fig. 3-32 (upper panel) a model of a Quinacridon molecule is shown. The two plotted surfaces are equivalent to the wave function of an electron in the conduction band (lower part) and the charge density of all electrons (upper part).

Our know-how transfer projects are supported by the Max-Planck-Gesellschaft (Tandem-Project).

3.7.2 Wissenstransfer aus dem Fertigungsbereich / Know-How Transfer from the MPI Semiconductor Laboratory to Industry

Das Halbleiterlabor der Max-Planck-Institute für extraterrestrische Physik und für Physik (MPI-HLL) besteht in seiner jetzigen Form seit 1991. Seine Aufgaben sind die Entwicklung und Fertigung von Halbleiterdetektoren für die Röntgenastronomie und für die Hochenergiephysik.

Derzeit arbeiten 30 Mitarbeiter am MPI-Halbleiterlabor – Physiker, Elektrotechniker, Physik-Ingenieure und Techniker. Hinzu kommen Diplomanden und Doktoranden aus den Bereichen Physik und Elektrotechnik. Die vor uns liegenden Hauptprojekte aus dem Bereich der Röntgenastronomie sind ROSITA (2008) und XEUS (2015). In der Hochenergiephysik sind es die Beschleunigervorhaben ATLAS (2005) und TES-LA (2015).

Neben diesen Hauptaufgaben entwickelt das MPI-HLL auch verschiedenste Arten von Siliziumdriftdetektoren für astrophysikalische Anwendungen (XEUS, SIMBOL-X, Mars Lander, ROSETTA) aber auch für den Gebrauch in der Materialforschung, der Qualitätsanalyse und der Kunstforschung.

Bisher wurde die Aufgabe des kommerziellen Vertriebes und der Montage der Siliziumchips von der Fa. KETEK übernommen. Seit Mai des Jahres 2002 füllt die neugegründete Fa. PNSensor diese Funktion. Im Forschungsbereich arbeitet PNSensor als Auftragnehmer für die Projekte XEUS und ROSITA.

Aus dem Bereich der Kunst- und Dokumentenanalyse, die hauptverantwortlich von der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM, Berlin) unter der Federführung von Oliver Hahn gemacht wurde, soll etwas ausführlicher berichtet werden.

Neben den Untersuchungen auf Echtheit von Kunstwerken, die in den vergangenen Jahren in Zusammenarbeit mit der Politecnico di Milano im Vatikanmuseum durchgeführt wurden, stehen diesmal die Datierung von künstlerischen Arbeiten im Vordergrund. Sie wurden mit einem Gerät der Firmen IFG und RÖN-TEC aus Berlin analysiert – mit SiliziumdriftdetektoThe "Halbleiterlabor der Max-Planck-Institute für Physik und extraterrestrische Physik" (MPI-HLL) exists in its present form since 1991. Its tasks are the development, fabrication and assembly of semiconductor detectors for experiments mainly in X-ray astronomy and high energy physics.

Currently 30 physicists, engineers and technicians work at the MPI-HLL. The staff is completed by diploma and Ph.D. students working in the fields of physics and electrical engineering. The current main projects in X-ray astronomy are ROSITA (2008) and XEUS (2015). In the field of high energy physics the main projects are ATLAS (2005) and TESLA (2015).

Besides these major tasks, the MPI-HLL develops also various types of silicon drift detectors for astrophysical applications (XEUS, SIMBOL-X, Mars Lander, ROSETTA), but also for use in materials research and arts research.

The tasks of sales and distribution as well as the chip mounting were up to now performed by the KETEK Company. Since May 2002, the newly established company PNSensor fulfils this function. PNSensor also operates in the field of research as contractor for the projects XEUS and ROSITA.

From the field of analysis of arts and documents, which was performed under the responsibility of the Bundesanstalt für Materialforschung (BAM, Berlin) lead-managed by Oliver Hahn, will be reported in more detail.

In addition to the investigation about the genuineness of antiques, which was done in the last years together with the Politecnico di Milano in the museum of the Vatican, this time the dating of works of art is under investigation. The analysis was carried out with a system of the companies IFG and RÖNTEC from Berlin – implementing silicon drift detectors fabricated in the ren aus dem MPI-Halbleiterlabor. Das hier eingesetzte mobile Röntgenspektrometer ArtTAXTM ist das Resultat eines EU Forschungsprojektes unter MPE Beteiligung mit dem Ziel, die Silicium-Driftdetektortechnologie in Endgeräte zu integrieren.



Schriftgut und Malerei zählen zu unseren bedeutendsten Kulturgütern. Ihre Analyse, Bewahrung und konservatorische Betreuung, aber auch die Untersuchung hinsichtlich der Klärung ihres historischen und gesellschaftlichen Kontextes stehen im Mittelpunkt der kulturhistorischen Forschung. Die Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) kann hier gesicherte Erkenntnisse über die präzise Zusammensetzung von Farben, Tinten und anderen Materialien geben. Selbst Spurenelemente können nachgewiesen werden und so Auskunft über Ort und Zeitpunkt der Herstellung erteilen. Dies soll an zwei Beispielen exemplarisch gezeigt werden: (a) der Untersuchung der Originalmanuskripte von J.W. von Goethes Faust I und Faust II (Abb. 3-33) und (b) der Kolorierung von Kupferstichen von Albrecht Dürer: "Petrus und Johannes heilen einen Lahmen" (Abb. 3-35).

MPI-Halbleiterlabor. The X-ray spectrometer Art-

TAXTM used for this, is the result of an EU research

project with MPE participation having the aim to inte-

grate the silicon drift detector technology in commer-

Abb. 3-33: Der "Messkopf" des transportablen Röntgenfluoreszenzspektrometers $ArtTAX^{TM}$ über J. W. von

cial devices.

Anregung der Fluoreszenzstrahlung und unseren kalibrierten Siliziumdriftdetektor. Der Peltier gekühlte Detektor (-10°C) führt seine Wärme über das Aluminiumgehäuse ab. (Foto: mit freundlicher Genehmigung von O. Hahn, BAM)

Fig. 3-33: The measuring head of the portable X-ray fluorescence spectrometer $ArtTAX^{TM}$ analyzing J. W. von Goethes manuscript of "Faust". The movable head contains as essential parts an X-ray tube for stimulation of fluorescence radiation and our calibrated silicon drift detector. The Peltier cooled detector (-10°C) dissipates the generated heat via the aluminium housing (with kind approval by O. Hahn, BAM).

Scriptures and paintings are among the most important treasures of culture. Their analysis, preservation and maintenance, but also the investigation of their historical and social context is in the centre of research about culture history. The X-ray fluorescence analysis (RFA) allows a reliable determination of the precise composition of paints, inks and other materials. Even trace elements can be detected and thus provide information about place and time of fabrication. This is exemplified by two cases: (a) the analysis of the original manuscripts of J. W. von Goethes Faust I and Faust II (Fig. 3-33) and (b) the colouration of copper engravings of Albrecht Dürer "Peter and John healing the cripple" (Fig. 3-35).

J.W. von Goethes Faust I und Faust II / J. W. von Goethes Faust I and Faust II

Die Schreib- und Zeichenmaterialien in historischen Dokumenten und Manuskripten werden seit alters her aus verschiedenen Materialien nach unterschiedlichen Rezepturen hergestellt. Der wechselnde Gehalt der chemischen Komponenten ist somit eine charakteristische Eigenschaft verschiedener historischer Schreibmaterialien. Einerseits finden sich qualitativ unterschiedliche Bestandteile, bzw. Verunreinigungen, andererseits tauchen diese in völlig differierenden Quantitäten auf. Die Analyse dieser Bestandteile führt zu einer exakten Charakterisierung des Schreibmaterials, die in Form eines "Fingerprints" angegeben wird (Abb. 3-34). Das Beispiel von J.W. von Goethes Faust I/Faust II zeigt, wie Korrekturen an einem Manuskript zeitlich vom Originaltext entweder separiert oder zugeordnet werden können.

The writing and drawing materials in historical documents and manuscripts are manufactured since time immemorial with different ingredients according to diverse recipes. The variable content of chemical components is thus a characteristic property of different historical writing materials. On the one hand you find qualitatively different constituents and impurities; on the other hand they appear in different quantities. The analysis of the constituents allows a precise characterisation of the writing material and we obtain a fingerprint of it (Fig. 3-34). The example of J. W. von Goethes Faust I/II shows how the original manuscript and corrections to it can be correlated concerning time of creation.



So lässt die Analyse der Faust Originalmanuskripte den Schluss zu, dass Goethe den ersten Teil erst verändert hat, als er bereits am zweiten Teil arbeitete. Hier sind jedoch noch weitere Untersuchungen erforderlich, um ein umfassendes Bild zu gewinnen.

Kolorierung von Dürer Druckgraphiken / Colouration of Dürer's art papers

Die Verwendung von natürlichen Materialien (z.B. Ocker) als Pigment ist seit prähistorischer Zeit bekannt. Rezepte für künstliche Pigmente (z.B. Bleiweiß) sind seit der Antike überliefert. Die Palette anorganischer Pigmente umfasst eine Vielzahl verschiedener Verbindungen, mit exakter chemischer Zusammensetzung. Pigmentanalysen dieser Art wurden auch schon in den Untersuchungen in Zusammenarbeit mit der Politecnico di Milano im Vatikanmuseum in Rom durchgeführt. Seinerzeit wurden antike Grabtücher studiert und die Echtheit von Kunstwerken bewertet. Ähnliche Röntgenfluoreszenzanalysen wurden jetzt auch bei den Dürergraphiken angewendet.

Da die historische Verwendung der Pigmente weitestgehend bekannt ist, können farbig gefasste Objekte indirekt datiert werden. Denn bestimmte Pigmente werden ab einer bestimmten Zeit verwendet (post quem), andere verschwinden bis zu einer bestimmten Zeit (ante quem). Übermalungen und Retuschen können vom Originalbestand separiert werden und nicht zuletzt ist es so möglich, Fälschungen zu entlarven.

Die beiden Werke in Abb. 3-35 zeigen zwei Kupferstiche von Albrecht Dürer "Petrus und Johannes heilen einen Lahmen" (aus: Kupferstichkabinett, Berlin), beide nachträglich koloriert. Mit Hilfe zerstörungsfreier RFA Analyse konnte gezeigt werden, dass die Kolorierung des ersten Kupferstiches (links) im 16. Jahrhundert ausgeführt wurde, während der zweite (rechts) Kupferstich erst im 19. Jahrhundert koloriert wurde.

Siliziumdriftdetektoren werden heute bereits in nennenswertem Umfang in der photonen- und elektronenangeregten Fluoreszenzspektroskopie eingesetzt. Sie lösen die traditionellen Si(Li)-Detektoren, die mit flüssigem Stickstoff betrieben werden müssen zunehmend ab.

Abb. 3-34: Analyse der für Faust I und Faust II verwendeten Tinten ("Fingerprint"). Vergleich der Tinten von GSA25/XVII,2,12; GSA25/XVII,1,2 (Faust I, Original und Korrekturen), sowie GSA25/XVIII,5,7 (Faust II). Die beiden Tinten, die in den beiden untersuchten Fragmenten zu Faust I untersucht wurden, weisen eine ähnliche Zusammensetzung auf. Die chemische Zusammensetzung der Korrekturtinte zu Faust I ähnelt sehr der Zusammensetzung der untersuchten Faust II-Tinte.

Fig. 3-34: Analysis of the inks used for writing Faust I and Faust II ("fingerprint"). Comparison of the inks of GSA25/XVII,2,12; GSA25,XVII,1,2 (Faust I, original and corrections) as well as GSA25/XVIII,5,7 (Faust II). The two inks used in the manuscript of Faust I show a similar composition. The chemical composition of the ink used for the corrections to Faust I looks alike that of the ink used for Faust II.

Thus the analysis of the original Faust manuscript reveals that Goethe has modified the first part not until he worked on the second part. However, more investigations are necessary to get a more complete picture on this.

The use of natural materials (for example ochre) as pigments is well known since prehistoric times. Recipes for artificial pigments (e.g. white lead) are bequeathed since ancient times. The palette of inorganic pigments comprises a variety of different compounds with precise chemical composition. Such pigment analysis was already performed in the investigations together with the Politecnico di Milano in the Vatican museum in Rome. At that time antique shrouds were studied and the originality of works of art was evaluated. Similar X-ray fluorescence analysis measurements were now applied to Dürer engravings.

Since the historical usage of pigments is largely well known, we can determine indirectly the manufacturing date of coloured objects. This is possible because certain of the pigments are used from a definite time on (post quem), others disappear by a certain time (ante quem). That way repainting and retouching can be discerned from the original material and it becomes possible to detect fake works of art.

The two works of art in Fig. 3-35 show two copper engravings of Albrecht Dürer "Petrus und Johannes heilen einen Lahmen" (from: Kupferstichkabinett, Berlin), both coloured at a later time. By means of non-destructive RFA analysis, it was shown that the colouration of the left copper engraving was made in the 16th century, whereas the right copper engraving was coloured in the 19th century.

Silicon drift detectors are today used on a large scale for photon and electron stimulated fluorescence spectroscopy. They replace the traditional Si(Li)-detectors which have to be cooled with liquid nitrogen.



Abb. 3-35: Kolorierte Kupferstiche von Albrecht Dürer. (Fotos: mit freundlicher Genehmigung des Kupferstichkabinetts, Berlin, SMPK). Links: "Petrus und Johannes heilen einen Lahmen, KK Berlin (Inv.-Nr. A 137). Die Kolorierung wurde im 16. Jahrhundert ausgeführt und enthält Azurit, Malachit, Bleiweiß, Zinnober, Ocker, Mennige, Goldtusche und Kreide. Rechts: "Petrus und Johannes heilen den Lahmen", KK Berlin (Inv.-Nr. A 551). Diese Kolorierung wurde im 19. Jahrhundert durchgeführt und enthält zusätzlich Zinkweiß und Chromgrünpigmente.

Fig. 3-35: Coloured copper engravings of Albrecht Dürer. (Photos: with kind approval by the Kupferstichkabinett, Berlin, SMPK). On the left: "Petrus und Johannes heilen einen Lahmen", KK Berlin, (Inv.-Nr. A 137). The colouration was made in the 16th century and contains azurite, malachite, white lead, cinnabar, ochre, red lead, gold water colour and crayon. Right hand side: "Petrus und Johannes heilen einen Lahmen", KK Berlin (Inv.-Nr. A 551). This colouration was carried out in the 19th century and contains in addition zinc oxide and pigments of chromium green.

Die Dr. Johannes Heidenhain-Stiftung unterstützt unsere Arbeiten seit 1996.

The Dr. Johannes Heindenhain-Stiftung has supported our work since 1996.

3.8 ZENTRALE BEREICHE / GENERAL SERVICES

3.8.1 Datenverarbeitung / Data Processing

Die Koordination der Datenverarbeitung am MPE übernimmt eine Arbeitsgruppe mit Vertretern aus allen wissenschaftlichen Bereichen. Ihm ist eine zentrale Datenverarbeitungsgruppe für System- und Programmierarbeiten zugeordnet. Die Hauptaufgabe der Arbeitsgruppe 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 die Arbeitsgruppe 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 ROSAT, XMM-Newton, INTEGRAL, Cluster und Herschel eingebunden. Dies gewährleistet den horizontalen Informationsfluss auch auf der Arbeitsebene. Coordination of computing and data processing activities is handled by a working group 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 coordinating the collaboration with the Garching Computer Centre (RZG) and takes care of the computerrelated 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 ROSAT, XMM-Newton, INTEGRAL, Cluster and Herschel. This guarantees the horizontal flow of information and experience.

3.8.2 Ingenieurbereich Elektronik / Electrical Engineering

Der Ingenieurbereich Elektronik unterstützt die experimentellen Gruppen am MPE bei Entwurf, Fertigung und Test wissenschaftlicher Experimente. Daneben werden Aufgaben am Institut, wie Medien- und Haustechnik sowie Technologieentwicklung betreut. Im großen Umfang arbeitet die Gruppe mit externen Industriefirmen zusammen. Der Umbau von Elektronik und Elektrowerkstatt konnte in diesem Jahr erfolgreich abgeschlossen werden. Die Räume im Institutsgebäude X2 wurden bezogen, die Arbeit konnte in neuer moderner Umgebung fortgeführt werden. Wissenschaftliche Vorträge für nicht-wissenschaftliche Mitarbeiter wurden durchgeführt, um alle Gruppen am MPE über die Aktivitäten in den Forschungsgruppen am MPE zu informieren.

Alle Aktivitäten im Forschungsbereich Weltraumplasma sind bereits im Stadium der Datengewinnung und Auswertung, so dass die Arbeit der Elektronik eingestellt werden konnte. Lediglich das Projekt STE-REO band einige Aktivitäten.

Das große Zukunftsprojekt der Röntgenastronomie, XEUS wird mit kleineren Projekten wie ROSITA vorbereitet. Die Entwicklung der Elektronik für eine CCD-Kamera und die Unterstützung von Experimentvorschlägen an das DLR und die ESA waren neben der Betreuung der Testeinrichtungen an der Panter Röntgentestanlage die Hauptaufgaben. Im Halbleiterlabor der MPG, in Perlach bei München, wurde an der All scientific groups at MPE are supported by the engineering department for electronics with design, production and test of scientific instruments. In addition to this essential task the electronic group is responsible for the installation and service of electronical and electrical installations in the different buildings of MPE as well as for new technologies and media. After the end of reconstruction of the work areas was completed, the group moved into the new rooms in X2. the work continued effectively in a modern environment. A series of scientific talks for non-scientific colleagues was held to inform all sections of the institute about the activities in the scientific groups at MPE.

The experiments in Space Physics of the Near-Earth Environment are already in the state of data collection and data reduction, therefore the hardware groups are not any more involved, only for STEREO some activities were ongoing.

The most important future project in the X-ray group is XEUS. It will be prepared by performing smaller experiments like ROSITA. For different CCD-cameras electronics is under development and proposals for DLR and ESA are technologically supported. The work at the Panter facility (X-ray test) was also very important. At the semiconductor laboratory (HLL) in Perlach near Munich, the electronics for new develEntwicklung von CCD's und Ausleseelektronik gearbeitet.

INTEGRAL, ein Gammaobservatorium der ESA, für das das MPE einen Teil des Experimentes SPI geliefert hat, wurde am 17. Oktober 2002 gestartet. Für die weiteren Experimente der Gamma-Gruppe wie GLAST, MEGA und OPTIMA wurde Elektronik entwickelt, gebaut und getestet. Beobachtungskampagnen von OPTIMA wurden mit durchgeführt.

Für das Projekt PK3-PLUS, einem Plasmakristall-Experiment auf der Internationalen Raumstation ISS, das in Zusammenarbeit mit Russland durchgeführt wird, entwickelte die Elektronikgruppe neben den Controllern und dem Einschubträger mit Stromversorgung, Experimenteinschübe, die auf einer Parabelflugkampagne erprobt wurden. Diese Kampagne führten 4 Mitarbeiter der Elektronikgruppe und zwei Wissenschaftler durch. Das Projektmanagement für PK3-PLUS liegt in den Händen der Elektronikgruppe, ebenso wie die Organisation sämtlicher Qualifikationstests inklusive der mechanischen Vibrationstests. Weiterhin wurden spezielle elektronische, mechanische und optische Bauteile für die wissenschaftlichen Experimente entwickelt und gebaut oder extern beschafft, sowie integriert und getestet. Besonders auf diesem Forschungsgebiet ist die enge Zusammenarbeit mit der Industrie hervorzuheben.

Im Infrarotbereich wird für Herschel, einem Großprojekt der ESA, das Experiment PACS vom MPE beigesteuert. Die Erfahrung am MPE ermöglicht es, diese komplexe cryogene Nutzlast zu bauen. MPE leitet eine große europäische Gruppe, die zu diesem Experiment beiträgt. Weitere Projekte werden in enger Zusammenarbeit mit unserem Nachbarinstitut, ESO, durchgeführt. SPIFFI ist ein Teil von Sinfonie, ein Instrument für das VLT in Chile. Es wird Anfang 2003 am VLT integriert und anschließend vom MPE betrieben. Sowohl bei Entwurf und Bau, als auch bei Integration und Betrieb ist die Elektronikgruppe maßgebend beteiligt. FIFI LS, ein Spektrometer für das Teleskop des DLR auf dem Beobachtungsflugzeug SOFIA der NA-SA, wird vom MPE entwickelt. Die Elektronikgruppe ist verantwortlich für Entwicklung und Bau der elektrischen Komponenten und deren Funktion, sowie für die technische Koordination. Der Stand Ende 2002 ist: 80% der elektrischen Komponenten sind entwickelt, 30% gebaut und getestet. Das Instrument soll 2004 eingesetzt werden. PARSEC hat die Aufgabe, einen Laser Guide Star am VLT zu etablieren. Das MPE liefert die Lasereinrichtung dazu, die Elektronikgruppe ist für den Entwurf, Bau und Betrieb der Steuer-Elektronik zuständig. Zur Zeit laufen ausführliche Tests. Geplant ist eine Integration am VLT für Mitte 2003.

oped CCD's was designed and tested.

INTEGRAL, an ESA observatory for gamma-ray astronomy, was launched on October 17, 2002. MPE is responsible for a part of SPI. For the other experiments in the gamma group like GLAST, MEGA and OPTIMA electronics was designed, built and tested. Several observation campaigns of OPTIMA were supported.

PK3-PLUS, a plasma crystal experiment on ISS, the International Space Station, will be performed together with Russia. The electronic group of MPE delivers controllers and racks, with power supplies. Racks for experiments were developed and tested in a parabolic flight campaign, 4 technicians and 2 scientists participated. The electronic group is responsible for project management of PK3-PLUS and for all test activities including mechanical vibration. Mechanical and optical parts of the experiment were designed and prepared for production in the MPE workshop or for delivery by commercial suppliers. For the scientific instruments special electronical, mechanical and optical components were developed, built or procured externally, integrated and tested. The group has a close connections to industry in technical areas.

For Herschel, a cornerstone of ESA in infrared Astronomy, the infrared group at MPE is responsible for PACS. The experience in the electronic group allows us to construct a complex cryogenic experiment like this. MPE leads a big European community which contributes to this project. Further projects are carried out together with our neighboring institute, ESO. SPIFFI is a part of SINFONIE, an instrument for VLT in Chile. It is ready to be integrated beginning of 2003 at VLT and it will be operated subsequently by MPE. The electronic group is heavily involved in design, construction and test, as well as in integration at the telescope. FIFI LS is a spectrometer for the DLR telescope at the airborne observatory SOFIA of NASA. The electronic group is responsible for electrical parts of this instrument and for technical organisation. The status by the end of 2002 is 80% design ready and 30% fabricated and tested. The instrument will be operated in 2004. PARSEC delivers a laser guide star for VLT. MPE built the laser for it and supplies the laser installation. The electronic group has the task to build the electronics for it and assist in the operation. Presently extensive tests are performed until the integration takes place in mid 2003.

3.8.3 Ingenieurbereich Mechanik / Mechanical Engineering

Zum Ingenieurbereich Mechanik gehören die mechanische Konstruktion, die mechanischen Werkstätten einschließlich der Lehrwerkstatt, das Kunststofflabor und das Testlabor für Umwelttests. The mechanical engineering department includes the design office, the mechanical workshops and the education workshop, the plastic laboratory and the test facility for environmental tests.

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 Reinheitsanforderungen, Vibrationsbelastungen beim Raketenstart oder der Betrieb der Instrumente unter Vakuum bei tiefsten Temperaturen bis in die Nähe des absoluten Nullpunkts 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 9 Fräsmaschinen und 3 Drehmaschinen.

Im Berichtsjahr wurden wieder zahlreiche Projekte bearbeitet:

Die Flug- und Flugersatzmodelle der Ankerharpunen für den Rosetta-Lander wurden nach einigen konstruktiven Verbesserungen fertiggestellt und Acceptance Tests unterzogen. Sie wurden Ende November auf dem Startgelände in Kourou in den Lander integriert. Der Start soll im Januar 2003 stattfinden.

Die Konstruktion der beiden Detektorgehäuse für das Photo-Spektrometer von Herschel-PACS und die zugehörigen Halterungen der optischen Komponenten wurden abgeschlossen und die meisten Teile gefertigt. Für das Nahinfrarotspektrometer SPIFFI wurde neben einigen kleineren konstruktiven Arbeiten eine Modalanalyse der gesamten Experimentstruktur zum Nachweis der Erdbebenfestigkeit durchgeführt. Für PAR-SEC, dem Laserleitstern für das ESO-VLT, wurden wieder diverse Konstruktionsarbeiten und Änderungen für Prototyp und Laboraufbauten durchgeführt. Von den 14 Unterstützungspunkten des LBT-Teleskops konnten 6 ausgeliefert werden. Die Prüfung der restlichen 8 kann dieses Jahr abgeschlossen werden.

Einige ausführlichere Studien zeigten, dass es bei dem Röntgenteleskop ROSITA, das auf der internationalen Raumstation fliegen soll, große Wärmeabstrahlprobleme wegen der relativ warmen Umgebung geben wird. Deshalb ist eine aufwendige thermische Optimierung der Kamera, deren 7 CCDs auf -80°C gekühlt werden müssen, erforderlich, um die Kühlleistung zu minimieren. Die Optimierung der CCD-Module wurde abgeschlossen. Die nächste Aufgabe ist die thermische Optimierung des Strukturkonzepts der Kamera.

Bei GROND geht es um die Neuentwicklung einer optisch/infraroten Kamera zur Beobachtung von Gamma-Ray Bursts. Das erste Designkonzept zeigte, dass eine Fertigstellung Ende 2003 nur mit externer Hilfe und einer konsequenten Planung und Durchführung In this department mainly instruments for experimental astrophysics are developed and partly manufactured in close cooperation with the scientists, electronic experts and with industry. A wide spectrum of tasks has to be dealt with reaching from precision instrument engineering over 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 9 milling machines and 3 turning machines.

Numerous projects were underway in 2002:

After some further structural improvements the anchor harpoons for the Rosetta Lander could be finished and acceptance tested. In November they were integrated into the LANDER at the launch site Kourou. The launch is now scheduled for January 2003.

The design of the housings and their mountings for the optical components of the photo spectrometer of Herschel-PACS could be finished and most parts are manufactured. Apart from some smaller design work a modal analysis of the complete structure of the near-infrared spectrometer SPIFFI was performed in order to prove earthquake safety. We have again done various design and modification work for PARSEC, the laser guide star for the ESO-VLT. Six of 14 hardpoints of the LBT telescope could be delivered. The test of the remaining 8 can be finished this year.

Some more detailed studies showed that the x-ray telescope ROSITA, planned for the International Space Station, will face big problems to get rid of heat by radiation due to the relatively warm environment. Therefore an extensive thermal optimisation of the camera has to be made to be able to cool down the 7 CCDs to the required -80° C with a minimum of cooling power. The optimisation of the CCD-modules could be finished. The next task is the thermal optimisation of the structural concept of the camera.

GROND is a new design of an optical/infrared camera for Gamma-Ray-Burst observations. The first design concept showed, that only consequent planning and realisation will give a chance to finish end of 2003. des Projekts zu erreichen ist.

Für die Röntgentestanlagen PANTER und ROESTI 2000 wurden diverse Vorrichtungen wie eine variable Schlitzblende und eine Vakuumlampe entwickelt. Für PUMA wurde ein Stirling Kühler angepasst.

Für das MEGA-Ballonexperiments wurden einige abschließende Arbeiten wie die Konstruktion einer Lichtschutzhaube für die Antikoinzidenz durchgeführt.

Für PK3-PLUS, einer Weiterentwicklung des Plasmakristall-Experiments PKE-Nefedov, wurden die Stützfüße mit Hilfe von FE-Analysen bezüglich Gewicht und Festigkeit für die Startbelastung optimiert. Das Labormodell von PK4 wurde konstruktiv unterstützt. Für das Magnetlabor wurde ein einfacher Versuchsaufbau für erste Untersuchungen im starken Magnetfeld erstellt. Für weitergehende systematische Tests wurde die Machbarkeit eines komplexen Versuchsaufbaus mit 4 Freiheitsgraden untersucht.

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 Lehrwerkstatt des Instituts waren im vergangenen Jahr 7 Auszubildende, die zum Industriemechaniker ausgebildet wurden und im dritten Lehrjahr bereits wesentliche Beiträge zu unseren laufenden Projekten lieferten. Dazu hatten wir noch 9 Praktikanten, die ein Fach- oder Orientierungspraktikum machten.

Auch im abgelaufenen Jahr fanden wieder zahlreiche Umwelttests in unserem Testlabor statt. Es wurden 24 Vibrationstests und 13 TV-Testreihen durchgeführt, wobei die Tests für die Projekte Rosetta und Herschel-PACS den Hauptanteil ausmachten.

3.8.4 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 drei Außenstellen des Instituts für extraterrestrische Physik in Berlin-Adlershof, 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

We have designed and built various devices for the Xray test facilities PUMA and ROESTI 2000 as a variable slit diaphragm and a vacuum lamp. For PUMA a stirling cooler was adapted.

For the MEGA-balloon experiment some final work as the design of a light shield for the anticoincidence was done.

For PK3-PLUS, which is the further developed plasma crystal experiment PKE-Nefedov, the pedestal was weight and strength optimised for the launch loads using FE-Analyses. We also provided some support for the breadboard model of PK4. A simple experimental set-up was established for the Large Magnetic Field Facility. For more extensive tests the feasibility of a much more sophisticated set-up with 4 degrees of freedom was investigated.

The people of the mechanical engineering department participate in the mechanical development of the above listed projects as well as external engineering offices and workshops which are mostly controlled by our engineers. In the education workshop of the institute, 7 apprentices are being instructed to become industrial mechanicians. They already provide essential contributions to ongoing projects in their third training year. In addition we had 9 trainees doing specialist- or information training.

In our test facility numerous environmental tests have been performed again. A number of 24 vibration tests and 13 TV tests have been carried out. Tests for the projects Rosetta and Herschel-PACS comprised the main share of the testing.

The Administration supports the managing directors of the Max Planck Institute für Astrophysik and the Max Planck Institute für extraterrestrische Physik in carrying out their executive duties. These activities also extend to the three branches of the MPI for Extraterrestrial Physics in Berlin-Adlershof, 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.

Richtlinien zu achten und die Direktoren bei deren Umsetzung zu beraten.

Zu den besonderen Aufgaben der Verwaltung im Berichtsjahr gehörten die Umstellungsvorbereitungen für ein neues Personalverwaltungssystem, das ab dem kommenden Jahr bei allen Max-Planck-Instituten eingeführt wird. Ferner erfolgte die Abwicklung beziehungsweise Schließung unserer Außenstelle in Berlin-Adlershof zum Jahresende, wobei die größte Schwierigkeit darin bestand, die dortigen Mitarbeiter bei anderen Max-Planck-Instituten unterzubringen. Ein seit langem gefordertes Anliegen der Verwaltung konnte zudem konzipiert und schließlich realisiert werden: die Einführung der Gleitzeit für die eigenen Mitarbeiter. Genehmigt wurde allerdings zunächst nur eine einjährige Erprobungsphase ab 2003.

Erschwert wurden unsere Arbeiten durch die von der Max-Planck-Gesellschaft betriebene Haushaltskonsolidierung. Aufgrund der 2% igen Etatkürzung konnten einige Vorhaben leider nicht realisiert werden. Particular activities of the past year included the preparation of a new staff administration system, to be introduced at all Max Planck institutes in the coming year, as well as the winding-up and closure of our Berlin-Adlershof branch at the end of the year. The most difficult task here was to find employment for the branch's staff at other Max Planck institutes. In addition, the Administration was successful in implementing a longstanding objective – the introduction of flexi-time for its own staff. However, only a one-year trial phase has been approved for 2003.

Much of our work was burdened by the stringent budget policy pursued by the Max Planck Society. As a result of the 2% cut in expenditure, a number of projects unfortunately could not be carried out.

3.8.5 Publikationsunterstützung und Druckerei / Publications Services and Print Shop

Die hauseigene Druckerei stellt im wesentlichen Berichte, Broschüren und Vorabdrucke von Veröffentlichungen des MPE und anderer, vor allem im Norden von München angesiedelten Max-Planck-Institute her. Des weiteren werden auch Vierfarbdrucke, Formulare, Briefbögen und Briefumschläge für diese Institute und die Generalverwaltung gedruckt.

Unsere Grafikgruppe ist in der Lage, alle Grafiken für Veröffentlichungen, auch für Broschüren und Poster, herzustellen.

3.8.6 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 Literaturwünschen, 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 Zeitschriftenbänden (Zuwachs ca. 600 pro Jahr) sind wir eine eher kleine Spezialbibliothek zur Benutzung für unsere Mitarbeiter und Gäste.

Unsere Bestände sind elektronisch erschlossen. An Sondersammlungen finden 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. essary for the production of reports, brochures and preprints for the MPE and other Max-Planck-Institutes primarily located in the northern part of München. In addition, it prints business products such as stationary and envelopes and reproduces colour copies for these institutes and the central administration of the MPG.

The institute's print shop owns all the machinery nec-

Our graphic group is in the position to prepare all kinds of graphics and images for publications, brochures and posters.

The Astrobibliothek is the joint library for the Max-Planck-Institutes für Astrophysik and für 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 there are observatory publications, reports and preprints as well as slides, films and videos. We also manage and send out reprints, reports and preprints from both institutes.

4 VERÖFFENTLICHUNGEN, LEHRVERANSTAL-TUNGEN / PUBLICATIONS, TEACHING

4.1 REFERIERTE PUBLIKATIONEN / REFEREED PUBLICATIONS

- Aalseth, C.E., E. Arik, D. Autiero, F.T. Avignone, K. Barth, S.M. Bowyer, H. Bräuninger, R.L. Brodzinski, et al: The CERN Axion Solar Telescope (CAST). Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) **110**, 85-87 (2002).
- Abergel, A., J.P. Bernard, F. Boulanger, D. Cesarsky, E. Falgarone, A. Jones, M.-A. Miville-Deschenes, M. Perault, J.-L. Puget, M. Huldtgren, A.A. Kaas, L. Nordh, G. Olofsson, P. Andre, S. Bontemps, M.M. Casali, C.J. Cesarsky, M.E. Copet, J. Davies, T. Montmerle, P. Persi and F. Sibille: Evolution of very small particles in the southern part of Orion B observed by ISOCAM. Astron. Astrophys. 389, 239-251 (2002).
- Aguilar, M., J. Alcaraz, J. Allaby, B. Alpat, G. Ambrosi, H. Anderhub, L. Ao, A. Arefiev, P. Azzarello and J. Trümper, et al: The Alpha Magnetic Spectrometer (AMS) on the International Space Station: Part I – results from the test flight on the space shuttle. Phys. Rep. Lett.. **366**, L331-L405 (2002).
- Ajiki, M., Y. Taniguchi, T. Murayama, T. Nagao, S. Veilleux, Y. Shioya, S.S. Fujita, Y. Kakazu, Y. Komiyama, S. Okamura, D.B. Sanders, S. Oyabu, K. Kawara, Y. Ohyama, M. Iye, N. Kashikawa, M. Yoshida, T. Sasaki, G. Kosugi, K. Aoki, T. Takata, Y. Saito, K.S. Kawabata, K. Sekiguchi, K. Okita, Y. Shimizu, M. Inata, N. Ebizuka, T. Ozawa, Y. Yadomura, H. Taguchi, H. Ando, T. Nishimura, M. Hayashi, R. Ogasawara and S. Ichikawa: A New High-Redshift Lyman-alpha Emitter: Possible Superwind Galaxy at z=5.69. Ap. J. Lett. 576, L25-L28 (2002).
- Alcaraz, J., B. Alpat, G. Ambrosi, H. Anderhub, L. Ao, A. Arefiev, P. Azzarello, E. Babucci, L. Baldini and J.Trümper et al: The Alpha Magnetic Spectrometer (AMS). Nucl. Instr. and Meth. A **478**, 119-122 (2002).
- Ambrosi, R.M., A.F. Abbey, I.B. Hutchinson, R. Willingale, A. Wells, A.D.T. Short, S. Campana, O. Citterio, G. Tagliaferri, W. Burkert and H. Bräuninger: Point spread function and centroiding accuracy measurements with the JET-X mirror and MOS CCD detector of the Swift gamma ray burst explorer's X-ray telescope. Nucl. Instr. and Meth. A 488, 543-554 (2002).
- Andreani, P., R.A.E. Fosbury, I. van Bemmel and W. Freudling: Far-infrared/millimetre emission in 3C sources. Dust in radio galaxies and quasars. Astron. Astrophys. **381**, 389-400 (2002).
- Andreani, P: Dust in evolving galaxies. Highlights of Astronomy 12, 460-463 (2002).
- Annaratone, B.M. and J.E. Allen: A Radiofrequency sustained double layer in a plasma reactor. J. Appl. Phys. **91**, 6321-6324 (2002).

- Annaratone, B.M., S.A. Khrapak, P. Bryant, G.E. Morfill, H. Rothermel, H.M. Thomas, M. Zuzic, V.E. Fortov, V.I. Molotkov and A.P. Nefedov: Complex-plasma boundaries. Phys. Rev. (E) **66**, 056411, 1-4 (2002).
- *Arzner, K., M. Scholer and R.A. Treumann:* Percolation of charged particle orbits in two-dimensional irregular magnetic fields and its effect in the magnetospheric tail. J. Geophys. Res. **107**, SMP 5, 1-14 (2002).
- Atmanspacher, H., H. Romer and H. Walach: Weak quantum theory: Complementarity and entanglement in physics and beyond. Found. Phys. **32**, 379-406 (2002).
- Auster, H.U., K.H. Fornacon, E. Georgescu, K.H. Glassmeier and U. Motschmann: Calibration of fluxgate magnetometers using relative motion. Meas. Sci. Technol. **13**, 1-8 (2002).
- Baker, J.C., R.W. Hunstead, R.M. Athreya, P.D. Barthel, E. de Silva, M.D. Lehnert and R.D.E. Saunders: Associated Absorption in Radio Quasars. I. C IV Absorption and the Growth of Radio Sources. Ap. J. 568, 592-609 (2002).
- Bamert, K., R.F. Wimmer-Schweingruber, R. Kallenbach, M. Hilchenbach, B. Klecker, A. Bogdanov and P. Wurz: Origin of the May 1998 suprathermal particles: Solar and Heliospheric Observatory/Charge, Element, and Isotope Analysis System/(Highly) Suprathermal Time of Flight Results. J. Geophys. Res. 107 (A7), SSH 6, 1-16 (2002).
- Barcons, X., F.J. Carrera, M.G. Watson, R.G. McMahon, B. Aschenbach, M.J. Freyberg, K. Page, M.J. Page, T.P. Roberts, M.J.L. Turner, D. Barret, H. Brunner, M.T. Ceballos, R. Della Ceca, P. Guillout, G. Hasinger, T. Maccacaro, S. Mateos, C. Motch, I. Negueruela, J.P. Osborne, I. Perez-Fournon, A. Schwope, P. Servigni, G.P. Szokoly, N.A. Webb, P.J. Wheatley and D. Worrall: The XMM-Newton Serendipitous Survey-II. First results from the AXIS high galactic latitude medium sensitivity survey. Astron. Astrophys. 382, 522-536 (2001).
- Barucci, M.A., E. Dotto, J.R. Brucato, T.G. Müller, P. Morris, A. Doressoundiram, M. Fulchignoni, M.C. de Sanctis, T. Owen, J. Crovisier, A. Le Bras, L. Colangeli and V. Mennella: 10 Hygiea: ISO infrared observations. Icarus 156, 202-210 (2002).
- Bauer, J.M., T.L. Roush, T.R. Geballe, K.J. Meech, T.C. Owen, W.D. Vacca, J.T. Rayner and K.T.C. Jim: The Near Infrared Spectrum of Miranda: Evidence of Crystalline Water Ice. Icarus **158**, 178-190 (2002).
- *Baumjohann, W., R. Schödel and R. Nakamura*: Bursts of fast magnetotail transport, Adv. Space Res., **30**, 2241-2264 (2002).

- *Becker, W. and G.G. Pavlov:* Pulsars and isolated Neutron Stars. In: The Century of Space Science, Eds. J.Bleeker, J.Geiss, M.C.E. Huber. Kluwer, Dordrecht, The Netherlands 721-758, 2002.
- *Benkadda, S. and V.N. Tsytovich:* Excitation of dissipative drift turbulence in dusty plasmas. Plasma Physics Reports **28**, 395 (2002).
- *Berghöfer,T.W. and D. Breitschwerdt:* The origin of the young stellar population in the solar neighborhood A link to the formation of the Local Bubble? Astron. Astrophys. **390**, 299-306 (2002).
- Beuing, J., R. Bender, C. Mendes de Oliveira, D. Thomas, and C. Maraston: Line-Strength Indices and Velocity Dispersions for 148 Early-Type Galaxies in Different Environments. Astron. Astrophys. **395**, 431-442 (2002).
- *Bezard, B., P. Drossart, T. Encrenaz and H. Feuchtgruber*: Benzene on the giant planets. Icarus **154**, 492-500 (2001).
- *Birk, G.T. and H. Wiechen:* Shear flow instabilities in magnetized partially ionized dense dusty plasmas. Phys. Plasmas **9**, 964-970 (2002).
- *Birk, G.T., H. Wiechen and H. Lesch:* Generation of magnetic seed fields in self-gravitating protogalactic clouds. Astron. Astrophys. **393**, 685-691 (2002).
- Bloser, P.F., Y. Chou, J.E. Grindlay, J. Narita and G. Monnelly: Development of an XSPEC based spectral analysis system for the coded aperture hard X-ray balloon payload EXITE2. Astroparticle Physics 17, 393-400 (2002).
- Bloser, P.F., R. Andritschke, G. Kanbach, V. Schönfelder, F. Schopper and A. Zoglauer: The MEGA advanced Compton telescope project. Astronomy with Radioactivities III: Proc. Intern. Workshop, Ringberg Castle 2001. (Eds.) R. Diehl, D. Hartmann, P. Hoppe, et al., New Astron. Rev. 46, 611-616 (2002).
- *Boese, F.G.:* On ordinary difference equations with variable coefficients. J. Math. Anal. Appl. **273**, 378-408 (2002).
- *Boese, F.G.:* On the asymptotical stability of multivariate dynamical systems. Proc. Appl. Math. Mech. **1**, 107-108 (2002).
- *Boese, F.G.:* Asymptotical stability of partial differene equations with variable coefficients. Journ. Math. Anal. Appl. **276**, 709-722 (2002).
- Bogdanov, A.T., B. Klecker, E. Möbius, M. Hilchenbach, M.A. Popecki, L.M. Kistler and D. Hovestadt: Observations of heavy ion charge spectra in CME driven gradual solar energetic particle events. Adv. Space Res. **30**, 111-117 (2002).
- Böhringer, H., C.A. Collins, L. Guzzo, P. Schuecker, W. Voges, D.M. Neumann, S. Schindler, G. Chincarini, S. De Grandi, R.G. Cruddace, A.C. Edge, T.H. Reiprich and P. Shaver: The ROSAT-ESO flux-limited X-ray (RLFLEX) galaxy cluster survey. IV. The X-ray luminosity function. Ap. J. 566, 93-102 (2002).
- Böhringer, H., K. Matsushita, E. Churazov, Y. Ikebe and Y. Chen: The New Emerging Model for the Structure

of Cooling Cores in Clusters. Astron. Astrophys. 382, 804-820 (2002).

- *Böhringer, H.:* Galaxy clusters as probes for matter in the Universe. Space Sci. Rev **100**, 49-60 (2002).
- Boller, Th., A.C. Fabian, R. Sunyaev, J. Trümper, S. Vaughan, D.R. Ballantyne, W.N. Brandt, R. Keil and K. Iwasawa: XMM-Newton discovery of a sharp spectral feature at ~7 keV in the narrow-line Seyfert-1 galaxy 1H0707 49. Mon. Not. R. Astron. Soc. **329**, L1-L5 (2002).
- *Boller, Th., L.C. Gallo, D. Lutz and E. Sturm:* Mrk 1014: an AGN-dominated ultraluminous infrared galaxy. Mon. Not. R. Astron. Soc. **336**, 1143-1146 (2002).
- Boumis, P., F. Mavromatakis, E.V. Paleologou and W. Becker: New optical filamentary structures in Pegasus. Astron. Astrophys. **396**, 225-234 (2002).
- Brandt, W.N., D.P. Schneider, X.H. Fan, M.A. Strauss, J.E. Gunn, G.T. Richards, S.F. Anderson, D.E. vanden Berk, N.A. Bahcall, J. Brinkmann, R. Brunner, B. Chen, G.S. Hennessy, D.Q. Lamb, W.Voges and D.G. York: Exploratory Chandra observations of the three highest redshift quasars known. Ap. J. Lett. **569**, L5-L9 (2002).
- *Breitschwerdt, D., V.A. Dogiel and H.J. Volk:* The gradient of diffuse gamma-ray emission in the Galaxy. Astron. Astrophys. **385**, 216-238 (2002).
- Bremer, M.N., J.C. Baker and M.D. Lehnert: A quasar in a compact group of galaxies at z=0.7. Mon. Not. R. Astron. Soc. **337**, 470-476 (2002).
- *Brinkmann, W., E. Ferrero and M. Gliozzi:* XMM-Newton observations of the BAL quasar PHL 5200: The big surprise. Astron. Astrophys. **385**, 31-35 (2002).
- Brough, S, C.A. Collins, D.J. Burke, R.G. Mann and P.D. Lynam: Evolution of brightest cluster galaxies in X-ray clusters. Mon. Not. R. Astron. Soc. **329**, L53-L56 (2002).
- *Castoldi, A., C. Guazzoni and L. Strüder:* Effects of deep n-implants on the electrons transport in silicon drift detectors. IEEE Trans. Nucl. Sci. **49**, 1055-1058 (2002).
- Castoldi, A., G. Cattaneo, A. Galimberti, C. Guazzoni, P. Rehak and L. Strüder: Room temperature 2-D X-ray imaging with the controlled drift detector. IEEE Trans. Nucl. Sci. 49, 989-994 (2002).
- Cervino, M., D. Valls-Gabaud, V. Luridiana and J.M. Mas-Hesse: Confidence levels of evolutionary synthesis models - II. On sampling and Poissonian fluctuations. Astron. Astrophys. **381**, 51-64 (2002).
- Cervino, M., R. Diehl, K. Kretschmer and S. Pluschke: Radioactive isotopes in star forming regions. Astronomy with Radioactivities III: Proc. Intern. Workshop, Ringberg Castle 2001. (Eds.) R. Diehl, D. Hartmann, P. Hoppe, et al., New Astron. Rev. 46, 541-545 (2002).
- *Cervino, M and V. Luridiana:* Confidence limits of evolutionary synthesis models. Astrophys. Space Sci. **281**, 207-210 (2002).

- *Chakraborty, P., M.G. Mustafa and M.H. Thoma:* Quark Number Susceptibility in Hard Thermal Loop Approximation. European Physical Journal C 23, 591-596 (2002).
- Charmandaris, V., O. Laurent, E. Le Floc'hj, I.F. Mirabel, M. Sauvage, S.C. Madden, P. Gallais, L. Vigroux and C.J. Cesarsky: Mid-infrared observations of the ultraluminous galaxies IRAS 14348-1447, IRAS 19254-7245 and IRAS 23128-5919. Astron. Astrophys. **391**, 429-440 (2002).
- Chen Y., X.T. He, J.H. Wu, Q.K. Li, R.F. Green and W. Voges: The multiwavelength Quasar Survey. II. Quasars in the Coma Cluster. Ap. J. **123**, 578-582 (2002).
- Churazov, E., R. Sunyaev, W. Forman and H. Böhringer: Cooling Flows as a Calorimeter of AGN Mechanical Power. Mon. Not. R. Astron. Soc. **332**, 729-734 (2002).
- Coburn. W., W.A. Heindl, R.E. Rothschild, D.E. Gruber, I. Kreykenbohm, J. Wilms, P. Kretschmar and R. Staubert: Magnetic fields of accreting X-ray pulsars with the Rossi X-ray Timing Explorer. Ap. J. 580, 394-412 (2002).
- Contursi, A., M.J. Kaufman, G. Helou, D.J. Hollenbach, J. Brauher, G. Stacey, D.A. Dale, S. Malhotra, M. Rubio, R.H. Rubin and S.D. Lord: ISO LWS Observations of the Two Nearby Spiral Galaxies NGC 6946 and NGC 1313. Astron. J. **124**, 751-776 (2002).
- Coustenis, A., T. Encrenaz, E. Lellouch, A. Salama, T. Müller, M.J. Burgdorf, B. Schmitt, H. Feuchtgruber, B. Schulz, S. Ott, T. de Graauw, M.J. Griffin and M.F. Kessler: Observations of planetary satellites with ISO. Adv. Space Res. **30**, 1971-1977 (2002).
- Cruddace, R., W. Voges, H. Böhringer, C.A. Collins, K.A. Romer, H. MacGillivray, D. Yentis, P. Schuecker, H. Ebeling and S. De Grandi: The ROSAT All-Sky Survey: A Catalog of Clusters of Galaxies in a Region of 1 Steradian around the South Galactic Pole. Ap. J. Suppl. Ser. **140**, 239-264 (2002).
- Dannerbauer, H., M.D. Lehnert, D. Lutz, L. Tacconi, F. Bertoldi, C. Carilli, R. Genzel and K. Menten: Properties of Millimeter Galaxies: Constraints from K-Band Blank Fields. Ap. J. **573**, 473-484 (2002).
- *Davies, R., A. Burston and M. Ward:* Investigating the central engine of ultraluminous infrared galaxies: near infrared imaging. Mon. Not. R. Astron. Soc. **329**, 367-376 (2002).
- de Angelis, U., R. Bingham, A. Forlani and V.N. Tsytovich: Scattering and transformation of waves in dusty plasmas. Physica Scripta, **T98**, 163-7 (2002).
- Dennerl, K., V. Burwitz, J. Englhauser, C. Lisse and S. Wolk: Discovery of X-rays from Venus with Chandra. Astron. Astrophys. **386**, 319-330 (2002).
- Dennerl, K.: Discovery of X-rays from Mars with Chandra. Astron. Astrophys. **394**, 1119-1128 (2002).
- Dewangan, G.C., Th. Boller, K.P. Singh and K.M. Leighly: A 10-day ASCA observation of the narrowline Seyfert-1 galaxy IRAS 13224-3809. Astron. Astrophys. **390**, 65-80 (2002).

- Diehl, R., D.H. Hartmann, P. Hoppe and N. Prantzos (Eds.): Preface. In: Astronomy with Radioactivities III: Proc. Intern. Workshop, Ringberg Castle 2001. New Astron. Rev. 46, 457-458 (2002).
- *Diehl, R., D.H. Hartmann, P. Hoppe and N. Prantzos:* Astronomy with Radioactivities III. Publ. Astron. Soc. Pac. **114**, 260-261 (2002).
- *Diehl, R.:* ²⁶Al Production in the Vela and Orion Regions. Astronomy with Radioactivities III: Proc. Intern. Workshop, Ringberg Castle 2001. New Astron. Rev. **46**, 547-552 (2002).
- Dogiel, V.A., H. Inoue, K. Masai, V. Schönfelder and A.W. Strong: The Origin of Diffuse X-ray Emission from the Galactic Ridge. I. Energy Output of Particle Sources. Ap. J. **581**, 1061-1070 (2002).
- *Dogiel, V.A., V. Schönfelder and A.W. Strong:* The cosmic ray Luminosity of the Galaxy. Ap. J. Lett. **572**, L157-L159 (2002).
- *Dogiel, V.A., V. Schönfelder and A.W. Strong:* Nonthermal hard X-ray emission from the Galactic Ridge. Astron. Astrophys. **382**, 730-745 (2002).
- Donley, J.L., W.N. Brandt, M. Eracleous and Th. Boller: Large-Amplitude X-ray Outbursts from Galactic Nuclei: A Systematic Survey using ROSAT Archival Data. Astron. J. **124**, 1308-1321 (2002).
- Dotto, E., M.A. Barucci, T.G. Müller, J.R. Brucato, V. Mennella, L. Colangeli and M. Fulchignoni: ISO observations of low and moderate albedo asteroids – PHT-P and PHT-S results. Astron. Astrophys. **393**, 1065-1072 (2002).
- Drozdovsky, I.O., R.E. Schulte-Ladbeck, U. Hopp, L. Greggio and M.M. Crone: The Dwarf Irregular/Wolf-Rayet Galaxy NGC 4214: I. Stellar Content, a new Distance, and Global Parameters. Astron. J. **124**, 811-827 (2002).
- Drury, L.O., D.E. Ellison, F.A. Aharonian, E. Berezhko, A. Bykov, A. Decourchelle, R. Diehl, G. Meynet, E. Parizot, J. Raymond, S. Reynolds and S. Spangler: Test of Galactic Cosmic-ray source models – Working group report. Space Sci. Rev 99, 329-352 (2001).
- Durisen, R.H., A.C. Mejia, B.K. Pickett and T.W. Hartquist: Gravitational instabilities in the disks of massive protostars as an explanation for linear distributions of methanol masers. Ap. J. 563, L157-L160 (2001).
- *Eckart, A., R. Genzel, T. Ott and R. Schödel:* Stellar Orbits Near Sagittarius A*. Mon. Not. R. Astron. Soc. **331**, 917-934 (2002).
- Elbaz, D., F. Flores, I.F. Mirabel, P. Chanial, D.B. Sanders, P.-A. Duc, C.A. Cesarsky and H. Aussel: ISOCAM Mid-Infrared Detection of HR10: A Distant Clone of Arp 220 at z=1.44. Astron. Astrophys. Lett. **381**, L1-L4 (2002).
- *Endl, M., M. Kürster, S. Els, A.P. Hatzes, W.D. Cochran, K. Dennerl and S. Döbereiner:* The planet search program at the ESO coudé Echelle spectrometer III. The complete Long Camera survey results. Astron. Astrophys. **392**, 671-690 (2002).

- *Evans, A.S., J.M. Mazzarella, J.A. Surace and D.B. Sanders:* Molecular Gas and Nuclear Activity in Ultraluminous infrared Galaxies with Double-Nuclei. Ap. J. **580**, 749-762 (2002).
- Fabian, A.C., D.R. Ballantyne, A. Merloni, S. Vaughan, K. Iwasawa and Th. Boller: How the X-ray spectrum of a narrow-line Seyfert-1 galaxy may be reflectiondominat(Ed.) Mon. Not. R. Astron. Soc. Lett. **331**, L35-L39 (2002).
- Fadda, D., H. Flores, G. Hasinger, A. Franceschini, B. Altieri, C.J. Cesarsky, D. Elbaz and Ph. Ferrando: The AGN contribution to mid-infrared surveys. X-ray counterparts of the mid-IR sources in the Lockman Hole and HDF-N. Astron. Astrophys. **383**, 838-853 (2002).
- Farrah, D., A. Verma, S. Oliver, M. Rowan-Robinson and R. McMahon: Hubble Space Telescope Wide Field Planetary Camera 2 observations of hyperluminous infrared galaxies. Mon. Not. R. Astron. Soc. **329**, 605-619 (2002).
- Farrah, D., S. Serjeant, A. Efstathiou, M. Rowan-Robinson and A. Verma: Sub-millimetre observations of hyperluminous infrared galaxies. Mon. Not. R. Astron. Soc. **335**, 1163-1175 (2002).
- Fedorova, A.A., E. Lellouch, D.V. Titov, T. de Graauw and H. Feuchtgruber: Remote sounding of the Martian dust from ISO spectroscopy in the 2.7μ m CO₂ bands. Planet. Space Sci. **50** (1), 3-9 (2002).
- Fernandez-Borda, R.A., P.D. Mininni, C.H. Mandrini, D.O. Gómez, O.H. Bauer and M.G. Rovira: Automatic Solar Flare Detection Using Neural Network Techniques. Sol. Phys. **206**, 347-357 (2002).
- *Finoguenov, A. and C. Jones:* Chandra Observation of Low-Mass X-ray Binaries in the Elliptical Galaxy M84. Ap. J. **574**, 754-761 (2002).
- *Finoguenov, A., C. Jones, H. Böhringer and T.J. Ponman:* ASCA Observations of Groups at Radii of Low Overdensity: Implications for the Cosmic Preheating. Ap. J. **578**, 74-89 (2002).
- *Finoguenov, A., K. Matsushita, H. Böhringer, Y. Ikebe and M. Arnaud:* X-ray evidence for spectroscopic diversity of type Ia supernovae: XMM observation of the elemental abundance pattern in M87. Astron. Astrophys. **381**, 21-31 (2002).
- *Finoguenov, A., R.P. Kudritzki and C. Jones:* Probing the intracluster star-light with Chandra. Astron. Astrophys. Lett. **387**, L10-L12 (2002).
- *Fiorini, C., A. Longoni, C. Labanti, E. Rossi, P. Lechner, H. Soltau and L. Strüder:* A monolythic array of silicon drift detectors for high resolution gamma-ray imaging. IEEE Trans. Nucl. Sci. **49**, 0995-1000 (2002).
- Fuhrmann, K.F.: Where are the halo stars?. New Astron. 7, 161-169 (2002).
- Georgii, R., S. Plüschke, R. Diehl, G.G. Lichti, V. Schönfelder, H. Bloemen, W. Hermsen, J. Ryan and K. Bennett: COMPTEL upper limits for the ⁵⁶Co gamma-ray emission from SN1998bu. Astron. Astrophys. **394**, 517-523 (2002).

- Giacchoni, R., A. Zirm, J. Wang, P. Rosati, M. Nonino, P. Tozzi, R. Gilli, V. Mainieri, G. Hasinger, L. Kewley, J. Bergeron, S. Borgani, R. Gilmozzi, N. Grogin, A. Koekemoer, E. Schreier, W. Zheng and C. Norman: Chandra Deep Field South: The 1 Ms Catalog. Ap. J. Suppl. Ser. **139**, 369-410 (2002).
- Giveon, U., A. Sternberg, D. Lutz, H. Feuchtgruber and A.W.A. Pauldrach: The Excitation and Metallicity of Galactic HII regions from Infrared Space Observatory SWS observations of Mid-Infrared Fine-Structure Lines. Ap. J. 566, 880-897 (2002).
- + Erratum Ap.J. **575**, 385-386 (2002).
- *Gliozzi, M., W. Brinkmann, C. Räth, I.E. Papadakis, H. Negoro and H. Scheingraber:* On the nature of X-ray variability in Ark 564. Astron. Astrophys. **391**, 875-886 (2002).
- Gochermann, J. and T. Schmidt-Kaler: Massive luminous early type stars in the LMC I. The reddening of individual stars and the LMC reddening law. Astron. Astrophys. **391**, 187-193 (2002).
- Goldader, J.D., G.R. Meurer, T.M. Heckman, M. Seibert, D.B. Sanders, D. Calzetti and C.C. Steidel: Far-infrared Galaxies in the Far-Ultraviolet. Ap. J. 568, 651-678 (2002).
- González-Alfonso, E., C.M. Wright, J. Cernicharo, D. Rosenthal, A.M.S. Boonman and E.F. van Dishoeck: CO and H₂O vibrational emission toward Orion Peak 1 and Peak 2. Astron. Astrophys. **386**, 1074-1102 (2002).
- *Greiner, J. and R. DiStefano:* Chandra observation of the recurrent nova CI Aquilae after its April 2000 outburst. Ap. J. Lett. **578**, L59-L62 (2002).
- *Greiner, J. and R. DiStefano:* X-ray off states and optical variability in CAL 83. Astron. Astrophys. **387**, 944-954 (2002).
- Greiner, J., P. Friedrich, D.E. Liebscher, G. Hasinger, P.D. Maley and B. Lubke-Ossenbeck: Deriving the spin rate/ orientation from the quiescent spacecraft ABRIXAS using optical observations. Acta Astronautica **48**, 469-478 (2001).
- *Greiner, J., E.H. Morgan and R.A. Remillard:* RXTE Observations of GRS 1915+105. In: Proc. Multifrequency Behaviour of High Energy Cosmic Sources. (Eds.) F. Giovannelli, L. Sabau-Graziati. Mem. Societa Astron. Italiana 2002, **73**, 281-287.
- *Grupe, D. and H.-C. Thomas:* Near Infrared observations of Soft X-ray selected AGN. Astron. Astrophys. **386**, 854-859 (2002).
- *Haberl, F. and V.E. Zavlin:* XMM-Newton observations of the isolated neutron star RX J0806.4-4123. Astron. Astrophys. **391**, 571-576 (2002).
- Haberl, F., C. Motch and F.-J. Zickgraf: X-ray and optical observations of 1RXS J154814.5-452845: A new intermediate polar with soft X-ray emission. Astron. Astrophys. **387**, 201-214 (2002).
- Hambaryan, V., G. Hasinger, A.D. Schwope and N.S. Schulz: Discovery of 5.16 s pulsations from the isolated neutron star RBS 1223. Astron. Astrophys. **381**, 098-104 (2002).

- Harris, D.E., A. Finoguenov, A.H. Bridle, M.J. Hardcastle and R.A. Laing: X-ray Detection of the Inner Jet in the Radio Galaxy M84. Ap. J. **580**, 110-113 (2002).
- Hashimoto, Y., G. Hasinger, M. Arnaud, P. Rosati and T. Miyaji: XMM-Newton observation of a distant X-ray selected cluster of galaxies at z=1.26 with possible cluster interaction. Astron. Astrophys. **381**, 841-847 (2002).
- Hasinger, G. and R. Gilli: The cosmic reality check. Scientific American **286**, 46-53 (2002).
- Hasinger, G., N. Schartel and S. Komossa: Discovery of an Ionized Fe K Edge in the z=3.91 Broad Absorption Line Quasar APM 08279+5255 with XMM-Newton. Ap. J. Lett. **573**, L77-L80 (2002).
- Hasinger, G.: Hunting the first black holes. Philosophical Transactions of The Royal Society of London Series A. Mathematical Physical and Engineering Sciences **360**, 2077-2090 (2002).
- Havnes, O., T.W. Hartquist, A. Brattli, G.M.W. Kroesen and G. Morfill: Dynamic Mach cone as a diagnostic method in reactive dusty plasma experiments. Phys. Rev (E) **65**, 045403, 1-4 (2002).
- Haerendel, G.: Conditions for auroral particle acceleration. Adv.Space Res. **30**, 1763-1774 (2002).
- Horbury, T.S., P.J. Cargill, E.A. Lucek, J.P. Eastwood, A. Balogh, M.W. Dunlop, K.-H. Fornacon and E. Georgescu: Four-spacecraft measurements of the terrestrial bow shock: Orientation and motion. J. Geophys. Res. **107** (A8), SSH 10, 1-11 (2002).
- *Ikebe, Y, T.H. Reiprich, H. Böhringer, Y. Tanaka and T. Kitayama:* A New Measurement of the X-ray Temperature Function of Clusters of Galaxies. Astron. Astrophys. **383**, 773-790 (2002).
- Ivezic, Z., K. Menou, G.R. Knapp, M.A. Strauss, R.H. Lupton, D. Vanden Berk, G.R. Richards, C. Tremonti, M. Weinstein, S. Anderson, N.A. Bahcall, R.H. Becker, M. Bernardi, M. Blanton, D. Eisenstein, X. Fan, D. Finkbeiner, K. Finlator, J. Frieman, J.E. Gunn, P. Hall, D.J. Helfand, R.S.J. Kim, A. Kinkhabwala, V.K. Narayanan, C.M. Rockosi, D. Schlegel, D.P. Schneider, I. Strateva, M. Subbarao, A.R. Thakar, W. Voges, R.L. White, B. Yanny and J. Brinkmann: Optical and Radio Properties of Extragalactic Sources Observed by the FIRST Survey and the Sloan Digital Sky Survey. Astron. J. 124, 2364-2400 (2002).
- *Ivlev, A.V., G.E. Morfill and U. Konopka:* Coagulation of Charged Microparticles in Neutral Gas and Charge-Induced Gel Transitions. Phys. Rev. Lett. **89**, 095004, 1-4 (2002).
- *Iyudin, A.F.:* Terrestrial impact of the galactic historical SNe. Journal Of Atmospheric And Solar- Terrestrial Physics **64**, 669-676 (2002).
- Jacobs, G., V.V. Yaroshenko and F. Verheest: Lowfrequency electrostatic waves in self-gravitating dusty plasmas with dust-ion collisions. Phys. Rev. (E) **66**, 026407, 1-7 (2002).
- Jogee, S., I. Shlosman, S. Laine, P. Englmaier, J.H. Knapen, N. Scoville and C. Wilson: Gasdynamics in NGC 5248: Fueling a Circumnuclear Starburst Ring of

Super-Star Clusters. Ap. J. 575, 156-177 (2002).

- Jogee, S., J.H. Knapen, S. Laine, I. Shlosman, N.Z. Scoville and P. Englmaier: Discovery and Implications of a new Large-Scale Stellar Bar in NGC 5248. Ap. J. Lett. **570**, L55-L59 (2002).
- Jordan, S. and S. Friedrich: Search for variations in circular polarization spectra of the magnetic white dwarf LP790-29. Astron. Astrophys. **383**, 519-523 (2002).
- Judge, D.L., D.R. McMullin, P. Gangopadhyay, H.S. Ogawa, F.M. Ipavich, A.B. Galvin, E. Möbius, P. Bochsler, P. Wurz, M. Hilchenbach, H. Grünwaldt, D. Hovestadt, B. Klecker and F. Gliem: Space weather observations using the SOHO/CELIAS complement of instruments. J. Geophys. Res. **106**, 29963-29968 (2002).
- Kasper, M.E., M. Feldt, T.M. Herbst, S. Hippler, T. Ott and L.E. Tacconi-Garman: Spatially Resolved Imaging Spectroscopy of T Tauri. Ap. J. **568**, 267-272 (2002).
- *Khodachenko, M.L. and V.V. Zaitsev:* Formation of intensive magnetic flux tubes in a converging flow of partially ionized solar photospheric plasma. Astrophys. Space Sci. **279**, 389-410 (2002).
- *Khrapak, S.A. and G.E. Morfill:* Dust diffusion across a magnetic field due to random charge fluctuations. Phys. Plasmas **9**, 619-623 (2002).
- Khrapak, S.A., A.V. Ivlev, G.E. Morfill and H.M. Thomas: Ion drag force in complex plasmas. Phys. Rev. (E) **66**, 046414, 1-4 (2002).
- *Kim, C. and Th. Boller:* Long-Term Soft X-Ray Variability of Active Galaxies. I. Mrk 926. Astrophys. Space Sci. **281**, 663-671 (2002).
- *Kim, D.-C., S. Veilleux and D.B. Sanders:* Optical and Near-Infrared Imaging of the IRAS 1-Jy Sample of Ultraluminous infrared Galaxies. I. The Atlas. Ap. J. Suppl. Ser. **143**, 277-314 (2002).
- Kistler, L.M., H.U. Frey, E. Möbius, C. Mouikis, J.M. Quinn, B. Klecker, H. Rème; J.M. Bosqued, I. Dandouras, J.-A. Sauvaud, A.M. Di Lellis, V. Formisano, M.F. Marcucci, C.W. Carlson, J.P. McFadden, G.K. Parks, M. McCarthy, A. Korth, L. Eliasson, R. Lundin, G. Paschmann, M.A. Popecki, S.B. Mende, J.D. Winningham and A.N. Fazakerley: Motion of auroral ion outflow structures observed with CLUSTER and IM-AGE FUV. J. Geophys. Res. **107** (A8), SMP 17, 1-11 (2002).
- Koekemoer, A.M., N.A. Grogin, E.J. Schreier, R. Giacconi, R. Gilli, L. Kewley, C. Norman, A. Zirm, J. Bergeron, P. Rosati, G. Hasinger, P. Tozzi and A. Marconi: Hubble Space Telescope Imaging in the Chandra Deep Field-South. II. WFPC2 Observations of an X-ray Flux-limited Sample from the 1 Million Second Chandra Catalog. Ap. J. 567, 657-671 (2002).
- *Komossa, S., M. Gliozzi and I. Papadakis:* The warm absorber of MR2251-178. Astron. and Astrophys. Transactions **20**, 329-330 (2001).
- König, B., K. Fuhrmann, R. Neuhäuser, D. Charbonneau and R. Jayawardhana: Direct detection of the

companion of chi 1 Orionis. Astron. Astrophys. **394**, L43-L46 (2002).

- Korenkov, Yu.N., V.V. Klimenko, F.S. Bessarab and M. Förster: Modelling F2-layer parameters of the ionosphere for quiet conditions of January 21-22, 1993 (in Russian). Geomagnetism and Aeronomy **42** (3), 1-10 (2002).
- Kreykenbohm, I., W. Coburn, J. Wilms, P. Kretschmar, R. Staubert, W.A. Heindl and R.E. Rothschild: Confirmation of two cyclotron lines in Vela X-1. Astron. Astrophys. **395**, 129-140 (2002).
- *Kulikov, O.L. and K. Hornung:* Wall detachment and high rate surface defects during extrusion of clay. Journal Of Non-Newtonian Fluid Mechanics **107**, 133-144 (2002).
- *LaBelle, J. and R. A. Treumann:* Auroral radio emissions, 1. Hisses, roars, and bursts. Space Sci. Rev. **101**, 295-440 (2002).
- Lacy, J.H., M.J. Richter, T.K. Greathouse, D.T. Jaffe and Q. Zhu: TEXES: A Sensitive High-Resolution Grating Spectrograph for the Mid-Infrar(Ed.) Publ. Astron. Soc. Pac. **114**, 153-168 (2002).
- Lauer, T.R., K. Gebhardt, D. Richstone, S. Tremain, R. Bender, G. Bower, A. Dressler, S.M. Faber, A.V. Filippenko, R. Green, et al.: Galaxies With a Central Minimum in Stellar Luminosity Density. Astron. J. Lett. **124**, L1975-L1987 (2002).
- Lavraud, B., M.W. Dunlop, T.D. Phan, H. Rème, J.-M. Bosqued, I. Dandouras, J.-A. Sauvaud, R. Lundin, M.G.G.T. Taylor, P.J. Cargill, C. Mazelle, C.P. Escoubet, C. Carlson, J.P. McFadden, G.K. Parks, E. Möbius, L.M. Kistler, M.-B. Bavassano-Cattaneo, A. Korth, B. Klecker and A. Balogh: Cluster observations of the exterior cusp and its surrounding boundaries under northward IMF. Geophys. Res. Lett. **29** (**20**), 56, 1-4 (2002).
- Le Floc'h, E., V. Charmandaris, O. Laurent, I.F. Mirabel, P. Gallais, M. Sauvage, L. Vigroux and C. Cesarsky: Extended mid- infrared emission from VV 114: Probing the birth of a ULIRG. Astron. Astrophys. **391**, 417-428 (2002).
- Lellouch, E., B. Bezard, J.I. Moses, G.R. Davis, P. Drossart, H. Feuchtgruber, E.A. Bergin, R. Moreno and T. Encrenaz: The Origin of Water Vapor and Carbon Dioxide in Jupiter's Stratosphere. Icarus **159**, 112-131 (2002).
- *Li, W., N.J. Evans II, D.T. Jaffe, E.F. van Dishoeck and W.-F. Thi:* Photon-dominated Regions in Low-Ultraviolet Fields: A Study of the Peripheral Region of L1204/S140. Ap. J. **568**, 242-258 (2002).
- Longoni, A., C. Fiorini, C. Guazzoni, A. Gianoncelli, L. Strüder, H. Soltau, P. Lechner, A. Bjeoumikhov, J. Schmalz, N. Langhoff and R. Wedell: A new XRF spectrometer based on a ring-shaped multi-element silicon drift detector and on X-ray capillary optics. IEEE Trans. Nucl. Sci. 49, 1001-1005 (2002).
- Lozinskaya, T.A., V.V. Pravdikova and A. Finoguenov: Searches for the Shell Swept up by the Stellar Wind from Cyg OB2. Astronomy Letters **28**, 223-236 (2002).

- Lu, F.J., Q.D. Wang, B. Aschenbach, Ph. Durouchoux and L.M. Song: Chandra Observations of supernova remnant G54.1+0.3 – a close cousin of the Crab Nebula. Ap. J. Lett. **568**, L49-L52 (2002).
- *Luridiana, V., M. Cervino and L. Binette:* Can stellar winds account for temperature fluctuations? The case of NGC 2363. Astrophys. Space Sci. **281**, 323-324 (2002).
- Lutz, D., R. Maiolino, A.F.M. Moorwood, H. Netzer, S.J. Wagner, E. Sturm and R. Genzel: Infrared Spectroscopy around 4µm of Seyfert 2 galaxies: Obscured broad line regions and coronal lines. Astron. Astrophys. **396**, 439-448 (2002).
- *Lutz, D.:* ISO Spectroscopy of Galaxies, Adv. Space Res. **30**, 1989-1999 (2002).
- Mainieri, V., J. Bergeron, G. Hasinger, I. Lehmann, P. Rosati, M. Schmidt, G. Szokoly and R. Della Ceca: XMM-Newton observation of the Lockman Hole. II. Spectral analysis. Astron. Astrophys. **393**, 425-438 (2002).
- *Majerowicz, S., D.M. Neumann and T.H. Reiprich:* XMM-NEWTON observation of Abell 1835: Temperature, mass and gas mass fraction profiles. Astron. Astrophys. **394**, 77-87 (2002).
- Mann, R.G., S. Oliver, R. Carballo, A. Franceschini, M. Rowan-Robinosn, A. Heavens, M. Kontizas, D. Elbaz, A. Dapergolas, E. Kontizas, G. Granato, L. Silva, D. Rigopoulou, I. Gonzalez-Serrano, A. Verma, S. Serjeant, A. Efstathiou and P. van der Werf: Observations of the Hubble Deep Field South with the Infrared Space Observatory - II. Associations and star formation rates. Mon. Not. R. Astron. Soc. **332**, 549-574 (2002).
- Marchenko, S.V., A.F.J. Moffat, W.D. Vacca, S. Cote and R. Doyon: Massive Binary WR 112 and Properties of Wolf-Rayet Dust. Ap. J. Lett. **565**, L59-L62 (2002).
- Masai, K, V.A. Dogiel, H. Inoue, V. Schönfelder, and A.W. Strong: The Origin of Diffuse X-ray Emission from the Galactic Ridge. II. Nonequilibrium Emission due to In-Situ Accelerated Electrons. Ap. J. **581**, 1071-1079 (2002).
- Matsushita, K., E. Belsole, A. Finoguenov and H. Böhringer: XMM-Newton observation of M87. I. Single-phase temperature structure of intracluster medium. Astron. Astrophys. **386**, 77-96 (2002).
- *Mayer-Hasselwander, H.A.:* Gamma-Rays Probing the "High-Energy" Universe. In: Proc. of First International Conference on Particle and Fundamental Physics in Space, La Biodola, Isola d'Elba, Italy. Nuclear Physics B (Proc. Suppl.) **113**, 32-39 (2002).
- McConnell, M.L., A.A. Zdziarski, K. Bennett, H. Bloemen, W. Collmar, W. Hermsen, L. Kuiper, W. Paciesas, B.F. Phlips, J. Poutanen, J.M. Ryan, V. Schönfelder, H. Steinle and A.W. Strong: The Soft Gammaray Spectral Variability of Cygnus X-1. Ap. J. 572, 984-995 (2002).
- McDonald, F.B., B. Klecker, R.E. McGuire and D.V. Reames: Relative recovery of galactic and anomalous cosmic rays at 1 AU: Further evidence for modulation

in the heliosheath. J. Geophys. Res. **107 (A8)**, SSH 2, 1-9 (2002).

- Mehlert, D., S. Noll, I. Appenzeller, R.P. Saglia, A. Boehm, K.J. Fricke, J. Heidt, U. Hopp, K. Jaeger, C. Moellenhoff, O. Stahl and B.L. Ziegler: Evidence for Chemical Evolution in the Spectra of High Redshift Galaxies. Astron. Astrophys. **393**, 809-819 (2002).
- Memola, E., C. Fendt and W. Brinkmann: Theoretical X-ray spectra of relativistic MHD jets. Astron. Astrophys. **385**, 1089-1094 (2002).
- Mengel, S., M.D. Lehnert, N. Thatte and R. Genzel: Dynamical masses of young star clusters in NGC 4038/4039. Astron. Astrophys. **383**, 137-152 (2002).
- Mereghetti, S., A. De Luca, P.A. Caraveo, W. Becker, R. Mignani and G.F. Bignami: Pulse Phase Variations of the X-Ray Spectral Features in the Radio-quiet Neutron Star 1E 1207-5209, Ap.J. **581**, 1280-1285, (2002.).
- Michael, E., S. Zhekov, R. McCray, U. Hwang, D.N. Burrows, S. Park, G.P. Garmire, S.S. Holt and G. Hasinger: The X-Ray Spectrum of Supernova Remnant 1987A. Ap. J. 574, 166-178 (2002).
- *Mignani, R.P., A. De Luca, P.A. Caraveo and W. Becker:* Hubble Space Telescope proper motion confirms the optical identification of the nearby pulsar PSR 1929+10. Ap. J. Lett. **580**, L147-L150 (2002).
- Miller, J.M., A.C. Fabian, R. Wijnands, C.S. Reynolds, M. Ehle, M.J. Freyberg, M. van der Klis, W.H.G. Lewin, C. Sanchez-Fernandez and A.J. Castro-Tirado: Evidence of Spin and Energy Extraction in a Galactic Black Hole Candidate: The XMM-Newton/Epic-pn Spectrum of XTE J1650-500. Ap. J. Lett. **570**, L69-L73 (2002).
- *Mineo, T., E. Massaro, G. Cusumano and W. Becker:* BeppoSAX observations of the three gamma- ray pulsars PSR B0656+ 14, PSR B1055-52 and PSR B1706-44. Astron. Astrophys. **392**, 181-187 (2002).
- Mirabel, I.F., R. Mignani, I. Rodrigues, J.A. Combi, L.F. Rodriguez and F. Guglielmetti: The runaway black hole GRO J1655- 40. Astron. Astrophys. **395**, 595-599 (2002).
- Möbius, E., D. Morris, M.A. Popecki, B. Klecker, L.M. Kistler and A.B. Galvin: Charge states of energetic (~0.5 MeV/n) ions in corotating interaction regions at 1 AU and implications on source populations. Geophys. Research Lett. **29** (**2**), 1016, doi:10.1029/ 2001GL013410, 1-4 (2002).
- Möbius, E., M.A. Popecki, B. Klecker, L.M. Kistler, A.T. Bogdanov, A.B. Galvin, D. Heirtzler, D. Hovestadt and D. Morris: Ionic charge states of solar energetic particles from solar flare events during the current rise of solar activity as observed with ACE SEPICA. Adv. Space Res. **29**, 1501-1512 (2002).
- Mohan, N.R., A. Cimatti, H.J.A. Röttgering, P. Andreani, P. Severgnini, R.P.J. Tilanus, C.L. Carilli and S.A. Stanford: Search for sub-mm, mm and radio continuum emission from extremely red objects. Astron. Astrophys. 383, 440-449 (2002).

- *Moitinho, A., J. Alves, N. Huelamo and C.J. Lada:* NGC 2362: A template for early stellar evolution. Ap. J. **563**, L73-L76 (2001).
- *Mokler, F. and B. Stelzer:* X-ray emission near the substellar limit: The sigma Orionis and Taurus star forming regions. Astron. Astrophys. **391**, 1025-1032 (2002).
- *Morfill, G. and V.N. Tsytovich:* Modeling of complex plasmas under micro- gravity conditions. Phys. Plasmas **9**, 4-16 (2002).
- Morfill, G.E., B.M. Annaratone, P. Bryant, A.V. Ivlev, H.M. Thomas, M. Zuzic and V.E. Fortov: A review of liquid and crystalline plasmas – new physical states of matter? Plasma Phys. Control. Fusion **44**, B263-B277 (2002).
- *Morfill, G.E., V.N. Tsytovich and H. Thomas:* Complex Plasmas: II. Elementary Processes in Complex Plasmas. Plasma Phys. Rep. **29**, 1-30 (2002).
- Moscardini, L., M. Bartelmann, S. Matarrese and P. Andreani: Predicting the clustering properties of galaxy clusters detectable by the Planck satellite. Mon. Not. R. Astron. Soc. **335**, 984-992 (2002).
- Moskalenko, I.V., A.W. Strong, J.F. Ormes and M.S. Potgieter: Secondary antiprotons and propagation of cosmic rays in the Galaxy and heliosphere. Ap. J. 565, 280-296 (2002).
- Mouikis, C.G., L.M. Kistler, W. Baumjohann, E.J. Lund, A. Korth, B. Klecker, E. Möbius, M.A. Popecki, J.-A. Sauvaud, H. Rème, A.M. Di Lellis, M. McCarthy and C. Carlson: Equator-S observations of He⁺ energization by EMIC waves in the dawnside equatorial magnetosphere. Geophys. Res. Lett. **29** (10), 1432, doi:10.1029/2001GL013899, 1-4 (2002).
- *Moy, E. and B. Rocca-Volmerange:* The balance between shocks and AGN photoionization in radio sources and its relation to the radio size. Astron. Astrophys. **383**, 46-55 (2002).
- Müller, D., J.J. Connel, A. Decourchelle, R. Mewaldt, S. Reynolds, A. Strong, H. Volk and M. Wiedenbeck: Key measurements in the future Working group report. Space Sci. Rev **99**, 353-373 (2001).
- *Müller, T.G. and J.S.V. Lagerros:* Asteroids as calibration standards in the thermal infrared for space observatories. Astron. Astrophys. **381**, 324-339 (2002).
- *Müller, T.G., S. Hotzel and M. Stickel:* Solar System Objects in the ISOPHOT 170 micron Serendipity Survey. Astron. Astrophys. **389**, 665-679 (2002).
- Nakamura, R., J.B. Blake, S.R. Elkington, D.N. Baker, W. Baumjohann and B. Klecker: Relationship between ULF waves and radiation belt electrons during the March 10, 1998, storm. Adv. Space Res. **30**, 2163-2168 (2002).
- Nakamura, R., W. Baumjohann, A. Runov, M. Volwerk, T.L. Zhang, B. Klecker, Y. Bogdanova, A. Roux, A. Balogh, H. Rème, J.A. Sauvaud and H.U. Frey: Fast Flow during current sheet thinning, Geophys. Res. Lett. 29, 2140, doi:10.1029/2002GL016200, 1-4 (2002).
Veröffentlichungen / Lehrveranstaltungen

- Nakamura, R., W. Baumjohann, B. Klecker, Y. Bogdanova, A. Balogh, H. Rème, J.M. Bosqued, I. Dandouras, J.-A. Sauvaud, K.-H. Glassmeier, L.M. Kistler, C. Mouikis, T.L. Zhang, H. Eichelberger and A. Runov: Motion of the dipolarization front during a flow burst event observed by Cluster. Geophys. Res. Lett. 29 (20), 1942, doi:10.1029/2002GL015763, 1-4 (2002).
- Neagu, E., J.E. Borovsky, M.F. Thomsen, S.P. Gary, W. Baumjohann and R.A. Treumann: Statistical survey of magnetic field and ion velocity fluctuations in the near-Earth plasma sheet: Active Magnetospheric Particle Trace Explorers/Ion Release Module (AMPTE/IRM) measurements, J. Geophys. Res., **107** (A7), SMP 8, 1-10 (2002).
- Neeser, W., M. Böcker, P. Buchholz, P. Fischer, P. Holl, J. Kemmer, P. Klein, H. Koch, M. Löcker, G. Lutz, H. Matthäy, L. Strüder, M. Trimpl, J. Ulrici and N. Wermes: DEPFET - a pixel device with integrated amplification. Nucl. Instrum. and Meth. Phys. Res. A 477, 129-136 (2002).
- Ness, J.U., J.H.M.M. Schmitt, V. Burwitz, R. Mewe and *P. Predehl:* Chandra LETGS observation of the active binary Algol. Astron. Astrophys. **387**, 1032-1046 (2002).
- Ness, J.U., J.H.M.M. Schmitt, V. Burwitz, R.L.T. Meer, A.J.J. Raassen, R.L.T. van der Meer, P. Predehl and A.C. Brinkmann: Coronal density diagnostics with Helium- like triplets: CHANDRA- LETGS observations of Algol, Capella, Procyon, epsilon Eri, alpha Cen A & B, UX Ari, AD Leo, YY Gem, and HR 1099. Astron. Astrophys. **394**, 911-926 (2002).
- Neuhäuser, R., E.W. Guenther, J. Alves, N. Grosso, C. Leinert, T. Ratzka, T. Ott, M. Mugrauer, F. Comeron, A. Eckart and W. Brandner: Deep infrared imaging and spectroscopy of the nearby late M-dwarf Denis-P J104814-395606. Astron. Nachr. **323**, 447-452 (2002).
- *Neuhäuser, R., E.W. Guenther, M. Mugrauer, T. Ott and A. Eckart:* Infrared imaging and spectroscopy of companion candidates near theyoung stars HD 199143 and HD 358623 in Capricornius. Astron. Astrophys. **395**, 877-883 (2002).
- Neuhäuser, R., W. Brandner, J. Alves, V. Joergens and F. Comeron: HST, VLT, and NTT imaging search for wide companions to bona-fide and candidate brown dwarfs in the Cha I dark cloud. Astron. Astrophys. **384**, 999-1011 (2002).
- Nikutowski, B., J. Büchner, A. Otto, L.M. Kistler, A. Korth, C. Moukis, G. Haerendel and W. Baumjohann: Equator-S observation of reconnection coupled to surface waves. Adv. Space Res. **29**, 1129-1134 (2002).
- Nishiura, S., Y. Shioya, T. Murayama, Y. Sato, T. Nagao, Y. Taniguchi and D.B. Sanders: A Multi-Band Photometric Study of Tidal Debris in a Compact Group of Galaxies: Seyfert's Sextet. Publ. Astron. Soc. Jpn. **54**, 21-34 (2002).
- Norman, C., G. Hasinger, R. Giacconi, R. Gilli, L. Kewley, M. Nonino, P. Rosati, G. Szokoly, P. Tozzi, J. Wang, W. Zheng, A. Zirm, J. Bergeron, R. Gilmozzi, N. Grogin, A. Koekemoer and E. Schreier: A Classic Type 2 QSO. Ap. J. **571**, 218-225 (2002).

- Nunomura, S., J. Goree, S. Hu, X. Wang and A. Bhattacharjee: Dispersion relations of longitudinal and transverse waves in two-dimensional screened Coulomb crystals. Phys. Rev (E) **65**, 066402, 1-11 (2002).
- Nunomura, S., J. Goree, S. Hu, X. Wang, A. Bhattacharjee and K. Avinash: Phonon spectrum in a plasma crystal. Phys. Rev. Lett. **89**, 035001, 1-4 (2002).
- Oliver, S., R.G. Mann, R. Carballo, A. Franceschini, M. Rowan-Robinson, M. Kontizas, A. Dapergolas, E. Kontizas, A. Verma, D. Elbaz, G. Granato, L. Silva, D. Rigopoulou, I. Gonzalez-Serrano, S. Serjeant, A. Efstathiou and P.P. van der Werf: Observations of the Hubble Deep Field South with the Infrared Space Observatory – I. Observations, data reduction and midinfrared source counts. Mon. Not. R. Astron. Soc. 332, 549-574 (2002).
- Onishi, T., A. Mizuno, A. Kawamura, K. Tachihara and Y. Fukui: A Complete Search for Dense Cloud Cores in Taurus. Ap. J. **575**, 950-973 (2002).
- Oshima, T., K. Mitsuda, R. Fujimoto, N. Iyomoto, K. Futamoto, M. Hattori, N. Ota, K. Mori, Y. Ikebe, J.M. Miralles and J.P. Kneib: Detection of an iron emission feature from the lensed broad absorption line QSO H1413+ 117 at z= 2.56. Ap. J. Lett. **563**, L103-L106 (2001).
- Papadakis, I.E., W. Brinkmann, H. Negoro and M. Gliozzi: Detection of a high frequency break in the X-ray power spectrum of Ark 564. Astron. Astrophys. **382**, L1-L4 (2002).
- Pavlov, G.G., V.E Zavlin, D. Sanwal and J. Trümper: 1E 1207.4-5209: The Puzzling Pulsar at the Center of the Supernova Remnant PKS 1209-51/52. Ap. J. Lett. 569, L95-L98 (2002).
- *Peitzmann, T. and M.H. Thoma:* Direct Photons from Relativistic Heavy-Ion Collisions. Phys. Rep. **364**, 175-246 (2002).
- Pietsch, W. and A. M. Read: An X-ray view of the active nucleus in NGC 4258. Astron. Astrophys. **384**, 793-798 (2002).
- Plüschke, S., M. Cervino, R. Diehl, D.H. Hartmann, K. Kretschmer and J. Knödlseder: Understanding ²⁶Al Emission from Cygnus. Astronomy with Radioactivities III: Proc. Intern. Workshop, Ringberg Castle 2001. (Eds.) R. Diehl, D. Hartmann, P. Hoppe, et al. New Astron. Rev. 46, 535-539 (2002).
- Pointecouteau, E., M. Hattori, D. Neumann, E. Komatsu, H. Matsuo, N. Kuno and H. Böhringer: SZ and Xray combined analysis of a distant galaxy cluster, RX J2228+2037. Astron. Astrophys. **387**, 56-62 (2002).
- Pokhotelov, O.A., R.A. Treumann, R.Z. Sagdeev, M.A. Balikhin, O.G. Onishchenko, V.P. Pavlenko and I. Sandberg: Linear theory of the mirror instability in non-Maxwellian space plasmas. J. Geophys. Res. 107, 1312-1327 (2002).
- Pons, J.A., F.M. Walter, J.M. Lattimer, M. Prakash and R. Neuhäuser: Towards a mass and radius determination of the nearby isolated neutron star RXJ185635-3754. Ap. J. **564**, 981-1006 (2002).

- *Popecki, M.A., E. Möbius, B. Klecker, A.B. Galvin, L.M. Kistler and A.T. Bogdanov:* Ionic charge state measurements in solar energetic particle events. Adv. Space Res. **30**, 33-43 (2002).
- Potter, D., E.L. Martin, M. Cushing, P. Baudoz, W. Brandner, O. Guyon and R. Neuhäuser: Hokupa'a-Gemini discovery of two ultracool companions to the young star HD 130948. Ap. J. Lett. 567, L133-L136 (2002).
- Puzia, T.H., R.P. Saglia, M. Kissler-Patig, C. Maraston, L. Greggio, A. Renzini, and S. Ortolani: Integrated Spectroscopy of Bulge Globular Clusters and Fields. I. The Data Base and Comparison of Individual Lick Indices in Clusters and Bulge. Astron. Astrophys. 395, 45-67 (2002).
- Quinn, R.A. and J. Goree: Particle interaction measurements in a Coulomb crystal using caged particle motion. Phys. Rev. Lett. 88, 195001, 1-4 (2002).
- Räth, C., W. Bunk, M.B. Huber, G.E. Morfill, J. Retzlaff and P. Schuecker: Analysing large-scale structure- I. Weighted scaling indices and constrained randomization. Mon. Not. R. Astron. Soc. **337**, 413-421 (2002).
- *Reiprich, T.H. and H. Böhringer:* The Mass Function of an X-ray Flux-Limited Sample of Galaxy Clusters. Ap. J. **567**, 716-740 (2002).
- *Richter, M.J., D.T. Jaffe, G.A. Blake and J.H. Lacy:* Looking for Pure Rotational H₂ Emission from Protoplanetary Disks. Ap. J. Lett. **572**, L161-L164 (2002).
- *Rigopoulou, D., A. Franceschini, H. Aussel, R. Genzel, N. Thatte and C. Cesarsky:* Kinematics of Galaxies in the Hubble Deep Field-South: Discovery of a Very Massive Spiral Galaxy at z =0.6. Ap. J. **580**, 789-799 (2002).
- *Rigopoulou, D., D. Kunze, D. Lutz, R. Genzel and A.F.M. Moorwood:* An ISO-SWS survey of molecular hydrogen in starburst and Seyfert galaxies. Astron. Astrophys. **389**, 374-386 (2002).
- Rosati, P., P. Tozzi, R. Giacconi, R. Gilli, G. Hasinger, L. Kewley, V. Mainieri, M. Nonino, C. Norman, G. Szokoly, J.X. Wang, A. Zirm, J. Bergeron, S. Borgani, R. Gilmozzi, N. Grogin, A. Koekemoer, E. Schreier and W. Zheng: The Chandra Deep Field-South: The 1 Million Second Exposure. Ap. J. 566, 667-674 (2002).
- Rothermel, H., T. Hagl, G.E. Morfill, M.H. Thoma and H.M. Thomas: Gravity Compensation in Complex Plasmas by Application of a Temperature Gradient. Phys. Rev. Lett. **89**, 175001, 1-4 (2002).
- *Rupke, D.S., S. Veilleux and D.B. Sanders:* Keck absorption-line spectroscopy of galactic winds in ultraluminous infrared galaxies. Ap. J. **570**, 588-609 (2002).
- Rutledge, R.E., L. Bildsten, E.F. Brown, G.G. Pavlov and V.E. Zavlin: Variable Thermal Emission from Aquila X-1 in Quiescence. Ap. J. 577, 346-358 (2002).
- Rutledge, R.E., L. Bildsten, E.F. Brown, G.G. Pavlov and V.E. Zavlin: A Possible Transient Neutron Star in Quiescence in the Globular Cluster NGC 5139. Ap. J. 578, 405-412 (2002).

- Rutledge, R.E., L. Bildsten, E.F. Brown, G.G. Pavlov, V.E. Zavlin and G. Ushomirsky: Crustal Emission and the Quiescent Spectrum of the Neutron Star in KS 1731-260. Ap. J. **580**, 413-422 (2002).
- Saglia, R.P., C. Maraston, D. Thomas, R. Bender and M. Colless: The Puzzlingly Small Call Triplet Absorption in Elliptical Galaxies. Ap. J. Lett. **579**, L13-L16 (2002).
- Sakelliou, I., J.R. Peterson, T. Tamura, F.B.S. Paerels, J.S. Kaastra, E. Belsole, H. Böhringer, G. Branduardi-Raymond, C. Ferrigno, J.W. den Herder, J. Kennea, R.F. Mushotzky, W.T. Vestrand and D.M. Worrall: High Resolution Soft X-ray Spectroscopy of M87 with the Reflection Grating Spectrometers on XMM-Newton. Astron. Astrophys. **391**, 903-909 (2002).
- Samsonov, D., A. V. Ivlev, R. A. Quinn, G. Morfill and S. Zhdanov: Dissipative Longitudinal Solitons in a Two-Dimensional Strongly Coupled Complex (Dusty) Plasma. Phys. Rev. Lett. **88**, 095004, 1-4 (2002).
- Sanwal, D., Pavlov G.G, V.E. Zavlin and M.A. Teter: Discovery of Absorption Features in the X-Ray Spectrum of an Isolated Neutron Star. Ap. J. Lett. **574**, L61-L64 (2002).
- Sasaki, M., F. Haberl and W. Pietsch: ROSAT PSPC view of the hot interstellar medium of the Magellanic Clouds. Astron. Astrophys. **392**, 103-114 (2002).
- Schanne, S., B. Cordier, M. Gros, M. Mur, S. Crespin, S. Joly, J. Knodlseder, P. Mandrou, P. Paul, J.P. Roques, G. Vedrenne, Y. Andre, M.A. Clair, P. Clauss, R. Georgii, G. Lichti, A. von Kienlin and P. Dubath: The space- borne INTEGRAL- SPI gamma ray telescope: Test and calibration campaigns. IEEE Trans. Nucl. Sci. 49, 1226-1232 (2002).
- Schneider, D.P., G.T. Richards, X.H. Fan, P.B. Hall, M.A. Strauss, D.E. Vanden Berk, J.E. Gunn, H.J. Newberg, T.A. Reichard, C. Stoughton, W. Voges, et al.: The Sloan Digital Sky Survey Quasar Catalog. I. Early data release, Astron. J. **123**, 567-577 (2002).
- Schödel, R., K. Dierschke, W. Baumjohann, R. Nakamura and T. Mukai: The Storm Time Central Plasma Sheet. Ann. Geophysicae **20**, 1737-1741 (2002).
- Schödel, R., T. Ott, R. Genzel, R. Hofmann, M. Lehnert, A. Eckart, N. Mouawad, T. Alexander, M. J. Reid, R. Lenzen, M. Hartung, F. Lacombe, D.Rouan, E. Gendron, G. Rousset, A.-M. Lagrange, W. Brandner, N. Ageorges, C. Lidman, A. F. M. Moorwood, J.Spyromilio, N. Hubin and K. M. Menten: A star in a 15.2-year orbit around the supermassive black hole at the centre of the Milky Way. Nature **419**, 694-696 (2002).
- Scholer, M., H. Kucharek and C. Kato: On ion injection at quasiparallel shocks. Phys. Plasmas **9**, 4293-4300 (2002).
- Scholz, R.-D., R. Ibata, M. Irwin, I. Lehmann and M. Salvato: New nearby stars among bright APM high proper motion stars. Mon. Not. R. Astron. Soc. **329**, 109-114 (2002).
- Schönfelder, V.: The History of Gamma Ray Astronomy. Astron. Nachr. **323**, 524-529 (2002).

- Schönfelder, V.: SPI Cosmic Radioactivity Measurements in Perspective. Astronomy with Radioactivities III: Proc. Intern. Workshop, Ringberg Castle 2001. (Eds.) R. Diehl, D. Hartmann, P. Hoppe, et al., New Astron. Rev. 46, 597-604 (2002).
- Schuecker, P., H. Böhringer and L. Feretti: X-ray substructures of BCS, NORAS, REFLEX, radio halos/ relics and cooling flow clusters of galaxies. Highlights Of Astronomy **12**, 519-521 (2002).
- Schuecker, P., L. Guzzo, C.A. Collins and H. Böhringer: The ROSAT-ESO Flux-Limited X-Ray (REFLEX) Galaxy Cluster Survey VI: Constraints on the cosmic matter density from the KL power spectrum. Mon. Not. R. Astron. Soc. **335**, 807-816 (2002).
- Schulte-Ladbeck, R.E., U. Hopp, I.O. Drozdovsky, L. Greggio and M.M. Crone: The Oldest Stars of the Extremely Metal-Poor Local Group Dwarf Irregular Galaxy Leo A. Astron. J. **124**, 896-915 (2002).
- Schulz, B., S. Huth, R.J. Laureijs, J.A. Acosta-Pulido, M. Braun, H.O. Castañeda, M. Cohen, L. Cornwall, C. Gabriel, P. Hammersley, I. Heinrichsen, U. Klaas, D. Lemke, T.G. Müller, D. Osip, P. Román-Fernández and C. Telesco: ISOPHOT - Photometric Calibration of Point Sources. Astron. Astrophys. 381, 1110-1130 (2002).
- Schwarz, R., J. Greiner, G.H. Tovmassian, S.V. Zharikov and W. Wenzel: A new two- pole accretion polar: RX J1846.9+5538. Astron. Astrophys. **392**, 505-514 (2002).
- Schwope, A. D., H. Brunner, D. Buckley, J. Greiner, K. v.d. Heyden, S. Neizvestny, S. Potter and R. Schwarz: The census of cataclysmic variables in the ROSAT Bright Survey. Astron. Astrophys. **396**, 895-910 (2002).
- Schwope, A. D., V. Hambaryan, R. Schwarz, G. Kanbach and B. T. Gänsicke: A multiwavelength timing analysis of the eclipsing polar DP Leo. Astron. Astrophys. **392**, 541-551 (2002).
- Sekanina, Z., E. Jehin, H. Boehnhardt, X. Bonfils, O. Schuetz and D. Thomas: Recurring Outbursts and Nuclear Fragmentation of Comet C/2001 A2 (LINEAR). Ap. J. **572**, 679-684 (2002).
- Snellen, I.A.G., M.D. Lehnert, M.N. Bremer and R.T. Schilizzi: A Parkes half-Jansky sample of GHz peaked spectrum galaxies. Mon. Not. R. Astron. Soc. 337, 981-992 (2002).
- Snigula, J., N. Drory, R. Bender, C.S. Botzler, G. Fuelner and U. Hopp: The Munich Near-Infrared Cluster Survey - IV. Biases in the Completeness of Near-Infrared Imaging Data. Mon. Not. R. Astron. Soc. 336, 1329-1341 (2002).
- Soltan, A.M., M.J. Freyberg and G. Hasinger: Missing baryons and the soft X-ray background. Astron. Astrophys. **395**, 475-480 (2002).
- Spinoglio, L., P. Andreani and M. Malkan: The Far-Infrared Energy Distributions of Seyfert and Starburst Galaxies in the Local Universe: Infrared Space Observatory photometry of the 12 Micron Active Galaxy Sample. Ap. J. **572**, 105-123 (2002).

- Spoon, H.W.W., J.V. Keane, A.G.G.M. Tielens, D. Lutz, A.F.M. Moorwood and O. Laurent: Ice features in the mid-IR spectra of galactic nuclei. Astron. Astrophys. 385, 1022-1041 (2002).
- *Spruit, H. C. and G. Kanbach:* Correlated X-ray and optical variability in KV UMa. Astron. Astrophys. **391**, 225-233 (2002).
- Stelzer, B., V. Burwitz, M. Audard, M. Guedel, J.-U. Ness, N. Grosso, R. Neuhäuser, J. H. M. M. Schmitt, P. Predehl and B. Aschenbach: Simultaneous X-ray spectroscopy of YY Gem with Chandra and XMM-Newton. Astron. Astrophys. **392**, 585-598 (2002).
- Stoughton, C., R.H. Lupton, M. Bernardi, M.R. Blanton, S. Burles, F.J. Castander, A.J. Connolly, D.J. Eisenstein, J.A. Frieman, G.S Hennessy and H. Böhringer, W. Voges, et al.: Sloan Digital Sky Survey: Early Data Release. Astron. J. **123**, 485-548 (2002).
- Sturm, E., D. Lutz, A. Verma, H. Netzer, A. Sternberg, A.F.M. Moorwood, E. Oliva and R. Genzel: Mid-Infrared line diagnostics of active galaxies: A spectroscopic AGN survey with ISO-SWS. Astron. Astrophys. **393**, 821-841 (2002).
- *Surace, J.A., D.B. Sanders and A.S. Evans:* Optical and near- infrared imaging of infrared- excess palomargreen quasars. Astron. J. **122**, 2791-2809 (2001).
- Szkody, P., S. F. Anderson, M. Agueros, R. Covarrubias, M. Bentz, S. Hawley, B. Margon, W. Voges, A. Henden, G. R. Knapp, et al: Cataclysmic variables from the Sloan Digital Sky Survey. I. The first results, Astron. J. **123**,430-442 (2002).
- *Tacconi, L.J., R. Genzel, D. Lutz, D. Rigopoulou, A.J. Baker, C. Iserlohe and M. Tecza:* Ultraluminous Infrared Galaxies: QSOs in Formation?. Ap. J. **580**, 73-87 (2002).
- *Tachihara, K., T. Onishi, A. Mizuno and Y. Fukui:* Statistical Study of C¹⁸O Dense Cloud Cores and Star Formation. Astron. Astrophys. **385**, 909-920 (2002).
- *Tanaka, Y.:* ASCA observation of X-ray emission from the Galactic ridge. Astron. Astrophys. **382**, 1052-1060 (2002).
- Thiel, M., M. Romano, U. Schwarz, J. Kurths, G. Hasinger and T. Belloni: Nonlinear time- series analysis of the X-ray flux of compact objects. Astrophys. Space Sci. **276**, 187-188 (2001).
- *Thoma, M.H.:* Absence of Thermophoretic Flow in Relativistic Heavy-Ion Collisions as an Indicator for the Absence of a Mixed Phase. Phys. Rev. Lett. **88**, L 202303, 1-3 (2002).
- *Thomas, E., Jr., B. M. Annaratone, G. E. Morfill and H. Rothermel:* Measurements of forces acting on suspended microparticles in the void region of a complex plasma. Phys. Rev. (E) **66**, 016405 -016411 (2002).
- Tiersch, H., H.M. Tovmassian, D. Stoll, A.S. Amirkhanian, S. Neizvestny, H. Böhringer and H.T. MacGillivray: Shakbazian compact groups - I. Photometric, spectroscopic and X-ray study of SnCG 154, ShCG 166, ShCG 328, ShCG 360. Astron. Astrophys. **392**, 33-52 (2002).

- Tokunaga, A. T., D. A. Simons and W. D. Vacca: The Mauna Kea Observatories Near-Infrared Filter Set. II. Specifications for a New JHKL'M' Filter Set for Infrared Astronomy. Publ. Astron. Soc. Pac. **114**, 180-186 (2002).
- *Torres, G., R. Neuhäuser and E.W. Guenther:* Spectroscopic binaries in a sample of ROSAT X-ray sources south of the Taurus molecular clouds: Two new premain sequence systems. Astron. J. **123**, 1701-1722 (2002).
- Tremaine, S., K. Gebhardt, R. Bender, G. Bower, A. Dressler, S.M. Faber, A.V. Filippenko, R. Green, C. Grillmair, L.C. Ho, J. Kormendy, T.R. Lauer, J. Magorrian, J. Pinkney and D. Richstone: The Slope of the Black-Hole Mass Versus Velocity Dispersion Correlation. Ap. J. 574, 740-744 (2002).
- *Treumann, R. A. and M. Scholer:* The magnetosphere as a plasma laboratory, The Century of Space Science. (Eds.) J. Bleeker, J. Geiss, M.C.E. Huber. Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, Holland, 1495-1528 (2002).
- *Treumann, R. A. and R. Pottelette:* Particle acceleration in the magnetosphere and its immediate environment. Adv. Space Res. **30**, 1623-1628 (2002).
- *Treumann, R. A.:* An attempt of formulating the principles of a generalized-Lorentzian quantum mechanics. Phys. Scripta **66**, 417-424 (2002).
- *Treumann, R.A. and T. Terasawa:* Electron acceleration in the heliosphere. Space Sci. Rev. **99**, 135-150 (2001).
- *Tsytovich, V.N. and G.E. Morfill:* Collective attraction of equal-sign charged grains in plasmas. Plasma Phys. Rep. **28**, 171-176 (2002).
- *Tsytovich, V.N.:* Collective plasma corrections to thermonuclear reaction rates in dense plasmas. JETP **94** (5), 927-942 (2002.).
- *Tsytovich, V.N. and U. de Angelis:* Kinetic theory of dusty plasmas. IV. Distribution and fluctuations of dust charges. Phys. Plasmas **9**, 2497-2506 (2002).
- *Tsytovich, V.N., G.E. Morfill and H. Thomas:* Complex plasmas: I. Complex plasmas as unusual state of matter. Plasma Phys. Rep. **28**, 623-651 (2002).
- Vacca, W. D., K. J. Johnson and P. S. Conti: N-Band Observations of Henize 2-10: Unveiling the Dusty Engine of a Starburst Galaxy. Astron. J. **123**, 772-788 (2002).
- Vaivads, A., W. Baumjohann, E. Georgescu, G. Haerendel, R. Nakamura, M.R. Lessard, P. Eglitis, L.M. Kistler and R.E. Ergun: Correlation studies of compressional Pc5 pulsations in space and Ps6 pulsations on the ground. J. Geophys. Res. **106**, 29797-29806 (2001).
- Vandenbussche, B., D. Beintema, T. de Graauw, L. Decin, H. Feuchtgruber, A. Heras, D. Kester, F. Lahuis, A. Lenorzer, R. Lorente, A. Salama, C. Waelkens, L. Waters and E. Wieprecht: The ISO-SWS posthelium atlas of near-infrared stellar spectra. Astron. Astrophys. **390**, 1033-1048 (2002).
- Vaughan, S., Th. Boller, A. Fabian, D.R. Ballantyne, W.N. Brandt and J. Trümper: An XMM-Newton ob-

servation of Ton S180: constraints on the continuum emission in ultrasoft Seyfert galaxies. Mon. Not. R. Astron. Soc. **337**, 247-255 (2002).

- *Vaulina, O., S. Khrapak and G. Morfill:* Universal scaling in complex (dusty) plasmas. Phys. Rev. (E) **66**, 016404 1-5 (2002).
- *Veilleux, S., D.-C. Kim and D.B. Sanders:* Optical and Near-Infrared Imaging of the IRAS 1-Jy Sample of Ultraluminous Infrared Galaxies. II. Analysis. Ap. J. Suppl. Ser. **143**, 315-376 (2002).
- Vellante, M., M. De Lauretis, M. Förster, S. Lepidi, B. Zieger, U. Villante, V. A. Pilipenko and B. Zolesi: Geomagnetic field line resonances at low latitudes: pulsation event study of August 16, 1993. J. Geophys. Res. **107**, SMP 6, 1-18 (2002).
- Verheest, F., V.V. Yaroshenko and M. Hellberg: Dust distribution in self-gravitating dusty plasmas. Phys. Plasmas 9, 2479-2485 (2002).
- Verma, A., M. Rowan-Robinson, R. McMahon and A. Efstathiou: Observations of hyperluminous infrared galaxies with the Infrared Space Observatory: implications for the origin of their extreme luminosities. Mon. Not. R. Astron. Soc. **335**, 574-592 (2002).
- Vio, R., P. Andreani, L. Tenorio and W. Wamsteker: Numerical Simulations of Non-Gaussian Random Fields with Prescribed Marginal Distributions and Cross-Correlation Structure. II. Multivariate Random Fields. Publ. Astron. Soc. Pac. **114**, 1281-1289 (2002).
- Vitale, S., P. Bender, A. Brillet, S. Buchman, A. Cavalleri, M Cerdonio, M. Cruise, C. Cutler, K. Danzmann, R. Dolesi, W. Folkner, A. Gianolio, Y. Jafry, G. Hasinger et al: LISA and its in- flight test precursor SMART- 2. Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) **110**, 209-216 (2002).
- *Wang, P. and C.R. Vidal:* Dissociation of multiply ionized alkanes from methane to n-butane due to electron impact. Chem. Phys. **280**, 309-329 (2002).
- *Wang, P. and C.R. Vidal:* Single to triple ionization of propane due to electron impact: Cross sections for the different dissociation channels. J. Chem. Phys. **116**, 4023-4029 (2002).
- Wegner, G., E.M. Corsini, R.P. Saglia, R. Bender, D. Merkl, D. Thomas, J. Thomas and D. Mehlert: Spatially Resolved Spectroscopy of Coma Cluster Early-type Galaxies: II. The Minor Axis Dataset. Astron. Astrophys. **395**, 753-759 (2002).
- Werther, W., W. Demuth, F.R. Krueger, J. Kissel and E.R. Schmid: Evaluation of Mass Spectra From Organic Compounds Assumed to be Present in Cometary Grains. Exploratory Data Analysis. Journal of Chemometrics **16**, 099-110 (2002).
- Wiechen, H. G.T. Birk, A. Kopp and H. Lesch: Selfmagnetization of protoplanetary accretion disk matter. Phys. Plasmas 9, 4285- 4292 (2002).
- *Wu, J.-H., Q.-R. Yuan, X.-T. He, W. Voges, R.-D. Nan, R. F. Green and X.-Z. Zhang:* A pair of Seyferts identified from a ROSAT bright source. Astron. Astrophys. **379**, 860-863 (2001).

- *Wuchterl, G. and R.S. Klessen*: The First Million Years of the Sun: A Calculation of the Formation and Early Evolution of a Solar Mass Star. Ap. J. Lett. **560**, L185-L188 (2001).
- Xia, X.Y., S.J. Xue, S. Mao, Th.Boller, Z.G. Deng and H. Wu: Chandra Observations of Markarian 273: Unveiling the Central Active Galactic Nucleus and the Extended Hot Gas Halo. Ap. J. **564**, 196-208 (2002).
- *Yaroshenko, V.V. and G.E. Morfill:* Parametric excitation of low frequency waves in complex (dusty) plasmas. Phys. Plasmas **9**, 4495-4499 (2002).
- *Yaroshenko, V.V., G.E. Morfill and S.V. Vladimirov:* Vibrational modes in the plasma crystal due to nonlinear temperature distribution in gas discharge plasmas. Phys. Rev. (E) **66**, 065401, 1-3 (2002).
- Zane, S., F. Haberl, M. Cropper, V.E. Zavlin, D. Lumb, S. Sembay and C. Motch: Timing analysis of the isolated neutron star RX J0720.4-3125. Mon. Not. R. Astron. Soc. **334**, 345-354 (2002).
- Zappacosta, L., F. Mannucci, R. Maiolino, R. Gilli, A. Ferrara, A. Finoguenov, N.M. Nagar and D.J. Axon: Warm-hot intergalactic baryons reveal(Ed.) Astron. Astrophys. **394**, 7-15 (2002).
- Zavlin, V. E., G.G. Pavlov, D. Sanwal, R.N. Manchester, J. Trümper, J.P. Halpern and W. Becker: X-Radiation

from the Millisecond Pulsar J0437-4715 Ap.J, 569, 894-902, (2002).

- Zeiler, A., D. Biskamp, J.F. Drake, B.N. Rodgers, M.A. Shay and M. Scholer: Three-dimensional particle simulations of collisionless magnetic reconnection. J. Geophys. Res. **107**, SMP 6, 1-9 (2002).
- Zhang, S. W. Collmar and V. Schönfelder: An unidentified variable gamma-ray source near the galactic plane detected by COMPTEL. Astron. Astrophys. **396**, 923-928 (2002).
- Zhang, S., W. Collmar, K. Bennett, H. Bloemen, W. Hermsen, M. McConnell, O. Reimer, V. Schönfelder, S.J. Wagner and O.R. Williams: COMPTEL Observations of the Gamma-Ray Blazar PKS 1622-297. Astron. Astrophys. **386**, 843-853 (2002).
- Zhdanov, S. K., D. Samsonov and G. E. Morfill: Anisotropic plasma crystal solitons. Phys. Rev. (E) 66, 026411, 1-11 (2002).
- Ziegler, B.L., A. Böhm, K.J. Fricke, K. Jäger, H. Nicklas, R. Bender, N. Drory, A. Gabasch, R.P. Saglia, S. Seitz, J. Heidt, D. Mehlert, S. Noll and E. Sutorius: The Evolution of the Tully-Fischer Relation of Spiral Galaxies. Ap. J. Lett. **564**, L69-L72 (2002).

4.2 REFERIERTE PROCEEDINGS / REFEREED PROCEEDINGS

- *Amiranashvili, Sh.G., N.G. Gousein-zade and V.N. Tsytovich:* Theory of Small Atomic-Like 2D Dust Clusters. In: Dusty Plasmas in the New Millenium: Third International Conference on the Physics of Dusty Plasma, AIP Conference Proceedings 649, (Eds.) R. Bharuthram, M.A. Hellberg, P.K. Shukla, et al., American Institute of Physics Melville NY 2002, 463-466.
- Aschenbach, B.: Supernova Remnants the past, the present and the future. In: Proceedings of the Yokohama Symposium 'New Century of X-ray Astronomy', Yokohama (Japan), 2001. (Eds.) H. Inoue, H. Kunieda. ASP Conference Series Vol. 251, The Astronomical Society of the Pacific, San Francisco, CA (USA), 32-37 (2001).
- Bingham, R. and V.N. Tsytovich: Dust Growth in Astrophysical Plasmas. Dusty Plasmas in the New Millenium: Third International Conference on the Physics of Dusty Plasma, AIP Conference Proceedings 649, (Eds.) R. Bharuthram, M.A. Hellberg, P.K. Shukla, et al., American Institute of Physics Melville NY 2002, 126-134.
- Böhm, H.F., C. Räth, G.E. Morfill, S. Majumdar, E.J. Rummeny and T.M. Link: Comparison of Local 3D Scaling Properties Extracted from High Resolution MRI of Human Trabecular Bone and BMD with Respect to Prediction of Mechanical Strength in Vitro. In: Proceedings of the 88th Annual Meeting of the RSNA, Chicago, (USA), Supplement to Radiology Vol. 225, Radiological Society of North America 2002, 419.

- Brinkmann, W., M. Gliozzi, H. Negoro, I.E. Papadakis, E. Detsis and I. Papamastorakis: Optical and X-ray monitoring of the NLS1 Galaxy Ark 561. In: New Century of Astronomy. (Eds.) H. Inoue, H. Kunieda. ASP Conference Series Vol. 251, Astronomical Society of the Pacific, San Francisco, USA, 340-341 (2001).
- Brinkmann, W., M. Gliozzi, H. Scheingraber, H. Negoro, I.E. Papadakis, E. Detsis and I. Papamastorakis: Optical and X-ray monitoring of the NLS1 Galaxy Ark564. In: MAXI Workshop on AGN Variability. (Eds.) N. Kawai, H. Negoro, A. Yoshida, T. Mihara. Vol., Seiyo Press, Saitama, Japan, 131-136 (2002).
- Duerbeck, H.W., I Pustylnik, H. Steinle and C. Sterken (Eds.): Proceedings of the Special Colloquium European Astronomy in the 20th Century at the Joint European and National Astronomical Meeting (JENAM) for 2001, Munich, Germany, 2001. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany, 523-582 (2002).
- Duerbeck, H.W., I Pustylnik, H. Steinle and C. Sterken (Eds.): Introduction to Volume 323 (6) Astron. Nachr. **323**, 523 (2002).
- *Ehle, M., W. Pietsch and F. Haberl:* Further Details on the Deep XMM-Newton Survey of M33. In: Proceedings of the Symposium "New Century of X-ray Astronomy", Yokohama (Japan), 2001. (Eds.) H. Inoue, H. Kunieda. ASP Conference Series Vol. 251, Astronomical Society of the Pacific, San Francisco, California, 300-301 (2001).

- *Grosso, N.:* Rotation of protostars: new clues from Xray observations?. In: Proc of Three-Island Euroconference on stellar clusters and associations: From darkness to light, origin and evolution of young stellar clusters. (Eds.) T. Montmerle, P. André. ASP Conf. Ser. Vol. 243, The Astronomical Society of the Pacific, San Francisco, 549-559 (2001).
- Jakobs, G., V.V. Yaroshenko and F. Verheest: Influence of dust-ion collisions on waves in self-gravitating dusty plasmas. Dusty Plasmas in the New Millenium: Third International Conference on the Physics of Dusty Plasma, AIP Conference Proceedings 649, (Eds.) R. Bharuthram, M.A. Hellberg, P.K. Shukla, et al., American Institute of Physics Melville NY 2002, 321-324 (2002).
- Kakazu, Y., D.B. Sanders, R.D. Joseph, L.L. Cowie, T. Murayama, Y. Taniguchi, S. Veilleux, M.S. Yun, K. Kawara, Y. Sofue, Y. Sato, H. Okuda, L. Wakamatsu, T. Matsumoto and H. Matsuhara: The Nature of the Faint Far-Infrared Extragalactic Source Population: Optical/NIR and Radio Follow-Up Observations of ISOPHOT Deep Field Sources using Keck, Subaru, and VLA Telescopes. In: Proceedings of AGN Surveys. (Eds.) R.F. Green, E.Ye. Khachikian, D.B. Sanders. ASP Conference Proceedings Vol. 284, Astronomical Society of the Pacific, San Francisco, 213-214 (2002).
- Khrapak, S. A., A. V. Ivlev, G. E. Morfill and H. M. Thomas: Ion drag in complex plasmas. Dusty Plasmas in the New Millenium: Third International Conference on the Physics of Dusty Plasma, AIP Conference Proceedings 649, (Eds.) R. Bharuthram, M.A. Hellberg, P.K. Shukla, et al., American Institute of Physics Melville NY 2002, 341-344 (2002).
- Klindworth, M., A. Melzer, A. Piel, U. Konopka and G.E. Morfill: Langmuir probe measurements in a complex plasma under microgravity conditions. In: Dusty Plasmas in the New Millennium:Third Intern. Conf. Durban 2002, R. Bharuthram, et al. (Eds.) AIP Conf. Proc. 649, 345-348 (2002).
- Klumov, B.A., A.V. Ivlev and G. Morfill: Complex Plasma Experiments: the Role of Negative Ions. Dusty Plasmas in the New Millenium: Third International Conference on the Physics of Dusty Plasma, AIP Conference Proceedings 649, (Eds.) R. Bharuthram, M.A. Hellberg, P.K. Shukla, et al., American Institute of Physics Melville NY 2002, 349-352.
- Komossa, S.: The peculiar X-ray properties of the lowredshift quasar MRC 2251-178: some surprises. In: Proceedings of New Century of X-ray Astronomy, Yokohama 2001. (Eds.) H. Inoue, H. Kunieda. ASP conf. series Vol. 251, 374-377 (2001).
- *Krueger, F.R., C.C. Krauße and J. Kissel:* Dimensionality and Hierarchies of Non-metric Topological Spaces in Biochemical and in Writing Systems. In: Proc. of the 5th International Workshop on Similarity Methods. (Eds.) Bernd Kröplin, Stephan Stephan Rudolph, Jens Häcker. ISBN 3-930683-47-4 Universität Stuttgart, 89-92 (2002).
- Metz, S., H.E. Daldrup-Link, T. Richter, C. Räth, M. Settles and M. Piert: Detection and Quantification of

Early Necrosis in Breast Cancers by MR Imaging: Value of the Necrosis Specific Contrast Agent Gadophrin. In: Proc. of the 88th Annual Meeting of the RSNA, Chicago, (USA), 2002. (Ed.). Supplement to Radiology Vol. 225, Radiological Society of North America, 112 (2002).

- Mikikian, M, L. Boufendi, A. Bouchoule, G.E. Morfill, H.M. Thomas, H. Rothermel, T. Hagl, A.P. Nefedov, V.E. Fortov, V.I. Molotkov, O. Petrov. A. Lipaev, Y.P. Semenov, A.I. Ivanov, V. Afanasev et al.: Dust Particles Growth and Behavior under Mivrogravity Condition. Dusty Plasmas in the New Millenium: Third International Conference on the Physics of Dusty Plasma, AIP Conference Proceedings 649, (Eds.) R. Bharuthram, M.A. Hellberg, P.K. Shukla, et al., American Institute of Physics Melville NY 2002, 135-138.
- Morfill, G.E., H.M. Thomas, B.M. Annaratone, A.V. Ivlev, R.A. Quinn, A.P. Nefedov and V.E., Fortov PKE-Ne fedov Team: Complex Plasmas under Microgravity Conditions: First Results from PKE-Nefedov. Dusty Plasmas in the New Millenium: Third International Conference on the Physics of Dusty Plasma, AIP Conference Proceedings 649, (Eds.) R. Bharuthram, M.A. Hellberg, P.K. Shukla, et al., American Institute of Physics Melville NY 2002, 91-109.
- *Morfill, G.E.*: A Synopsis of Recent Experimental Developments in Complex (Dusty) Plasma Physics. Dusty Plasmas in the New Millenium: Third International Conference on the Physics of Dusty Plasma, AIP Conference Proceedings 649, (Eds.) R. Bharuthram, M.A. Hellberg, P.K. Shukla, et al., American Institute of Physics Melville NY 2002, 507-511.
- Müller, D., T.M. Link, J. Bauer, G.E. Morfill, E.J. Rummeny, C. Räth and T.M. Link: A Newly Developed 3D-based Scaling Index Algorithm to Optimize Structure Analysis of Trabecular Bone in Patients with and without Osteoporotic Spine Fractures. In: Proceedings of the 88th Annual Meeting of the RSNA, Chicago, IL (USA), 2002. (Ed.). Supplement to Radiology Vol. 225, Radiological Society of North America, 581 (2002).
- *Müller, T.G.:* Thermophysical Analysis of Infrared Observations of Asteroids. In: Proceedings of The Physical Properties of Potential Earth Impactors: Know Your Enemy, Erice, Italy, 2001. (Ed.). Meteoritics and Planetary Science Vol. 37, Meteoritical Society, Fayetteville, AR, 1700-1710 (2002).
- Müller, W-Ch., A. Zeiler and G.E. Morfill: Direct Numerical Simulation of Yukawa Systems by Particle-incell Methods. Dusty Plasmas in the New Millenium: Third International Conference on the Physics of Dusty Plasma, AIP Conference Proceedings 649, (Eds.) R. Bharuthram, M.A. Hellberg, P.K. Shukla, et al., American Institute of Physics Melville NY 2002, 365-368.
- Orio, M., J. Greiner, W. Hartmann and M. Still: A XMM-Newton observation of Nova LMC 1995. In: Classical Nova Explosions: AIP Conf. Proc. 637, Sitges 2002, M. Hernanz, J. José (Eds.), 355-359 (2002).

- Popel, S. I., A. P. Golub', T. V. Losseva, A. V. Ivlev and G. E. Morfill: Dust ion-acoustic solitons: Role of trapped electrons. Dusty Plasmas in the New Millenium: Third International Conference on the Physics of Dusty Plasma, AIP Conference Proceedings 649, (Eds.) R. Bharuthram, M.A. Hellberg, P.K. Shukla, et al., American Institute of Physics Melville NY 2002, 386-389.
- *Rüll, T., R. Brosow, C. Räth, M. Brügel, W. Weber and T.M. Link:* Response Evaluation of Neoadjuvant Therapy in Esophageal Squamous Cell Cancer: Comparison of CT-Volumetry and FDG-PET. In: Proceedings of the 88th Annual Meeting of the RSNA, Chicago, IL (USA), 2002. (Ed.). Supplement to Radiology Vol. 225, Radiological Society of North America, 581 (2002).
- Sanders, D.B.: AGN Surveys: Meeting Summary. In: Proceedings of AGN Surveys. (Eds.) R.F. Green, E.Ye. Khachikian, D.B. Sanders. ASP Conference Proceedings Vol. 284, Astronomical Society of the Pacific, San Francisco, 411-422 (2002).

- *Thomas, E. Jr. W. Amatucci and G.E. Morfill:* Boundary Phenomena in RF and DC Glow Discharge Dusty Plasmas. In: Dusty Plasmas in the New Millenium: Third International Conference on the Physics of Dusty Plasma, AIP Conference Proceedings 649, (Eds.) R. Bharuthram, M.A. Hellberg, P.K. Shukla, et al., American Institute of Physics Melville NY 2002, 243-246.
- *Tsytovich, V.N. and G.E. Morfill:* Physics of collective dust-dust attraction and dust structure formation. Dusty Plasmas in the New Millenium: Third International Conference on the Physics of Dusty Plasma, AIP Conference Proceedings 649, (Eds.) R. Bharuthram, M.A. Hellberg, P.K. Shukla, et al., American Institute of Physics Melville NY 2002, 110-118 (2002).
- Yaroshenko, V.V. and G.E. Morfill: Instability of dust lattice waves due to periodically varying charges of dust particles. Dusty Plasmas in the New Millenium: Third International Conference on the Physics of Dusty Plasma, AIP Conference Proceedings 649, (Eds.) R. Bharuthram, M.A. Hellberg, P.K. Shukla, et al., American Institute of Physics Melville NY 2002, 487-490.

4.3 NICHTREFERIERTE PUBLIKATIONEN / NON-REFEREED PUBLICATION

- Ambrosi, R.M., A. Abbey, I. Hutchinson, R. Willingale, S. Campana, G. Cusumano, W. Burkert, A. Wells, A.D.T. Short, O. Citterio, M. Ghigo, G. Tagliaferri and H. Bräuninger: Centroiding and point response function measurements of the mirror/detector combination for the X-ray telescope of the Swift gamma ray burst explorer. In: X-Ray and Gamma-Ray Instrumentation for Astronomy XII: Proc. of SPIE 4497, San Diego 2001. (Eds.) K.A. Flanagan, O.H.W. Siegmund. 19-30 (2002).
- *Ammler, M., V. Joergens, R. Neuhäuser and G. Wuchterl:* Testing Pre-Main Sequence Tracks. In: Proc. of The 1st Potsdam Thinkshop on Sunspots & Starspots. (Eds.) K.G. Strassmeier, A. Washuettl. Astrophysical Institute Potsdam, Potsdam 2002, 105-106.
- Andreani, P.: Type 1 AGN and their Link to ULIRGs. In: Proc. of Issues in Unification of Active Galactic Nuclei, Marciana Marina 2001. (Eds.) R. Maiolino, A. Marconi, N. Nagar. Conference Series Vol. **258**, Astronomical Society of the Pacific, San Francisco 2002, 223-228.
- Aschenbach, B.: In-orbit performance of the XMM-Newton X-ray telescopes: Images and Spectra. In: Proc. of "X-Ray Optics for Astronomy: Telescopes, Multilayers, Spectrometers, and Missions". (Eds.) P. Gorenstein, R.B. Hoover. SPIE Vol. 4496, The International Society for Optical Engineering, Bellingham 2002, 8-22.
- Aschenbach, B.: X-rays from Supernova Remnants. In: Proc. of the 270. WE-Heraeus Seminar on Neutron Stars, Pulsars and Supernova Remnants, Bad Honnef

2002, (Eds.) W. Becker, H. Lesch, J. Trümper. MPE Report 278, Garching, Germany 2002, 13-25.

- *Barr, J.M., M.N. Bremer, J.C. Baker and M.D. Lehnert:* The cluster environments of radio loud quasars. In: Tracing Cosmic Evolution with Galaxy Clusters: Proc. Sesto-2001 Workshop, Sesto Pusteria 2001. (Eds.) S. Borgani, M. Mezzetti, R. Valdarnini. ASP 268, 15-18 (2002).
- Becker, W. and B. Aschenbach: X-ray Observations of Neutron Stars and Pulsars: First Results from XMM-Newton In: Proc. of the 270. WE-Heraeus Seminar on Neutron Stars, Pulsars and Supernova Remnants, Bad Honnef 2002. (Eds.) W. Becker, H. Lesch, J. Trümper. MPE Report 278, Garching, Germany 2002, 64-86.
- *Best, P., M. Lehnert, H. Röttgering and G. Miley:* Test evolution of the cluster environments of radio sources at *z* < 1.8. In: Tracing Cosmic Evolution with Galaxy Clusters: Proc. Sesto-2001 Workshop, Sesto Pusteria 2001. (Eds.) S. Borgani, M. Mezzetti, R. Valdarnini, ASP 268, 19-22 (2002).
- Bloser, P.F., T. Narita, J.A. Jenkins, M. Perrin, R. Murray and J.E. Grindlay: Balloon flight background measurement with actively-shielded planar and imaging CZT detectors. In: X-Ray and Gamma-Ray Instrumentation for Astronomy XII: Proc. of SPIE 4497, San Diego 2001. (Eds.) K.A. Flanagan, O.H.W. Siegmund. 88-99 (2002).
- Böhringer, H., K. Matsushita, Y. Ikebe and E. Churazov: The new emerging model for the structure of cooling cores in clustes of galaxies. In: Tracing Cosmic Evolution with Galaxy Clusters: Proc. Sesto-2001

Workshop, Sesto Pusteria 2001. (Eds.) S. Borgani, M. Mezzetti, R. Valdarnini. ASP 268, 187-195 (2002).

- *Böhringer, H.*: Galaxy Clusters: Cosmic High-Energy Laboratories to Study the Structure of Our Universe.In: Proc. of Lighthouses of the Universe. The Most Luminous Celestial Objects and their Use for Cosmology. (Eds.) M. Gilfanov, R. Sunyaev, E. Churazov. ESO Astrophysics Symposia. Springer Berlin 2002, 12-23.
- *Boller, Th.*: XMM-Newton discovery of a sharp 7.1 keV spectral feature in the NLS1 Galaxy 1H 0707-495. In: Proc. of the International Workshop on X-ray spectroscopy of Active Galactic Nuclei with Chandra and XMM-Newton, Garching 2001. (Eds.) Th. Boller, S. Komossa, S. Kahn, H. Kunieda, L. Gallo. MPE Report 279, Garching 2002, 157-170.
- *Boller, Th:* XMM-Newton AGN Science Highlights from PV and GT observations. In: Proc. of Lighthouses of the Universe. The Most Luminous Celestial Objects and their Use for Cosmology. (Eds.) M. Gilfanov, R. Sunyaev, E. Churazov. ESO Astrophysics Symposia. Springer Berlin 2002, 253-256.
- Brandl, B.R., W. Brandner, F. Eisenhauer, A.F.J. Moffat, F. Palla and H. Zinnecker: NGC 3603 - a local template for massive young clusters. In: Proc. 207th Symp. of the IAU, Pucón 2001. (Eds.) D. Geisler, E.K. Grebel, D. Minniti. Extragalactic Star Clusters 207, 126-128 (2002).
- Brandner, W., G. Rousset, R. Lenzen, N. Hubin, F. Lacombe, R. Hofmann, A. Moorwood, A.-M. Lagrange, E. Gendron, M. Hartung, P. Puget, N. Ageorges, P. Biereichel, H. Bouy, J. Charton, G. Dumont, T. Fusco, Y. Jung, M. Lehnert, J.-L. Lizon, G. Monnet, D. Mouillet, C. Moutou, D. Rabaud, C. Röhrle, S. Skole, J. Spyromilio, C. Storz, L. Tacconi-Garman and G. Zins: NAOS+CONICA at YEPUN: first VLT adaptive optics system sees first light. The Messenger 107, 1-6 (2002).
- Briel, U.G., J.P. Henry, M. Arnaud and D. Neumann: The Coma cluster of galaxies observed by XMM-Newton. In: Tracing Cosmic Evolution with Galaxy Clusters: Proc. Sesto-2001 Workshop, Sesto Pusteria 2001. (Eds.) S. Borgani, M. Mezzetti, R. Valdarnini. ASP 268, 203-206 (2002).
- Broeg, C., V. Joergens, T. Hearty, M. Fernandez, N. Huelamo and R. Neuhäuser: Rotational periods of new ROSAT detected T-Tauri Stars. In: Proc. of 1st Potsdam Thinkshop on Sunspots and Starspots. (Eds.) K.G. Strassmeier, A. Washuettl. AIP Conference Poster Proceedings. Brandenburgische Universitätsdruckerei, Potsdam 2002, 39-42.
- Bunk, W., F. Jamitzky, R. Pompl, C. Räth and G. Morfill: Local Scaling Properties for Diagnostic Purposes. In: Proc. The Science of Disasters. (Eds.) A. Bunde, J. Kropp, H.J. Schellnhuber. Springer Berlin 2002, 283-313.
- Burwitz, V, S. Starrfield, J. Krautter and J.-U. Ness: Chandra ACIS-I and LETGS X-ray observations of Nova 1999 Velorum (V382 Vel). In: Classical Nova Explosions: International Conference on Classical Nova Explosions. AIP Conference Proceedings 637.

(Eds) M. Hernanz, J. José. American Institute of Physics Melville NY 2002, 377-380.

- Burwitz, V., K. Reinsch, F. Haberl, B. T. Gänsicke and P. Predehl: Diagnostics of the accretion plasma in magnetic CVs from high-resolution X-ray spectroscopy. In: Proc. of The Physics of Cataclysmic Variables and Related Objects, Göttingen 2001. (Eds.) B. T. Gänsicke, K. Beuermann, K. Reinsch. ASP Conference Proceedings Vol. 261, Astronomical Society of the Pacific, San Francisco 2002, 137-140.
- Churazov, E., H. Böhringer, M. Brüggen, W. Forman, Ch. Jones, Ch. Kaiser and R. Sunyaev: Bubble-Heated Cooling Flows. In: Proc. of Lighthouses of the Universe. The Most Luminous Celestial Objects and their Use for Cosmology. (Eds.) M. Gilfanov, R. Sunyaev, E. Churazov. ESO Astrophysics Symposia. Springer Berlin 2002, 37-43.
- Citterio, O., M. Ghigo, F. Mazzoleni, G. Pareschi, G. Parodi, H. Bräuninger, W. Burkert and G. Hartner: Development of soft and hard X-ray optics for astronomy: progress report II and considerations on material properties for large diameter segmented o ptics of future missions. In: X-Ray Optics for Astronomy: Telescopes, Multilayers, Spectrometers, and Missions: Proc. of SPIE 4496, San Diego 2001. (Eds.) P. Gorenstein, R.B. Hoover. 23-40 (2002).
- *Cliver, E., B. Klecker, M.-B. Kallenrode and H. Cane:* Researchers discuss role of flares and shocks in solar energetic particle events. EOS, Trans. American Geophys. Union **83** (12), 132-133 (2002).
- *Collmar, W.:* AGN at MeV Gamma-ray Energies. In: Proc. of Lighthouses of the Universe. The Most Luminous Celestial Objects and their Use for Cosmology. (Eds.) M. Gilfanov, R. Sunyaev, E. Churazov. ESO Astrophysics Symposia. Springer Berlin 2002, 280-282.
- Combes, F., S. Garcia-Burillo, F. Boone, L.K. Hunt, S. Leon, A. Eckart, A.J. Baker, L.J. Tacconi, P. Englmaier, E. Schinnerer and R. Neri: Molecular Gas in the 3-Ringed Seyfert/Liner Galaxy NGC 7217. In: Proc. SF2A-2002: Semaine de l'Astrophysique Francaise. (Eds.) F. Combes, D. Barret. Editions de Physique Conference Series, EdP-Sciences, Paris 2002, 169.
- Covino, E., S. Catalano, A. Frasca, E. Marilli, J.M. Alcala, M. Fernandez, C. Melo, R. Paladino and B. Stelzer: The PMS eclipsing binary RXJ 0529.4+ 0041. Formation of Binary Stars, Vol. **200**, 468-471 (2001).
- *Czaykowska, A. and D. Alexander:* Chromospheric heating in the late gradual flare phase. In: Proc. Recent Insights into the Physics of the Sun and Heliosphere: Highlights from Soho and other Space Missions. IAU Publication **203**, 241-243 (2001).
- Dannerbauer, H., F. Bertoldi, C. Carilli, M. Lehnert, D. Lutz, L. Tacconi and R. Genzel: Identification of MAMBO mm Sources in the NTT Deep Field. In: Proc. of Where's the Matter?. (Eds.) L. Tresse, M. Treyer. Marseille 2002, 108-109.
- Dannerbauer, H., F. Bertoldi, C.L. Carilli, R. Genzel, M. Lehnert, D. Lutz, K.M. Menten and F. Owen: Optical and Near-IR identifications of (Sub)Millimeter

Background Sources. In: Proc. on Deep Fields, ESO/ECF/STScI Workshop 2000. (Eds.) S. Cristiani, A. Renzini, R.E. Williams. Springer Berlin 2001, 123-128.

- Davies, R., D. Bonaccini, S. Rabien, W. Hackenberg, T. Ott, S. Hippler, U. Neumann, M. Barden, M. Lehnert, F. Eisenhauer and R. Genzel: Multi-Conjugate Adaptive Optics with Laser Guide Stars. In: Proc. of Scientific Drivers for ESO Future VLT/VLTI Instrumentation. (Eds.) J. Bergeron, G. Monnet. ESO Astrophysics Symposia, Springer Berlin 2002, 158-163.
- de Martino, D., G. Matt, K. Mukai, T. Belloni, J.M. Bonnet-Bidaud, L. Chiappetti, B.T. Gänsicke, F. Haberl and M. Mouchet: The X-ray emission of the intermediate polar V709 Cas. In: Proc. of The Physics of Cataclysmic Variables and Related Objects. (Eds.) B.T. Gänsicke, K. Beuermann, K. Reinsch. Conference Series Vol. 261, Astronomical Society of the Pacific, San Francisco 2002, 143-144.
- Dennerl, K., V. Burwitz, J. Englhauser, C. Lisse and S. Wolk: X-rays from Venus discovered with Chandra. In: Proc. of "The High Energy Universe at Sharp Focus: Chandra Science", St. Paul 2001. (Eds.) E. M. Schlegel, S. D. Vrtilek. Conference Series Vol. 262, The Astronomical Society of the Pacific, San Francisco 2002, 21-27.
- Diehl, R. and W. Hillebrandt: Astronomie mit Radioaktivität. Physik Journal 1(4), 47-53 (2002).
- *Diehl, R.:* Nucleosynthesis Gamma-Rays. In: Proc. of 11th Int. Workshop on Nuclear Astrophysics, Ringberg Castle 2002. (Eds.) W. Hillebrandt, E. Müller. MPA/P13, MPA, Garching 2002, 181-185.
- *Eisenhauer, F., P. van der Werf, N. Thatte, T. de Zeeuw, M. Tecza, M. Franx and C. Iserlohe:* Scientific Potential of Enhancing the Integral-Field Spectrometer SPIFFI with a Large Detector and High Spectral Resolution. In: Proc. of Scientific Drivers for ESO Future VLT/VLTI Instrumentation, Garching 2001. (Eds.) J. Bergeron, G. Monnet. ESO Astrophysics Symposia. Springer Berlin 2002, 149-157.
- Feser, M., C. Jacobsen, P. Rehak, G. DeGeronimo, P. Holl and L. Strüder: A Novel Integrating Solid State Detector with Segmentation for Scanning Transmission Soft X-ray Microscopy. In: X-ray micro and nano-focusing: Applications and techniques II. (Ed.) I. McNulty. Proc. of SPIE Vol. 4499, The International Society for Optical Engineering, Bellingham 2002, 117-125 (2002).
- *Finoguenov, A.:* On the Connection between Formation and Enrichment of Galaxy Clusters. In: Proc. of a meeting "Chemical Enrichment of intracluster and Intergalactic Medium". (Eds.) R. Fusco-Femiano, F. Matteucci. Conference Series Vol. 253, Astronomical Society of the Pacific, San Francisco 2002, 71-84.
- Fischer, J.-U., G. Hasinger, A.D. Schwope, H. Brunner, Th. Boller, J. Trümper, W. Voges, S. Neizvestny, R. Schwarz and A. Ugryumov: ROSAT Bright Survey (Fischer+, 1998-2000). VizieR On-line Data Catalog: IX/32. Originally published in: 1998AN **321**, 1-11 (2002).

- *Förster, M. and the EDI team:* Magnetospheric electric fields as observed by the Electron Drift Instrument (EDI) on Cluster. Kleinheubacher Berichte **45**, 344-347 (2002).
- Genzel, R.: Trous noirs massifs. l'Astronomie 116, 534-537 (2002).
- Genzel, R., R. Hofmann, D. Tomono, N. Thatte, F. Eisenhauer, M. Lehnert, M. Tecza and R. Bender: CRO-MOS: a cryogenic near-infrared, multi-object spectrometer for the VLT. In: Scientific drivers for ESO future VLT/VLTI instrumentation: Proc. ESO Workshop, Garching 2001. (Eds.) J. Bergeron, G. Monnet. 118.126 (2002).
- Gezari, S., J. Halpern, S. Komossa, D. Grupe and K. Leighly: Follow-Up STIS Spectroscopy of Three Candidate Tidal Disruption Events. In: Proc. of American Astronomical Society Meeting 201. Bulletin of the American Astronomical Society Vol. **201**, #11.17 (2002).
- Gilli, R., R. Giacconi, P. Tozzi, P. Rosati, G. Hasinger, L. Kewley, J. Wang, A. Zirm, V. Mainieri, S. Borgani, J. Bergeron, R. Gilmozzi, E. Schreier, A. Koekemoer, N. Grogin, M. Nonino and C. Norman: Resolving the Hard X-Ray Background in the Chandra Deep Field South. In: Proc. of Lighthouses of the Universe. The Most Luminous Celestial Objects and their Use for Cosmology. (Eds.) M. Gilfanov, R. Sunyaev, E. Churazov. ESO Astrophysics Symposia. Springer Berlin 2002, 573-589.
- Gleissner, T., J. Wilms, K. Pottschmidt, P. Uttley, M.A. Nowak and R. Staubert: Short term X-ray rms variability of Cyg X-1.In: Proc. New Views on MICROQUA-SARS, the 4th Microquasars Workshop. (Eds.) Ph. Durouchoux, Y. Fuchs, J. Rodriguez. Center for Space Physics, Kolkata, India 2002, 38-40.
- Gliozzi, M., W. Brinkmann and C. Räth: Nonlinear Analysis of AGN Light Curves. In: Proc. of Lighthouses of the Universe. The Most Luminous Celestial Objects and their Use for Cosmology. (Eds.) M. Gilfanov, R. Sunyaev, E. Churazov. ESO Astrophysics Symposia. Springer Berlin 2002, 289-291.
- *Grosso, N.:* X-rays and young solar-type stars. In: Proc. of The French Astronomy and Astrophysics Society: Scientific Highlights 2001. (Eds.) F. Combes, D. Barret, F. Thévenin. EDP sciences, Les Ulis, France 2001, 147-150.
- Grün, E., H. Krüger, R. Srama, S. Kempf, S. Auer, L. Colangeli, M. Horanyi, P. Withnell, J. Kissel, M. Landgraf and H. Svedhem: Dust telescope: a new tool for dust research. In: Dust in the Solar System and other Planetary Systems: Proc. IAU Coll. 181, Canterbury 2000. (Eds.) S.F. Green, et al., 181-194 (2002).
- *Grupe, D. and K.M. Leighly:* Outflows in Narrow-Line Seyfert 1 galaxies. In: Proc. of the X-ray spectroscopy of AGN with Chandra and XMM. (Eds.) Th. Boller, S. Komossa, S. Kahn, H. Kunieda, L. Gallo. MPE Report **279**, Garching 2002, 287-288.
- *Grupe, D.:* X-ray Transient Galaxies and AGN. In: Proc. of Lighthouses of the Universe. The Most Luminous Celestial Objects and their Use for Cosmology.

(Eds.) M. Gilfanov, R. Sunyaev, E. Churazov. ESO Astrophysics Symposia. Springer Berlin 2002, 292-294.

- Guenther, E., V. Joergens, G. Torres, R. Neuhäuser, M. Fernández and R. Mundt: Preparing for the VLTI: A search for Pre-Main Sequence Spectroscopic Binaries. In: Proc. of the ESO workshop "Origins of stars and planets: The VLT view", Garching 2001. (Eds.) J.F. Alves, M.J. McCaughrean. ESO Astrophysics Symposia Springer, Berlin 2002, 431-436.
- *Guzzo, L., H. Böhringer, C.A. Collins and P. Schuecker:* The REFLEX cluster survey: probing the mass distribution in the universe. In: Tracing Cosmic Evolution with Galaxy Clusters: Proc. Sesto-2001 Workshop, Sesto Pusteria 2001. (Eds.) S. Borgani, M. Mezzetti, R. Valdarnini, ASP 268, 69-76 (2002).
- *Haberl, F.:* First XMM-Newton results from intermediate polars. In: Proc. of The Physics of Cataclysmic Variables and Related Objects, Göttingen 2001. (Eds.) B.T. Gänsicke, K. Beuermann, K. Reinsch. ASP Conference Proceedings Vol. 261, Astronomical Society of the Pacific, San Francisco 2002, 151-152.
- *Hasinger, G. and I. Lehmann:* X-ray surveys. In: Proc. of Where's the Matter?. (Eds.) L. Tresse, M. Treyer. Marseille 2002, 43-51.
- Hasinger, G., J. Bergeron, V. Mainieri, P. Rosati, G. Szokoly and CDFS Team: Understanding the sources of the X-ray background: VLT identifications in the Chandra/XMM-Newton Deep Field South. Messenger **108**, 11-16 (2002).
- *Hasinger, G.:* Evolution of X-Ray Sources at High Redshift. In: Proc. of Lighthouses of the Universe. The Most Luminous Celestial Objects and their Use for Cosmology. (Eds.) M. Gilfanov, R. Sunyaev, E. Churazov. ESO Astrophysics Symposia. Springer Berlin 2002, 555-567.
- *Hasinger, G.:* Results from Deep Field Observations, In: Proc. of the X-ray spectroscopy of AGN with Chandra and XMM. (Eds.) Th. Boller, S. Komossa, S. Kahn, H. Kunieda, L. Gallo. MPE Report **279**, Garching 2002, 213-220.
- *Hasinger, G.:* The Distant Universe Seen with Chandra and XMM-Newton. Reviews in Modern Astronomy **15**, 71-91 (2002).
- *Ikebe, Y.:* X-Ray Statistical Properties of the Central Cool Component in Clusters of Galaxies. In: Proc. of Lighthouses of the Universe. The Most Luminous Celestial Objects and their Use for Cosmology. (Eds.) M. Gilfanov, R. Sunyaev, E. Churazov. ESO Astrophysics Symposia. Springer Berlin 2002, 81-83.
- *Iyudin, A.F. and F. Haberl:* Detection of the Gammaray emission from the X-ray nove GRO J0422+32. In: Proc. of The Physics of Cataclysmic Variables and Related Objects, Göttingen 2001. (Eds.) B.T. Gänsicke, K. Beuermann, K. Reinsch. Conference Proceedings Vol. 261, Astronomical Society of the Pacific, San Francisco 2002, 637-638.
- Iyudin, A.F., V. Schönfelder, K. Bennett, R. Diehl, W. Hermsen, G.G. Lichti and J. Ryan: Global Galactic

- Distribution of Classical Novae. In: Proc. of International Conference "Classical Novae". (Eds.) M. Hernanz, J. Jose. AIP Conference Proceedings Vol. 637, American Institute of Physics, Melville 2002, 415-419.
- *Iyudin, A.F.:* Global galactic distribution of ²²Na. In: The Physics of Cataclysmic Variables and Related Objects: Proc. Conf. Occasion of Klaus Beuermann's impending 65th Birthday, Göttingen 2001. (Eds.) B.T. Gänsicke, K. Beuermann, K. Reinsch, ASP 261, 633-636 (2002).
- Joergens, V., E. Guenther, R. Neuhäuser, F. Comerón, N. Huélamo, J. Alves and W. Brandner: Multiplicity of young brown dwarfs in Cha I. In: Proc. of "Origins of stars and planets: The VLT view". (Eds.) J.F. Alves, M.J. McCaughrean. ESO Astrophysics Symposia, Springer, Berlin 2002, 127-132.
- Joergens, V., M. Fernández, R. Neuhäuser and E.W. Guenther: Rotational periods of very young brown dwarfs in Cha I. In: Proc. of 1st Potsdam Thinkshop on Sunspots and Starspots Poster Proceedings. (Eds.) K.G. Strassmeier, A. Washuettl. AIP Conference Poster Proceedings, Brandenburgische Universitätsdruckerei, Potsdam 2002, 43-45.
- Johnson, K.E., W.D. Vacca, P.S. Conti and H.A. Kobulnicky: The early stages of extragalactic star cluster evolution: New results from Gemini. Extragalactic Star Clusters **207**, 468-470 (2002).
- Kalemci, E., J.A. Tomsick, R.E. Rotschild, K. Pottschmidt, S. Corbel, R. Wijnands, J.M. Miller and P. Kaaret: State transition of the new black hole transient XTE J1650-500. In: Proc. New Views on MI-CROQUASARS, the 4th Microquasars Workshop. (Eds.) Ph. Durouchoux, Y. Fuchs, J. Rodriguez. Center for Space Physics, Kolkata, India 2002, 81.
- *Kanbach, G.:* Gamma-Ray Pulsars. In: Proc. of the 270. WE-Heraeus Seminar on Neutron Stars, Pulsars and Supernova Remnants. (Eds.) W. Becker, H. Lesch, J. Trümper. MPE Report **278**, Garching, 2002, 91-99.
- Katterloher, R., G. Jakob, M. Konuma, A. Krabbe, N. Haegel, S.A. Samperi, J.W. Beeman and E.E. Haller: Liquid Phase Epitaxy Centrifuge for Growth of Ultrapure Gallium Arsenide for Far Infrared Photoconductors, San Diego 2001. In: Proc. of Infrared Spaceborne Remote Sensing IX. (Eds.) M. Strojnik, B. F. Andresen. SPIE Vol. 4486, The International Society for Optical Engineering, Bellingham 2002, 200-208.
- Keil, R., Th. Boller, R. Fujimoto and R. Ryuichi: XMM-Newton Study of the ULIRG NGC 6240. In: Proc. of Lighthouses of the Universe. The Most Luminous Celestial Objects and their Use for Cosmology. (Eds.) M. Gilfanov, R. Sunyaev, E. Churazov. ESO Astrophysics Symposia. Springer Berlin 2002, 298-300.
- Kerscher, M., K. Mecke, P. Schuecker, H. Böhringer, L. Guzzo, S. De Grandi, C.A. Collins, S. Schindler and R. Cruddace: Non-Gaussian morphology on large s cales: Minkowski functional of the REFLEX clusters of galaxies. In: Tracing Cosmic Evolution with Galaxy Clusters: Proc. Sesto-2001 Workshop, Sesto Pusteria 2001. (Eds.) S. Borgani, M. Mezzetti, R. Valdarnini. ASP 268, 393-394 (2002).

Komossa, S.: Wenn ein Schwarzes Loch einen Stern verschluckt. Sterne und Weltraum **4**, 22-29 (2002).

- Komossa, S.: X-ray Evidence for Supermassive Black Holes at the Centers of Nearby Non-Active Galaxies. Ludwig-Biermann Award Lecture In: Proc. of Internationale Herbsttagung der deutschen Astronomischen Gesellschaft and Joint European and National Astronomy Meeting (JENAM) 2001, Munich. (Ed.) R. Schielicke. Reviews in Modern Astronomy 15, Springer 2002, 27-56.
- Komossa, S.: X-ray Evidence for Supermassive Black Holes in Non-Active Galaxies. In: Proc. of Lighthouses of the Universe. The Most Luminous Celestial Objects and their Use for Cosmology. (Eds.) M. Gilfanov, R. Sunyaev, E. Churazov. ESO Astrophysics Symposia. Springer Berlin 2002, 436-441.
- *Komossa, S.:* X-ray spectroscopy of NGC 3227: ROSAT and Chandra results. In: Proc. of the X-ray spectroscopy of AGN with Chandra and XMM. (Eds.) Th. Boller, S. Komossa, S. Kahn, H. Kunieda, L. Gallo. MPE Report **279**, Garching 2002, 113-117.
- Komossa, S.: X-rays from the Environment of Supermassive Black Holes in AGN. In: Proc. of IX. Marcel Grossmann Meeting on General Relativity, Gravitation and Quantum Field Theories. (Eds.) V. Gurzadyan, R.T. Jantzen, R. Ruffini. IX. Marcel Grossmann Meeting on General Relativity, Gravitation and Quantum Field Theories Vol. C, World Scientific, Singapore 2002, 2227-2229.
- Lehmann, I., G. Hasinger, S.S. Murray and M. Schmidt: Exploring the Early Universe with XMM-Newton. In: Proceedings of The High Energy Universe at Sharp Focus: Chandra Science, held in conjunction with the 113th Annual Meeting of the ASP. (Eds.) E.M. Schlegel, S.D. Vrtilek. Conference Series Vol. 262, Astronomical Society of the Pacific, San Francisco 2002, 105-115.
- Looney, L.W., L.G. Mundy and W.J. Welch: Sub-Arcsecond Millimeter Imaging of Disks and Envelopes: Probing the Density Structure. In: Proc. of The Origins of Stars and Planets: The VLT view. (Eds.) J.F. Alves, M.J. McCaughrean. Springer, Berlin 2002, 303-308.
- Lutz, D., E. Sturm, R. Genzel, R. Maiolino, A.F.M. Moorwood, H. Netzer and S.J. Wagner: Hidden Broad Line Regions and the State of the Obscuring Matter. In:Proc. Issues in Unification of Active Galactic Nuclei, Marciana Marina 2001. (Eds.) R. Maiolino, A. Marconi, N. Nagar. ASP Conference Series Vol. 258, The Astronomical Society of the Pacific, San Francisco, 2002, 39-44.
- Malzac, J., T. Belloni, H. C. Spruit and G. Kanbach: Correlated optical/X-ray variability in XTE J1118+480. In: Proc. of Fourth Microquasars Workshop. (Eds.) P. Durouchoux, Y. Fuchs, J. Rodriguez. Center for Space Physics, Kolkata, India 2002, 31-34.
- Matsushita, K., A. Finoguenov, and H. Böhringer: XMM-Newton Observation on M87 and Its X-ray Halo. In: Proc. of Lighthouses of the Universe. The Most Luminous Celestial Objects and their Use for Cosmology. (Eds.) M. Gilfanov, R. Sunyaev, E.

Churazov. ESO Astrophysics Symposia. Springer Berlin 2002, 63-68.

- *Mengel, S., M.D. Lehnert, N. Thatte and R. Genzel:* IFS and IR observations of star clusters in the Antennae. In: Proc. 207th Symp. of the IAU, Pucón 2001. (Eds.) D. Geisler, E.K. Grebel, D. Minniti. Extragalactic Star Clusters **207**, 378-382 (2002).
- Mengel, S., N. Thatte, M. Lehnert and R. Genzel: Star formation in NGC 4038/ 4039. Galaxies and their Constituents at the Highest Angular Resolutions. In: Proc. 205th Symp. of the IAU, Manchester. (Eds.) M. Sauvage, G. Stansiska, D. Schaeren. The Evolution of Galaxies II Basic Building Blocks **205**, 206-207 (2002).
- *Montmerle, T. and N. Grosso:* X-rays from star-forming regions in the VLT era. In: Proc. of Origins of Stars and Planets: The VLT View, ESO Workshop, Garching 2001. (Eds.) J.F. Alves, M.J. McCaughrean. Springer Berlin 2002, 453-460.
- Morrison, G.E., F.N. Owen, M.J. Ledlow, W.C. Keel, J.M. Hill and W. Voges: The radio Butcher-Oemler effect: the evolution of the radio-selected galaxy population within rich clusters over the last 5 Gyr. In: Tracing Cosmic Evolution with Galaxy Clusters: Proc. Sesto-2001 Workshop, Sesto Pusteria 2001. (Eds.) S. Borgani, M. Mezzetti, R. Valdarnini, ASP 268, 419-420 (2002).
- Moscardini, L., S. Matarrese, P. Andreani, M. Bartelmann and H. Mo: Clustering Properties of Galaxy Clusters in Present and Future Surveys. In: Proc. of Tracing Cosmic Evolution with Galaxy Clusters. (Eds.) S. Borgani, M. Mezzetti, R. Valdarnini. Conference Series Vol. 268, The Astronomical Society of the Pacific, San Francisco, 2002, 81-84.
- *Moy, E. and B. Rocca-Volmerange:* Modelling ionized gas and stellar emissions in starburst components. New Astronomy Reviews **46**, 203-205 (2002).
- Neuhäuser, R., E. Guenther, W. Brandner, N. Huélamo, T. Ott, J. Alves, F. Comerón, J.-G. Cuby and A. Eckart: Direct imaging and spectroscopy of substellar companions next to young nearby stars in TWA. In: The Origins of Stars and Planets: The VLT View: Proc. ESO Workshop, Garching 2001. (Eds.) J.F. Alves, M.J. McCaughrean. 383-388 (2002).
- Nicastro, L., G. Cusumano, L. Kuiper, W. Becker, W. Hermsen and M. Kramer: The 2-10 keV emission properties of PSR B1937+21. In: Proc. of the 270. WE-Heraeus Seminar on Neutron Stars, Pulsars and Supernova Remnants. (Eds.) W. Becker, H. Lesch, J. Trümper. MPE Report **278**, Garching, Germany 2002, 87-90.
- Pallocchia, G., R. Bruno, M.-B. Bavassano-Cattaneo, M.F. Marcucci, A.M. Di Lellis, E. Amata, V. Formisano, H. Rème, J.M. Bosqued, I. Dandouras, J.-A. Sauvaud, L.M. Kistler, E. Möbius, B. Klecker, C.W. Carlson, J.P. McFadden, G.K. Parks, M. McCarthy, A. Korth and R. Lundin: Turbulence in the solar wind as seen by Cluster CIS experiment: preliminary results on intermittency and scaling laws. In: SOLSPA Proc. of the Second Solar Cycle and Space Weather Confer-

ence. ESA SP-477, ESA Publ. Div., Noordwijk 2002, 361-364.

- Pavlov, G.G, V.E. Zavlin and D. Sanwal: Thermal Radiation from Neutron Stars: Chandra Results. In: Proc. of the 270. WE-Heraeus Seminar on Neutron Stars, Pulsars and Supernova Remnants. (Eds.) W. Becker, H. Lesch, J. Trümper. MPE Report 278, Garching, Germany 2002, 273-282.
- Pavlov, G.G., D. Sanwal, G.P. Garmire and V.E. Zavlin: The Puzzling Compact Objects in Supernova Remnants. In: Proc. of The Conference on Neutron Stars in Supernova Remnants. (Eds.) P.O. Slane, B.M. Gaensler. Conference Series Vol. 271, The Astronomical Society of the Pacific, San Francisco, 2002, 247-256.
- Ponman, T.J., S.F. Helsdon, E.J. Lloyd-Davies, L. Grego, J. Vrtilek and A. Finoguenov: Energy and Metals in Groups of Galaxies. In: Proc. of "Chemical Enrichment of intracluster and Intergalactic Medium" (Eds.) R. Fusco-Femiano, F. Matteucci. Conference Series Vol. 253, The Astronomical Society of the Pacific, San Francisco, 2002, 43-53.
- Posch, T., J. Hron and G. Wuchterl: Wieviele Sterne sehen wir noch? Sterne und Weltraum 1, 62-63 (2002).
- Pottschmidt, K., P. Binko, M. Meharga, R. Ouared, R. Walter and T.Courvoisier: The INTEGRAL Archive. In: Proc. of "Ensuring long-term preservation and adding value to scientific and technical data". CD-ROM by CNES (2002).
- *Predehl, P., V. Burwitz, E. Costantini and J. Trümper:* Geometrical Distance Measurement of Cyg X-3 Using its X-ray Scattering Halo. In: Proc. of New Century of X-ray Astronomy. (Eds.) H. Inoue, H. Kunieda. Conference Series Vol. 251, The Astronomical Society of the Pacific, San Francisco 2002, 46-49.
- Rabien, S., R.I. Davies, T. Ott, S. Hippler and U. Neumann: PARSEC, the laser for the VLT. In: Adaptive Optics Systems and Technolog II: Proc. of the SPIE 4494, San Diego 2001. (Eds.) R.K. Tyson, D. Bonaccini, M.C. Roggemann. 325-335 (2002).
- *Rau, A. and J. Greiner:* Comptonization, the X-rayradio-correlation and the long-term periodicity in the chi state of GRS 1915+105. In: Proc. New Views on MICROQUASARS, the 4th Microquasars Workshop. (Eds.) Ph. Durouchoux, Y. Fuchs, J. Rodriguez. Center for Space Physics, Kolkata, India 2002, 303-306.
- Reimer, O., K. T. S. Brazier, A. Carramiñana, G. Kanbach, P. L. Nolan and D. J. Thompson: Chasing the second gamma-ray bright isolated neutron star: 3EG J1835+5918/RX J1836.2+5925. In: Proc. of the 270. WE-Heraeus Seminar on Neutron Stars, Pulsars and Supernova Remnants. (Eds.) W. Becker, H. Lesch, J. Trümper. MPE Report 278, Garching, Germany 2002, 100-104.
- Reiprich, Th..H. and Hans Böhringer: Constraining Cosmological Models with the Brightest Galaxy Clusters in the X-Ray Sky. In: Proc. of Lighthouses of the Universe. The Most Luminous Celestial Objects and their Use for Cosmology. (Eds.) M. Gilfanov, R. Sun-

yaev, E. Churazov. ESO Astrophysics Symposia. Springer Berlin 2002, 84-96.

- Richter, M.J., J.H. Lacy, D.T. Jaffe, M.K. Hemenway, T.K. Greathouse, Q. Zhu and C. Knez: Mid-Infrared Spectroscopy from the Stratosphere: EXES and SOFIA. Bulletin of the American Astronomical Society **34**, 3, 951 (2002).
- Rocca-Volmerange, B. and E. Moy: Distant Radio Galaxies in Their Environment with the 3D Spectroscopy OASIS/CFHT. In: Proc. of Lighthouses of the Universe. The Most Luminous Celestial Objects and their Use for Cosmology. (Eds.) M. Gilfanov, R. Sunyaev, E. Churazov. ESO Astrophysics Symposia. Springer Berlin 2002, 517-518.
- Sanwal, D., G.G. Pavlov, O.Y. Kargaltsev, G.P. Garmire, V.E. Zavlin, V. Burwitz, R.N. Manchester and R. Dodson: X-ray Spectrum and Pulsations of the Vela Pulsar. In: Proc. of The Conference on Neutron Stars in Supernova Remnants, Boston 2001. (Eds.) P.O. Slane, B.M. Gaensler. Conference Series Vol. 271, The Astronomical Society of the Pacific, San Francisco, 2002, 353-356.
- Schaudel, D, W. Becker, W.Voges, B. Aschenbach, W. Reich and M. Weisskopf: Galactic SNR Candidates in the ROSAT All-Sky Survey in Neutron Stars in Supernova Remnants. (Eds) Patrick O. Slane and Bryan M. Gaensler. ASP Conference Series, Vol. 271, The Astronomical Society of the Pacific, San Francisco, 2002, 391-394.
- Schaudel, D., W. Becker, B. Aschenbach, J. Truemper, W. Reich and M. Weisskopf: Galactic SNR candidates in the ROSAT all-sky survey. In: Proc. of the 270. WE-Heraeus Seminar on Neutron Stars, Pulsars and Supernova Remnants. (Eds.) W. Becker, H. Lesch, J. Trümper. MPE Report 278, Garching, Germany 2002, 26-29.
- Schönfelder, V.: Das Compton-Gammastrahlen-Observatorium Bilanz nach neunjähriger Mission. Sterne und Weltraum 7, 34-44 (2002).
- Schuecker, P., H. Böhringer, L. Guzzo and C.A. Collins: Clustering and Substructuring of REFLEX Clusters of Galaxies. In: Proc. of Tracing Cosmic Evolution with Galaxy Clusters, Sesto Pusteria 2001. (Eds.) S. Borgani, M. Mezetti, R. Valdarnini. Conference Series Vol. 268, The Astronomical Society of the Pacific, San Francisco, 2002, 77-80.
- Shirley, Y.L., N.J. Evans II, K.E. Mueller, C. Knez and D.T. Jaffe: A CS J=5-4 Mapping Survey Towards High Mass Star-Forming Cores Associated with H₂O Masers. In: Proc. of Hot Star Workshop III: The Earliest Stages of Massive Star Birth. (Ed.) P.A. Crowther. Conference Series Vol. 267, The Astronomical Society of the Pacific, San Francisco 2002, 417-418.
- Staude, A., R. Schwarz, A. Schwope and A. Rau: Photometry with the Potsdam 70cm-telescope. In: Proc. of The Physics of Cataclysmic Variables and Related Objects. (Eds.) T. Gänsicke, K. Beuermann, K. Reinsch. Conference Proceedings Vol. 261, The Astronomical Society of the Pacific, San Francisco, 2002, 680-681.

Veröffentlichungen / Lehrveranstaltungen

- Strüder, L., G. Hasinger, J. Kollmer, N. Meidinger, J. Trümper, R. Hartmann, P. Holl, P. Lechner, H. Soltau, P. Klein, G. Lutz, R. H. Richter, P. Fischer, N. Wermes and W. Buttler: Imaging spectrometers for future Xray missions. In: X-Ray and Gamma-Ray Instrumentation for Astronomy XII: In: Proc. of SPIE 4497, San Diego 2001. (Eds.) K.A. Flanagan, O .H.W. Siegmund. 41-49 (2002).
- Strüder, L., H. Soltau, S. Bonerz, H. Bräuninger, D. Carathanassis, R. Eckhardt, R. Hartmann, G. Hasinger, P. Holl, N. Krause, G. Lutz, N. Meidinger, R. H. Richter, G. Schaller, M. Schnecke-Radau and J. Trümper: High speed, large format X-ray CCDs for ESA's XEUS mission. In: X-Ray and Gamma-Ray Instrumentation for Astronomy XII: In: Proc. of SPIE 4497, San Diego 2001. (Eds.) K.A. Flanagan, O.H.W. Siegmund. 61-69 (2002).
- Strüder, L., S. Bonerz, H. Bräuninger, G. Hasinger, T. Johannes, J. Kollmer, N. Krause, N. Meidinger, J. Trümper, R. Hartmann, P. Holl, J. Kemmer, P. Lechner, H. Soltau, P. Klein, G. Lutz, R. Richter, P. Fischer and N. Wermes: Imaging Spectrometers for Future X-ray Missions. Conference Series 251, The The Astronomical Society of the Pacific, San Francisco 2002, 200-205.
- Sturm, E., D. Lutz, R. Genzel, A. Verma, H. Netzer, A. Sternberg, A. Moorwood and E. Oliva: A Mid-Infrared Spectroscopic Survey of Active Galactic Nuclei. In: Proc. of Issues in Unification of Active Galactic Nuclei, Marciana Marina 2001. (Eds.) R. Maiolino, A. Marconi, N. Nagar. Conference Series Vol. 258, The Astronomical Society of the Pacific, San Francisco, 2002, 87-92.
- *Tachihara, K., T. Onishi, A. Hara, A. Mizuno and Y. Fukui:* Statistical Study of Nearby Dense Cores and Their Modes of Star Formation. In: Proc. of Modes of Star Formation and the Origin of Field Populations. (Ed.) E. Grebel. Conference Series Vol. 285, The Astronomical Society of the Pacific, San Francisco, 2002, 34-39.
- *Tanaka, Y., Y. Ueda and Th. Boller:* Partial covering phenomena in X-ray binaries. In: Proc. of the X-ray spectroscopy of AGN with Chandra and XMM. (Eds.) Th. Boller, S. Komossa, S. Kahn, H. Kunieda, L. Gallo. MPE Report **279**, Garching 2002, 171-174.
- *Tanaka, Y.:* Black-hole Binaries. The Century of Space Science. (Eds.) J.A.M. Bleeker, J. Geiss, M.C.E.

Huber. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 2001, 839-856.

- *Treumann, R. A.:* Vom Big Bang zur Erde: Der Ursprung der Erde. In: Elemente des Naturhaushalts III, Schriftenreihe Forum, Band 11. (Ed.) B. Busch. Kunstund Ausstellungshalle der Bundesrepublik Deutschland, Bonn, 29-43 (2002).
- Wilms, J., K. Pottschmidt, M.A. Nowak, G.G. Pooley, W.A. Heindl, D.M. Smith, R. Remillard and R. Staubert: Evolution of the Timing Properties of Cyg X-1. In: Proc. New Views on MICROQUASARS, the 4th Microquasars Workshop. (Eds.) Ph. Durouchoux, Y. Fuchs, J. Rodriguez. Center for Space Physics, Kolkata (India) 2002, 19.
- Wilms, J., M. Novak, K. Pottschmidt, R. Staubert, E. Kendziorra, T. Gleissner and P. Predehl: XMM observations of GX 339-4 and LMC X-1: EPIC data analysis. In: Proc. New Views on MICROQUASARS, the 4th Microquasars Workshop. (Eds.) Ph. Durouchoux, Y. Fuchs, J. Rodriguez. Center for Space Physics, Kolkata, India 2002, 41-44.
- *Wuchterl, G. and U. Borgeest:* Geburt der Planeten. Sterne und Weltraum Spezial 7, 08-19 (2002).
- *Wuchterl, G.:* A dialogue on dynamical pre-main sequence tracks. Formation of Binary Stars. **200**, 492-495 (2001).
- *Wuchterl, G.:* Die Ordnung der Planetenbahnen. Teil 1: Die Titius-Bode-Reihe und ihr Scheitern. Sterne und Weltraum **6**, 24-33 (2002).
- *Wuchterl, G.:* Die Ordnung der Planetenbahnen. Teil 2: Auf dem Weg zu einem neuen Verständnis. Sterne und Weltraum **12**, 32-41 (2002).
- Zavlin, V.E. and G.G. Pavlov: Modeling Neutron Star Atmospheres. In: Proc. of the 270. WE-Heraeus Seminar on Neutron Stars, Pulsars and Supernova Remnants. (Eds.) W. Becker, H. Lesch, J. Trümper. MPE Report **278**, Garching, Germany 2002, 263-272.
- Zhang, S., W. Collmar and V. Schönfelder: High energy properties of the gamma-ray blazars PKS 1622-297, 3C 454.3 and CTA 102. In: Proc. of Lighthouses of the Universe. The Most Luminous Celestial Objects and their Use for Cosmology. (Eds.) M. Gilfanov, R. Sunyaev, E. Churazov. ESO Astrophysics Symposia. Springer Berlin 2002, 301-303.

4.4 BÜCHER / BOOKS

- *Becker, W., H. Lesch and J. Trümer (Eds.):* Proceeding of the 270. WE-Heraeus Seminar on Neutron Stars, Pulsars and Supernova Remnants, Bad Honnef 2002, MPE-Report 278, 2002, 302 p.
- Boller, Th., S. Komossa, S. Kahn, H. Kunieda and L. Gallo (Eds.): Proceedings of the International Workshop on X-ray spectroscopy of Active Galactic Nuclei with Chandra and XMM-Newton, Garching 2001. MPE Report 279. MPE, Garching 2002, 304 p.
- *Dyke, G., S Ericksen and B Pecnik (Eds.):* Alone? A Discovery Sourcebook for Astrobiology. International Space University (ISU), Strasbourg, France 2002, 256 p.
- *Green, R.F., E.Ye. Khachikian and D.B. Sanders (Eds.):* AGN Surveys. Astronomical Society of the Pacific, San Francisco 2002, 425 p.

4.5 POSTER / POSTERS

- *Ammler, M. et al.*: Testing Pre-Main Sequence Tracks, 1st Potsdam Thinkshop on Sunspots & Starspots, Potsdam, Germany, May 2002.
- Baker, A.J. et al.: An Owens Valley Radio Observatory Survey of Molecular Gas in Active and Inactive Nuclei, Active Galactic Nuclei: From Central Engine to Host Galaxy, Paris, France, July 2002.
- *Bogdanova, Y. V. et al.:* Oxygen beams in the polar cap and cusp regions: multi-spacecraft observations by CIS Cluster, EGS 27th General Assembly, Nice, France, April 2002.
- *Bogdanova, Y. V. et al.:* Investigation of the source region of ionospheric oxygen outflow in the cusp using multi-spacecraft observations by CIS onboard Cluster, 34th COSPAR Scientific Assembly, Houston, USA, October 2002.
- *Bogdanova, Y. V. et al.:* Multi-Instrument study of the energy step structures of O⁺ and H⁺ ions in the cusp and polar cap regions, 34th COSPAR Scientific Assembly, Houston, USA, October 2002.
- *Breitschwerdt, D. et al.:* Investigating galactic halos with XEUS, XEUS studying the evolution of the hot universe, Garching, Germany, March 2002.
- *Breitschwerdt, D. et al.*: 3D Simulations of the Local Bubble, JENAM 2002, The Unsolved Universe: Challenges for the Future, Workshop on ISM, Porto, Portugal, September 2002.
- Breitschwerdt, D. et al.: First High Resolution Simulations of the Local Bubble, Winds, Bubbles & Explosions: A Conference to Honour John Dyson, Pátzcuaro, Mexico, September 2002.
- *Broeg, C. et al.:* Rotational Periods of new ROSAT detected T-Tauri Stars, 1st Potsdam Thinkshop on Sunspots and Starspots, Potsdam, Germany, May 2002.
- *Burwitz, V. et al.:* Chandra ACIS-I and LETGS X-ray observations of Nova 1999 Velorum (V382 Vel), International Conference on Classical Nova Explosions, Sitges, Spain, May 2002.
- Dannerbauer, H. et al.: Properties of mm galaxies: Constraints from K-band blank fields, The Cold Universe, Grimentz, Switzerland, March 2002.
- *Davies, R. et al.*: Observations of Faint Galaxies with Adaptive Optics, Discoveries and Research Prospects from 6-10m Class Telescopes II, Kona, USA, August 2002.
- *Davies, R. et al.*: Operational Issues for PARSEC, the VLT Laser, Adaptive Optics System Technologies II, Kona, USA, August 2002.
- Dennerl, K. et al.: A major step in understanding the Xray generation in comets: recent progress obtained with XMM-Newton, SPIE Meeting on: Astronomical Telescopes and Instrumentation, "Power Telescopes and Instrumentation into the New Millennium", Waikoloa, Hawaii, USA, August 2002.

- *Diehl, R. et al.*: Gamma-Rays from Massive Stars in Cygnus and Orion, A Massive-Star Odyssey, from main Sequence to Supernova, IAU Symposium 212, Costa Teguise, Spain, June 2002.
- *Diehl, R.:* Nucleosynthesis constrains from gamma-ray line obsservations, Jahrestagung der Astronomischen Gesellschaft, Berlin, Germany, September 2002.
- *Dum, C. T.:* Instability Analysis with Measured Particle Distribution Functions, Spring Meeting American Geophysical Union, Washington D.C., USA, May 2002.
- *Finoguenov, A.:* Spectroscopic diversity of SN Ia, XEUS Meeting, Garching, Germany, March 2002.
- *Finoguenov, A. et al.:* XMM-Newton view on Coma cluster galaxies, The Virgo cluster, Ringberg, Germany, March 2002.
- *Finoguenov, A. et al.:* X-ray luminosity function of the Coma cluster galaxies, Dwarf galaxies, Ringberg, Germany, July 2002.
- *Finoguenov, A.:* Influence of cosmic variance on AGN studies, determined from the Coma cluster, X-ray surveys in light of new observatories, Santander, Spain, September 2002.
- *Freyberg, M. J. et al.*: Investigating the ``missing baryon problem" with XEUS: Mapping and spectral analysis of the Galactic soft X-ray emission, XEUS studying the evolution of the hot universe, Garching, Germany, March 2002.
- *Freyberg, M. J. et al.*: XMM-Newton Galactic Halo Survey, International Workshop on X-ray Surveys, in the light of the new observatories, Santander, Spain, September 2002.
- *Friedrich, S. et al.*: Do magnetic fields prevent Hydrogen from accreting onto cool, metal-line white dwarfs?, 13th European Workshop on White Dwarfs, Naples, Italy, June 2002.
- *Grupe, D. et al.*: X-ray polarimetry of AGN with XEUS studying the evolution of the hot universe, Garching, Germany, March 2002.
- *Grupe, D.:* Multiwavelength Studies of AGN/ESO/ESA/NASA/NSF Astronomy Conference Towards an International Virtual Observatory, Garching, Germany, March 2002.
- *Haaland, S. et al.:* Four-spacecraft determination of magnetopause orientation, motion and thickness: Comparison with results from single-spacecraft methods, EGS 27th General Assembly, Nice, France, April 2002.
- *Haberl, F. et al.*: New X-ray observations of the isolated neutron star RX J0806.4-4123, Pulsars, AXPs and SGRs observed with BeppoSAX and other observatories, Marsala, Italy, September 2002.
- Hofmann, R. et al.: Cryogenic MOS-Unit for LUCI-FER, SPIE Conference on Astronomical Telescopes

and Instrumentation, Waikoloa, Hawaii, USA, August 2002.

- *Iyudin, A.F. et al.*: Results of the joint X-ray and gamma-ray analysis of the SNR RXJ0852-4622/GROJ0852-4642, 7th International Workshop "Nuclei in the Cosmoc", Yoshida/Fuji, Japan, July 2002.
- *Iyudin, A.F. et al.:* Study of global galactic distribution of classical novae by their gamma-ray line emission at 1.275 MeV, 7th International Workshop "Nuclei in the Cosmos", Yoshida/Fuji, Japan, July 2002.
- Jaroschek, C. et al.: Power law tails generated in relativistic magnetic reconnection: Full Particle Simulation results, Texas Astrophysics Conference Florence, Italy, December 2002.
- Jayawardhana, R. et al.: A Search for Disk Emission in Young Brown Dwarfs: L-band Observations of S Orionis and TW Hydrae, Brown Dwarfs, IAU Symposium 211, Big Island, Hawaii, USA, May 2002.
- Joergens, V. et al.: Rotational periods of very young brown dwarfs in Cha I, 1st Potsdam Thinkshop on Sunspots and Starspots, Potsdam, Germany, May 2002.
- *Jordan, S. et al.:* Search for fast rotation in the magnetic white dwarfs Grw+70°8247 and LP790-29, IAU Symposium 215, Stellar Rotation, Cancun, Mexico, November 2002.
- Kanbach, G. et al.: Design and results of the fast timing photo-polarimeter OPTIMA, SPIE Meeting on: Astronomical Telescopes and Instrumentation "Power Telescopes and Instrumentation into the New Millennium", Waikoloa, Hawaii, USA, August 2002.
- *Kanbach, G. et al.*: Design and Status of the MPE Fast Timing Photo-Polarimeter OPTIMA, The Cosmic Circuit of Matter. Internationale Wissenschaftliche Jahrestagung der Astronomischen Gesellschaft, Berlin, Germany, September 2002.
- *Katterloher, R. et al.:* GaAs LPE Growth Centrifuge A Novel Facility to Produce High Purity GaAs Material, Far-IR, SubMM and MM Detector Technology Workshop, Monterey, CA, USA, April 2002.
- *Kestel, M. et al.*: HEGRA CT1 Observations of 3C 273 and 3C 279 in 2000 as Part of Multiwavelength Campaigns, 76th Annual Meeting of the Astronomische Gesellschaft, Berlin, Germany, September 2002.
- *Khrapak, S. A. et al.*: Ion drag force in complex plasmas, 3rd International Conference on the Physics of Dusty Plasmas, Durban, South Africa, May 2002.
- *Kienlin von, A. et al.:* Gamma-Ray Burst Detection with INTEGRAL/SPI, SPIE Meeting on: Astronomical Telescopes and Instrumentation "Power Telescopes and Instrumentation into the New Millennium", Waikoloa, Hawaii, USA, August 2002.
- *Kienlin von, A. et al.*: Gamma-Ray Burst Detection with INTEGRAL/SPI, Gamma-Ray Burst in the Afterglow Era: 3rd Workshop, Rom, Italy, September 2002.
- *Komossa, S. et al.*: Prospects for studying a new phenomenon with next generation X-ray telescopes: Giant-amplitude X-ray flares as probes of the black hole

region of nearby galaxies, XEUS - studying the evolution of the hot universe, Garching, Germany, March 2002.

- *Komossa, S.:* NGC 6240, pathfinder to the high-redshift universe of ultraluminous IR galaxies, XEUS - studying the evolution of the hot universe, Garching, Germany, March 2002.
- *Komossa, S. et al.:* A new X-ray probe for supermassive black holes in non-active galaxies, ESO-CERN-ESA Symposium on Astronomy, Cosmology and Fundamental Physics, Garching, Germany, March 2002.
- Komossa, S.: X-ray studies of the environment of supermassive black holes in galaxies, 8th German-American Frontiers of Science Symposium, Irvine, California, USA, June 2002.
- *Komossa, S. et al.:* Absorption and dust, from nearby Seyfert galaxies to high-z quasars, IAU Symposium 214 on High Energy Processes and Phenomena in Astrophysics, Suzhou, China, August 2002.
- *Komossa, S.:* A new X-ray probe for supermassive black holes, Carnegies Observatories Centennial Symposium on The Co-evolution of Galaxies and Black Holes, Pasadena, USA, October 2002.
- *Kretschmer, K. et al.:* ²⁶Al in the Cygnus Region, Annual Scientific Meeting of the Astronomische Gesellschaft, Berlin, Germany, September 2002.
- *Kretschmer, M. et al.*: Potential energy inside the void, International Conference on the Physics of Dusty Plasma, Durban, South Africa, May 2002.
- *Kretschmer, M. et al.*: Effective potential energy inside the 'void' of a complex plasma, International Conference on Strongly Coupled Coulomb Systems, Santa Fe, USA, September 2002.
- *Lehmann, I. et al.*: XMM-Newton Deep Survey in the Lockman Hole field & the population of type-2 QSO, XEUS studying the evolution of the hot universe, Garching, Germany, March 2002.
- *Lutz, D. et al.*: Extragalactic surveys with Herschel-PACS, Galaxy Evolution: Theory and Observations, Cozumel, Mexico, April 2002.
- *Lutz, D. et al.*: Identification and nature of (sub)mm sources, Galaxy Evolution: Theory and Observations, Cozumel, Mexico, April 2002.
- *Majewski, P. et al.:* X- Gamma-Ray Correlation Studies of the Blazars 3C 273 and 3C 279, 76th Annual Meeting of the Astronomische Gesellschaft Berlin, Germany, September 2002.
- *Meidinger, N. et al.*: Frame Store PN-CCD Detector for the ROSITA Mission, SPIE 2002, Hawaii, USA, August 2002.
- *Müller, T.G.*: ISO and Asteroids, Asteroids, Comets, Meteors, Berlin, Germany, July 2002.
- *Pahlke, A. et al.:* Radiation hardness of silicon drift detectors, New Developments in Radiation Hardness, Elmau, Germany, June 2002.
- *Poglitsch, A. et al.*: Far-Infrared Integral Field Spectroscopy, Second Workshop on New Concepts for Far-Infrared and Submillimeter Space Astronomy, University of Maryland, MD, USA, March 2002.

- *Puhl-Quinn, P. et al.*: Energy Transport in the Terrestrial Polar Cap Regions by Alfvén Waves as Observed by the Electron Drift Instrument (EDI) Aboard the CLUSTER Spacecraft, AGU 2002 Fall Meeting, San Francisco, USA, December 2002.
- *Räth, C. et al.*: Testing Measures for Time Series and Point Distributions using Surrogates, Dynamics Days 2002, Baltimore, USA, January 2002.
- Samsonov, D. et al.: Solitons and shocks in complex (dusty) plasmas, The 11th International Congress on Plasma Physics, Sydney, Australia, July 2002.
- Samsonov, D. et al.: Shocks in 2D complex (dusty) plasmas, The International Conference on Strongly Coupled Coulomb Systems, Santa Fe, USA, September, 2002.
- *Samsonov, D. et al.:* Levitation and agglomeration of magnetic grains in a complex (dusty) plasma with a magnetic field, 55th Annual Gaseous Electronics Conference, Minneapolis, USA, October 2002.
- *Samsonov, D. et al.*: Shocks and solitons in complex (dusty) plasmas, 55th Annual Gaseous Electronics Conference, Minneapolis, USA, October 2002.
- *Stelzer, B. et al.:* Coordinated Multiwavelength Observations of V410 Tau, 1st Potsdam Thinkshop on Sunspots and Starspots, Potsdam, Germany, May 2002.
- *Stelzer, B. et al.:* Spots and Flares on the weak-line T Tauri Star V410Tau, Annual Meeting of the German Astronomical Society, Berlin, Germany, September 2002.
- Stelzer, B. et al.: The XMM-Newton view of TW Hya, High resolution X-ray spectroscopy with XMM-Newton and Chandra, Mullard Space Science Laboratory, Holmbury St. Mary, UK, October 2002.
- Stelzer, B. et al.: Castor A and Castor B resolved in a simultaneous Chandra and XMM-Newton observation, Workshop on High resolution X-ray spectroscopy with XMM-Newton and Chandra, Mullard Space Science Laboratory, Holmbury St. Mary, UK, October 2002.
- *Tachihara, K. et al.*: Proper motion and X-ray selected search for new members in the TW Hya association of young stars, The 8th IAU Asian-Pacific Regional Meeting, Tokyo, Japan, July 2002.
- *Tecza, M. et al.*: SPIFFI Image Slicer: High-Precision Optics at Cryogenic Temperatures, SPIE meeting on Astronomical Telescopes and Instrumentation "Specialized Optical Developments in Astronomy", Kona, USA, August 2002.
- *Thomas, D. et al.*: alpha/Fe enhanced SSP Models and their Calibration on Globular Clusters, New Horizons in Globular Cluster Astronomy, Padova, Italy, June 2002.
- *Treumann, R.A. et al.*: The magnetic mirror mode: A superconducting phase transition analogue, EGS 27th General Assembly, Nice, France, April 2002.

- *Treumann, R.A. et al.:* Phase transition in high temperature plasma, AGU FAll Meeting 2002, San Francisco, USA, December 2002.
- *Tsytovich, V.N. et al.:* Instability Caused by Dust Drift and the Observed Polar Mesospheric Summer Echoes (PMSE's), International Conference on Physics of Dusty Plasmas-ICCPDP, Durban, South Africa, May 2002.
- *Tsytovich, V.N. et al.*: Relativistic Dust Particles Approaching the Earth as Highest Energy Cosmic Ray, International Conference on Physics of Dusty Plasmas-ICCPDP, Durban, South Africa, May 2002.
- *Tsytovich, V.N. et al.*: Strong Damping and Universal Instability of Dust lon Sound Waves (DISW) and Dust-Acoustic Waves (DAW), International Conference on Physics of Dusty Plasmas-ICCPDP, Durban, South Africa, May 2002.
- *Vacca, W. D. et al.*: Hidden Star Clusters in BCDG He 2-10, A Massive Star Odyssey, From Main Sequence to Supernova, Lanzarote, Canary Islands, Spain, June 2002.
- *Verma, A. et al.*: ISO Photometry of Hyperluminous Infrared Galaxies: Implications for the origin of their extreme luminosities, Exploiting the ISO Data Archive. Infrared Astronomy in the Internet Age, ESA/ISO-Villafranca Siguenza, Spain, June 2002.
- *Wunderer, C. et al.*: Imaging with the Coded Aperture Gamma-Ray Spectrometer SPI aboard INTEGRAL, SPIE Astronomical Telescopes and Instrumentation, Waikoloa, USA, August 2002.
- *Yaroshenko, V.V, et al.:* Electromagnetic and Jeans modes conversion in streaming self-gravitating plasmas, International Conference on Physics of Dusty Plasmas, Durban, South Africa, May 2002.
- *Yaroshenko, V.V. et al.*: Mesospheric Electric Fields due to Meteoric Charged Dust, XXYI URSI General Assembly, Maastricht, The Netherlands, August 2002.
- *Yaroshenko, V.V. et al.:* On possible stationary equilibrium of dusty self-gravitating space plasmas, International Conference and School on Plasma Physics and Controlled Fusion, Alushta, Ukraine, September 2002.
- Zoglauer, A. et al.: Doppler Broadening as a Lower Limit to the Angular Resolution of Next Generation Compton Telescopes, SPIE International Symposium on Astronomical Telescopes and Instrumentation, Waikoloa, Hawaii, USA, August 2002.
- *Zuzic, M. et al.*: Very Large Plasma Crystal under Gravity Condition, 11th International Congress on Plasma Physics, Sydney, Australia, July 2002.
- *Zuzic, M. et al.*: PKE-Nefedov the first basic science experiment on board of the international space station ISS, 21st Summer School and International Symposium on the Physics of Ionized Gases (SPIG), Sokobanja, Yugoslavia, August 2002.

4.6 VORTRÄGE / TALKS

- *Ammler, M.:* Testing Pre-Main Sequence Tracks, contributed talk, 76th Annual Meeting of the Astronomische Gesellschaft, "The Cosmic Circuit of Matter", Berlin, Germany, September 2002.
- Annaratone, B. M.: Introduction to Langmuir probe 1, Cips-LTPP Seminar, CIPS-Garching, Garching, Germany, June 2002.
- Annaratone, B. M.: Introduction to Langmuir probe 2, Cips-LTPP Seminar, CIPS-Garching, Garching, Germany, June 2002.
- Annaratone, B. M.: Latest Measurements. The "waveguide" experiment, contributed talk, PKE-Nefedov Symposium, Garching, Germany, October 2002.
- *Annaratone, B. M.*: Recent results in microgravity complex-plasmas, contributed talk, Imperial College, Blanckett Laboratory, London, England, October 2002.
- Aschenbach, Bernd: X-ray observations of supernova remnants, invited talk, 270. WE-Heraeus-Seminar on Neutron Stars, Pulsars and Supernova Remnants, Bad Honnef, Germany, January 2002.
- Aschenbach, Bernd: What do X-rays tell us about Supernovae?, contributed talk, From Twilight to Highlight - The Physics of Supernovae, ESO/MPA/MPE Workshop, Garching, Germany, July 2002.
- *Baker, A.J.:* Long-Wavelength Observations of Lyman Break Galaxies, contributed talk, 199th Meeting of the American Astronomical Society, Washington, DC, USA, January 2002.
- *Baker, A.J.*: Dust and Gas in Galaxies at z > 2.5, colloquium, Department of Astronomy, University of California at Berkeley, Berkeley, CA, USA, October 2002.
- *Baker, A.J.*: Dust and Gas in Galaxies at z > 2.5, colloquium, IGPP, Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, CA, USA, October 2002.
- *Baker, A.J.:* High-Resolution Observations of Molecular Gas in Galactic Nuclei, contributed talk, Centers of Galaxies: A Ringberg Workshop, Schloss Ringberg, Germany, November 2002.
- *Becker, W.:* XMM Observations of Neutron Stars: Recent Results from XMM-Newton, invited talk, 270 WE-Heraeus Seminar on Neutron Stars, Pulsars and Supernova remnants, Bad Honnef, January 2002.
- *Becker, W.:* X-ray observations of Neutron Stars, colloquium, NSSTC Space Science Colloquium, Huntsville (AL), February 2002.
- *Becker, W.:* XMM Observations of Neutron Stars: Recent Results from XMM-Newton, colloquium, Institutskolloquium, MPI für Kernphysik, Heidelberg, March 2002.
- *Becker, W.:* X-ray emission from pulsars, invited talk, BeppoSAX International Workshop, Marsala, Sicily, September 2002.

- *Becker, W.:* XMM Observations of Neutron Stars: Recent Results from XMM-Newton, invited talk, CO-SPAR Symposium on Neutron Stars, Pulsars and Supernova Remnants, Houston, October 2002.
- *Becker, W.:* XMM Observations of Neutron Stars, invited talk, XXI Texas Symposium, Florenz, December 2002.
- *Bender, R.:* Supermassive Black Holes in Galaxy Centers, invited talk, Observatoire de Strasbourg, Strasbourg, France, January 2002.
- *Bender, R.:* Das Universum der Galaxien vom Urknall bis heute, public talk, Planetariumsverein, Universität Göttingen, Göttingen, Germany, February 2002.
- *Bender, R.:* Supermassive Black Holes in Galaxy Centers, invited talk, ESO-CERN-ESA Symposium on Astronomy, Cosmology and Fundamental Physics, Garching, Germany, March 2002.
- *Bender, R.:* Massereiche schwarze Löcher in Galaxienkernen, public talk, Planetarium Stuttgart, Stuttgart, Germany, April 2002.
- *Bender, R.:* Massereiche schwarze Löcher in Galaxienkernen, public talk, Volkssternwarte München, Munich, Germany, May 2002.
- *Bender, R.:* Was ist extragalaktische Astronomie?, public talk, Ludwig-Maximilians-Universität München, Munich, Germany, July 2002.
- *Bender, R.:* How and When did Ellipticals and Bulges Form? colloquium, University of Texas at Austin, Austin, USA, November 2002.
- *Bender, R.:* Structure and Formation of Elliptical Galaxies, invited talk, Ringberg Conference on Galaxy Centers, Schloss Ringberg, Germany, November 2002.
- *Boehm, H.F.:* Comparison of Local 3D Scaling Properties Extracted from High Resolution MRI of Human Trabecular Bone and BMD with Respect to Prediction of Mechanical Strength in Vitro, contributed talk, RSNA 88th Scientific Assembly and Annual Meeting, Chicago, USA, December 2002.
- *Boese, F. G.:* Enclosure of algebraic functions, contributed talk, GAMM2002, Jahrestagung der Ges. f. angew. Mathematik und Mechanik, Augsburg, Germany, March 2002.
- *Boese, F. G.:* Einschluß algebraischer Funktionen samt Anwendungen, contributed talk, Jahrestagung 2002 der Deutschen Mathematiker Vereinigung, Halle/Saale, Germany, September 2002.
- *Bogdanova, Y. V.:* New options in the IFSIDL software, contributed talk, CIS-CLUSTER CoI Team Meeting, Garching, Germany, January 2002.
- *Bogdanova, Y. V.:* Observation of oxygen beams in the mid-altitude cusp, contributed talk, CLUSTER Workshop, Noordwijk, The Netherlands, March 2002.
- *Bogdanova, Y. V.:* Multi-instrument study of the energy step structures of O^+ and H^+ ions in the cusp and polar

cap regions, contributed talk, CIS-CLUSTER CoI Team Meeting, Rome, Italy, June 2002.

- Böhringer, H.: Galaxienhaufen: Leuchttürme und Laboratorien für das Studium der Struktur und Entwicklung unseres Universums, colloquium, Luwig-Maximilian-Universität, Munich, Germany, January 2002.
- *Böhringer, H.:* Galaxy Clusters: Lighthouses and Laboratories for the Study of the Structure and Evolution of our Universe, colloquium, University of Basel, Basel, Switzerland, February 2002.
- *Böhringer, H.:* Galaxienhaufen: Leuchttürme für das Studium unseres Universums, public talk, Wilhelm Förster Sternwarte und Planetarium Berlin, Germany, February 2002.
- *Böhringer, H.:* Astrophysics of X-ray Galaxy Clusters, invited talk, Symposium on Tracing the Emergence of Structure in the Universe, in the honour of Prof. T. van Albada, Groningen, The Netherlands, March 2002.
- *Böhringer, H.:* Constraints on Cosmological Parameters with Observations of Clusters of Galaxies, contributed talk, ESO-CERN-ESA Symposium on Astronomy, Cosmology and Fundamental Physics, Garching, Germany, March 2002.
- *Böhringer, H.:* X-ray Observations of Galaxy Clusters, invited talk, Matter and Energy in Clusters of Galaxies, Taipeh, Taiwan, April 2002.
- *Böhringer, H.:* On the X-ray Appearance of the Virgo Cluster of Galaxies, invited talk, Virgo Cluster Workshop, Schloss Ringberg, Germany, April 2002.
- *Böhringer, H.:* Galaxy Clusters, Cosmic Structure Formation and ALMA, invited talk, ALMA Extragalactic and Cosmology Science Workshop: Dark Matter, Bordeaux, France, May 2002.
- *Böhringer, H.:* Testing Cosmological Models with Galaxy Clusters, colloquium, Kapteyn Institute Groningen, The Netherlands, June 2002.
- *Böhringer, H.:* X-ray Galaxy Clusters as Cosmological Probes and Astrophysical laboratories, colloquium, Astronomical Institute Trieste, Italy, September 2002.
- *Böhringer, H.:* Matter and Energy in Clusters of Galaxies as Probes for the Galaxy and Large-Scale Structure Formation in the Universe, invited talk, Herbsttagung der Astronomischen Gesellschaft, The Cosmic Circuit of Matter, Berlin, Germany, September 2002.
- *Böhringer, H.:* Testing Cosmological Models with Galaxy Clusters, invited talk, The Emergence of Cosmic Structure, University of Maryland, USA, October 2002.
- *Böhringer, H.:* X-ray Galaxy Clusters as Cosmological Probes and Astrophysical laboratories, colloquium, Carnegy-Mellon-University, Pittsburgh, USA, October 2002.
- *Böhringer, H.:* X-ray Galaxy Clusters as Cosmological Probes and Astrophysical laboratories, colloquium, University of Charlottesville, Charlottesville, USA, October 2002.
- *Böhringer, H.:* Cosmology with Galaxy Clusters, invited talk, Japan/German Workshop on Galaxies and Clusters of Galaxies, Shuzenji, Japan, October 2002.

- *Böhringer, H.:* Galaxienhaufen: Leuchttürme zur Erforschung unseres Universums, public talk, Seniorenstudium der Ludwig-Maximillians-Universität München, Germany, October 2002.
- *Böhringer, H.:* Probing Galaxy Cluster Halos and Large-Scale Structure with X-ray Observations, invited talk, DfG Rundgespräch: The Structure and Evolution of Dark Matter Halos, Bad-Honnef, Germany, November 2002.
- *Boller, Th.:* Die Welt der Schwarzen Löcher, public talk, Volkshochschule im Norden des Landkreises Müchen, Garching, Germany, January 2002.
- *Boller, Th.*: Optical follow-up spectroscopy of a flux limited sample of Ultrahard XMM-Newton sources, invited talk, XMM SSC meeting, Cambridge, UK, February 2002.
- *Boller, Th.*: XMM-Newton results from GT and TS observations on AGN, invited talk, XMM-SSC meeting, Cambridge, UK, June 2002.
- *Boller, Th.:* Entstehung und Ende des Universums, public talk, Volkshochschule im Norden des Landkreises München, Ismaning, Germany, June 2002.
- *Boller, Th.:* Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies: Theoretical and observational progress until 2002 - A Review, invited talk, Active Galactic Nuclei: from central Engine to Host galaxy, Paris, France, July 2002.
- *Boller, Th.*: XMM-Newton and Chandra AGN Highlights, contributed talk, SPIE Astronomical Telescopes and Instrumentation, Waikoloa, Hawaii, August 2002.
- *Boller, Th.:* Matter under strong gravity as seen with XMM-Newton, invited talk, The 12th MPG CAS workshop, Beijing, China, September 2002.
- *Boller, Th.*: Die erstaunlichen Effekte bei hohen Geschwindigkeiten und in starken Gravitationsfeldern, public talk, Volkshochschule im Norden des Landkreises Müchen, Garching, Germany, November 2002.
- *Boller, Th.:* Diagnostic with X-ray spectroscopy: Main scientific points up to 2090, invited talk, DFG Schwerpunktsbildung Schwarze Löcher in Galaxienzentren, Bonn, Germany, November 2002.
- *Boller, Th.*: Relativistic Fe K lines and partical covering effects in AGN, invited talk, Universität Tübingen, Germany, December 2002.
- *Breitschwerdt, D.:* Overview of ISM Research, colloquium, MPE X-ray Group Seminar, Garching, Germany, February 2002.
- *Breitschwerdt, D.:* Investigating Galactic Halos with XEUS, contributed talk, XEUS Studying the evolution of the hot universe, Garching, Germany, March 2002.
- *Breitschwerdt, D.:* Review: The LISM State, Origin and Evolution of the Local Bubble the Local Clouds, invited talk, EGS 27th General Assembly, Nice, France, April 2002.
- *Breitschwerdt, D.:* Galactic Halos Observations versus Theory, colloquium, Astronomisches Kolloquium, Würzburg, Germany, May 2002.
- Breitschwerdt, D.: Self-Consistent Dynamical and Thermal Modeling of the ISM, invited talk, JENAM

2002, The Unsolved Universe: Challenges for the Future, Workshop on ISM: From Observations to Selfconsistent Modelling of the ISM in Galaxies, Porto, Potugal, September 2002.

- *Breitschwerdt, D.:* Observation and Modelling of Starburst Driven Galactic Winds: A Review in honour of John Dyson, invited talk, Winds, Bubbles & Explosions: A Conference to Honour John Dyson, Pátz-cuaro, Mexico, September 2002.
- *Breitschwerdt, D.:* First High Resolution Simulations of the Local Bubble, contributed talk, Winds, Bubbles & Explosions: A Conference to Honour John Dyson, Pátzcuaro, Mexico, September 2002.
- *Breitschwerdt, D.:* Summary of ISM-Workshop, JENAM 2002: The Unsolved Universe: Challenges for the Future, Workshop on ISM, Porto, Portugal, September 2002.
- *Breitschwerdt, D.:* Gasdynamical Processes in Dark Matter Halos, invited talk, DFG-Rundgespräch: The Structure and Evolution of Dark Matter Halos, Bad Honnef, Germany, November 2002.
- *Briel, U.G.:* New Generation X-ray Satellites, invited talk, Les Houches Summer School "Accretion Disks, Jets and high Energy Phenomena in Astrophysics", Les Houches, France, August 2002.
- *Briel, U.G.:* EPIC-pn Camera on board XMM-Newton: Performance and Scientific Results, invited talk, SPIE's Annual Meeting "Astronomical Telescopes and Instrumentation", Waikoloa, Hawaii, USA, August 2002.
- *Briel, U.G.*: EPIC-pn Camera on board XMM-Newton, colloquium, Institute for Astronomy, University of Hawaii, Honolulu, Hawaii, USA, September 2002.
- *Briel, U.G.:* Morphology and 2D-Temperature Distribution of the X-ray emitting Gas in Galaxy Clusters measured with XMM-Newton, invited talk, Japan-Germany Workshop on Galaxies and Clusters of Galaxies, Shuzenji, Japan, October 2002.
- *Briel, U.G.:* The XMM-Newton Satellite and the EPICpn Camera, colloquium, Metropolitan University of Tokyo, Japan, November 2002.
- *Briel, U.G.:* Observations of nearby Galaxy Clusters with EPIC, colloquium, XMM-Newton Science Operation Center Vilspa, Madrid, Spain, December 2002.
- *Brinkmann, W.:* X-ray Astronomy in the New Century, colloquium, Aoyama Gakuin University, Tokyo, Japan, March 2002.
- Brinkmann, W.: Recent X-ray observations of BL Lac objects, invited talk, High Energy Blazar Astronomy, Turku, Finland, June 2002.
- *Brinkmann, W.:* Temporal Variability of Mrk 421 from XMM-Newton observations, contributed talk, The Physics of Relativistic Jets in the CHANDRA and XMM Era, Bologna, Italy, September 2002.
- *Bunk, W.:* Evaluierung hierarchischer Clusteranalysen von Aktienkursverläufen mittels Surrogatdaten, contributed talk, Frühjahrstagung der DPG - Arbeits-

kreis "Physik sozio-ökonomischer Systeme", Regensburg, Germany, March 2002.

- *Burwitz, V.:* The Chandra LETGS Spectrum of the Neutron Star RX J1856.5-3754, contributed talk, 270. Heraeus Seminar on Neutron Stars, Pulsars and Supernova Remnants, Bad Honnef, Germany, January 2002.
- *Burwitz, V.:* The Chandra X-ray observatory: LETGS high resolution spectroscopy of Her X-1, invited talk, Institut für Astronomie und Astrophysik Tübingen, Tübingen, Germany, April 2002.
- *Burwitz, V.:* Chandra observations of the enigmatic Neutron Star RX J1856.5-3754, invited talk, Institut für Astronomie und Astrophysik Tübingen, Tübingen, Germany, April 2002.
- *Burwitz, V.:* Chandra observations of Nova Vel 1999 (V382 Vel), invited talk, MPI für Astrophysik, Garching, Germany, June 2002.
- *Burwitz, V.:* Die Röntgen-Observatorien XMM-Newton und Chandra: Neue Ergebnisse, colloquium, Zentrum fü Astronomie und Astrophysik, TU Berlin, Berlin, Germany, June 2002.
- *Burwitz, V.:* Chandra observations of the enigmatic Neutron Star RX J1856.5-3754, invited talk, MPI für Astrophysik, Garching, Germany, July 2002.
- *Burwitz, V.:* The Chandra X-ray observatory, invited talk, AG Tagung 2002, Splinter meeting, X-ray Astronomy from the solar system to the high redshift universe, Berlin, Germany, September 2002.
- *Burwitz, V.:* The Chandra LETGS and ACIS-I Spectra of Nova Velorum 1999 (V382 Vel), contributed talk, High resolution X-ray spectroscopy with XMM-Newton and Chandra, MSSL, England, October 2002.
- *Burwitz, V.:* Observing with XMM-Newton and Chandra: new results, colloquium, Open University, Milton Keynes, England, November 2002.
- *Burwitz, V.:* Chandra high-resolution X-ray spectroscopy of the accretion plasma in AM Her and PQ Gem, contributed talk, IAU Colloquium 190 on Magnetic Cataclysmic Variables, Cape Town, South Africa, December 2002.
- *Collmar, W.:* The MeV View on Blazars, contributed talk, Workshop on 'High Energy Blazar Astronomy, Turku, Finland, June 2002.
- *Collmar, W.:* AGN: The Gamma-Ray Status after the Compton Gamma-Ray Observatory (CGRO), contributed talk, Lijiang, China, August 2002.
- *Collmar, W.*: COMPTEL Observations of AGN, X-Ray Binaries, and Unidentified Gamma-Ray Sources, invited talk, National Astronomical Observatories Chinese Academy of Science, Beijing, China, August 2002.
- *Collmar, W.:* Projects and Science of the MPE Gamma-Ray Group, invited talk, Institute for High Energy Physics, Beijing, China, August 2002.
- Collmar, W.: Gamma-Astronomie Aktiver Galaxien, colloquium, Universitäts-Sternwarte Göttingen, Germany, November 2002.
- *Costantini, E.:* Scattering and absorption by Interstellar Dust: the Chandra and XMM view, contributed talk,

76th Annual Meeting of the Astronomische Gesellschaft, The Cosmic Circuit of Matter, Berlin, Germany, September 2002.

- *Dannerbauer, H.:* Identification of Sources in MAMBO (1.2mm) Deep Fields, colloquium, Institute for Astronomy, Honolulu, Hawaii, USA, May 2002.
- *Davies, R.:* PARSEC and the VLT Laser Guide Star Facility, contributed talk, Lawrence Livermore National Lab, Livermore, USA, June 2002.
- *Davies, R.:* PARSEC and the VLT Laser Guide Star Facility, contributed talk, Center for Adaptive Optics, Santa Cruz, USA, June 2002.
- *Davies, R.:* PARSEC, the Laser for the VLT, contributed talk, Diffraction Limited NIR Observations with the VLT, Ringberg, Germany, October 2002.
- *Dennerl, K.:* X-ray Emission from Comets New Results, contributed talk, Asteroids, Comets, Meteors (ACM 2002), Berlin, Germany, August 2002.
- *Dennerl, K.:* Discovery of X-rays from Mars with Chandra, contributed talk, The Cosmic Circuit of Matter. Internationale Wissenschaftliche Jahrestagung der Astronomischen Gesellschaft, Berlin, Germany, September 2002.
- *Diehl, R.:* Nucleosynthesis Gamma-Rays, contributed talk, Int. Workshop "Nuclear Astrophysics X", Schloss Ringberg, Germany, February 2002.
- *Diehl, R.:* Gamma-Rays from Supernovae, invited talk, Int. Conference "The Physics of Supernovae", Garching, Germany, July 2002.
- *Diehl, R.:* Gamma-Ray Line Observations from Cosmic Nuclei, invited talk, Int. Symposium "Nuclei in the Cosmos VII", Fuji-Yoshida, Japan, July 2002.
- *Diehl, R.:* Gamma-Ray Lines from Cosmic Nuclei, colloquium, Washington University of St. Louis, St. Louis, USA, August 2002.
- *Diehl, R.:* Gamma-Ray Lines from Nearby Stellar Associations: Orion, invited talk, Astrophysics Seminar of Dep. of Physics and Astronomy of Clemson University, Clemson, USA, August 2002.
- *Diehl, R.:* Gamma-Ray Line Observations of Cosmic Nuclei, colloquium, University of Alabama at Hunts-ville, Huntsville, USA, September 2002.
- *Diehl, R.:* Gamma-Ray Line Observations of Cosmic Nuclei, colloquium, Dep. of Physics and Astronomy of Clemson University, Clemson, USA, September 2002.
- *Diehl, R.:* Nucleosynthesis and Massive Stars in the Orion Region, contributed talk, Annual Meeting of Astronomische Gesellschaft Deutschland, Berlin, Germany, September 2002.
- *Diehl, R.:* INTEGRAL: Status and Prospects, invited talk, MAGIC Physics, Int. Science Workshop, Würzburg, Germany, November 2002.
- *Finoguenov, A.:* Soft excess from the point of cluster scaling relations, colloquium, University of Alabama in Huntsville, Huntsville, USA, April 2002.
- *Finoguenov, A.*: ASCA survey of groups. Implications for the cosmic preheating, colloquium, Trieste Observatory, Trieste, Italy, May 2002.

- *Finoguenov, A.:* Recent XMM-Newton and Chandra results on clusters of galaxies, colloquium, Trieste Observatory, Trieste, Italy, June 2002.
- *Finoguenov, A.:* Missing baryons and cluster scaling relations, colloquium, Arcertry Observatory, Florence, Italy, August 2002.
- *Finoguenov, A.:* Feedback in clusters: from observations to simulations, invited talk, Cluster network meeting, Trieste, Italy, September 2002.
- *Finoguenov, A.:* Chemical enrichment and preheating of ICM/IGM, contributed talk, AG Meeting, Berlin, Germany, September 2002.
- *Finoguenov, A.:* From X-ray observations of groups to understanding the galaxy formation, colloquium, Observatory of Padova, Padova, Italy, October 2002.
- *Finoguenov, A.:* Studying the thermodynamics and chemical evolution of the baryons in dark matter halos, invited talk, DFG Rundgespräch "Struktur und Entwicklung von Halos Dunkler Materie", Bad Honnef, Germany, November 2002.
- *Finoguenov, A.:* Chemical enrichment and preheating of ICM/IGM, invited talk, Japan-Germany Workshop on Galaxies and Clusters of Galaxies, Shuzenji, Japan, November 2002.
- *Finoguenov, A.:* Hunting for missing baryons with new detector development at MPE, invited talk, Soft excess and related phenomena, Huntsville, USA, December 2002.
- *Finoguenov, A.:* XMM-Newton measurement of the O abundance for missing baryons., invited talk, Soft excess and related phenomena, Huntsville, USA, December 2002.
- *Finoguenov, A.:* Pressure and entropy in clusters of galaxies: X-ray to CMB connection, invited talk, CMB network meeting, Schloss Ringberg, Germany, December 2002.
- *Förster, M.*: Magnetosphärische Konvektion, gemessen vom Electron Drift Instrument (EDI) an Bord von Cluster, im Vergleich mit bodengebundenen Radarbeobachtungen, contributed talk, Tagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Arbeitsgemeinschaft Extraterrestrische Physik (AEF), Leipzig, Germany, March, 2002.
- *Förster, M.*: Magnetospheric convection as observed by the Electron Drift Instrument (EDI) on Cluster compared with ground-based radar data, contributed talk, Workshop zu "EISCAT in der Zukunft", Lindau-Katlenburg, Germany, March 2002.
- *Förster, M.*: Magnetospheric Convection above the Northern Polar Cap as seen by Cluster in Comparison With Ground-based Radar Data, contributed talk, XXVIIth URSI General Assembly, Maastricht, The Netherlands, August 2002.
- *Förster, M.*: Comparison of Magnetospheric Electric Fields Measured by the Electron Drift Instrument (EDI) on Cluster With Ground-based Radar Observations by SuperDARN, invited talk, Kleinheubacher Tagung 2002, Miltenberg, Germany, October, 2002.

- *Freyberg, M. J.*: Do we live in a Local Chimney?, contributed talk, The Cosmic Circuit of Matter. Internationale Wissenschaftliche Jahrestagung der Astronomischen Gesellschaft, Berlin, Germany, September 2002.
- *Freyberg, M. J.*: X-rays from the Local Interstellar Medium, invited talk, JENAM 2002, Porto, Portugal, September 2002.
- *Fuhrmann, K.:* Nearby stars and the Milky Way, colloquium, Calar Alto Colloquium, Heidelberg, Germany, May 2002.
- *Genzel, R.:* Massive Black Holes in Galactic Nuclei, invited talk, 66. Physikertagung der DPG, Leipzig, Germany, March 2002.
- *Genzel, R.:* Ultra-luminous Infrared Galaxies, colloquium, IAP, Paris, France, March 2002.
- *Genzel, R.:* Massive Black Holes in Galactic Nuclei, invited talk, Académie Française, Paris, France, March 2002.
- *Genzel, R.:* Unser Universum: Von dunkler Energie, schwarzen Löchern und entstehenden Galaxien, invited talk, Thyssen Krupp Management Forum 2002, Düsseldorf, Germany, March 2002.
- *Genzel, R.:* FIR/Submm Detectors for Extragalactic Astronomy, invited talk, NASA/DLR Workshop on IR detectors, Monterey, USA, April 2002.
- *Genzel, R.*: Massive Schwarze Löcher in Galaxienkernen, colloquium, Technische Universität Braunschweig, Germany, May 2002.
- *Genzel, R.:* Studying Galaxy Dynamics with Infrared/Millimeter Techniques, colloquium, University of Hawaii, Honolulu, USA, May 2002.
- *Genzel, R.:* Nature of Ultra-luminous IR Galaxies, invited talk, Conference "Making Light of Gravity" in honour of Martin Rees' 60th birthday, University of Cambridge, UK, July 2002.
- *Genzel, R.*: Very Massive Star Formation: ULIRGs-QSOs, invited talk, Conference "Star Formation Through Time" to honour Roberto J. Terlevich on his 60th birthday, IAA, Granada, Spain, September 2002.
- *Genzel, R.:* The Black Hole in the Galactic Center, invited talk, Workshop 'Centers of Galaxies', Ringberg, Germany, November 2002.
- *Genzel, R.:* The Galactic Center Black Hole, invited talk, Texas in Tuscany, XXI Symposium on Relativistic Astrophysics, Florence, Italy, December 2002.
- *Genzel, R.:* Das Millionen-Sonnen-Loch im Zentrum unserer Milchstraße, public talk, Urania Berlin, Berlin, Germany, December 2002.
- *Goldbeck, D. D.:* Observation of the suppressed iondust streaming instability in a 3D plasma crystal, contributed talk, American Physical Society: Annual Meeting of the Division of Plasma Physics, Orlando, FL, USA, November 2002.
- *Grupe, D.:* Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Eigenvector 1, colloquium, Austin, TX, USA, May 2002.
- Haberl, F.: AXPs and X-ray dim neutron stars: Recent XMM-Newton and Chandra results, invited talk, CO-SPAR Symposium, High Energy Studies of Supernova

Remnants and Neutron Stars, Houston, USA, October 2002.

- Hasinger, G.: Exploring the distant Universe with Chandra and XMM-Newton, invited talk, Großes Physikalisches Kolloquium, Köln, Germany, January 2002.
- *Hasinger, G.:* The Chandra Deep Field South, X-ray and optical observations, contributed talk, AAS Meeting, Washington, USA, January 2002.
- Hasinger, G.: The Evolution of the X-ray Background Sources, invited talk, IoA Seminar, Cambridge, UK, February 2002.
- Hasinger, G.: Röntgenstrahlen vom "Rand des Universums", invited talk, Volkssternwarte Bonn, Forum Astronomie, Bonn, Germany, February 2002.
- Hasinger, G.: Hunting the first Black Holes, invited talk, Royal Society Meeting, London, UK, February 2002.
- *Hasinger, G.:* Exploring the Early Universe with Current and Future X-ray Missions, colloquium, MPIfR Bonn, Bonn, Germany, March 2002.
- Hasinger, G.: Reise durch das heiße Universum, public talk, MPE Garching, Germany, March 2002.
- Hasinger, G.: Unravelling the X-ray Background, invited talk, ESO-CERN-ESA Symposium on Astronomy, Cosmology and Fundamental Physics, Garching, Germany, March 2002.
- *Hasinger, G.:* X-ray background models, contributed talk, NGC 6240 Miniworkshop, Garching, Germany, March 2002.
- Hasinger, G.: Observations of high-redshift QSOs, invited talk, XEUS Workshop, Garching, Germany, March 2002.
- *Hasinger, G.:* Observations of the Early Universe with Chandra and XMM-Newton, colloquium, Paul Scherrer Institut, Villigen, Switzerland, April 2002.
- Hasinger, G.: New results from Chandra and XMM-Newton, invited talk, Seminar, Werner Heisenberg Institut, Munich, Germany, May 2002.
- Hasinger, G.: Das Universum mit den Augen von Chandra und XMM gesehen, invited talk, Planetarium Stuttgart, Stuttgart, Germany, June 2002.
- Hasinger, G.: Die Botschaft der Röntgenstrahlen vom "Rand des Universums", public talk, Urania, Berlin, Germany, June 2002.
- Hasinger, G.: Die Sterne über Neuhausen, public talk, Nacht der Bücher, Hugendubel Neuhausen, Munich, Germany, June 2002.
- Hasinger, G.: Studying the Evolution of our Universe in X-rays Which is the ideal mission?, invited talk, "Leonardo da Vinci" International advanced School, Bologna, Italy, July 2002.
- Hasinger, G.: Surveys and Cosmology, invited talk, "Leonardo da Vinci" International advanced School, Bologna, Italy, July 2002.
- *Hasinger, G.:* Studying the Evolution of our Universe in X-rays, colloquium, Universität Karlsruhe, Karlsruhe, Germany, July 2002.

- *Hasinger, G.:* Studying the evolving Universe with XMM and Chandra, invited talk, IAU Symposium 214, Suzhou, China, August 2002.
- Hasinger, G.: The XEUS Science Case, contributed talk, SPIE Conference, Waikoloa, Hawaii, USA, August 2002.
- *Hasinger, G.:* The X-ray evolution of AGN and galaxies, invited talk, National Optical Observatory Beijng, Beijng, China, August 2002.
- *Hasinger, G.:* New Results from Chandra & Newton, Outlook to future missions, invited talk, Tsinghua University, Beijing, China, August 2002.
- Hasinger, G.: X-ray Background, Deep Fields, Luminosity Functions, Type-II Quasars, invited talk, China-Germany AGN Workshop, Lijiang, China, August 2002.
- *Hasinger, G.:* Das Schicksal unseres Universums, public talk, Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte, Jahresversammlung Halle, Germany, September 2002.
- *Hasinger, G.:* Die Zukunft des Universums eine Spekulation, invited talk, Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte, Jahresversammlung Halle, Germany, September 2002.
- *Hasinger, G.:* Evolution of Supermassive Black Holes in Galactic Centers, invited talk, Seminar at Ohio State University, Columbus, USA, October 2002.
- Hasinger, G.: X-ray Evolution of AGN, invited talk, Seminar at Rice University, Houston, USA, October 2002.
- Hasinger, G.: X-ray Evolving Universe Spectroscopy, COSPAR, contributed talk, World Space Congress, Houston, USA, October 2002.
- *Hasinger, G.:* Formation and Evolution of Supermassive Black Holes in Galactic Centers: Observational Constraints, The emergence of cosmic structure, invited talk, University of Maryland, MD, USA, October 2002.
- Hasinger, G.: ROSITA Scientific Goal & Mission Concept, contributed talk, COSPAR, World Space Congress, Houston, USA, October 2002.
- Hasinger, G.: The X-ray Evolution of AGN, invited talk, Seminar Royal Observatory Edinburgh, Edinburgh, UK, November 2002.
- Hasinger, G.: X-ray Background, a Source of Information about the CMB Foreground, contributed talk, CMBNet Meeting, Ringberg, Germany, December 2002.
- *Ivlev, A. V.:* Charge-Induced Coagulation of Microparticles in Neutral Gas, contributed talk, 3rd International Conference on the Physics of Dusty Plasmas, Durban, South Africa, May 2002.
- *Ivlev, A.V.:* Aggregation of Charged Particles in Neutral Gas, contributed talk, 29th EPS Conference on Plasma Physics and Controlled Fusion, Montreux, Switzerland, June 2002.
- *Ivlev, A.V.:* Charge-Induced Runaway Coagulation, invited talk, 34th COSPAR Scientific Assembly, The

2nd World Space Congress, Houston, USA, October 2002.

- *Ivlev, A.V.:* Decay of a Complex Plasma, contributed talk, 44th Annual APS Meeting of the Division of Plasma Physics, Orlando, USA, November 2002.
- *Iyudin, A.F.:* Gamma-Ray Line Astronomy, colloquium, Max-Planck Institut für Kernphysik, Heidelberg, Germany, March 2002.
- *Iyudin, A.F.:* Global Galactic Distribution of ²²Na, colloquium, I.P.N. C.S.N.S.M, Orsay, France, April 2002.
- *Iyudin, A.F.:* Gamma-Ray Line Astronomy, colloquium, CEA, DSM-DAPNIA/Service de Physique des Particules, Saclay, Paris, France, April 2002.
- *Iyudin, A.F.:* Results of the joint analysis of the SNR RX J0852-4622/GRO J0852-4642, colloquium, University of Kyoto, Kyoto, Japan, July 2002.
- *Iyudin, A.F.:* Astronomy with the Excitation Gamma-Ray Lines, colloquium, Univ. Tübingen, Tübingen, Germany, October 2002.
- *Iyudin, A.F.:* Astronomy with the Excitation Gamma-Ray Lines, colloquium, Uni-Ruhr-Bochum, Bochum, Germany, October 2002.
- *Iyudin, A.F.:* Astronomy with the Excitation Gamma-Ray Lines, colloquium, TeSRE, CNR, Bologna, Italy, October 2002.
- *Iyudin, A.F.:* Gamma-Ray Line Astronomy of Radioactive Isotopes, colloquium, TeSRE, CNR, Bologna, Italy, October 2002.
- *Iyudin, A.F.:* Gamma-Ray Line Astronomy, colloquium, Inst. für Astrophysik, Univ. Innsbruck, Innsbruck, Austria, October 2002.
- *Jaffe, D.T.:* Silicon Micromachined Diffraction Gratings for IR Spectroscopy, colloquium, Physikalisches Institut, Universität zu Köln, Cologne, Germany, January 2002.
- *Jaffe, D.T.:* Unlocking the Secrets of Protostars in Rho Oph with High Resolution IR Spectroscopy, colloquium, MPIfR, Bonn, Germany, January 2002.
- *Jaffe, D.T.:* Unlocking the Secrets of Protostars in Rho Oph with High Resolution IR Spectroscopy, colloquium, Université Joseph Fournier and IRAM, Grenoble, France, March 2002.
- *Jaffe, D.T.:* Unlocking the Secrets of Protostars in Rho Oph with High Resolution IR Spectroscopy, colloquium, CRAL, Lyon, France, March 2002.
- *Jaffe, D.T.:* Unlocking the Secrets of Protostars in Rho Oph with High Resolution IR Spectroscopy, colloquium, Sterrewacht Leiden, Leiden, The Netherlands, April 2002.
- *Jaffe, D.T.:* High Mass Star Formation and the Nature of UCHII regions, colloquium, Osservatorio Astrofisico di Arcetri, Arcetri, Italy, May 2002.
- *Jaffe, D.T.:* Unlocking the Secrets of Protostars in Rho Oph with High Resolution IR Spectroscopy, colloquium, Osservatorio Astrofisico di Arcetri, Arcetri, Italy, May 2002.

- Jaroschek, C. H.: Three-dimensional numerical simulations of magnetic mirror mode turbulence, invited talk, Ringberg Workshop on Astro Plasma Physics, Ringberg, Germany, June 2002.
- Joergens, V.: Suche nach Planeten bei (sub)stellaren M Zwergen, contributed talk, Planetenbildung: Das Sonnensystem und extrasolare Planeten, Berlin-Adlershof, Germany, February 2002.
- *Joergens, V.:* Multiplicity, kinematics and rotation rates of very young brown dwarfs in Cha I, contributed talk, IAU Symposium No. 211 on Brown Dwarfs, Big Island, Hawaii, USA, May 2002.
- Kanbach, G.: Gamma-ray emission of Pulsars, invited talk, 270. WE-Heraeus-Seminar "Neutron Stars, Pulsars and Supernova Remnants", Bad Honnef, Germany, January 2002.
- *Kanbach, G.:* Compton Scattering Techniques, invited talk, Leonardo da Vinci 2002 Summer Course on Space Science, Mission Concept and payload design in X- and Gamma-ray astronomy, Bologna, Italy, July 2002.
- Kanbach, G.: Concept Study for the next generation Medium Energy Gamma-Ray Astronomy Mission -MEGA, contributed talk, SPIE International Symposium on Astronomical Telescopes and Instrumentation, "X-ray and Gamma-ray Telescopes and Instruments (AS18)", Waikoloa, Hawaii, USA, August 2002.
- *Kanbach, G.:* Recent results from OPTIMA, invited talk, MAGIC Physics 2002, Würzburg, Germany, November 2002.
- *Khrapak, S.A.*: Ion drag in complex (dusty) plasmas, contributed talk, 29th European Physical Society Conference on Plasma Physics and Controlled Fusion, Montreux, Switzerland, June 2002.
- *Kissel, J.:* Cosmic Dust Structure and Chemistry: Conditions for Heterocatalytically Driven Self-Organization towards Replicative Proto-Cells, invited talk, Symposium on: "Chemical Studies Important to Astrobiology" at the 224th National Meeting of the American Chemical Society, Boston, USA, August 2002.
- *Klecker, B.:* Das erste Jahr der CLUSTER Mission, invited talk, DPG-AEF Tagung, Leipzig, Germany, March 2002.
- *Klecker, B.:* Helium ionic charge abundances in CME related solar energetic particle events, contributed talk, 10th CELIAS Workshop, Rorschach, Switzerland, March 2002.
- *Klecker, B.:* CODIF: a 3D plasma analyzer with timeof-flight mass discrimination, contributed talk, EGS 27th General Assembly, Nice, France, April 2002.
- *Klecker, B.:* Cold oxygen beams: a tracer for magnetospheric convection, contributed talk, EGS 27th General Assembly, Nice, France, April 2002.
- *Klecker, B.:* Ionic charge composition of energetic ions and suprathermal particles in gradual events: a comparison with solar wind charge states, invited talk, Solar Wind 10, Pisa, Italy, June 2002.

- *Klecker, B.:* Measurement of charged particles, invited talk, Summer School on Space Weather: Physics, Impacts and Predictions, Alpbach, Austria, July 2002.
- *Klecker, B.:* Anomalous cosmic rays and their relation to the heliospheric boundary, invited talk, COSPAR, 2nd World Space Congress, Houston, USA, October 2002.
- *Komossa, S.:* Röntgenspuren Supermassereicher Schwarzer Löcher in nahen nicht-aktiven Galaxien, public talk, Planetarium Stuttgart, Germany, January 2002.
- *Komossa, S.:* (Ionized) Absorption and dust: from nearby Seyfert galaxies to high-redshift quasars, colloquium, National Astronomical Observatories (NAOC) Beijing, Beijing, China, March 2002.
- *Komossa, S.:* Review of the X-ray properties of NGC 6240, contributed talk, NGC 6240 and QSO-II workshop, Garching, Germany, March 2002.
- Komossa, S.: X-ray spectroscopy of the black hole region of galaxies: Highlights from ROSAT, Chandra and XMM-Newton, colloquium, Tsinghua University, Beijing, China, March 2002.
- *Komossa, S.:* AGN and starbursts components of the ULIRG NGC 6240: the Chandra high-resolution view, contributed talk, Galaxy formation and evolution: observations and theory, Cozumel, Mexico, April 2002.
- *Komossa, S.:* X-ray flares from optically in-active galaxies: tidal disruption events ?, colloquium, Institute of Astronomy, IoA Cambridge, UK, May 2002.
- *Komossa, S.:* X-ray imaging and spectroscopy of AGN: highlights from XMM and Chandra, invited talk, China-Germany Workshop on The Multiwavelength View on Active Galactic Nuclei, Lijiang, China, July 2002.
- Komossa, S.: X-ray spectroscopy of the environment of supermassive black holes, colloquium, Shanghai Astronomical Observatory, Shanghai, China, August 2002.
- *Komossa, S.:* Flares from non-active galaxies, contributed talk, IAU Symposium No.214: High Energy Processes and Phenomena in Astrophysics, Suzhou, China, August 2002.
- *Komossa, S.:* Superwinds in the ultraluminous infrared galaxy NGC 6240: the Chandra high-resolution view, contributed talk, JENAM 2002, Porto, Portugal, September 2002.
- *Komossa, S.:* NGC 6240, local key representative and pathfinder to the high-redshift Universe of ULIRGs: the Chandra high-resolution view, contributed talk, AG-Tagung 2002: The Cosmic Circuit of Matter, Berlin, Germany, September 2002.
- *Komossa, S.*: NGC 6240 and other XMM/Chandra AGN highlights, invited talk, Ringberg Workshop on Centers of Galaxies, Schloss Ringberg, Germany, November 2002.
- König, B.: Searching for young stars among flare stars, colloquium, University of Berkeley Department of Astronomy, Berkeley, USA, February 2002.

König, B.: Suche nach jungen nahen Sternen unter den Flare Sternen-Direkte Detektion von extrasolaren Planeten, contributed talk, Planetenbildung: Das Sonnensystem und extrasolare Planeten, DLR Berlin-Adlershof Department of Planetary Exploration, Berlin, Germany, February 2002.

König, B.: Searching for young stars among flare stars, colloquium, NASA - JPL, Los Angeles, USA, March 2002.

- *König, B.:* Searching for young stars among flare stars, colloquium, University of Pittsburgh, Pittsburgh, USA, March 2002.
- *König, B.:* High resolution spectra and high resolution imaging Flare stars in the solar vicinity, colloquium, MPIA Calar Alto Colloquium, Heidelberg, Germany, May 2002.
- *König, B.:* Direct detection of the companion of chi 1 Orionis-Age determination of the UMa Cluster, contributed talk, AG-Tagung, Berlin, Germany, September 2002.

König, B.: Direct detection of the companion of chi 1 Orionis, colloquium, University of Texas -Department of Astronomy, Austin, USA, December 2002.

- *Konopka, U.:* Komplexe Plasmen Der Weg vom Labor in den Weltraum, invited talk, DPG-Frühjahrstagung -Fachverbände Kurzzeitphysik und Plasmaphysik, Bochum, Germany, March 2002.
- *Konopka, U.:* Complex Plasmas under microgravity conditions, invited talk, 2nd China Germany Workshop on Microgravity Science, Dunhuang, China, September 2002.
- *Kretschmar, P.:* INTEGRAL/JEM-X Data and Analysis, contributed talk, XXIInd MORIOND ASTRO-PHYSICS MEETING: The Gamma-Ray Universe, Les Arcs, Savoie, France, March 2002.
- *Kretschmer, K.:* The Shapes of Gamma-Ray Lines from Radioactives – Prospects for INTEGRAL, contributed talk, Annual Scientific Meeting of the Astronomische Gesellschaft, Berlin, Germany, September 2002.
- *Lehmann, I.*: The population of type-2 quasars found in deep X-ray surveys, contributed talk, NGC 6240 and QSO-II workshop, Garching, Germany, March 2002.
- Lehmann, I.: Recent results from the X-ray satellites Chandra and XMM-Newton, invited talk, EPS-12: General Conference, Trends in Physics, Budapest, Hungary, August 2002.
- *Lehmann, I.:* The Deep XMM-Newton Survey in the Lockman Hole field & the population of type-2 quasars, contributed talk, X-ray Surveys in the light of the new observatories, Santander, Spain, September 2002.
- *Lehmann, I.:* The population of high-redshift type-2 quasars found in deep Chandra and XMM-Newton surveys, contributed talk, AG Tagung 2002: The Cosmic Circuit of Matter, Berlin, Germany, September 2002.
- *Lichti, G.G.:* GBM a Gamma-Ray Burst Monitor for GLAST, contributed talk, SPIE Conference: Astronomical Telescopes and Instrumentation, Waikoloa, Hawaii, USA, August 2002.

- *Looney, L.W.:* From Interstellar Dust to Star and Planets, colloquium, University of Michigan Astronomy Colloquium, Michigan, USA, February 2002.
- *Looney, L.W.:* From Interstellar Dust to Star and Planets, colloquium, University of Illinois Astronomy Colloquium, Illinois, USA, February 2002.
- *Looney, L.W.:* The Structures of Star Formation: Small and Large Scales, colloquium, University of Hawaii Astronomy Colloquium, Honolulu, Hawaii, USA, February 2002.
- *Looney, L.W.:* FIFI LS: a far-infared 3D spectral imager for SOFIA, contributed talk, Astronomical Telescopes and Instrumentation SPIE conference, Waikoloa, Hawaii, USA, August 2002.
- *Lutz, D.:* Mid-infrared observations of galaxies, invited talk, Science with the GTC, Granada, Spain, February 2002.
- *Lutz, D.:* Properties of the submm population and their CO line emission, invited talk, IRAM workshop on broadband instrumentation for the 30m telescope, Grenoble, France, April 2002.
- *Lutz, D.:* ISO Spectroscopy of Bright Galactic Nuclei, invited talk, Exploiting the ISO archive Infrared Astronomy in the Infrared Age, Siguenza, Spain, June 2002.
- *Maraston, C.:* New aspects of the age-metallicity degeneracy in elliptical galaxies, colloquium, Basel University Observatory, Basel, Switzerland, May 2002.
- *Maraston, C.:* Stellar population models, invited talk, Extragalactic globular cluster systems, Garching, Germany, August 2002.
- *Maraston, C:* Lick indices of Bulge GCs: the empirical evidence of alpha-enhancement in elliptical galaxies, contributed talk, V Sino-German workshop on Galaxy Formation and Evolution, Beijing, China, September 2002.
- *Maraston, C.:* Calibration of model Lick indices up to solar metallicity, colloquium, Max Planck Institute for Astrophysics, SSP seminar series, Garching, Germany, November 2002.
- Mayer-Hasselwander, H.A.: Gamma-Rays Probing the "High-Energy" Universe, invited talk, First International Conference on Particle and Fundamental Physics in Space, La Biodola, Isola d'Elba, Italy, May 2002.
- *Meidinger, N.:* First Measurements with a Frame Store PN-CCD X-ray Detector, contributed talk, 9th European Symposium on Semiconductor Detectors, Elmau, Germany, June 2002.
- *Meidinger, N.*: Experimental Verification of a Micrometeoroid Damage in the PN-CCD Camera System aboard XMM-Newton, contributed talk, SPIE 2002, Hawaii, USA, August 2002.
- *Mokler, F.:* Planetenentstehung, public talk, Sternwarte des Max-Born-Gymnasiums, Germering, Germany, December 2002.
- *Morfill, G.:* The MPE Dusty Plasma Research Programme, invited talk, EU-Network "Dusty Plasma" meeting, Lisbon, Portugal, January 2002.

- *Morfill, G.:* German Russian Complex Plasma Research, invited talk, Russian Academy of Science, Moscow, January 2002.
- *Morfill, G.:* Physik komplexer Plasmen, colloquium, Universität Kiel, January 2002.
- *Morfill, G.:* Liquid an crystalline plasma, invited talk, Dutch Phys. Society, Lunteren, March 2002.
- *Morfill, G.:* Physik des interstellaren Mediums, invited talk, TU Berlin, Laudatio anlässlich Prof. Sedlmayr's 60. Geburtstag, Berlin, May 2002.
- *Morfill, G.:* Experimental Complex Plasma Physics, invited talk, Int. Dusty Plasma Conference, Durham, May 2002.
- *Morfill, G.:* Dusty Plasmas in Space and Astrophysics, invited talk, Astroplasma Workshop, Ringberg, June 2002.
- *Morfill, G.:* Liquid and crystalline plasmas, invited talk, 29th EPS, Montreux, June 2002.
- *Morfill, G.:* Complex (Dusty) Plasma Projects at MPE, invited talk, EU-Midterm Review Meeting, Garching, June 2002.
- *Morfill, G.:* Experiments with strongly coupled Plasmas, invited talk, ICPP, Sydney, Australia, July 2002.
- *Morfill, G.:* Strong coupling Phenomena in complex plasmas, invited talk, Int. Conference on Strongly Coupled Systems, Santa Fee, USA, September 2002.
- *Morfill, G.:* Formation of the Solar System, colloquium, University of Leeds, UK, October 2002.
- *Morfill, G.:* Flüssige und cristalline Plasmen, colloquium, Universität Düsseldorf, November 2002.
- *Mueller, D.:* A Newly Developed 3D-based Scaling Index Algorithm to Optimize Structure Analysis of Trabecular Bone in Patients with and without Osteoporotic Spine Fractures, contributed talk, RSNA 88th Scientific Assembly and Annual Meeting, Chicago, USA, December 2002.
- *Müller, T.G.:* Unexploited ISO observations of solar system objects, invited talk, Exploiting the ISO Data Archive Infrared Astronomy in the Internet Age, Sigüenza, Spain, June 2002.
- *Müller, T.G.:* Infrarot-Astronomie und Sonnensystem, public talk, Walther-Rathenau Gymnasium Schweinfurt, Schweinfurt, Germany, July 2002.
- *Müller, T.G.:* Asteroid Science with ISO and Astro-F, invited talk, ASTRO-F Mission Programme Conference, Tokyo, Japan, August 2002.
- *Neuhäuser, R.:* Large-scale distribution of young nearby stars and search for sub-stellar companions, colloquium, Institute for Astronomy University of Porto, University Porto, Portugal, January 2002.
- *Neuhäuser, R.:* Zur direkten Detektion extra-solarer Planeten, invited talk, Planetenentstehung: Das Sonnensystem und extrasolare Planeten Workshop am DLR Adlershof, Berlin-Adlershof, Germany, February 2002.
- Neuhäuser, R.: Search for young stars among Sloan DSS stars, contributed talk, Sloan 2002 Collaboration

meeting star splinter, Heidelberg, Germany, March 2002.

- *Neuhäuser, R.:* Direct imaging search for sub-stellar companions to young stars, colloquium, JAC Hilo, Hilo, Hawaii, May 2002.
- *Neuhäuser, R.:* Extra-solare Planeten, colloquium, Physik Modern LMU München, Munich, Germany, July 2002.
- *Neuhäuser, R.:* Auf der Suche nach extra-solaren Planeten, public talk, Deutsches Museum - Beobachtergruppe, München, Germany, July 2002.
- *Neuhäuser, R.:* Direct Imaging of Extra-solar Planets Around Young Nearby Stars – a Progress Report, contributed talk, AG Herbsttagung splinter star and planet formation, Berlin, Germany, September 2002.
- *Neuhäuser, R.:* Suche nach extra-solaren Planeten, public talk, Unitas Studentenverein, Munich, Germany, November 2002.
- *Neuhäuser, R.:* Auf der Suche nach Exo-Planeten, public talk, Sternwarte Ingolstadt, Ingolstadt, Germany, December 2002.
- *Neuhäuser, R.:* Die Suche nach extrasolaren Planeten, public talk, Volkssternwarte München, München, Germany, December 2002.
- *Nunomura, S.:* Observation of Naturally-Occurring Waves in a Strongly Coupled Plasma, invited talk, 11th International Congress on Plasma Physics, Sydney, Australia, July 2002.
- *Nunomura, S:* Observation of natural phonon spectra in a 3D plasma crystal, contributed talk, The 2002 APS Division of Plasma Physics 44th Annual Meeting, Orlando, USA, November 2002.
- *Ott, T.:* Stellar Dynamics in the Galactic Center: 1000 Stars in 100 Nights, invited talk, GC 2002, Kona, USA, November 2002.
- *Pahlke, A.:* Novel high resolution silicon drift detectors, contributed talk, EDXRS 2002, Berlin, Germany, June 2002.
- *Paschmann, G.:* Die Cluster Mission der ESA, invited talk, Deutsche Physikalische Gesellschaft, Leipzig, Germany, March 2002.
- Paschmann, G.: Cluster: The First Year, invited talk, EGS, 27th General Assembly, Nice, France, April 2002.
- *Paschmann, G.:* The Cluster Mission: Overview and Results, invited talk, Physikalisches Institut der Universität Bern, Bern, Switzerland, May 2002.
- *Paschmann, G.:* Plasma Entry into the Magnetosphere, invited talk, Summer School on Space Weather: Physics, Impacts and Predictions, Alpbach, Austria, July 2002.
- *Pecnik, B:* Giant Planet Formation: A First Classification of Isothermal Protoplanetary Equilibria, contributed talk, EGS 27th General Assembly, Nice, France, April 2002.
- Pecnik, B: Extra-solar Planets, public talk, Under African Skies 2002- Science & Sustainability - Applying

Appropriate Solutions for a Global Society, Nairobi, Kenya, June 2002.

- *Pecnik, B:* Extra-Solar Planets, or How Special We Really Are?, public talk, International Space University Summer Session Program 2002, Pomona, California, USA, August 2002.
- *Pecnik, B:* Giant Planet Formation: A First Classification of Isothermal Protoplanetary Equilibria, contributed talk, 76th Annual Meeting of the Astronomische Gesellschaft The Cosmic Circuit of Matter, Berlin, Germany, September 2002.
- *Pfeffermamm, E.:* Concept of the ROSITA X-ray camera, contributed talk, Astronomical Telescopes and Instrumentation, X-Ray and Gamma-Ray Telescopes and Instruments for Astronomy, SPIE, Waikoloa, Hawaii, USA, August 2002.
- *Pietsch, W.:* Deep XMM-Newton survey of M33, contributed talk, X-ray surveys in the light of the new observatories, Santander, Spain, September 2002.
- *Pietsch, W.:* ROSITA, contributed talk, X-ray surveys in the light of the new observatories, Santander, Spain, September 2002.
- *Pietsch, W.:* X-ray emission from the hot ISM in late type and starburst galaxies, contributed talk, Japan-Germany workshop on galaxies and clusters of galaxies, Shuzenji, Japan, October 2002.
- *Poglitsch, A.:* Far-Infrared Photoconductors for Herschel and SOFIA, invited talk, Astronomical Telescopes and Instrumentation, Waikoloa, Hawaii, USA, August 2002.
- *Poglitsch, A.:* The Herschel Photodetector Array Camera and Spectrometer (PACS), contributed talk, Astronomical Telescopes and Instrumentation, Waikoloa, Hawaii, USA, August 2002.
- *Pottschmidt, K.:* Two Kinds of Hard States in Cyg X-1, seminar, MPE Garching, February 2002.
- *Pottschmidt, K.:* LMXBs in INTEGRAL's GPS (presented to the GPS pulsar group, as already worked out by A. Paizis of the GPS LMXB group), contributed talk, IAAT Kurzvortrag, Institut für Astronomie und Astrophysik, Universität Tübingen, May 2002.
- *Pottschmidt, K.:* Multiwavelength Monitoring of Cyg X-1, New Results (Rms-Flux Correlation), Seminar, MPE Garching, May 2002.
- *Pottschmidt, K.:* The recent Behaviour of Cyg X-1, seminar, INTEGRAL Science Data Center (ISDC), Genf, Switzerland, October 2002.
- *Pottschmidt, K.:*, The INTEGRAL Data Archive, contributed talk, International Symposium: Ensuring longterm preservation and adding value to scientific and technical data, Centre National d'Etudes Spatiales (CNES), Toulouse, France, November 2002.
- *Pottschmidt, K.:* Cyg X-1 RXTE results during INTE-GRAL's PV phase, joint RXTE/INTEGRAL spectra, contributed talk, ISDC, INTEGRAL Consortium Meeting, Genf, Switzerland, December 2002.
- *Predehl, P.:* Neues vom Röntgenhimmel, public talk, Planetarium, Hamburg, Germany, Januar 2002.

- *Predehl, P.:* XMM-Observation of the Sgr A, invited talk, Science with LOBSTER, Leicester, UK, July 2002.
- *Predehl, P.:* ROSITA Scientific Goal and Mission Concept, contributed talk, SPIE's International Symposium on Astronomical Telescopes and Instrumentation, Waikoloa, Hawaii, USA, August 2002.
- *Predehl, P.:* XMM-Newton Observation of the Galactic Centre, invited talk, X-ray Surveys in the light of the new observatories, Santander, Spain, September 2002.
- Predehl, P.: Raum und Zeit, public talk, Fortbildungsseminar BMW, Sedlbrunn, Germany, October 2002.
- *Predehl, P.:* Hot and Cold Matter in the Galactic Center - The XMM-Newton View, contributed talk, Galactic Center Workshop, Kona, USA, November 2002.
- *Puhl-Quinn, P.:* Measurements of magnetospheric plasma convection by the Electron Drift Instrument on Cluster, contributed talk, EGS 27th General Assembly, Nice, France, April 2002.
- *Puhl-Quinn, P.:* Energy Transport in the Terrestrial Polar Cap Regions by Alfvén Waves as Observed by the Electron Drift Instrument (EDI) Aboard the CLUSTER Spacecraft, invited talk, Technische Universität Braunschweig, Braunschweig, Germany, November 2002.
- *Raab, W.:* FIFI LS: the optical design and diffraction analysis, contributed talk, Astronomical Telescopes and Instrumentation, Kona, USA, August 2002.
- Sanders, D.B.: The Cosmic Evolution of Superstarbursts and AGN, colloquium, Astronomy Department, University of Minnesota, Minneapolis, USA, April 2002.
- *Sanders, D.B.*: The Cosmic Evolution of Superstarbursts and AGN, colloquium, Astronomy Department, Ohio State University, Columbus, USA, April 2002.
- *Sanders, D.B.*: The Cosmic Evolution of Superstarbursts and AGN, invited talk, 2nd Korean Astrophysics Workshop, Pohang, Korea, June 2002.
- Sanders, D.B.: Prospects for Distant/Early Research at Infrared/Submillimeter Wavelengths, invited talk, 47th Annual Meeting of SPIE: Future Research Directions and Visions for Astronomy, Kona, USA, August 2002.
- Sanders, D.B.: The Cosmic Evolution of Luminous Infrared Galaxies, invited talk, 34th annual meeting of COSPAR: Astronomy at Infrared/Submillimeter Wavelengths and the Microwave Background, Houston, USA, October 2002.
- Sanders, D.B.: Luminous Infrared Galaxies: The Cosmic Evolution of Superstarbursts and AGN, colloquium, Service d'Astrophysique, Saclay, France, October 2002.
- Sanders, D.B.: The Cosmic Evolution of Superstarbursts and AGN, colloquium, Astronomy Department, University of Michigan, Ann Arbor, USA, October 2002.
- Sasaki, M.: Galaxien im Röntgenlicht: Materiekreislauf in den Magellanschen Wolken, colloquium, Institut für Theoretische Physik und Astrophysik, Universität Würzburg, Würzburg, Germany, July 2002.

- *Sasaki, M.:* X-ray SNRs in nearby galaxies and CR source distribution, contributed talk, Tagung der Astronomischen Gesellschaft, Berlin, Germany, September 2002.
- *Sasaki, M.:* Hot Thin Plasma in the Magellanic Clouds, colloquium, Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, Cambridge, USA, September 2002.
- Sasaki, M.: SNR Surface Density Distribution in Nearby Galaxies, contributed talk, JENAM 2002, Porto, Portugal, September 2002.
- Sasaki, M.: XMM-Newton view of the Magellanic Clouds, colloquium, Institute for Astronomy and Astrophysics Tübingen, Germany, November 2002.
- *Scheingraber, H.:* Geburt und Tod der Sterne, public talk, Fortbildung für Führungskräfte des Landkreises München, Nördlingen, Germany, October 2002.
- *Schödel, R.:* The Galactic Center with NAOS/CONICA, invited talk, Diffraction-Limited Observations with the VLT, Ringberg, Germany, October 2002.
- *Schödel, R.:* The GC stellar cluster: The central arcsecond, contributed talk, Galactic Center Workshop: The Central 300 Parsecs, Kailua-Kona, USA, November 2002.
- *Scholer, M.*: Full particle and hybrid simulations of quasi-perpendicular shocks and comparison with Cluster data, invited talk, International Union of Radio Science, Maastricht, Niederlande, August 2002.
- *Scholer, M.:* Dissipation and acceleration at collisionless shocks, colloquium, University of New Hampshire, Durham, New Hampshire, USA, September 2002.
- *Scholer, M.:* Dissipation and acceleration at collisionless shocks, colloquium, Dartmouth College, Hanover, New Hampshire, USA, October 2002.
- *Scholer, M.:* Dissipation, injection, and acceleration in collisionless shocks, invited talk, Astrophysical Particle Acceleration in Geopspace and Beyond, Chattanooga, Tennessee, USA, October 2002.
- *Scholer, M.:* Source of diffuse upstream ions: Injection from the thermal solar wind distribution, acceleration of a suprathermal population, or from the magnetospere?, contributed talk, American Geophysical Union, San Francisco, USA, December 2002.
- *Scholer, M.:* Three-dimensional collisionless magnetic reconnection: Simulation with a particle magnetic code, contributed talk, American Geophysical Union, San Francisco, USA, December 2002.
- *Schönfelder, V.:* Die Geschichte der Gamma-Astronomie, ihre Höhepunkte und ihre nähere Zukunft, public talk, Sternfreunde Nordenham, Germany, May 2002.
- *Schönfelder, V.:* What we have learnt from the Compton Gamma Ray Observatory and what we expect from INTEGRAL, Colloquium on "High Energy Astrophysics for and from Space", Paris, France, June 2002.
- Schönfelder, V.: Scientific Expectations from the INTEGRAL Spectrometer SPI, invited talk, "Conference on X-ray and Gamma-Ray Telescopes

and Instruments for Astronomy", SPIE Symposium on Astronomical Telescopes and Instrumentation, Waikoloa Village, Hawaii, USA, August 2002.

- *Schönfelder, V.:* The Formation of the Chemical Elements, invited talk, Presentation at the INTEGRAL Launch Event, ESOC, Darmstadt, Germany, October 2002.
- *Schönfelder, V.:* The Universe seen through Gamma Rays, invited talk, ESA Seminar about INTEGRAL, Bensheim-Auerbach, Germany, October 2002.
- *Schönfelder, V.:* Der Himmel im Lichte kosmischer Gammastrahlung, public talk, Wilhelm Foerster Sternwarte, Berlin, Germany, November 2002.
- *Schreiber, J.:* SINFONI: The AO-assisted NIR Field Spectrograph for the VLT, colloquium, Euro3D Kickoff meeting, La Laguna, Tenerife, Spain, July 2002.
- *Schuecker, P.:* Cosmology with X-ray Clusters of Galaxies, invited talk, Cosmology Workshop in Honor of Prof. van Albada, Groningen, The Netherlands, March 2002.
- Schuecker, P.: Clustering and Subclustering of X-ray Clusters of Galaxies, invited talk, Matter and Energy in Clusters of Galaxies, Taipei, Taiwan, April 2002.
- Schuecker, P.: Cosmology with Clusters at High Redshifts, contributed talk, Clusters of Galaxies at High Redshifts, Kopenhagen, Denmark, April 2002.
- Schuecker, P.: Observational Constraints on Cosmological Parameters from X-ray Clusters of Galaxies, contributed talk, Meeting European Training Network on Galaxy Clusters, Trieste, Italy, September 2002.
- Schuecker, P.: Clusters of Galaxies as Probes for Cosmic Evolution, contributed talk, Rundgespräch Schwerpunkt Dark Matter Halos, Bad Honnef, Germany, November 2002.
- *Schuecker, P.:* Large Scale Structure of X-ray Clusters of Galaxies, contributed talk, Japan-Germany Workshop on Galaxies and Clusters of Galaxies, Shinjuku, Japan, November 2002.
- Steinle, H.: X-ray / optical correlations in the transient black hole system KV UMa (XTE J1118+48), contributed talk, The Cosmic Circuit of Matter. Internationale Wissenschaftliche Jahrestagung der Astronomischen Gesellschaft, Berlin, Germany, September 2002.
- Stelzer, B.: X-ray emission from pre-main sequence stars, a study based on the ROSAT archive, colloquium, Sternwarte Hamburg, Germany, February 2002.
- Stelzer, B.: Magnetic activity on young stars and brown dwarfs, colloquium, Center for Star Formation Studies, NASA Ames Research Center, Moffett Field, USA, May 2002.
- *Stelzer, B.:* X-ray emission from old and intermediate age Brown Dwarfs, contributed talk, Brown Dwarfs, IAU Symposium 211, Big Island, Hawaii, USA, May 2002.
- *Stelzer, B.*: High-resolution X-ray spectra of young stars, contributed talk, Annual Meeting of the German Astronomical Society, Berlin, Germany, September 2002.

Strong, A.W.: INTEGRAL/SPI Data Analysis, invited talk, XXII Moriond Astrophysics Meeting, Les Arcs, France, March 2002.

Strüder, L.: The wide field Imager for XEUS, colloquium, XEUS Workshop, Garching, Germany, March 2002.

Strüder, L.: High speed X-ray CCDs, invited talk, I. Phys. Institut des Forschungszentrums Jülich, Jülich, Germany, March 2002.

Strüder, L.: Neuartige Halbleiterdetektoren für astrophysikalische Experimente, invited talk, Ringvorlesung "Grundlagen und Anwendungen von Halbleiterdetektoren in der Physik und Astronomie", Bochum, Germany, May 2002.

Strüder, L.: pn-CCDs, DEPFETs, SDDs, CDDs und andere Käfer, invited talk, Lehrstuhl für Technische Elektronik, Technische Universität München, Germany, May 2002.

Strüder, L.: State of the Art Silicon Detectors, invited talk, 10th Symposium on Radiation Measurements and Applications, Ann Arbor, Michigan, USA, May 2002.

Strüder, L.: pn-CCDs on XMM Newton - 932 days in Orbit, colloquium, 9th European Symposium on Semiconductor Radiation Detectors, Elmau, Germany, June 2002.

Strüder, L.: Evolution and innovation in semiconductor detectors, invited talk, 9th European Symposium on Semiconductor Radiation Detectors, Elmau, Germany, June 2002.

Strüder, L.: X-ray CCD Detectors - the pnCCDs on XMM-Newton, invited talk, Summer School on Space Science, Bologna, Italy, July 2002.

Strüder, L.: New Silicon Detectors for X-ray Astronomy, invited talk, Summer School on Space Science, Bologna, Italy, July 2002.

Strüder, L.: State of the art silicon detectors, invited talk, ICEM15, Durban, South Africa, September 2002.

Strüder, L.: Silizium Strahlungsdetektoren, invited talk, Hochenergiephysik-Sommerschule, Maria Laach, Germany, September 2002.

Strüder, L.: State of the art silicon detectors, invited talk, 8th Topical Seminar on Innovative Particle and Radiation Detectors, Siena, Italy, October 2002.

Strüder, L.: Multicell Silicon Drift Detectors, invited talk, Beschleuniger Frascati, Rom, Italy, October 2002.

Strüder, L.: Radiation detector activities in Germany, contributed talk, Inter-University Institute for High Energy Physics, Bruxelles, Belgium, November 2002.

Strüder, L.: X-ray CCDs for high speed, low noise imaging from the infrared to Gamma rays, colloquium, ESO, Garching, Germany, November 2002.

Sturm, E.: Mid-Infrared NLR diagnostics and the Starburst-AGN connection, contributed talk, China-Germany Workshop on The Multiwavelength View on AGN, Lijiang, China, July/August 2002.

Tacconi, L.J.: ULIRGS: Ellipticals and Quasars in Formation?, colloquium, Lawrence Livermore National Laboratory, IGPP, Livermore, California, USA, February 2002.

- *Tacconi, L.J.*: Do ULIRGS Form Optically Bright QSOs?, invited talk, MPIA/MPE Ringberg Workshop: Centers of Galaxies, Schloss Ringberg, Germany, November 2002.
- *Tachihara, K.:* Molecular Cloud Survey in the Southern Sky by NANTEN, contributed talk, 1st PLANCK Galactic and Solar System Science Meeting, Toulouse, France, May 2002.

Tachihara, K.: X-ray Study of Nearby Star Forming Regions, colloquium, Rikkyo University, Tokyo, Japan, July 2002.

- *Tachihara, K.:* Statistical Study of Star Formation by Unbiased Nearby Dense Core Survey, colloquium, Universität Jena, Germany, October 2002.
- *Thoma, M.H.:* Complex Plasmas and Plasma Crystal, colloquium, Department of Physics, TU Munich, Garching, Germany, January 2002.

Thoma, M.H.: Physics of the Quark-Gluon Plasma, invited talk, KVI Groningen, Groningen, The Netherlands, May 2002.

Thoma, M.H.: The Plasma Crystal, invited talk, Institute for Crystallography, LMU München, Germany, June 2002.

Thoma, M.H.: Physics of the Quark-Gluon Plasma, invited talk, Institute for Theoretical Physics, Universität Frankfurt, Germany, October 2002.

Thomas, D.: Kinematics and Stellar Populations of Dwarf Elliptical Galaxies, contributed talk, The Evolution of Galaxies III. From Simple Approaches to Self-Consistent Models, Kiel, Germany, July 2002.

Thomas, D.: The Epochs of Elliptical Galaxy Formation, contributed talk, Formation, evolution, and Large Scale Distribution of Galaxies, Beijing University, China, September 2002.

Thomas, D.: SSP models of Lick indices with variable element ratios, colloquium, Max-Planck-Institut für Astrophysik, Garching, Germany, November 2002.

Thomas, H.M.: PKE-Nevedov - Das erste physikalische Experiment auf der Internationalen Raumstation ISS, colloquium, Universität Würzburg, Germany, January 2002.

Thomas, H.M.: Complex (dusty) plasma under microgravity conditions, invited talk, International Conference on the Physics of Dusty Plasmas, Durban, South Africa, May 2002.

Thomas, H.M.: Complex Plasmas - A new and fast growing Field in Plasma Physics, invited talk, IPP-Seminar: New Trends in Plasma Physics, Garching, Germany, July 2002.

Thomas, H.M.: PKE-Nefedov - Plasmakristall Experimente auf der Internationalen Raumstation ISS, colloquium, Universität Greifswald, Greifswald, Germany, November 2002.

Treumann, R.A.: The role of magnetic field aligned electric fields in cosmic particle acceleration, invited talk, Ringberg Workshop on Astro Plasma-Physics, Ringberg, Germany, June 2002.

Treumann, R.A.: Mirror modes as phase transitions in plasma, colloquium, Institut für Geophysik, Braunschweig, Germany, June 2002.

- *Treumann, R.A.:* Magnetic mirror mode turbulence a superconducting process, contributed talk, Ringberg Workshop on Astro Plasma Physics, Schloss Ringberg, Germany, June 2002.
- *Treumann, R.A.:* The Earth's plasma environment, invited talk, Summer School on Space Weather: Physics, Impacts and Predictions, Alpbach, Austria, July 2002.
- *Treumann, R.A.*: Mirror modes and phase transitions in plasma, colloquium, Space Research Institute, Austrian Academy of Sciences, Graz, Austria, July 2002.
- *Treumann, R.A.:* New insight into particle acceleration in reconnection, colloquium, Space Research Institute, Austrian Academy of Sciences, Graz, Austria, August 2002.
- *Treumann, R. A.:* Structure of the magnetopause, invited talk, XXVII URSI Generalversammlung, Maastricht, The Netherlands, August 2002.
- *Treumann, R.A.*: Magnetische und elektrische Felder im Universum, public talk, Seniorenstudium, Universität München, Germany, December 2002.
- *Trümper, J.:* Quasare, gefräßige Monster am Rande des Universums, public talk, Wilhelm-Förster-Sternwarte Berlin, Germany, January 2002.
- *Trümper, J.*: Vom Tod der Sterne I, colloquium, MPE Garching, February 2002.
- *Trümper, J.*: Vom Tode der Sterne II, colloquium MPE, Garching, March 2002.
- *Trümper, J.:* Quasare, gefräßige Monster am Rande des Universums, Festkolloquium Fachhochschule Flensburg, Germany, March 2002.
- *Trümper, J.*: Schwarze Löcher im Visier, public talk, Volkssternwarte München, Germany, April 2002.
- *Trümper, J.:* The Active Universe- X-Ray and Gamma-Ray Astronomoy, public talk, Symposium Japan Society for the Promotion of Science, Dresden, Germany, April 2002.
- *Trümper, J.:* Neutron Stars New Results from ROSAT, Chandra and XMM-Newton, colloquium, CERN, Geneva, Switzerland, May 2002.
- *Trümper, J.:* Black Holes New Results from ROSAT, Chandra and XMM-Newton, invited talk, 7th Paris Cosmology, Colloquium "High Energy Astrophysics for and from Space", Paris, France, June 2002.
- *Trümper, J.:* Neutron Stars New Results from ROSAT, Chandra and XMM-Newton, invited talk, 7th Paris Cosmology Colloquium "High Energy Astrophysics for and from Space", Paris, France, June 2002.
- *Trümper, J.:* Der Tod der Sterne, colloquium, Institut für Plasmaphysik, Greifswald, Germany, June 2002.
- *Trümper, J.:* The Isolated Neutron Star RXJ 1856-3754, seminar talk, Columbia University, New York, USA, October 2002.
- *Trümper, J.:* Röntgenstrahlung aus dem Kosmos, colloquium, Univerität Essen, Germany, November 2002.

Trümper, J.: Unheimliche Sterne, public talk, Sternfreunde Nordenham, Germany, December 2002.

- *Tsytovich, V.*N.: Physics of Collective Dust-Dust Attraction and Dust Structure Formation, invited talk, International Conference on Physics of Dusty Plasmas-ICCPDP, Durban, South Africa, May 2002.
- *Vaith, H.:* EDI Convection Measurements over the Polar Cap and in the Dawnside Magnetosphere, contributed talk, DPG-AEF Tagung 2002, Leipzig, Germany, March 2002.
- *Verma, A.:* A MIR Spectroscopic Atlas of Starburst Galaxies, Exploiting the ISO archive Infrared Astronomy in the Infrared Age, contributed talk, Siguenza, Spain, June 2002.
- *Voges, W.:* The German Astrophysical Virtual Observatory (GAVO), contributed talk, Toward an International Virtual Observatory - Scientific Motivation, Roadmap for Development and Current Status, Garching, Germany, June 2002.
- *Voges, W.:* Report of the Serendipity Working Group meeting, contributed talk, SDSS collaboration meeting, Princeton, USA, July 2002.
- *Voges, W.:* ROSAT and SDSS identifications, contributed talk, SDSS Serendipity working group meeting, Princeton, USA, July 2002.
- *Voges, W.:* Sloan Digital Sky Survey Identifications of ROSAT X-ray sources, colloquium, Beijing Normal University, Beijing, China, September 2002.
- *Voges, W:* Sloan Digital Sky Survey Identifications of ROSAT X-ray sources, invited talk, 5th Sino-Germany Workshop on "Formation, evolution, and Large Scale Distribution of Galaxies", Beijing University, Beijing, China, September 2002.
- *Wuchterl, G.:* Die Entstehung von Gasplaneten, colloquium, Planetolog Kolloquium, Univ. Münster, Münster, Germany, January 2002.
- *Wuchterl, G.:* The First Million Years of the Sun, colloquium, Physikalisches Institut, University of Bern, Bern, Switzerland, January 2002.
- *Wuchterl, G.:* Theorie der Gasplanetenentstehung, invited talk, DLR-Workshop, Planetenbildung: Das Sonnensystem und extrasolare Planeten, Berlin-Adlershof, Germany, February 2002.
- *Wuchterl, G.:* Hot Neptunes: a key to giant planet formation, invited talk, EGS 27th General Assembly, Nice, France, April 2002.
- *Wuchterl, G.:* The Collapse of Proto-Brown Dwarfs, invited talk, IAU Symposium 211, Hawaii, USA, May 2002.
- *Wuchterl, G.:* The Diversity of Hot Giant Planets: Towards an estimate of what should be expected, contributed talk, COROT week 2, Obs. de Paris, Meudon, Meudon, France, May 2002.
- *Wuchterl, G.:* Formation of planetary systems and Earth-like bodies, invited talk, ESTEC, 36th ESLAB Symposium, Earth-like Planets and Moons, Katwijk, Netherlands, June 2002.

- *Wuchterl, G.:* Entstehung von Sonnensystemen: Wo liegt die Stunde 0?, colloquium, MPI für Chemie, Mainz, Germany, June 2002.
- *Wuchterl, G.*: Wie entstehen Planeten?, public talk, Deutsches Museum, Beobachtergruppe, Munich, Germany, July 2002.
- *Wuchterl, G.:* Unsere kosmische Nachbarschaft, public talk, 12. Münchner Infotage, Deutsche Gesellschaft für das hochbegabte Kind, Burg Schwaneck, Pullach, Germany, August 2002.
- *Wuchterl, G.:* In-situ formation of Pegasi-planets, invited talk, ISSI Workshop on "Planetary Systems and Planets in Systems", to be held in honour of Michel Mayor's 60th birthday, Saas-Fee, Switzerland, September 2002.
- *Wuchterl, G.:* Planets versus Brown Dwarfs The First 20 Million Years, contributed talk, Planetary Systems and their Formation, Splintersession bei der Internationalen Wissenschaftlichen Jahrestagung, The Cosmic Circuit of Matter der Astronomischen Gesellschaft, Berlin, Germany, September 2002.
- *Wuchterl, G.:* Wie entstehen Pegasi Planeten?, public talk, Wiener Astronomische Arbeitsgemeinschaft, Wien, Austria, November 2002.
- *Wuchterl, G.:* Die erste Million Jahre der Sonne, public talk, Planetarium Stuttgart, Stuttgart, Germany, November 2002.
- *Wuchterl, G.:* Formation and pre-main-sequence evolution of Pegasi planets, contributed talk, COROT week No 3, Liege, Belgium, December 2002.
- *Wunderer, C.:* Imaging with the Coded Aperture Gamma-Ray Spectrometer SPI aboard INTEGRAL, colloquium, Space Science Laboratory, Berkeley, USA, September 2002.
- *Xu, D.:* Emission Line Properties of Seyfert 1 Type AGN from RASS, contributed talk, China-Germany Workshop: the Multiwavelength View on AGN, Lijiang, China, July 2002.

- *Xu, D.:* An AGN Sample with High X-ray-to-optical Flux Ratio from RASS, contributed talk, AG Tagung, Berlin, Germany, September 2002.
- Zavlin, V.E.: Modeling Neutron Star Atmospheres, invited talk, The 270th WE-Heraeus Seminar on Neutron Stars, Pulsars and Supernova Remnants, Bad Honnef, Germany, January 2002.
- *Zavlin, V.E.*: Thermally Emitting Neutron Stars and Pulsars: Chandra Results, contributed talk, Pulsars, AXPs and SGRs Observed with BeppoSAX and Other Observatories, Marsala, Italy, September 2002.
- *Zhang, S.:* MeV Properties of the Blazars PKS 1622-297, 3C 454.3 and CTA 102, contributed talk, China-German Workshop on The Multiwavelength View of Active galactic Nuclei, Lijiang, China, August 2002.
- *Zuzic, M.:* Plasma Crystals structure, welding, boundaries, contributed talk, Complex Plasmas Research Network- Second Workshop, Instituto Superior Técnico, Lisbon, Portugal, January 2002.
- Zuzic, M.: PKE Das erste Wissenschaftsexperiment auf der ISS - Erforschung von Plasmakristallen unter Mikrogravitation, public talk, Verein Deutscher Ingenieure e.V., Hannover Messe, Germany, April 2002.
- *Zuzic, M.:* Plasma Crystals in PKE-Nefedov, contributed talk, ICPDP International Conference on the Physics of Dusty Plasmas, Durban, South Africa, May 2002.
- *Zuzic, M.:* Structures of complex plasmas on Earth and in microgravity conditions, contributed talk, Complex Plasmas Research Network, Garching, Germany, June 2002.
- *Zuzic, M.:* Structures of complex plasmas in the laboratory and in microgravity conditions, contributed talk, 21st Summer School and International Symposium on the Physics of Ionized Gases (SPIG), Sokobanja, Yugoslavia, August 2002.

4.7 HABILITATIONEN

Neuhäuser, R.: Junge nahe Sterne und sub-stellare Begleiter. Ludwig-Maximilians-Universität München 2002.

4.8 DISSERTATIONEN

- Sasaki, M.: X-rays Tracing the Star Formation History of the Magellanic Clouds. Ludwig-Maximilians-Universität München 2002.
- *Raab, W.:* Entwicklung und Bau des Ferninfrarot-Spektrometers FIFI LS und ISO-Beobachtungen des galaktischen Zentrums. Ludwig-Maximilians-Universität München 2002.

4.9 DIPLOMARBEITEN

- *Bendig, G.:* Charakterisierung und Kalibrierung der Röntgentestanlage PUMA. Ludwig-Maximilians-Universität München 2002.
- *Majewski, P.:* Emission Mechanisms in the highest energy Active Galactic Nuclei. Technische Universität München 2002.

Mokler, F.: Röntgenstrahlung von Braunen Zwergen. Ludwig-Maximilians-Universität, München 2002.

Piepers, B.: Identifizierung von jungen Sternen anhand von Lithiumabsorptionslinien im Spektrum. Fachhochschule München 2002.

4.10 LEHRVERANSTALTUNGEN / TEACHING

Technische Universität München

An der Technischen Universität München vertritt das Institut das Fach Astrophysik, das als Prüfungsfach in Angewandter Physik in der Diplom-Hauptprüfung zugelassen ist.

Diehl

Nukleare Astrophysik II (SS 02)

"Cosmic Explosions", Seminar zu ausgewählten Fragen der Astrophysik, Dozenten der Astrophysik an der TUM (SS 02)

"Astronomy across the Wavelength Regions", Seminar zu ausgewählten Fragen der Astrophysik, Dozenten der Astrophysik an der TUM (WS 02/03).

Genzel/Morfill/Schönfelder/Trümper

Seminar über extraterrestrische Physik (WS 01/02, SS 02, WS 02/03).

Hasinger

Experimentelle Methoden der Hochenergie-Astrophysik (WS 02/03).

Schönfelder

Einführung in die Astrophysik I (WS 01/02) Einführung in die Astrophysik II (SS 02) Einführung in die Astrophysik (WS 02/03).

Ludwig-Maximilians-Universität München

Becker

Astrophysikalisches Seminar (WS 01/02).

Bender

Astrophysics Introductory Course (SS 02)

Astronomisches Hauptseminar zur Astrophysik (SS 02)

Astrophysikalisches Praktikum "A" und Übungen (SS 02)

Astronomisches Kolloquium (SS 02)

Extragalactic Journal Club (E) (SS 02)

Extragalactic Group Seminar (SS 02)

Galactic Dynamics (WS 02/03)

Astronomisches Hauptseminar zur Astrophysik (WS 02/03)

Astronomisches Kolloquium (WS 02/03) Extragalactic Group Seminar (WS 02/03) Extragalactic Journal Club (E) (WS 02/03).

Böhringer

Kosmologie 1 (WS 01/02) Kosmologie 2 (SS 02) The interstellar Medium (WS 02/03).

Jamitzky

Bildverarbeitung I (WS 01/02) Molekülmechanische Rechnungen in der Kristallographie (SS 02).

Neuhäuser

Betreuung C-Praktikum für Physiker (WS 01/02) Physikalisches Praktikum für Pharmazeut(inn)en (WS 01/02).

Scholer

Weltraumwetter (WS 01/02 und SS 02) Physik der Ionosphäre (WS 02/03).

Thoma, M.H.

Hochenergie-Plasmaphysik (WS 02/03).

Treumann

Oberseminar extraterrestrische Geophysik (WS 01/02) Oberseminar extraterrestrische Geophysik (SS 02) Oberseminar extraterrestrische Geophysik (WS 02/03) Einführung in die Vorlesungen der Geophysik II, die Erde im Weltraum (SS 02) Weltraumplasmaphysik II (SS 02) Weltraumplasmaphysik I (WS 01/02 und 02/03).

Wiechen

Weltraum und astrophysikalische Grundlagen der Geophysik (WS 01/02) Die Entstehung von Planetensystemen (SS 02).

Johann Wolfgang v. Goethe-Universität Frankfurt a. M

Boller

Einführung in die Astrophysik I (WS 01/02) Einführung in die Astrophysik I (SS 02) Astrophysik I (WS 02/03).

Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg

Breitschwerdt

Einführung in die Plasmaphysik (WS 01/02).

Physikalisches Institut der Universität Münster

Schuecker

Kompakte Sterne (WS 01/02) Gravitationswellen (WS 01/02) Die ersten Galaxien: Das Universum in großen Entfernungen (SS 02) Kosmologie I (WS 02/03).

Universität Giessen

<u>Thoma, M.H.</u> Komplexe und relativistische Plasmen (SS 02).

Universität Siegen

<u>Strüder</u> Semiconductor Detectors (WS 02/03).

Universität Ulm

Boese

Wavelets in der Signal- und Bildverarbeitung I (SS 02) Bivariate und multivariate dynamische Systeme (WS 02/03).

IMPRS for Astrophysics, MPE Garching

Hasinger

Experimental Astrophysics 2: High Energy Range, EUV to Gamma Rays (SS 02).

Becker

Oberseminar Astrophysik (SS 02 und WS 02/03).

Böhringer The interstellar Medium (WS02/03).

Hochenergiephysik-Sommerschule Maria Laach

<u>Strüder</u> Silizium Strahlungsdetektoren (WS 02/03).

Aoyama Gakuin University, Tokyo

Brinkmann High Energy Astrophysics – the modern perspective – (WS 02).

Universität von Porto, Portugal

<u>Neuhäuser</u>

High-energy astrophysics (WS 01/02).

Universität von Padova, Italy

Boller

AGN X-ray spectroscopy (SS 02).

4.11 SEMINARE UND WORKSHOPS / SEMINARS AND WORKSHOPS

- 270. WE-Heraeus Seminar on Neutron Stars, Pulsars and Supernova remnants, Bad Honnef, Physik Zentrum, 21-25.1.02, Organisation: W. Becker, H. Lesch, J. Trümper.
- 10th CELIAS Workshop, Rorschach, Switzerland, 6.-8.3.02, Organisation: B. Klecker.
- *XEUS studying the evolution of the hot universe*, MPE Garching, 11.-13.03.02, Organisation: Th. Boller, B. Aschenbach, D. Grupe, R. Keil, N. Meidinger, F. Pefferkorn.
- *Ringberg Workshop on Astro Plasma Physics*, Schloss Ringberg, 9.-14.06.02, Organisation: A. Lazarian, R. Treumann, E. Vishniac.
- *Exploiting the ISO Data Archive Infrared Astronomy in the Internet Age*, Sigüenza, Spain, 24.-27.7.02, Organisation: P. Garcia Lario, C. Gry, T.G. Müller, R. Alvarez, J. Matagne, S. Martin, S. Peschke, A. Salama, B. Schulz and A. Willis.
- China-Germany Workshop on The Multiwavelength View on Active Galactic Nuclei, Lijiang, China, 31.7.-4.8.02, Organisation: F. Cheng, G. Hasinger, J. Wei, S. Komossa.
- Astronomical Telescopes and Instrumentation, SPIE Meeting Waikoloa, Hawaii, USA, 22.-28.8.02, Chairmen of the Conference: Joachim Trümper & Harvey Tananbaum.

- *Molekulare Simulationen*, Department für Geo- und Umweltwissenschaften Bereich Kristallographie Ludwigs-Maximilians-Universität München, 12.9.02, Organisation: W.M. Heckl, W. Moritz, F. Jamitzky, T. Markert, R. Pentcheva.
- X-Ray Astronomy from the Solar System to the High Redshift Universe (Splinter Session, AG-Tagung 02), Berlin, 23.-28.9.02, Organisation: S. Komossa, V. Burwitz, G. Hasinger, N. Schartel.
- Active Black Holes (Spinter Meeting, AG-Tagung 02), Berlin, 23.-28.9.02, Organisation: H. Falcke, S. Komossa, A. Zensus, S. Wagner, M. Dietrich, K. Mannheim.
- COSPAR Symposium E1.4 on Neutron Stars and Supernova Remnants, Houston, Texas, 10.-12.10.02 Organisation: W. Becker, W. Hermsen.
- *PKE-Nefedov Symposium*, MPE Garching, 14.-15.10.02, Organisation: G. Morfill, H. Thomas.
- *MPIA/MPE Ringberg Workshop on the Centers of Galaxies*, Schloss Ringberg, 11.-15.11.02, Organisation: A. Burkert (co-Chair), L.J. Tacconi (co-Chair), S. Khochfar, H.W. Rix, N. Thatte, W. Vacca.
- *Low Temperature Plasma Physics (CIPS-LTPP) seminar series*, CIPS Seminarraum, D2, 2.Stock, Fridays 10.45, all year, Organisation: B.M. Annaratone, W. Jacob.

4.12 ÖFFENTLICHKEITSARBEIT / PR WORK

Im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit werden am Institut Führungen mit Erläuterungen zu einzelnen Projekten an Hand von Schautafeln, Ausstellungsstücken und Multi-Media Vorträgen durchgeführt. Im Jahre 2002 fanden 10 derartige Veranstaltungen statt. Darüber hinaus sind die Projekte und wissenschaftlichen Veröffentlichungen aller Abteilungen des Instituts über die MPE Internetseiten (http://www.mpe-garching.mpg.de) allgemein zugänglich. As part of the public outreach effort of the MPE guided tours through the institute are organised, explaining the various projects with hardware, poster boards, and multi-media presentations. In 2002 ten groups visited the institute. In addition, information on all projects and scientific publications is available on the public internet pages of the MPE (http:// www.mpe-garching.mpg.de).

5 PERSONAL, PROJEKTE, KOLLABORATIONEN / PERSONNEL, PROJECTS, COLLABORATIONS

5.1 PERSONAL / PERSONNEL

Institutsleitung / Mangagement

Prof. Dr. Ralf Bender, optische und interpretative Astronomie seit 1.1.02, 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

Prof. Dr. G. Hasinger, Röntgen- und Gamma-Astronomie

Prof. Dr. G. Morfill, Theorie, Nichtlineare Dynamik, komplexe Plasmen (Geschäftsführung)

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. U.G. Briel bis 14.11.02 Dr. B. Klecker seit 15.11.02

Auswärtige wissenschaftliche Mitglieder / External Scientific Members

Prof. Dr. V. Fortov, IHED, Moscow (Russia)
Prof. Dr. P. Meyer, University of Chicago (USA)
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 Prof. Dr. A. Bode, TU München

W-M. Catenhusen, Parlamentarischer Staatssekretät im BMBF, Berlin

H-J. Dürrmeier, Vorsitzender der Gesellschafterversammlung des 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. Ellis, CALTECH, Pasadena (USA)
- Prof. Dr. A. Fabian, University of Cambridge (UK)
- Prof. Dr. O. Havnes, University of Trømsø (Norway)

Prof. Dr. J. Honerkamp, Universität Freiburg (Deutschland)

- 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. K-H. Spatschek, Universität Düsseldorf (Deutschland)

Prof. Dr. M.C. Weisskopf, NASA/MSFC (USA)

Sonderfachbeirat (CIPS) / Special Scientific Advisory Board (CIPS)

Prof. Dr. O. Havnes, University of Trømsø (Norway) Prof. Dr. J. Honerkamp, Universität Freiburg

(Deutschland) Prof. Dr. K. H. Spatschek, Universität Düsseldorf

(Deutschland)

Humboldt-Forschungspreisträger / Humboldt Awardee

Prof. Dr. D. Sanders, University of Hawaii (USA)

Prof. Dr. B. Sonnerup, Dartmouth College (USA)

Prof. Dr. V. Steinberg, Weizmann Institute of Science, Rehovot (Israel)

Prof. Dr. V. Tsytovich, Russian Academy of Sciense, Moscow (Russia)

A. v. Humboldt-Stipendiaten / A. v. Humboldt Fellows

Prof. Dr. A. Galeev, Russian Academy of Sciense, Moscow (Russia)Prof. Dr. D. Jaffe, University of Texas (USA)

Dr. P. Wang bis 30.9.02

Dr. V. Yaroschenko, Universiteit Gent (Belgium)

MPE Senior Research Fellow

Dr. D. Porquet

Wissenschaftliche Auszeichnungen, Berufungen / Scientific Honours, Appointments

Genzel, Reinhard: Mitglied der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina, March 2002.

Greiner, Joachim: Descartes-Preis der EU, December 2002.

Hasinger, Günther: Ordentliches Mitglied der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften, October 2002.

- Looney, Leslie: Berufung zum Assistent Professor in das Astr. Dept. of the University of Illinois, Urbano, USA, October 2002.
- Neuhäuser, Ralph: Ruf auf den Lehrstuhl Astrophysik der Friedrich-Schiller-Universität Jena, June 2002.

Physik des Erdnahen Weltraums

Bogdanova, Dr. J. bis 30.11.02 (Plasmaphysik) Bouhram, Dr. M. seit 7.10.02 (Plasmaphysik) Förster, Dr. M. (Plasmaphysik) Georgescu, Dipl.-Phys. E. (Plasmaphysik) Haaland, Dr. S.³ (Plasmaphysik) Ganushkina, N.³ 12.8.-6.9.02 (Plasmaphysik) Hasegawa H.³ 24.6.-15.9.02 (Plasmaphysik) Höfner, Dipl.-Phys. H. (Plasmaphysik) Kissel, Dr. J. (Plasmaphysik) Klecker, Dr. B. (Plasmaphysik) Leistner, Dipl.-Phys. G. (DV, Plasmaphysik) Paschmann, Dr. G.² (Plasmaphysik) Puhl-Quinn, Dr. P.³ (Plasmaphysik) Rieperdinger, M. (Sekretariatunterstützung) Rustenbach, Dr. J. bis 31.1.02 (Plasmaphysik) Sonnerup, Prof. B.⁹ 1.5.-31.7.02 (Plasmaphysik) Volwerk, Dr. M.¹ (Plasmaphysik) Zanker-Smith, J. seit 1.5.02 (Teamassistentin, Plasmaphysik)

Doktoranden / Diplomanden

(Bereich und Betreuer in Klammern) Blagau, A.⁷ seit 4.3.02 (Plasmaphysik; Klecker) Kis, A.⁷ seit 1.5.02 (Plasmaphysik; Scholer) Marghitu, O.³ 1.10.-31.12.02, Uni. Braunschweig (Plasmaphysik; Haerendel (IUB)/Klecker)

Infrarot- und Sub-mm-Astronomie

Abuter Dr. R. seit 1.3.02 (SPIFFI) Andreani, Dr. P.¹⁰ bis 31.7.02 (Herschel) Baker, Dr. A.³ (extragal.Beobacht.) Bauer, Dipl.-Phys. O.H. (Herschel, ISO) Berg von, Dr. M. (Herschel) Bickert, Dipl.-Phys. K. (Herschel) Cesarsky, Dr. D.¹⁰ (ISO, Herschel) Contursi, Dr. A. (Herschel) Davies, Dr. R. (PARSEC) Eisenhauer, Dr. F. (SPIFFI) Feuchtgruber, Dipl.-Phys. H. (ISO, Herschel) Geis, Dr. N. (Herschel, SOFIA) Gradmann, Dipl.-Phys. N. bis 31.12.02 (Herschel) Harai-Ströbl, S. (Sekretariat Direktorium) Hofmann, Dr. R. (NIR) Igl, Dipl-Phys. G. (Herschel) Jaffe, Prof. Dr. D.^{4/10} bis 31.7.02 (Sternentstehung) Katterloher, Dr. R. (Herschel) Kleiser, A. seit 1.7.02 (Herschel) Krombach H. seit 3.6.02 (Sekretariat Herschel-PACS) Kornberg, M. seit 2.5.02 (Herschel)

Thatte, Niranjan: Berufung zum Dozenten am Physic Dept. der University of Oxford, UK, April 2002.

Trümper, Joachim: Bayerischer Verdienstorden, July 2002.

- Trümper, Joachim: Basic Science Award, International Acadamy of Astronautics, October 2002.
- Vidal, Carl Rudolf: Fellow of the Northamerican Academy of Arts and Sciences, September 2002.

5.1.1 Wissenschaftliche Arbeitsgruppen / Science Groups

Krabbe, Dr. A.¹ (MIR, SOFIA) Lehnert, Dr. M. (extragal. Beobachtungen) Li, Dr. J. seit 18.2.02 (PARSEC) Looney, Dr. L. bis 31.10.02 (SOFIA) Lutz, Dr. D. (ISO, Galakt. Kerne) Moy, Dr. E³. bis 15.10.02 (extragalakt. Beobacht.) Müller, Dr. T. seit 2.1.02 (Herschel) Osterhage, S. (ISO, Herschel) Ott, Dipl.-Phys. T. bis 31.10.02 (PARSEC) Poglitsch, Dr. A. (Herschel, SOFIA) Raab, Dipl.-Phys. W. seit 1.1.02 (ISO) Rappold, T.¹¹ 1.6.-14.8.02 (SOFIA) Rigopoulou, Dr. D. (ISO, extragal. Beobacht.) Rosenthal, Dr. D. bis 30.4.02 (Herschel) Sanders, Prof. Dr. D.⁹ 17.6.-19.8.02 (extragal. Beobacht.) Schegerer, A.¹¹ 22.7.-31.10.02 (SPIFFI) Schreiber, Dr. J. (SPIFFI) Schubert, Dr. J. (Herschel) Seidenschwang, K.² (Herschel) Sethapakdi, J. bis 31.5.02 (Sekretariat Herschel-PACS) Sturm, Dr. E. (ISO, Herschel) Tacconi, Dr. L. J. (Sub-mm/mm, Galakt. Kerne) Tecza, Dr. M. (SPIFFI) Thatte, Dr. N. (NIR Spektroskopie, Sternentstehung) Tomono, Dr. D.³ (KMOS) Vacca, Dr. W. bis 31.12.02 (extragal. Beobacht.) Verma, Dr. A. (ISO) Wetzstein, M. seit 13.5.02 (Herschel) Wildgruber, G. seit 1.9.02 (Herschel)

Doktoranden / Diplomanden

(Bereich und Betreuer in Klammern) Barden, Dipl.-Phys. M.⁷ bis 31.12.02 (hochrotverschobene Galaxien; Tacconi) Dannerbauer, Dipl.-Phys. H.⁷ (mm-Quellen; Lutz) Harayama, Y.^{13/7} seit 22.8.02 (KMOS; Hofmann) Hönle, R.⁷ (FIFI LS; Poglitsch) Iserlohe, Dipl.-Phys. C.⁷ (SPIFFI; Eisenhauer/Tacconi) Rabien, Dipl. Phys. S.⁷ (adaptive Optik; Tacconi) Schmitt, Dipl. Phys. C.^{7/13} bis 21.2.02 (Galaxiendynamik; Genzel) Schödel, Dipl.-Phys. R.⁷ (Galakt. Zentrum; Genzel) Viehhauser, Dipl.-Phys. W.⁷ seit 1.3.02 (FIR; Poglitsch)

Röntgen-Astronomie

Adorf, Dr. H.^{1/3} M. seit 1.12.02 (GAVO) Aschenbach, Dr. B. (ROSAT, XMM-Newton, Chandra, SOHO/CDS, XEUS, ROSITA) Becker, Dr. W. (ROSAT)

- Boese, Dr. G. (ROSAT)
- Bohnet, Dipl.-Phys. A. bis 1.4.02 (ROSAT, XMM-Newton)
- Boller, Dr. Th. (ROSAT, XMM-Newton)
- Bräuninger, Dr. H. (ROSAT, XMM-Newton, Chandra, JET-X, WFXT, SWIFT, XEUS, PANTER, ROSITA, CAST)
- Breitschwerdt, Dr. D. (ROSAT, XMM-Newton)
- Briel, Dr. U.G. (ROSAT, XMM-Newton, ROSITA)
- Brunner, Dr. H. seit 1.6.02 (XMM-Newton)
- Burkert, Dr. W. (PANTER, Chandra, XEUS, WFXT, ROSITA, SWIFT)
- Burwitz, Dr. V. (Chandra, ROSAT)
- Dennerl, Dr. K. (ROSAT, XMM-Newton)
- Englhauser, Dr. J. (XMM-Newton, HLL)
- Falke, L.² (ROSAT, XMM-Newton)
- Frankenhuizen, W. (Sekretariat Trümper)
- Freyberg, Dr. M. (ROSAT, ROSITA, XMM-Newton)
- Friedrich Dr. P. (ROSITA, XEUS) Grosso, Dr. N.¹⁴ (XMM-Newton)
- Gruber, Dr. R. (ROSAT, XMM-Newton)
- Grupe, Dr. D. bis 31.7.02 (XMM-Newton, ROSITA)
- Haberl, Dr. F. (ROSAT, XMM-Newton)
- Hartner, Dipl.-Math. G. (XMM-Newton, Chandra, ROSITA, SWIFT, WFXT)
- Hashimoto, Dr.Y.³ seit 1.4.02 (XMM-Newton)
- Henry, Prof. Dr. J.P.¹⁰ 25.5.-21.6.02, seit 19.12.02 (RO-SAT, XMM-Newton,)
- Hirschinger, M.² (XMM-Newton, PUMA, ROSITA)
- Ikebe, Dr. Y.^{3/12} bis 31.5.02 (ROSAT)
- Komossa, Dr. S. (ROSAT, Chandra, XMM-Newton)
- Krause, N. bis 31.3.02 (HLL, XMM-Newton, XEUS)
- Kuster, Dr. M. seit 1.5.02 (HLL, CAST)
- Lange, R.² (ROSAT, XMM-Newton, ROSITA)
- Lehmann, Dr. I. seit 1.1.02 (XMM-Newton)
- Lynam, Dr. P.³ (extragal. Astrophysik)
- Meidinger, Dipl.-Phys. N. (HLL, XMM-Newton, XEUS, ROSITA)
- Meyne, B. (Sekretariat Direktorium)
- Michetschläger, Ch. (Datenzentrum)
- Miessner, D. (HLL) Miyaji, Dr. T.¹⁰ 26.11.-25.12.02 (XMM-Newton, Chandra)
- Pfeffermann, Dipl.-Phys. E. (ROSAT, XMM-Newton, ROSITA)
- Pietsch, Dr. W. (ROSAT, XMM-Newton)
- Porquet, D.³ seit 1.11.02 (XMM-Newton, Chandra)
- Predehl, Dr. P. (ROSAT, Chandra, XMM-Newton, PUMA, ROSITA)
- Schaller, G. (HLL, XEUS)
- Schopper, Dr. F. (HLL)
- Schwentker, Dr. O. (ROSAT, XMM-Newton)
- Shen, Dr. S.³ (SDSS, ROSAT)
- Strüder, Prof. Dr. L. (HLL, XMM-Newton, ROSITA, XEUS)
- Supper, Dr. R. bis 30.11.02 (ROSAT)
- Szokoly, Dr. G.³ seit 1.4.02 (XMM-Newton, Chandra) Tachihara, Dr. K.¹² seit 1.9.02 (XMM-Newton,
- Chandra)
- Tanaka, Prof. Y.¹⁰ (ROSAT)
- Treis, Dr. J. seit 22.4.02 (HLL)
- Trinchieri, Dr. G.¹⁰ 2.-27.7.02 (ROSAT)
- Voges, Dr. W. (ROSAT, SWIFT, GAVO)

Vogler, A. 1.7.-31.12.02 (XMM-Newton, Chandra) Xu, Dr. D.³ seit 17.4.02 (ROSAT, Chandra) Zavlin, Dr. V. (ROSAT, XMM-Newton) Zimmermann, Dr. H-U. (ROSAT, XMM-Newton)

Doktoranden / Diplomanden

(Bereich und Betreuer in Klammern) Bendig, G.⁷ bis 31.7.02 (Puma; Predehl) Braig, Dipl.-Phys. C.^{13/7} seit 23.1.02 (höchtsauflösende Abbildungen im Röntgenbereich; Predehl) Costantini, Dipl.-Phys. E.^{13/7} (Chandra; Predehl) Fath, J.^{8/3} seit 4.4.02 (Puppis-A.; Becker/Aschenbach) Gallo, Dipl.-Phys. L.^{7/13} (ROSAT/SLOAN; Boller) Gamarova, Dipl.-Phys. A.^{7/13} bis 1.5.02 (Neutronensterne, SNR; Becker) Guglielmetti, Dipl.-Phys. F.^{7/13} (ROSAT; Voges/Boese) Herrmann, S. (XEUS-Elektronik; Strüder) Keil, Dipl.-Phys. R. Universität Hamburg (XMM-Newton: Boller) Kollmer, Dipl.-Phys. J.⁸ bis 1.12.02 (XEUS; Strüder) Mendes, M., Uni Lissabon seit 10.9.02 (soft X-ray Background; Breitschwerdt) Misanovic, Dipl.-Phys. Z.^{7/13} seit 1.8.02 (XMM-Newton: Pietsch) Pahlke, Dipl.-Phys. A.⁸ (XEUS; Strüder/Soltau) Pfefferkorn, Dipl.-Phys. F.⁷ (wechselwirkende Galaxien; Boller) Pittroff, L.^{13/7} seit 15.7.02 (Supernova-Überreste; Aschenbach) Porro, M.³ Politecnico di Milano (Rotor-Elektronik; Strüder) Rose, M. Uni Regensburg bis 1.12.02 (ROSITA-CCD; Meidinger) Rutkowski, E.⁸ (Pixel-Sensor; Strüder) Sasaki, Dipl.-Phys. M.⁷ bis 13.10.02 (ROSAT; Pietsch/Haberl) Schaudel, Dipl-Phys. D.⁷ (Neutronensterne; Becker) Stadlbauer, Dipl-Phys. T.⁷ (Supernovaüberreste; Aschenbach) Streblyanskaya, Dipl.-Phys. A. 13/7 seit 1.9.02 (XMM-Newton; Hasinger)

Süzöroglu, A.⁶ bis 30.4.02 (CCD; Meidinger)

Gamma-Astronomie

Birnbaum, P.² 1.9.-31.10.02 (Sekretariat) Bloser, Dr. P.³ bis 31.10.02 (MEGA, Detektorentwicklung) Chupp, Prof. Dr. E.¹⁰ 1.7.-31.8.02 (Gamma) Denissenkov, Dr. P.³ 3.2.-3.4.02 (Theorie) Diehl, Dr. R. (COMPTEL, INTEGRAL) Dogiel, Prof. Dr. V.³ 23.4.-22.5.02 (Theorie) Dudeck, S.¹¹ 1.6.-31.8.02 (MEGA) Frankenhuizen, W. (Sekretariat) Greiner, Dr. J. seit 1.1.02 (GROND, SWIFT) Hartmann, Prof. Dr. D.³ 1.-28.2./1.-31.7.02 (Theorie) Iyudin, Dr. A. bis 31.12.02 (COMPTEL) Kanbach, Dr. G. (EGRET, MEGA, OPTIMA) Kestel, M. 2.1.-22.8.02 (GLAST-BM) Kienlin von, Dr. A. (INTEGRAL, GLAST-BM) Kretschmar, Dr. P. (INTEGRAL Science Data Center) Lichti, Dr. G.G. (COMPTEL, INTEGRAL, GLAST-BM)
Mayer-Hasselwander, Dr. H.A. (EGRET, GLAST, GROND) Moskalenko, I.³ 15.7.-15.8.02 (Theorie) Pottschmidt, K. seit 1.1.02 (INTEGRAL Science Data Center) Rehm, D. (COMPTEL-und INTEGRAL-Datenverarbeitung) Schönfelder, Prof. Dr. V. (Leiter der Gamma-Gruppe, COMPTEL, INTEGRAL, GLAST-BM, MEGA) Stefanescu, A.¹¹ 1.6.-31.12.02 (MEGA)

Strong, Dr. A. (COMPTEL, INTEGRAL) Wong, Dr. E.¹⁰ 1.5.-22.6.02 (COMPTEL) Wunderer, Dipl.-Phys. C. (INTEGRAL) Zhang, Dr. S.³ bis 3.6.02 (COMPTEL)

Doktoranden / Diplomanden

(Bereich und Betreuer in Klammern)

Andritschke, Dipl.-Phys. R.⁸ (MEGA; Kanbach) Kellner, S.⁸ bis 30.6.02 (OPTIMA; Kanbach) Kretschmer, Dipl.-Phys. K.⁸ (INTEGRAL; Diehl) Majewski, P.⁸ 1.1.-31.10.02 (COMPTEL; Schönfelder) Rau, A.^{13/8} seit 1.7.02 (INTEGRAL, GROND; Lichti/Greiner)

Rodriguez, D.^{10'} seit 1.5.02 (INTEGRAL; Diehl) Schlarb, M.⁸ seit 1.3.02 (COMPTEL; Diehl) Wozna, A.¹⁰ seit 1.9.02 (OPTIMA; Kanbach) Zapf, S.⁶ seit 1.9.02 (GROND; Greiner) Zoglauer, Dipl-Phys. A.⁸ (MEGA; Kanbach)

Labor-Astrophysik

Vidal, Prof. Dr. C.R. bis 31.7.02 (Leitung Laborspektroskopie) Wang, Dr. P.⁴ bis 31.7.02 (Laborspektroskopie)

Theorie

Annaratone, Dr. B. (komplexe Plasmen) Aschenbrenner, Dr. T. (Komplexitätsanalyse) Aslaksen, Dr. T.⁵ (komplexe Plasmen) Böhringer, Dr. H. (extragalaktische Astrophysik) Brinkmann, Dr. W. (AGNs, interstell. Medium) Bryant, Dr. P.³ (komplexe Plasmen) Bunk, Dr. W. (Med. Forschung, Komplexitätsanalyse) Chen, Dr. Y.¹⁰ bis 21.4.02 (extragal. Astrophysik) Collmar, E^2 (Sekretariat Projekte) Dum, Dr. C. (Plasmaphysik) Feofilov, Dr. A. bis 30.6.02 (Astrochemie) Fernandez, M. 11.6.-31.7.02 (Sternentstehung) Finoguenov, Dr. A.³ (extragal. Astrophysik) Friedrich, S. 8.3.-21.4.02 (extragalaktische Astrophysik) Fuhrmann, Dr. K. (Sterne) Gvaramaoze, Dr. V.¹⁰ (Sternentstehung) Ivley, Dr. A.³ (komplexe Plasmen) Jamitzky, Dr. F. (Komplexitätsanalyse) Khrapak, Dr. S.³ (komplexe Plasmen) Khrapak, Prof. A.³ (komplexe Plasmen) Klumov, Dr. B.³ (komplexe Plasmen) König, Dipl.-Phys. B.⁷ (Sternentstehung) Konopka, Dr. U. (komplexe Plasmen) Koutepov, Dr. A. (Astrochemie) Kretschmer, Dr. M. (komplexe Plasmen) Langer, A. (Sekretariat Direktorium)

Matsukiyo, S. seit 7.5.02 (Plasmaphysik) Matsushita, Dr. K.³ (extragal. Astrophysik) Monetti, Dr. R. seit 1.5.02 (Komplexitätsanalyse, Tandem Projekt) Neuhäuser, Dr. R. (Sternentstehung) Pilipp, Dr. W. (komplexe Plasmen) Pompl, Dr. R. (Komplexitätsanalyse) Quinn, Dr. R.³ (komplexe Plasmen) Räth, Dr. Ch. (Komplexitätsanalyse) Retzlaff, Dr. J. (extragalaktische Astrophysik) Samsonov, Dr. D.³ (komplexe Plasmen) Scheingraber, Dr. H. (komplexe Dynamik) Scholer, Prof. Dr. M. (Plasmaphysik) Schuecker, Dr. P. (extragalaktische Astrophysik) Shimizu, Dr. T. (komplexe Plasmen) Steinberg, Prof. Dr. V.⁹ (komplexe Plasmen) Sidorenko, I. seit 1.9.02 (Plasmaphysik) Stelzer, Dr. B. bis 17.10.02 (Sternentstehung) Thoma, Dr. M. (komplexe Plasmen) Thomas, Dr. H. (komplexe Plasmen) Treumann, Prof. Dr. R. (Plasma-Astrophysik) Tsytovich, Prof. Dr. V.92.1-17.10.02 (komplexe Plasmen) Ventura, Prof. J.¹⁰ 30.8.-15.9.02 (Sternentstehung) Vladimirov, S.¹⁰ (komplexe Plasmen) Wiechen, Dr. H. bis 1.9.02 (Plasma-Astrophysik) Wuchterl, Dr. G.³ (Stern-u. Planetenentstehung) Yaroschenko, Dr. V.⁴ (komplexe Plasmen) Zhdanov, S.³ seit 15.3.02 (komplexe Plasmen) Zuzic, Dr. M.¹⁰ (komplexe Plasmen)

Doktoranden / Diplomanden

(Bereich und Betreuer in Klammern)

- Ammler, M.⁷ (Sternentstehung; Joergens) Arevalo, P.^{7/13} seit 22.8.02 (AGN; Brinkmann)

Broeg, Ch.⁸ seit 18.2.-31.12.02 (Sternentstehung; Neuhäuser)

- Ferrero, Dipl. Phys. E.^{7/13} (AGN; Brinkmann)
- Goldbeck, Dipl.-Phys. D.⁷ (komplexe Plasmen; Morfill) Hadziavdic, V. Uni Trømsø (komplexe Plasmen; Morfill)
- Huber, M.⁷ bis 15.1.02 (extragal. Astrophysik; Schuecker)
- Huélamo, N. Universität Madrid bis 31.10.02 (Sternentstehung; Neuhäuser)
- Jaroschek, Dipl.-Phys. C.^{7/13} (Plasma-Astrophysik; Treumann)
- Joergens, Dipl-Phys. V.⁷ (Sternentstehung; Neuhäuser) Mimica, Dipl.-Phys. P.^{7/13} (Plasma-Astrophysik; Brink-
- mann) Mokler, F.⁷ bis 28.2.02 (Sternentstehung; Wuchterl) Nodes, Dipl.-Phys. Ch.^{7/13} (Plasma-Astrophysik;
- Morfill)
- Pečnik, Dipl.-Phys. B.⁷ (Sternentstehung; Wuchterl)
- Piepers, B.⁶, 18.3.-31.12.02 (Sternentstehung; König) Popesso, Dipl.-Phys. P.^{7/13} bis 30.9.02 (extragal. Astro-
- physik; Böhringer)
- Sütterlin, Dipl.-Phys. R.⁷ (komplexe Plasmen; Morfill) Zhang, Y.^{13/7} seit 1.9.02 (extragal. Astrophysik;
- Böhringer) Zimer, M.^{13/7} seit 1.9.02 (extragal. Astrophysik; Böhringer)

Optische und interpretative Astronomie

Coelho, P.¹⁰ 15.10.-17.12.02 (stellar populations) Dory, Dr. N. 1.1.-30.6.02 (galaxy surveys) Hopp, Dr. U. seit 1.4.02 (galaxy surveys) Hill, G.¹⁰ seit 1.12.02 (galaxy surveys) Korn, Dr. A. seit 1.7.02 (stellar chemistry) Maraston, Dr. C. seit 1.1.02 (stellar populations) Pierini, Dr. D. seit 1.8.02 (dusty stellar population) Rieger, S. seit 1.7.02 (KMOS) Rieperdinger, M. (Sekretariat, Direktorium) Salvato, M. seit 1.8.02 (galaxy surveys)

5.1.2 Ingenieurbereich und Werkstätten / Engineering and Workshops

Elektronik

Barl, Dipl.-Ing. (FH) L. (Infrarot) Bonerz, Dipl.-Ing. S. (Röntgen) Bornemann, Dipl.-Ing. (FH) W. (IDEM, Gamma, Röntgen) Cibooglu, H. (Haustechnik) Deutsch, R. (komplexe Plasmen) Emslander, A. (Haustechnik) Fumi, Dr. F. (Infrarot) Gressmann, R. (Haustechnik) Hagl, Dipl.-Ing. (FH) T. (komplexe Plasmen) Hälker, Dipl.-Ing. (FH) O. (Röntgen) Hans, O. (Elektrowerkstatt) Hengmith, M. (Elektronik, Röntgen) Heuschmann, Dipl.-Ing. (FH) F. (Elektronik, Testlabor) Hippmann, Dipl.-Ing. H. (Leitung Bereich Elektronik) Jakob, Dipl.-Ing. (FH) G. (Infrarot) Kaiser, K-H. (Infrarot) Kellner, Dipl.-Ing. S. (Infrarot) Kemmer, S.² bis 1.4.02 (Halbleiterlabor, Röntgen) Kink, Dipl.-Ing. (FH) W. (Röntgen) Lange, R.² (Sekretariatsunterstützung) Lepesine, Dipl.-Ing. V. bis 30.11.02 (Röntgen) Lieb, W. (Elektronik) Merz, B. (Infrarot) Müller, Dipl.-Ing. (FH) S. (Röntgen) Nägerl, J. (Infrarot, Elektronik) Oberauer, F. (Elektrowerkstatt) Reiss, P. (Leitung Elektrowerkstatt und Haustechnik) Röhrle, Dipl-Ing. (FH) C. (Infrarot) Rothermel, Dr. H. (komplexe Plasmen) Rupprecht, T. (Elektrowerkstatt) Schneider, M. (Haustechnik) Schrey, F. (Leitung Bereich Elektronik, Gamma) Seidenschwang, E. bis 31.10.02 (Plasmaphysik) Steffes, B. (Laborphysik, komplexe Plsmen) Tarantik, Dipl.-Ing. K. (komplexe Plasmen) Yaroshenko, V. seit 1.2.02 (Infrarot) Waldleben, H. (Sicherheits-Fachkraft) Wenck, St. bis 1.10.02 (Elektrowerkstatt)

Mechanik

Bayer, R. (Schreinerei) Brandstetter, J. (Werkstatt) Budau, B. seit 15.2.02 (Werkstatt) Czempiel, S. (Werkstatt) Deuschle, G. (Kunststofflabor)

Schopper, R. 1.3.-31.12.02 (interstellar matter) Schulte-Ladbeck, Prof. Dr. R.¹⁰ 1.9.-31.12.02 (stellar populations.)

Thomas, Dr. D. seit 1.1.02 (stellar populations galaxy dynamics)

Doktoranden / Diplomanden

Goranova, Y.^{13/7} seit 1.8.02 (galaxy surveys; Bender) Panella, M.^{13/7} seit 1.8.02 (galaxy surveys; Bender)

Dietrich, G. (Werkstatt) Dittrich, Dipl.-Ing. (FH) K. (Testlabor) Eibl, J. (Werkstatt) Ertl, Dipl.-Ing. (FH) M. bis 28.2.02 (Konstruktion) Feldmeier, P. (Werkstatt) Füller, U. bis 31.7.02 (Werkstatt) Gahl, J. (Werkstatt) Goldbrunner, A. (Werkstatt) Huber, F-X. (Werkstatt) Huber, N. (Werkstatt) Huber, S. (Werkstatt) Huber, Dipl.-Ing. H. (Konstruktion) Kastelic, Dipl.-Ing. (FH) E. bis 31.12.02 (Konstruktion) Kellner, R. (Werkstatt) Kestler, H.J. (Schreinerei) Kettenring, Dipl.-Ing. G. (Leitung Bereich Mechanik) Koch. O. bis 15.7.02 (Werkstatt) Mayr, R. (Leitung Lehrwerkstatt) Mayr-Ihbe, R. (Sekretariatsunterstützung) Pfaller, G. (Leitung mechan. Werkst. und Schreinerei) Pichl, L. (Leitung Kunststofflabor) Plangger, M. (Konstruktion) Rohe, C. (Konstruktion) Sandmair, R. seit 1.8.02 (Werkstatt) Schnell, P. (Werkstatt) Schunn, W. seit 1.9.02 (Werkstatt) Straube, P. (Werkstatt) Thiel, Dipl.-Ing. M. (Konstruktion) Wilnhammer, N. (Konstruktion) Wölfl, G. bis 31.5.02 (Konstruktion) Wölfl, K. (Werkstatt) Zaglauer, Dipl.-Ing. (FH) W. (Konstruktion)

Auszubildende

Adebar, F.; Blasi, T. seit 1.9.02; Brandmaier, M. bis 18.2.02; Brara, A.; Eckersperger, A.; Füller, U. bis 30.4.02; Heidelberg, Th.; Liebhardt, J. seit 1.9.02; Newsome, J. bis 23.2.02; Soller, F.

Schülerpraktikum (Haupt- und Realschulen)

Franke, C. (28.1-1.2.02); Glas, S. (18.-22.3.02); Glonner, F. (21.-25.10.02); Heidelberg, M. (10.-14.6.02); Huber, L (22.-26.7.02); Ihler, M. (22.-26.4.02); Martens, Ch. (18.-22.3.02);Osinski, M. (17.-26.7.02); Reiser, P. (21.-24.5.02); Schott, E. (18.-22.3.02); Thielmann, C. (22.-26.4.02.

Werkstudent(in)

Brott, I. (18.2.-5.3.02); Gritschneder, M. bis 2.6.02; Hempelmann, F. (18.2.-31.7.02); Kellner, G. (11.2-2.8.-02); M. Stangl, R. (25.2.-31.12.02); Trill, M. (3.4.-30.11.02); Turowski seit 1.10.02

Datenverarbeitung / Computing

DV-Ausschuß

Bauer, Dipl.-Phys. O.H (Vorsitzender)
Bohnet, Dipl.-Phys. A. seit 1.7.02
Brinkmann, Dr. W. (Stellvertreter)
Collmar, Dr. W. seit 1.11.02
Englmaier, Dr. P. (1.1.-30.9.02)
Jamitzky, Dr. F.
Kanbach, Dr. G. bis 31.10.02
Lutz, Dr. D.
Müller, Dipl.-Ing. (FH) S.
Ott, Dipl.-Phys. Th. seit 1.11.02
Vaith, Dipl-Phys. H.
Voges, Dr. W.
Zimmermann, Dr. H.-U.

Zentrale DV-Gruppe

Bauer, Dipl.-Phys. O.H. (Leitung) Baumgartner, H. (Netzwerk, Systemsupport) Bohnet, Dipl.Phys. A seit 1.7.02 (Systemsupport extragal. Astronomie) Collmar, Dr. W. (GRO, INTEGRAL, IMPF) Englmaier, Dr. P. 1.1.-30.9.02 (Systemsupport Infrarot) Klose, L. (Netzwerk, Systemsupport) Mühlhäuser, Dipl.-Phys. K.H.¹ bis 31.12.02 (Programmierung) Oberauer, A.² seit 1.1.02 (Software, PC Betreuung) Ott, Dipl.-Phys. T. seit 1.11.02 (Systemsupport Infrarot) Paul, J. (ROSAT) Post, Ch. (Netzwerk, Systemsupport – PC u. Unix) Sigl, Dipl.-Ing. (FH) R. (Netzwerkmanagement) Steinle, Dr. H. (Datenbanken, Archivsysteme, WWW) Vaith, Dipl.-Phys. H. (Cluster) Voges, M.² (Programmierung) Wassilko, B.² (Druckerbetreuung) Wieprecht, Dipl.-Ing. E. (Herschel-PACS) Wiezorrek, Dipl.-Ing. (FH) E. (Herschel-PACS)

Publikationsunterstützung

Hain, B.² (Druckerei) Hauner, R. (Leitung Druckerei) Karing, W. (Druckerei) Krombach, H.² (Graphik) Kus, H.² (Druckerei) Mayr-Ihbe, R. (Graphik) Mory, B. (Graphik) Predehl, Dr. P. (Leitung)

Bibliothek

Abele, M.² (Veröffentlichungen, Reportsammlung)

Hochschulpraktikum

Chazelas, B. (3.6.01-28.3.02); Ertl, St. (3.6.-27.9.02); Fouquet, A. (10.6.-9.8.02); Martin, St. (22.4.-31.5.02); Patzner, P. seit 30.9.02; Pietsch, R. (22.4.-31.5.02); Sauvage, J-F. (3.6.-15.10.02; Schlarb, M. bis 28.2.02; Schwab, C. 10.6.-31.10.02; Turowski, S. bis 31.3.02

5.1.3 Sonstige Zentrale Bereiche / Services

Chmielewski, E.² (Monographien, Leitung) Schurkus, R.² seit 1.10.02 (Zeitschriftenverwaltung) Strecker, R. bis 30.8. 02 (Zeitschriftenverwaltung) Toivonen, T.² (Ausleihe, Fernleihe)

Verwaltung und Allgemeine Dienste

Apold, G. (Rechnungswesen) Arturo, A. (Fahrdienst) Bauernfeind, M.² (Personal) Bidell, M.² (Rechnungswesen) Bitzer, U.² (Rechnungswesen) Blaschek, M.² (Reinigungsdienst) Brielmair, Ch. (Rechnungswesen) Czep, H.² (Reinigungsdienst) Cziasto, U.² (Haushalt/Drittmittel) Doll, E.² (Reinigungsdienst) Ertl, M.² (Haushalt/Drittmittel) Faas, G.² (Pforte) Gleixner, W. (Pforte) Goldbrunner, S. (Personal) Grasemann, M. (Einkauf) Gschnell, H-P. (SGL Personal) Hausmann, A. bis 14.10.02 (Personal) Heimerl, H.² (Reinigungsdienst) Heinecke, Dipl.-Ing. N. (Gesamtschwerbehindertenvertrauensmann) Hübner, R.² (Reinigungsdienst) Ihle, M. (Leitung VAD) Inhofer, I.² (Reinigungsdienst) Jäckel, T. (Haushalt/Drittmittel) Keil, M.² (Einkauf) Kliem, V. (Sekretariat Verwaltung) Kürzinger, T. (Einkauf) Linneweh, T. seit 1.9.02 (Auszubildender) Nagy, A. (Reinigungsdienst) Neun, A.² (Betriebsrat) Peischl, M. (Reisekosten) Preda, A. (Rechnungswesen) Preisler, C^2 (Personal) Reiß, U.² (Reisekosten) Reither, A.² (SGL Rechnungswesen) Rossa, E. (Fahrdienst) Sandtner, P. (Rechnungswesen) Scheiner, B. (SGL Haushalt/Drittmittel) Schneider, D seit 1.12.02 (Personal) Seeger, Dipl.-Ökonom, G. (SGL Einkauf) Steinle, R.² (Personal) Strecker, R. (Einkauf) Stuiber, A.² (Reinigungsdienst) Thiess, L.² (Reinigungsdienst)

Legende zur Personal-Liste / Comments personnel list

- 1 Freie Mitarbeiter(in)
- 2 Teilzeit Mitarbeiter(in)
- 3 MPE-Stipendiat(in)
- 4 Humboldt-Stipendiat(in)
- 5 Fulbright-Fellowship
- 6 Fachhochschule
- 7 Ludwig-Maximilians-Universität München

- 8 Technische Universität München
- 9 Humboldt-Forschungspreisträger
- 10 Sonstige Gäste
- 11 Stud. Hilfskraft
- 12 JSPS Fellowship
- 13 IMPRS

ISO Spektrometer

14 Marie-Curie-Fellowship

5.1.4 Projekt-Gruppen / Science Project Teams

(Projektleiter unterstrichen / Project Managers underlined)

Physik des Erdnahen Weltraums

ACE / SEPICA <u>Klecker</u>, Zanker-Smith, Seidenschwang E.

CLUSTER / CIS Bogdanova, Bouhram, <u>Klecker</u>, Paschmann, Puhl-Quinn, Scholer, Seidenschwang E.

CLUSTER / Datenzentrum Georgescu, <u>Klecker</u>, <u>Leistner</u>, Volwerk.

CLUSTER / EDI Förster, Haaland, <u>Paschmann</u>, Puhl-Quinn, Vaith.

ROSETTA / Cosima Höfner, <u>Kissel</u>, Rustenbach.

ROSETTA-Lander <u>Haerendel (IUB)</u>, Rustenbach, Thiel.

SAMPEX / HILT Klecker, Scholer.

SOHO / CELIAS <u>Klecker</u>, Scholer, Zanker-Smith.

STARDUST / CIDA Haerendel (IUB), <u>Kissel</u>, Thiel.

STEREO / PLASTIC Klecker, Seidenschwang E., Zanker-Smith.

Infrarot- und Sub-mm-Astronomie

Deputies to the Director of the Group Lutz, Tacconi.

Extragalaktische Beobachtungen Baker, Barden, Dannerbauer, <u>Lehnert</u>, Moy, Rigopoulou, <u>Tacconi</u>, Vacca.

GaAs-Detektoren Jakob, <u>Katterloher</u>.

Herschel-PACS

Andreani, Barl, <u>Bauer</u>, Berg v., Bickert, Cesarsky, Contursi, Feuchtgruber, Geis, Gradmann, Igl, Jakob, Katterloher, Kaiser, Kleiser, Kornberg, Krombach, Lutz, Merz, Müller Th., Nägerl, Osterhage, <u>Poglitsch</u>, Rosenthal, Schubert, Sethapakdi, Seidenschwang K., Thiel, Wetzstein, Wieprecht, Wiezorrek, Wildgruber, Willnhammer, Yaroshenko. lou, Sturm, <u>Verma</u>, Wieprecht. KMOS: <u>Hofmann</u>, Lehnert, Rieger, Schmitt, Tomono, Haray-

Bauer, Feuchtgruber, Lutz, Osterhage, Raab, Rigopou-

ama. LBT, LUCIFER

Eisenhauer, Hofmann, Tecza, Thatte, Tomono.

PARSEC

Davies, Kellner, Li, Ott, Rabien, Zaglauer.

SOFIA :

Fumi, Geis, Hönle, Looney, Poglitsch, Raab, Viehhauser.

SPIFFI

Abuter, Bickert, <u>Eisenhauer</u>, Iserlohe, Röhrle, Schreiber, Tecza, <u>Thatte.</u>

Röntgen-Astronomie

CAST

Bräuninger, Kuster, Strüder.

Chandra (früher AXAF) Aschenbach, Bräuninger, Burkert, Burwitz, Costantini, Hartner, <u>Predehl</u>, Trümper.

GAVO

Adorf, Voges.

ROSAT

Englhauser, Gruber, Voges, Zimmermann.

ROSITA

Aschenbach, Bonerz, Bornemann, Briel, Burkert, Friedrich, Hasinger, Hengmith, Heuschmann, Hippmann, Hirschinger, Huber, Kastelic, Kettenring, Kink, Lange, Meidinger, Müller, Pfeffermann, <u>Predehl</u>, Strüder, Trümper, Wölfl G., Wölfl K.

SDSS

Böhringer, Boller, Gallo, Hasinger, Huber M., König, Neuhäuser, Popesso, Voges.

Skinakas Observatorium Bauer, <u>Hasinger</u>, Lieb.

WFXT

Bräuninger, Burkert, Hartner, Trümper, Wölfl G.

XEUS

<u>Aschenbach</u>, Boller, Bräuninger, Burkert, Friedrich, Hasinger, Krause, Meidinger, Schaller, Strüder, Trümper.

XMM-Newton

Aschenbach, Bohnet, Boller, Bornemann, Bräuninger, <u>Briel</u>, Burkert, Dennerl, Englhauser, Freyberg, Gruber, Haberl, Hartner, Hengmith, Heuschmann, Hippmann, Hirschinger, Huber, Kastelic, Kettenring, Kink, Lange, Meidinger, Müller, Pfeffermann, Pietsch, Predehl, Schwentker, Strüder, Trümper, Voges, Wölfl G., Wölfl K., Zavlin, Zimmermann.

Gamma-Astronomie

COMPTEL

Collmar, Diehl, Iyudin, Kretschmer, Lichti, Majewski, Rehm, <u>Schönfelder</u>, Schlarb, Steinle H., Strong, Zhang.

EGRET

Kanbach, Mayer-Hasselwander.

GLAST

Diehl, Kanbach, Kienlin v., <u>Lichti</u>, Mayer-Haßelwander, Schönfelder, Strong.

GROND

<u>Greiner</u>, Hasinger, Huber H., Mayer-Hasselwander, Rau, Schrey, Zapf

INTEGRAL

Diehl, Kienlin v., Kretschmar, Lichti, Pottschmidt, Rau, <u>Schönfelder</u>, Strong, Wunderer.

MEGA

Andritschke, Bloser, <u>Kanbach</u>, Schönfelder, Schrey, Zoglauer.

OPTIMA

Kanbach, Kellner, Schrey, Steinle H.

SWIFT

Bräuninger, Burkert, Greiner, Hartner, Hasinger, Voges.

Theorie

Adaptive Elektrode <u>Annaratone</u>, Bryant, Huber, Morfill, Steffes, Thomas.

Diamant-Labor Dose, <u>Jakob</u>, Morfill, Rothermel, Shimitsu, Thomas.

Extragalaktische Astrophysik, Kosmologie, Supernovae, kompakte Objekte Ambros, <u>Böhringer</u>, <u>Brinkmann</u>, Chen, Ferrero, Finoguenov, Gliozzi, Ikebe, Lynam, Matsushita, Popesso, Reiprich, Retzlaff, Schuecker.

GEC-Labor

Ivlev, Konopka, Morfill, Quinn, Samsonov, Sütterlin, <u>Thomas</u>, Zuzic.

Hochfeld-Labor

Huber, <u>Konopka</u>, Kretschmer, Morfill, Ratinskaya, Samsonov, Steffes, Tarantik.

IMPF

Annaratone, Goldbeck, Hagl, Höfner, Huber, Ivlev, Konopka, <u>Morfill</u>, Rothermel, Sütterlin, Tarantik, Thoma, Thomas, Zuzic.

Nichtlineare Dynamik, Komplexitätsanalyse Aschenbrenner, Böhm, <u>Bunk</u>, Jamitzky, Monetti, Müller, Pompl, Räth, Scheingraber.

Paramagnet-Labor

Huber, Konopka, Morfill, <u>Samsonov</u>, Steffes, Zhdanov.

PK-3 Plus

Annaratone, Bigelmayr, Deutsch, Hagl, Huber, Ivlev, Konopka, Morfill, <u>Rothermel</u>, Stöcker, Sütterlin, Tarantik, Thomas, Zuzic.

PK-4

Höfner, Kretschmer, Morfill, Quinn, Tarantik, Thoma.

PKE-Nefedov

Annaratone, Bryant, Hagl, Ivlev, Khrapak, Klumov, Konopka, Kretschmer, <u>Morfill</u>, Quinn, Rothermel, Samsonov, Sütterlin, Thomas, Zhdanov, Zuzic.

Plasmaphysik

Dum, Jamitzky, Jaroscheck, Matsukiyo, <u>Scholer</u>, Siderenko, <u>Treumann.</u>

Sternentstehung

Ammler, Fuhrmann, Huélamo, Joergens, König, Mokler, <u>Neuhäuser</u>, Pečnik, Stelzer, Wuchterl.

Venus Express Jaroschek, <u>Treumann</u>

Optische und interpretative Astronomie

Stellare Populationen und Galaxienentstehung: Bender, Hopp, Korn, Maraston, Pierini, Thomas.

MUNICS:

Bender, Drory, Hopp, Maraston, Salvato.

OmegaCAM: <u>Bender</u>, Hopp.

Astro-WISE: Bender.

KMOS:

Bender, Hopp, Rieger.

5.2 WISSENSCHAFTLICHE KOLLABORATIONEN BEI PROJEKTEN / SCIENTIFIC COLLABORATIONS IN PROJECTS

Argentinien

Observatorio Astronomico Felix Aguilar (OAFA), Universität San Juan, and Instituto de Astronomia y Fisica del Espacio (IAFE), CONICET, Buenos Aires: Halpha Solar Telescope for Argentina (HASTA).

Australien

Australia Telescope National Facility, Epping: ROSAT-Radio-Durchmusterung des Südhimmels.

Australian National University: Galaxienentstehung

Melbourne University: Astro-Plasmaphysik.

Swinburne University of Technology, Victoria: Millisecond Pulsars.

University of Sydney: Röntgen- und Radiobeobachtungen von Supernovaüberresten.

Belgien

CSL Liège, Katholieke Universiteit Leuven: Herschel-PACS.

Universitè de Louvain: INTEGRAL-Spektrometer SPI.

Brasilien

Universidad de Sao Paulo: Galaxienentstehung.

China

University of Hongkong: Untersuchung der Strahlungsmechanismen an rotationsgetriebenen Pulsaren vom Röntgen- bis zum Gamma-Bereich.

Deutschland

Astrophysikalisches Institut Potsdam: ROSAT; ROSI-TA; XMM-Newton; GAVO; OPTIMA.

Christian-Albrechts-Universität, Kiel: CIPS; IMPF.

DLR Berlin: SOFIA.

DLR-Köln Porz: Plasmakristall-Experiment; Rosetta Lander (ROLAND); PKE-Nefedov.

Ernst-Moritz-Arndt-Universität, Greifswald: CIPS.

European Southern Observatory (ESO), Garching: CO-NICA-Kamera für VLT1; SINFONI abbildendes Spektrometer für VLT; PARSEC für die VLT Laser Guide Star Facility; ISO (extragal. Prog.); ROSAT (MIDAS); Galaxienentstehung; AstroWise; OmegaCAM.

Fraunhofer Institut für Festkörpertechnologie, München: XEUS; ROSITA.

Fraunhofer Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme, Duisburg: Mikroelektronikentwicklungen; CAMEX 64B; JFET-CMOS Prozessor; XEUS; ROSITA.

Hamburger Sternwarte, Bergedorf: Identifizierung von Quellen aus der ROSAT-Himmelsdurchmusterung.

International University Bremen: Astro-Plasmaphysik. Institut für Festkörperphysik und Werkstoff-Forschung,

Dresden: Entwicklung weichmagnetischer Werkstoffe. Klinikum der Universität Regensburg, Regensburg: CIPS.

Landessternwarte Heidelberg-Königstuhl: Nahinfrarotspektrograph LUCIFER für LBT; Galaxienentstehung.

Ludwig-Maximilians-Universität, München: CIPS; OmegaCAM; AstroWise.

Max-Planck-Institut für Aeronomie, 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 Festkörperforschung, Stuttgart: Charakterisierung von hochreinem Galliumarsenid für Infrarotdetektoren.

Max-Planck-Institut für Physik, Werner Heisenberg Institut, München: Entwicklung von CCDs; Aktive Pixeldetektoren (APS); JFET-Elektronik und Driftdetektoren für den Röntgenbereich; CAST.

Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Garching: CIPS.

Max-Planck-Institut für Astrophysik, Garching: GAVO; SDSS; OPTIMA.

Ruhr-Universität, Bochum: CIPS

Technische Universität Braunschweig, Institut für Geophysik und Meteorologie: Hybridcode-Simulationen; Mirror-Moden; CIPS.

Technische Universität München: CIPS.

Technische Universität Darmstadt: CAST.

Universität Bochum: komplexe Plasmen.

Universität Bonn: Test von Pixeldetektoren für XEUS; OmegaCAM; AstroWise.

Universität der Bundeswehr München: Venus Express.

Universität Freiburg, Inst. für Grenzgebiete der Psychologie und Psychohygiene e.V.: CIPS.

Universität Greifswald: komplexe Plasmen.

Universität Jena: SOFIA; Herschel-PACS.

Universität Kiel: komplexe Plasmen; STEREO.

Universität Köln: Sharp 1; Galaktisches Zentrum.

Universität Tübingen, Institut für Astrophysik und Astronomie (IAAT): XMM-Newton; ROSITA.

Universitätssternwarte Göttingen: OmegaCAM.

Frankreich

CEA, Saclay: INTEGRAL-Spektrometer SPI; Herschel-PACS; CAST.

Centre d'Etude Spatiale des Rayonnements (UPS), Toulouse: Gamma-Linien Auswertung COMPTEL; Gamma-Burst-Auswertung ULYSSES; INTEGRAL-Spektrometer SPI; MEGA-Ballon.

Centre d'Etudes des Environnements Terrestres et Planétaires (CNRS), St Maur des Fossés: FAST-Auroraphysik; IMPF.

GREMI-Lab, Orleans: komplexe Plasmen; Plasmakristall-Experiment auf ISS.

IGRP Marseille: Herschel-PACS.

Observatoire Astronomique de Strasbourg: Identifikation von ROSAT All-Sky Survey-Quellen in der LMC.

Observatoire de Meudon: AstroWise.

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 (windakkretierender) Röntgendoppelsternsysteme; Entwicklung und Einsatz des OPTIMA Photometers; optische Identifikation und Monitoring von Röntgen-AGN.

Großbritannien

John Moores University, Liverpool: Himmelsdurchmusterung Galaxienhaufen.

Royal Observatory Edinburgh: Identifizierung von Galaxienhaufen in der ROSAT-Himmelsdurchmusterung; COSMOS/UKST-Katalog vom Südhimmel zur Identifikation von ROSAT-Quellen.

Rutherford Appleton Laboratory, Council for the Central Laboratory of the Research Councils: SIS-Junctions; CDS Mirror Calibration; komplexe Plasmen; Rosetta Lander (Roland); JSOC for CLUSTER; ROSAT.

University of Birmingham: INTEGRAL-Spektrometer SPI; XMM-Newton.

University of Cambridge, Astronomical Institute: Qualitative Analysis of Partial Differential Equations; APM-Katalog vom Nordhimmel zur Identifikation von RO-SAT-Quellen.

University of Leicester: Kalibration von JET-X; XMM-Newton-Datenanalyse; WFXT.

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. Brera Astronomical Observatory: Jet-X; Himmelsdurchmusterung Galaxienhaufen; XEUS.

IASF Bologna: MEGA-Ballon.

IFCAI-CNR Palermo: BeppoSAX und XMM-Newton Beobachtungen von Neutronensternen und Pulsaren.

IFSI Roma: Herschel-PACS.

Istituto di Fisica Cosmica e Tecnologia, Mailand: INTEGRAL-Spektrometer SPI.

Istituto di Fisica dello Spazio Interplanetario (CNR), Frascati: ESIC; CLUSTER/CIS.

OAA/LENS Firenze: Herschel-PACS.

OAP Padua: Herschel-PACS; OmegaCAM.

Osservatorio Astrofísico di Arcetri, Florenz: Hardpoints für den LBT-Primärspiegel.

Osservatorio di Capodimonte, Napoli: OmegaCAM; AstroWise.

Politecnico di Milano: rauscharme Elektronik; Röntgendetektorentwicklung.

Universität Neapel: komplexe Plasmen.

Japan

Institute of Physical and Chemical Research (RIKEN), Wako-shi: ASCA/ROSAT/XMM-Newton Analyse und Interpretation von AGN-Daten.

Institute of Space and Astronautical Science, Yoshinodai: ASCA/ROSAT-Projekt; Astro-F Solar System Observations; Astro-Plasmaphysik.

Kyushu University: IMPF.

Tohuko 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-Spiegelkalibration; CCD Entwicklung; Radiation Performance Instrument; HST 2002 – 3D Instrumente auf HASTA; COMPTEL.

SRON, Utrecht: COMPTEL; Chandra-LETG.

Sterrewacht Leiden: SPIFFI/SINFONI; AstroWise; OmegaCAM.

TU Delft: Reflexionsmessungen an schwarzen Farben.

University Eindhoven: komplexe Plasmen; IMPF.

University of Groningen, Kapteyn Institute: Rekonstruktion der Dichteverteilung im Universum; OmegaCAM; AstroWise.

Norwegen

Universität Trømsø: komplexe Plasmen; IMPF.

<u>Österreich</u>

<u>Italien</u>

Institut für Weltraumforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (IWF), Graz: CIS; EDI auf CLUSTER; geomagn. Schweif.

Universität und TU Wien: Herschel-PACS.

Portugal

Universität Lissabon: komplexe Plasmen.

<u>Russland</u>

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, Moskow: Kalibration des Experiments JET-X.

IHED Moskow: PKE-Nefedov; PK-3 Plus; PK-4.

Schweiz

International Space Science Institute, Bern: Plasmaphysik; Astro-Plasmaphysik.

CERN, Geneva: CAST.

Spanien

IAC Laguna: Herschel-PACS.

Universität von Valencia, Department de Astronomia, Valencia: INTEGRAL-Spektrometer SPI; MEGA-Ballon.

Universidad de Zaragoza: CAST.

<u>Taiwan</u>

National Central University: IMPF.

<u>Türkei</u>

Bogazici University, Istanbul: IMPF; CAST.

<u>USA</u>

Brookhaven National Laboratory: strahlenharte JFET-Elektronik; strahlenharte Detektoren.

California Inst. of Technology, Pasadena: SAMPEX; ACE; X-ray Survey.

Dartmouth College, Hanover, NH.: Weltraum-Plasmaphysik.

Fairfield University, Connecticut: Modellierung der Halbleitereigenschaften von Galliumarsenidmaterial für Infrarotdetektoren.

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 (Galaxienhaufen; AGN; CVs; T-Tauri-Sterne) aus der ROSAT-Himmelsdurchmusterung durch den Sloan Digital Sky Survey (SDSS).

Institute for Astronomy, Hawaii: 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 Langley Research Center, Hampton/Virginia: SAMPEX.

NASA/Goddard Space Flight Center, Greenbelt/MD: ROSAT; SAMPEX; INTEGRAL-Spektromerter SPI; ACE; MEGA; STEREO.

Naval Research Laboratory, Washington: Identifizierung von Galaxienhaufen in der ROSAT-Himmelsdurchmusterung; Radiopulsare; Installation des COSMOS/UKST-Katalogs; komplexe Plasmen – numerische Simulationen; MEGA.

Pacific Northwest National Laboratory (PNNL), Richland: CAST.

Smithsonian Astrophysical Observatory, Cambridge: Chandra-LETGS.

Space Telescope Science Institute: 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; IN-TEGRAL-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 Maryland: SAMPEX; SOHO; ACE.

University of New Hampshire, Durham: SEPICA/ACE; COMPTEL; CLUSTER; SOHO; FAST; STEREO; MEGA.

University of Pittsburgh: Galaxienentstehung.

University of Southern California: SEM/CELIAS-Experiment auf SOHO.

University of Texas: Galaxienentstehung.

University of Toledo: Galaxienentstehung.

University of Washington: CLUSTER; CIS.

University Space Research Association, Moffett Field: SOFIA.

5.3 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.

AstroWise: ESO Garching, LMU München, Universität Bonn, Germany; Sterrewacht Leiden, Universitty of Groningen, The Netherlands; Osservatorio di Capodimonte, Napoli, Italy.

BeppoSAX: ASI Space Research Institute Utrecht, ESTEC Noordwijk, The Netherlands.

- CAST: CERN, Switzerland; TU Darmstadt, MPI für Physik (WHI), Germany; Universidad de Zaragoza, Spain; Bogazici University, Turkey; Ministry of Science and technology, Croatia; CEA/Sacklay DAP-NIA/SED, France; Pacific Northwest National Laboratory, 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 – <u>C</u>oronal <u>D</u>iagnostic <u>S</u>pectrometer for the Solar and Heliospheric Observatory: Rutherford Appleton Laboratory Chilton, Mullard Space Science Laboratory, University College London, Oxford University, UK; LPSP Verrieres-le-Buisson, Nice Observatory, France; Oslo University, Norge; ETH Zürich, Switzerland; GSFC Greenbelt, NRL Washington, HCO Cambridge, Stanford University, USA; Padova University, Turin University, Italy; MPAe Lindau, Germany.

CELIAS – Experiment for SOHO: MPAe 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/ Alabama, Massachusetts Institute of Technology Cambridge, Smithsonian Astrophysical Observatory Cambridge, USA; Space Research Institute Utrecht, The Netherlands; Universität Hamburg, Germany.

CIS-Experiment for CLUSTER: MPAe 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.

COMPTEL: ESTEC Noordwijk, SRON Utrecht, The Netherlands; University of New Hampshire Durham, USA. EDI-Experiment for CLUSTER: University of New Hampshire Durham, UC San Diego California, USA.

EGRET-Experiment auf dem GRO-Satelliten: GSFC/ NASA Greenbelt, Stanford University, Gruman Aerospace Corp. Bethpage, USA.

ESO-Key-Projekt (Rotverschiebungdurchmusterung 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, European Southern Observatory, 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, University of Huntsville, USA.
- GLAST Gamma-Ray Large Area Space Telescope: Stanford University Palo Alto, Naval Research Laboratory Washington DC, Sonoma State University, 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 Physics Dept. Seattle, SLAC Particle Astrophysics Group Palo Alto, USA; ICTP and INFN Trieste, Istituto Nacionale di Fisica Nucleare Trieste, Italy; University of Tokyo, Japan; CEA Saclay, France.
- Herschel Photodetector <u>Array C</u>amera and <u>Spectrometer PACS: 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.</u>
- IMPF International Microgravity Plasma Facility: Oxford University, England; Université d'Orléans CNRS, France; Institute for High Energy Densities Moscow, Russia; University of Iowa, U.S.A.; University of Tromsø, Norway; National Central Univ., Taiwan; Eindhoven Univ. of Technology, The Netherlands; Univ. 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, Russia.

INTEGRAL Science Data Centre: Observatoire de Genève Sauverny, Switzerland; Service d'Astro-physique Centre d'Etudes de Saclay, France; Rutherford Appleton Laboratory Oxon Dept. of Physics University Southhampton, UK; IAAT Universität Tübingen, Germany; Danish Space Research Institute Lyngby, Denmark; Dept. of Physics University College Dublin, Ireland; Istituto di Fisica Milano, Istituto die Astrofisica Spatiale Frascati, Italy; N. Copernikus 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 Nucleaire Université de Louvain, Belgium; Istituto di Fisica Cosmica e Tecnologia del CNR Milano, Italy; University de Valencia Burjassot, 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.

JET-X Spectrum-X/SWIFT: Rutherford Appleton Laboratory, University Leicester, University Birmingham, Mullard Space Science Laboratory, British National Space Centre, UK; Observatorio Astronomico di Brera, Istituto Fisica Cosmica e Informatica del CNR Palermo, Istituto Fisica Cosmica del CNR Milano, Universita Milano, Istituto Astronomico di Roma, Italy; Space Science Department ESTEC, Noordwijk, The Netherlands; Institute for Space Research, Moscow, Russia; Research Institute for Particle and Nuclear Physics, Budapest, Hungary.

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, USA; Osservatorio Astrofisico di Arcetri Firenze, Italy.

Lockman Hole, optical/NIR identifications: Astrophysikalisches Institut Potsdam, European Southern Observatory Garching, Germany; Istituto di Radioastronomia del CNR Bologna, Italien; Associated Universities Washington, California Institute of Technology Pasadena, Institute for Astronomy Honolulu, Princeton University Observatory Princeton, Pennsylvania State University University Park, Subaru Telescope NAO Japan Hilo, USA.

MEGA: GACE Univ. de Valencia, INTA Madrid, Spain; IASF, CNR Bologna, Italy; CESR Toulouse, France; University of New Hampshire, Columbia University N.Y., GSFC/NASA Greenbelt MD., NRL Washington D.C., University of Alabama AL., Los Alamos LANL, N.M., University of California, Riverside, CA., USA.

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, 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 Goddard Space Flight Center Greenbelt, USA; Universität Bern, Switzerland; Universität Kiel, Germany.

POE: Imperial College, Institute for Astronomy Edinburgh, UK; MPIA Heidelberg, Germany; IAP Paris, France; Leiden Observatory, The Netherlands; Padova Observatory, Italy; IAC La Laguna, Spain.

ROSITA: Saclay, France; Instituto de Fisica de Cantabria, Spain; Landessternwarte Heidelberg, LMU München, Universität Bochum, Universität Göttingen, Universität Hamburg, Universität Bonn, Universität Potsdam, Germany; SRON, The Netherlands; Geneva Observatory Switzerland; Institute of Astronomy, Cambridge, UK; Osservatorio Bologna, Italy.

SDSS (Sloan Digital Sky Survey): Univ. of Washington, Seattle, WA, 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.

SWIFT: NASA Goddard Space Flight Center, Penn State University, USA; University of Leicester, Mullard Space Science Laboratory, UK; Osservatorio Astronomico Brera, Italy.

WFXT: Brera Astronomical Observatory, Italy; University of Leicester, UK; Smithsonian Astrophysical Observatory Cambridge, USA.

XMM-Newton / SSC: Astrophysikalisches Institut Potsdam, Germany; SAP Saclay, CDS Strasbourg, CESR Toulouse, France; University of Leicester, Inst. of Astronomy Cambridge, MSSL London, UK. XMM-Newton / TS: ESTEC, Noordwijk, The Netherlands.

XMM-Newton: SAP Saclay, IAS Orsay, CESR Toulouse, France; University Leicester, University Birmingham, UK; CNR Mailand-Palermo-BolognaFrascati, Osservatorio Astronomico Mailand, Italy; Astronomisches Institut der Universität Tübingen, Germany.

5.4 ZUSAMMENARBEIT MIT FIRMEN / INDUSTRIAL COLLABORATIONS

Albedo GmbH, Neubiberg: Beratung bei der Entwicklung der Elektronik für das Antikoinzidenzsystem des INTEGRAL-Spektrometers SPI; Elektronik-Entwicklung und Fertigung für MEGA.

ANTEC GmbH, Kelkheim: Fertigung von Detektorarrays aus gedrücktem Ge:Ga und Bearbeitung von Detektorproben aus Galliumarsenid.

Barr Associates Inc., USA: Interferenzfilter für SPIFFI.

Buchberger GmbH, Tuchenbach: Fertigung Strukturteile für PANTER-Manipulatore und OPTIMA; SPIFFI; PARSEC; Strukturteile CAST und SWIFT.

Crismatec, Grenoble, Frankreich: Fertigung der BGO-Kristalle für das Antikoinzidenzsystem des INTEG-RAL-Spektrometers SPI.

Cryovac Tieftemperaturtechnik, Troisdorf: Bau des Kryostaten für SPIFFI/SINFONI; Konstruktion und Bau des Testkryostaten für Herschel-PACS.

Astrium, Friedrichshafen: Bau des Antikoinzidenzsystems für das INTEGRAL-Spektrometer SPI.

Drollinger, Birkenfeld: Vergoldung von Detektorteilen.

ESS, Landsberg: Wartung der Elektroinstallation; Ergänzung der Ansteuerungseinheit für das Vakuumpumpsystem; Fertigung von elektrischen Ansteuerungen für die Testanlagen PANTER; CALIFA und PU-MA.

Electron Tubes Ltd., Ruislip, UK: Fertigung der Photomultiplier für das Antikoinzidenzsystem des INTEG-RAL-Spektrometers SPI.

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: Bau des Bildzerlegers für SPIFFI/SINFONI.

Freyer GmbH, Tuningen: Fertigung von Strukturteilen für LBT-Hardpoints; LUCIFER; SPIFFI; PANTER.

Hyperfine Inc., Boulder, USA: Fertigung der Reflexionsgitter für SPIFFI/SINFONI; Fertigung Spiegel und Reflexionsgitter für FIFI-LS.

IMEC, Leuven, Belgium: Herstellung von kryogenen Ausleseelektronik-Schaltkreisen in neuer CMOS Technologie für IR-Detektoren auf Herschel.

Infraserv, Eching: Vakuumtechnische Einrichtungen.

Ingenieurbüro Buttler, Essen: Front-End Elektronikentwicklung für XEUS und ROSITA.

Ingenieurbüro Dohnalek, München: Entwurf FIFI-LS und Unterstützung beim Entwurf gedrückter Ge:Ga-Arrays.

Ingenieurbüro Weisz, München: Design und Konstruktion für SPIFFI/SINFONI; LUCIFER; KMOS und PACS Testoptik.

Jena Optronik GmbH, Jena: Unterauftragnehmer von DSS für den Bau des Antikoinzidenzsystems des IN-TEGRAL-Spektrometers SPI; 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; ROSITA.

KETEK, Oberschleißheim: Entwicklung und Fertigung von Halbleiterdetektoren.

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.

LT Ultra-Precision, Aftholderberg: Metalloptik für FIFI-LS.

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 OmegaCAM.

SCHOTT GLAS, Mainz: Machbarkeitsstudie zur Spiegelfertigung; XEUS.

- Siemens AG, München: Fertigung von Masken für pn-CCDs.
- Swiss Optik AG, Heerbrugg, Schweiz: Politur der Linsen von SPIFFI.
- TBL Kelpin, Neuhausen: Linsenrohlinge für SPIFFI.
- Technotron, Lindau: Entwicklung und Fertigung der Platinen Layouts für ROSITA.

- Thomas Markl GmbH, Deisenhofen: Fertigung von Strukturteilen für PACS.
- Vitron Spezialwerkstoffe GmbH, Jena: Lieferung von Linsenrohlingen für SPIFFI.
- Wacker Siltronik, Burghausen: Herstellung von Epitaxieschichten auf hochohmigem FZ-Silizium mit geringer metallischer Verunreinigung für ROSITA.

5.5 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 Forschungskooperationen bzw. Beratungstätigkeiten sowie erteilte Patente und vergebene Lizenzen aufgeführt.

A) Industriefinanzierte Forschungskooperationen / Research cooperations financed by industry

DZ Bank, Deutsche Zentralgenossenschaftsbank, Frankfurt: Physik von Finanzmärkten.

- Dr. Johannes Heidenhain-Stiftung, Traunreut: Technologische Entwicklung auf dem Gebiet der Röntgenoptik und Röntgenspektroskopie; Absolutkalibrierung eines Röntgen-CCD Systems.
- Knoll AG, Ludwigshafen: Analysen von Langzeitkardiogrammen.
- 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.

B 1) Lizenzen / licenses

Knoll AG, Ludwigshafen: Pharmakologie.

Linos AG / Rodenstock Präzisionsoptik, München: Melanomerkennung.

B 2) Lizenzverhandlungen / licensing agreements pending

Kayser-Threde GmbH, München: komplexe Plasmen.

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

C) Kooperationen mit Universitäten (vertraglich) / Cooperation with Universities (contracts)

Analyse komplexer Systeme:

Institut für Werkstofftechnik und Strukturforschung, Universität Bremen.

Anästhesiologie / anaesthesiology:

Klinik für Anästhesiologie, Klinikum Rechts der Isar, TU München.

Dermatologie / dermatology:

Dermatologische Klinik, Universität Regensburg; Fachhochschule München, Institut für Informatik und Mathematik; Institut für med. Statistik und Epidemilogie, TU München.

Rastersonden-Mikroskopie:

Institut für Kristallographie und Angewandte Mineralogie, Ludwig-Maximilians-Universität, München.

<u>Röntgendiagnostik / radio diagnostics:</u> Institut für med. Statistik und Epidemilogie, TU München; Institut für Röntgendiagnostik, TU München.

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
- Teilchenmanipulierung (D, Eu, USA, Japan, Russia); Pat.-Anm. 197 13 637.0

Melanomerkennung (D); Pat.-Anm. 197 54 909

Streifendetektor (Eu, USA, Japan); Pat.-Anm. PCT/DE 97/01015

Verfahren und Vorrichtung zur Segmentierung einer Punkteverteilung (D); Anmeldung: \# 199 28 231-5 Silicon Strip Detector (USA, Pat.No.: VS6,184,562 B1) Controlled Drift Detector, EP Appl. No. 988 300 89.3

5.6 STATISTIK / STATISTICS

Veröffentlichungen / Publications *)

| Referierte Zeitschriften / refereed journals | 300 (130) |
|--|-----------|
| Referierte Proceedings / refereed proc. | 31 (15) |
| Sonstige Publikationen / other publications | 123 (81) |
| Vorträge / talks | 440 |
| Poster | 86 |

Personal / **Personnel**

| Stammpersonal / staff total davon Wissenschaftler / staff scientists | 61 | 190 |
|---|----|------------|
| Drittmittelbeschäftigte / project funding davon Wissenschaftler / project scientists | 85 | 93 |
| Studenten (Ph. D.) | | 48 |
| Studenten (Diploma) | | 17 |
| Auszubildende (Lehrlinge)/apprentices | - | 9 |
| MPE Mitarbeiter (gesamt/total) | | 357 |
| Gastwissenschaftler und Stipendiaten/ guest scientists and fellows | - | 36 |
| Insgesamt / total | | <u>393</u> |

Veröffentlichungen pro Arbeitsgruppe / Publications per research group*)

| Arbeitsgruppe / research group | referierte Veröff. / refereed publ. | referierte Proc. / refereed proc. | sonst. Veröff. / other publ. | Vorträge / talks | Poster |
|--------------------------------|--|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------|--------|
| Plasma / plasma | 25 (6) | 1 (0) | 5 (2) | 22 | 5 |
| Infrarot / infrared | 64 (19) | 4 (3) | 24 (15) | 55 | 13 |
| Röntgen / X-ray | 78 (26) | 5 (2) | 51 (36) | 159 | 20 |
| Gamma / gamma | 35 (24) | 1 (0) | 16 (11) | 46 | 13 |
| Theorie / theory | 83 (52) | 20 (10) | 27 (17) | 143 | 34 |
| Astronomie / astronomy | 13 (1) | 0 | 0 | 15 | 1 |
| UV-Spektrosk. / UV- Spectr. | 2 (2) | 0 | 0 | 0 | 0 |

^{*)} Die in Klammern angegebenen Zahlen geben die Anzahl der Veröffentlichungen mit einem ersten Autor aus dem MPE an.

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.

Publications with contributions from more than one research group are classed with the group of the leading author.