

# Abschlussbericht

## ***Galaktische und extragalaktische Forschung mit XMM-Newton und dem HST***

Förderkennzeichen: 50 OR 0404

Astrophysikalisches Institut Potsdam  
An der Sternwarte 16  
14482 Potsdam

## Berichtsblatt

1. ISBN or ISSN	2. Berichtsart Abschlussbericht
3a. Titel der Berichtes Galaktische und extragalaktische Forschung mit XMM-Newton und dem HST	
3b. Titel der Publikation	
4a. Autoren des Berichts (Name, Vorname (n))  PD Dr. Axel Schwope, Dr. Georg Lamer, Dr. Robert Schwarz, Dr. Justus Vogel, Prof. Dr. Lutz Wisotzki, Dr. Hans Zinnecker,	5. Abschlußdatum des Vorhabens Januar 2010
	6. Veröffentlichungsdatum
4b. Autoren der Publikation (Name, Vorname (n))	7. Form der Publikation
	9. Ber. Nr. durchführ. Institution
8. Durchführende Institution (en) (Name, Adresse)  Astrophysikalisches Institut Potsdam  An der Sternwarte 16, 14482 Potsdam	10. Förderkennzeichen 50OR0404
	11a. Seitenzahl Bericht 33
	11b. Seitenzahl Publikation
13. Fördernde Institution (Name, Adresse) Raumfahrt-Agentur des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. Königswinterer Str. 522 - 524  53227 Bonn	12. Literaturangaben
	14. Tabellen
	15. Abbildungen 2
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung Das Röntgenobservatorium XMM-Newton und das Hubble Weltraum Teleskop haben je auf ihre Art eine völlig neuen Blick auf verschiedene Himmelskörper und die darin ablaufenden physikalischen Prozesse ermöglicht. Wissenschaftler des AIP (Astrophysikalisches Institut Potsdam) haben im Wettbewerb mit der weltweiten astronomischen <i>community</i> umfangreiche Beobachtungen mit den beiden Weltraumteleskopen durchgeführt. Alle Beobachtungen waren neuartig und erlaubten Einblicke in die Akkretionsphysik enger Doppelsterne sowie die Emissions- und Entwicklungsprozesse in den Kernen aktiver Galaxien. Die Einzelergebnisse wurden in einer Vielzahl einzelner Publikationen in referierten astronomischen Fachzeitschriften sowie auf internationalen Konferenzen vorgestellt. Alle neu gewonnenen Daten werden in frei zugänglichen Datenarchiven der ESA/NASA der <i>community</i> zur weiteren Auswertung zur Verfügung gestellt. Insgesamt vier Nachwuchswissenschaftler konnten sich durch die Auswertung der prestigeträchtigen Daten mit einer im Vorhaben erreichten Promotion qualifizieren. Die Anwendungsmöglichkeiten liegen auf dem Gebiet der astronomischen Grundlagenforschung, sie haben unsere Kenntnisse der Astrophysik erweitert und zu Folgeprojekten unter Beteiligung der AIP-Wissenschaftler geführt.	
19. Schlagwörter	
20. Verlag	21. Preis

## Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. Type of Report Final report
3a. Report Title Galaktische und extragalaktische Forschung mit XMM-Newton und dem HST	
3b. Title of Publication	
4a. Author(s) of the Report (Family Name, First Name (s))  PD Dr. Axel Schwope, Dr. Georg Lamer, Dr. Robert Schwarz, Dr. Justus Vogel, Prof. Dr. Lutz Wisotzki, Dr. Hans Zinnecker	5. End of Project January 2010
4b. Author (s) of the Publication (Family Name, First Name (s))	6. Publication Date
8. Performing (Organisation(s) (Name, Address))  Astrophysikalisches Institut Potsdam An der Sternwarte 16, 14482 Potsdam	7. Form of Publication
13. Sponsoring Agency (Name, Address)  Raumfahrt-Agentur des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. Königswinterer-Str. 522 - 524 53227 Bonn	9. Originator's Report No.
16. Supplementary Notes	10. Reference No. 50 OR 0404
17. Presented at (Title, Place, Date)	11a.No. of Pages Report 33
18. Abstract  The X-ray observatory XMM-Newton and the Hubble Space Telescope have changed the view and the way to explore the Universe and celestial objects. Scientists of the AIP (Astrophysical Institute Potsdam) have won in competition with the worldwide astronomical community comprehensive observation time with the space telescope. All the observations were the first of its kind and gave detailed insight into the physics of accretion in close binary stars on the one hand and the emission and evolutionary processes in the cores of active galactic nuclei. Individual results were published in a large number of papers in international refereed journals and in contributions to international conferences. All new data are freely accessible for further exploitation through the community via online data bases hosted by ESA and NASA. A total of 4 young scientist reached their PhD degree through data analysis and modelling in the project. The immediate use is of scientific nature, they led to follow-up projects with participation of the AIP-scientists.	11b. No. of Pages Publication
19. Keywords	12. No. of References
20. Publisher	14. No. of Tables
21. Price	15. No. of Figures 2

## Erfolgskontrollbericht

(als Anlage zum Abschlußbericht gem. § 5b.2.3. An-Best. P-BMBT)

Bericht wird nicht veröffentlicht. Es kann auf Abschnitte des Schlußberichtes verwiesen werden!

Der Bericht soll folgende kurze Angaben enthalten:

1. Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen des Förderprogramms
2. Wissenschaftlicher oder technischer Erfolg des Vorhabens
3. Einhaltung des Finanzierung- und Zeitplans
4. Verwertbarkeit des Ergebnisse
5. Erfindungen, Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte sowie deren Verwertung
6. Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben

Vorhaben : Galaktische und extragalaktische Forschung mit XMM-Newton und dem HST  
FKZ : 50 OR 0404  
Laufzeit : 1.9.2004 – 31.10.2010  
AN/ZE :  
Projektleiter : PD Dr. Axel Schwope

Bezug zu den förderpolitischen Zielen: Das Vorhaben wurde gefördert mit Mitteln der Verbundforschung Extragalaktik, das den beteiligten Wissenschaftlern des AIP gestattete, ihre als PI erworbenen Beobachtungsvorhaben mit XMM-Newton (ESA) und dem Hubble-Weltraumteleskop (NASA/ESA) mit personeller Verstärkung und daher zeitnah zu analysieren und die Ergebnisse in den wissenschaftlichen Kontext einzubetten.

Wissenschaftliche-technische Ergebnisse: Im Rahmen des Vorhabens wurden Beobachtungsdaten der Weltraumobservatorien XMM-Newton und HST ausgewertet. Die Ergebnisse sind einerseits im Schlussbericht im Überblick dargestellt, eine wesentlich detailliertere Darstellung der erzielten Ergebnisse andererseits geben die in großem Umfang aus dem Vorhaben generierten Veröffentlichungen in referierten astronomischen Fachzeitschriften, die für jedes der geförderten Teilprojekte ebenfalls im Schlussbericht aufgelistet wurden. Insgesamt vier Doktorarbeiten sind aus dem Projekt hervorgegangen.

Fortschreiben des Verwertungsplanes:

Es wurden keine Schutzrechtsanmeldungen vorgenommen.

Das Vorhaben zielte nicht auf unmittelbaren wirtschaftlichen Erfolg ab, das Vorhaben lag auf dem Gebiet der astrophysikalischen Grundlagenforschung. Mittelbarer wirtschaftlicher Erfolg wird durch die qualifizierte Ausbildung von Nachwuchswissenschaftlern erreicht.

Der wissenschaftliche Erfolg ist durch eine Stärkung der deutschen Präsenz in der Analyse von Satellitendatenexperimenten zu sehen. Die Ergebnisse wurden in internationalen Fachzeitschriften publiziert, auf internationalen Konferenzen präsentiert, die originalen Beobachtungsdaten stehen in frei zugänglichen Datenbanken für eine mögliche weitere Datenauswertung zur Verfügung.

Die wissenschaftliche Anschlussfähigkeit ist durch weitere aus dem Vorhaben generierte erfolgreiche Beobachtungsanträge mit XMM-Newton und HST gezeigt. Die Nachwuchswissenschaftler haben sich erfolgreich auf Wissenschaftlerstellen im In- und Ausland beworben.

Arbeiten, die zu keiner Lösung führten, wurden im Einzelfall eingestellt (siehe Schlussbericht), der Erfolg des Gesamtprojekts war durch derlei singuläre Ereignisse nicht wesentlich beeinträchtigt.

Die internationale community zieht Nutzen aus dem Vorhaben durch die publizierten Fachartikel und die archivierten Beobachtungsdaten, die für eine Weiternutzung frei zur Verfügung stehen.

Der Zeit- und Kostenplan wurde weitgehend eingehalten, Feinjustierungen erfolgten in Absprache mit den Administratoren des DLR.

## Schlußbericht zum DLR Projekt 50 OR 0404:

### Galaktische und extragalaktische Forschung mit XMM und dem HST

## 1 Allgemeine Vorbemerkung

Das bewilligte Vorhaben gliederte sich über die Laufzeit des Vorhabens in insgesamt acht Teilprojekte mit je unterschiedlicher Laufzeit. Die folgende Liste gibt einen Überblick über die geförderten Teilprojekte, wobei der AIP-interne PI (Principal Investigator) jeweils in Klammern aufgeführt wird. Er ist jeweils inhaltlich für den Teilbericht verantwortlich, der in seiner Struktur den Richtlinien zur Abfassung eines Schlussberichtes folgt.

- 1 Spektrale Untersuchungen von extrem leuchtkräftigen Quasaren mit XMM-Newton (Lamer)
- 2 Röntgenspektren magnetischer CVs (Schwope)
- 3 Röntgenvariabilität kompakter Objekte und sonnennaher Sterne (Schwope)
- 4 Neue Einblicke in die Akkretionsscheibenphysik und Doppelsternentwicklung mit HST und XMM-Newton (Schreiber, Schwope)
- 5 Suche nach Planeten um Weiße Zwerge (Zinnecker)
- 6 GEMS: Eine Studie der Galaxienentwicklung mit dem Hubble Weltraumteleskop (Wisotzki)
- 7 Die kosmologische Entwicklung von Quasar-Hostgalaxien zwischen  $z = 2$  und  $z = 0$  (Wisotzki)
- 8 Dynamik des Strahlungsmechanismus superweicher Röntgenquellen (Schwarz)

Alle Teilvorhaben und damit natürlich in Summe auch das Gesamtvorhaben gründeten sich auf Beobachtungsdaten, die von Wissenschaftlern des AIP an den Weltraumobservatorien XMM-Newton und HST gegen große internationale Konkurrenz eingeworben wurden. Ein ganz wesentliches und vordringliches Ziel dieses Vorhabens und seiner Teilbereiche war daher die Auswertung und Publikation der an den internationalen Großobservatorien gewonnenen prestigeträchtigen Daten. Über die Voraussetzungen, die Durchführung und die erzielten Ergebnisse in den Teilprojekten informieren die folgenden Kapitel. Wegen großer inhaltlicher Nähe und um der Stringenz des Berichtes willen, wird für die Teilprojekte 2 – 4 ein gemeinsamer Bericht vorgelegt.

## 2 Spektrale Untersuchungen von extrem leuchtkräftigen Quasaren mit XMM-Newton

### 2.1 Einleitung

Das Projekt “Spektrale Untersuchung von extrem leuchtkräftigen Quasaren mit XMM-Newton” basiert auf mehreren XMM-Newton Beobachtungen.

Primäres Ziel dieser Beobachtungen war es, die Röntgenspektren einer kleinen Stichprobe von sehr leuchtkräftigen Quasaren zu untersuchen. Bis zum Start der Satelliten *XMM-Newton* und *Chandra* war eine detaillierte Röntgenspektroskopie von aktiven Galaxienkernen (AGN) nur für sehr nahe und daher flusshelle Objekte möglich. Da leuchtkräftige Quasare sehr selten sind, sind diese lokalen Objekte durchweg leuchtschwach.

Um Spektren möglichst hoher Qualität zu erhalten, wurden Röntgenfluss-helle Objekte aus dem ROSAT Bright Survey (RBS) Katalog ausgewählt und mit XMM-Newton beobachtet:

XMM Obs ID	Objekt	Zeit	PI	Beobachtet
0150180101	RBS 315	22 ksec	Lamer	AO2 25/07/2003
0207130401	RBS 1423	20 ksec	Lamer	AO3 11/02/2005
0207130201	RBS 825	60 ksec	Lamer	AO3 20/04/2004

### 2.2 Einzelheiten des Vorhabens

Die Zuwendung wurde zur Finanzierung einer halben wissenschaftlichen Mitarbeiterstelle (Doktorandenstelle) genutzt. Die Stelle wurde vom 1.10.2004-30.9.2007 mit Herrn Mirko Krumpe besetzt. Die zur Verfügung stehenden Reisemittel wurden zum Besuch von Konferenzen und für Arbeitsaufenthalte bei Fachkollegen genutzt.

Durch folgende Umstände wurden der Zeitplan und die wissenschaftliche Ausrichtung des Projekts im Vergleich zu den Angaben im Antrag wesentlich geändert:

- Kurz vor der XMM-Beobachtung von RBS 825 wurde anhand von Daten des Sloan Digital Sky Survey SDSS (von anderer Seite) entdeckt, daß es sich bei dieser Quelle um einen Quasar handelt, der durch die Gravitationslinsenwirkung eines Galaxienhaufens vierfach abgebildet und im Fluss hoch verstärkt wird. Ein reequst für eine TOO (target of opportunity) Beobachtung wurde von dieser Seite an den XMM-Newton Projektwissenschaftler gestellt jedoch abgelehnt, weil das Target dem AIP “gehörte”. Die dem AIP zugesagte Beobachtungszeit mit XMM-Newton wurde daraufhin jedoch verdoppelt. Mit den Röntgen- und Ultraviolettdaten des XMM-Newton Satelliten wurde alle gelinsten Bilder des Quasars aufgelöst und die Spektralverlauf jedes Bildes etabliert. Einerseits zeigte die XMM-Newton Beobachtung hochinteressante Effekte wie stark wellenabhängige Flussverstärkung, die auf “micro-lensing” in mindestens einer Komponente hinweisen (Lamer et al. 2006). Andererseits gehört das Objekt damit aber nicht mehr zur Klasse der intrinsisch röntgen-leuchtkräftigsten Quasare.
- Durch die XMM-Newton Beobachtung des Objekts RBS 1423 und die gegenüber dem ROSAT survey stark verbesserte Positionsbestimmung stellte sich heraus, daß es sich bei dieser Röntgenquelle nicht um den im RBS katalogisierten Quasar bei  $z=2.26$  handelt,

sondern vielmehr um einen relativ leuchtschwachen Quasar bei  $z=0.208$  (Krumpe et al. 2007b).

- Die XMM-Daten des leuchtkräftigsten (und einzigen radio-lauten) Quasars der Stichprobe RBS 315 wurden noch vor Beginn des Förderzeitraums dieses Vorhabens im XMM-Datenarchiv veröffentlicht. Eine Analyse des Spektrums wurde bald darauf durch eine Arbeitsgruppe am XMM-SOC veröffentlicht (Piconcelli & Guainazzi 2005).

Nach dem Wegfall der Objekte RBS 825 und RBS 1423, deren Leuchtkraft zuvor mit  $L_X > 10^{46}$  erg/s angenommen wurde, besitzen die leuchtkräftigsten Objekt im RBS Katalog Röntgenleuchtkräfte von wenigen  $10^{45}$  erg/s. Damit ist klar, daß zumindest im Rotverschiebungsbereich  $z \leq 2$  keine wesentlich leuchtkräftigeren radio-leisen Quasare existieren.

Das Projekt zur Untersuchung der leuchtkräftigsetn Quasare wurden neu ausgerichtet und weiterverfolgt. Mit einem erfolgreichen XMM-Newton Beobachtungsantrag wurden 2 weitere radio-leise Objekte aus dem RBS Katalog beobachtet:

XMM Obs ID	Objekt	Zeit	PI	Beobachtet
0555020101/601	RBS 1124	31 ksec	Krumpe	15/05/2008
0555020201	RBS 1055	33 ksec	Krumpe	11/05/2008

Diese Beobachtungen und weitere 2 XMM-Newton Archiv - Datensätze von RBS Quasaren wurden inzwischen analysiert, die Veröffentlichung steht unmittelbar bevor. Die vollständige wissenschaftliche Auswertung liegt allerdings außerhalb des Zeitrahmens des hier beschriebenen Vorhabens.

Der Schwerpunkt der wissenschaftlichen Arbeit und der Dissertation vom Herrn Krumpe wurde auf die Auswertung der XMM-Newton Beobachtungen im “Marano-Feld” gelegt. Diese Beobachtungen wurden im Rahmen des XMM-Newton Garantiezeitprogramms in Zusammenarbeit zwischen dem AIP und des Instituts für Astronomie und Astrophysik der Universität Tübingen durchgeführt.

### Ziele und Ergebnisse:

- Insgesamt wurden in den XMM Beobachtungen im Marano Feld 328 Röntgenquellen gefunden. 140 der Objekte konnten anhand optischer Spektroskopie zweifelsfrei identifiziert werden (Krumpe et al. 2007a).
- Ein wichtiges Ziel der XMM-Newton Mission ist das Auffinden von Seyfert-Typ II Galaxien und Typ II Quasaren, insbesondere um deren Bedeutung zur Entstehung des kosmischen Röntgenhintergrundes aufzuklären. Sowohl die optische als auch die Röntgenemission diese Objekte sind stark durch Gas und Staub absorbiert. Durch die relativ große Surveyfläche im Marano-Feld und die gute Qualität der am VLT aufgenommenen Identifikationsspektren resultierte aus diesem Projekt eine große Stichprobe von spektroskopisch bestätigten Typ II AGN (36 Objekte).
- In Zusammenarbeit mit dem XMM Survey Science Consortium wurde aus dem Marano-Feld und den XMM SSC Identifikationsprogrammen eine Stichprobe von 22 leuchtkräftigen Typ II Quasaren zusammengestellt. In dieser (damals größten) Stichprobe wurde die intrinsische Absorption der Röntgenspektren ermittelt. Es zeigte sich, daß die absorbierenden Säulendichten unabhängig von Leuchtkraft und Rotverschiebung  $10^{22} - 10^{23} \text{ cm}^{-2}$  betragen (Krumpe et al. 2008). In den gemittelten Spektren der leuchtkräftigen Typ

II Quasare konnte keine Fluoreszenzlinie des Eisens bei 6.4 keV nachgewiesen werden. Zusammen mit den gemessenen Säulendichten spricht dies gegen die Detektion von sehr hoch absorbierten (“Compton-thick”) Quasaren in der Stichprobe.

**Parallele Fortschritte:** Da Untersuchungen zum kosmischen Röntgenhintergrund einen großen Stellenwert für die *XMM-Newton* und *Chandra* Missionen haben, sind zahlreiche Gruppen auf dem Gebiet der Typ II AGN und Quasare aktiv. Da die meisten Untersuchungen jedoch auf kleinere Surveyflächen (einzelne tiefe Beobachtungen mit *Chandra* oder XMM), wurden hier nur einige wenige Typ II Quasare gefunden. Ergebnisse zu der erwarteten großen Zahl von Typ II Objekten im *XMM-Newton* COSMOS-survey wurde bisher noch nicht in einer referierten Zeitschrift veröffentlicht.

**Notwendigkeit und Angemessenheit der Arbeit:** Die geförderte Arbeit ist gemessen am Aufwand für eine Doktorandenstelle überaus erfolgreich. Das Vorhaben hat zu mehreren Veröffentlichungen in referierten Journalen geführt, die international beachtet werden. Zudem konnten im Rahmen des Vorhabens weitere XMM-Newton Beobachtungen eineworben werden. Herr Krumpe hat seine Dissertation kurz nach Ablauf des Förderzeitraums eingereicht und erfolgreich verteidigt.

**Nutzen und Verwertbarkeit:** Als Beitrag zur wissenschaftlichen Grundlagenforschung wird kein unmittelbarer wirtschaftlicher Nutzen aus dieser Arbeit erwartet. Durch die vollständige und zügige Veröffentlichung aller Beobachtungsdaten können die Ergebnisse von der wissenschaftlichen Gemeinschaft weiterhin genutzt werden. Methoden und Software, die im Rahmen des Vorhabens entwickelt wurden, werden am AIP weiterhin genutzt.

**Veröffentlichung der Ergebnisse:** Sämtliche Ergebnisse aus den dieser Zuwendung zugrundeliegenden XMM-Newton Beobachtungen und der Beobachtungen im Marano Feld wurden inzwischen veröffentlicht. Die Veröffentlichung der im Jahr 2008 als Erweiterung der Stichprobe leuchtkräftige Quasare durchgeführten *XMM-Newton* Beobachtungen steht unmittelbar bevor. Eine Liste von referierten Veröffentlichungen, die unmittelbar mit dem geförderten Vorhaben in Zusammenhang stehen, wird nachfolgend aufgeführt.

### 2.3 Aus dem Teilvorhaben resultierende Veröffentlichungen

Lamer, G., Schwobe, A., Wisotzki, L., Christensen, L., 2006: *Strange magnification pattern in the large separation lens SDSS J1004+4112 from optical to X-rays*, A&A, 454, 493

Krumpe, M., Lamer, G., Schwobe, A. D., Wagner, S., Zamorani, G., Mignoli, M., Staubert, R., Wisotzki, L., Hasinger, G., 2007: *The XMM-Newton survey in the Marano field. I. The X-ray data and optical follow-up*, A&A, 466, 41

Krumpe, M., Lamer, G., Schwobe, A. D., Husemann, B., 2007: *RBS1423 - a new QSO with relativistic reflection from an ionised disk*, A&A, 470, 497

Garcet, O., Gandhi, P., Gosset, E., Sprimont, P. G., Surdej, J., Borkowski, V., Tajer, M., Pacaud, F., Pierre, M., Chiappetti, L., Maccagni, D., Page, M. J., Carrera, F. J., Tedds, J. A., Mateos, S., Krumpel, M., Contini, T., Corral, A., Ebrero, J., Gavignaud, I., Schwobe, A., Le Fevre, O., Polletta, M., Rosen, S., Lonsdale, C., Watson, M., Borczyk, W., Vaisanen,

P., 2007: *The XMM large scale structure survey: optical vs. X-ray classifications of active galactic nuclei and the unified scheme*, A&A, 474, 473

Krumpe, M., 2007: *X-ray and optical properties of X-ray luminous active galactic nuclei*  
Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades "Dr. rer. nat." in der Wissenschaftsdisziplin "Astrophysik" der Universität Potsdam

Krumpe, M., Lamer, G., Corral, A., Schwope, A. D., Carrera, F. J., Barcons, X., Page, M., Mateos, S., Tedds, J. A., Watson, M. G., 2008: *X-ray absorption in distant type II QSOs*, 2008, A&A, 483, 415

Corral, A., Page, M. J., Carrera, F. J., Barcons, X., Mateos, S., Ebrero, J., Krumpe, M., Schwope, A., Tedds, J. A., Watson, M. G., 2008: *Average Fe K $\alpha$  emission from distant AGN*, A&A, 492, 71

Mateos, S., Carrera, F. J., Page, M. J., Watson, M. G., Corral, A., Tedds, J. A., Ebrero, J., Krumpe, M., Schwope, A., Ceballos, M. T., 2010: *The XMM-Newton Wide Angle Survey (XWAS): the X-ray spectrum of type-1 AGN*, A&A, 510, 35

### 3 (A) Röntgenspektren magnetischer CVs (B) Röntgenvariabilität kompakter Objekte (C) Neue Einblicke in die Akkretionsscheibenphysik und Doppelsternentwicklung

#### 3.1 Einleitung

Alle drei Teilprojekte zielten u.a. auf ein vertiefteres Verständnis der Phänomene im Zusammenhang mit der Akkretion in engen Doppelsternen, der Entwicklung dieser Objekte und der Rolle, die das Magnetfeld in beiden Aspekten spielt. Der Variabilitätsaspekt umfasste des weiteren eingehende Studien der physikalischen Parameter der mit ROSAT neu entdeckten Klasse der isolierten Neutronensterne.

Ausgangspunkt aller Analysen waren viele einzelne erfolgreiche Beobachtungsanträge, die in erster Linie mit XMM-Newton aber auch mit dem HST von Wissenschaftlern des AIP als PI gewonnen wurden. Die Physik der hier untersuchten Objekte laesst nur dann weiterreichende Schlüsse zu, wenn auch Beobachtungen in anderen Wellenlängenbereichen die durch die Verbundforschung geförderten Untersuchungen begleiten.

Einen Überblick über die in den verschiedenen Teilbereichen eingeworbenen und ausgewerteten Satellitenbeobachtungsdaten gibt die Tabelle 1.

Alle Beobachtungsvorhaben waren auf einzelne targets ausgerichtet und ein primäre Ziele in den Teilvorhaben waren auch jeweils die Auswertung und Publikation solcher Einzelbeobachtungen. Oftmals wurden pro Objekt sehr umfangreiche Multispektraldatensätze zusammengetragen. Schlussfolgerungen vom Einzelnen auf das Ganze erfordern auch die Hinzunahme archivierter Daten, z.B. aus dem XMM-Newton science archive XSA.

Stand der Wissenschaft zu Beginn des Vorhabens:

#### **Teilprojekt 1: Magnetische kataklysmische Veränderliche**

Das Projekt baut im Wesentlichen auf dem nach Abschluss der ROSAT-Mission vorhandenen Wissensstand auf. Aufbauend auf dem sog. Standardmodell eines hydrodynamischen Stoßes (Lamb & Masters 1979) bei dem heißes Plasma durch Zyklotron- und Bremsstrahlung über der Polregion des Weißen Zwerges kühlt wurden Modifikationen beschrieben, die entweder für besonders hohe bzw. niedrige spezifische Akkretionsraten Anwendung finden. Bei der sogenannten 'blobby accretion' wird von der subatmosphärische Akkretion dichter Materieklumpen (Kuijpers & Pringle 1982) ausgegangen, die als Ursache für die intensive Schwarzkörperstrahlung mancher Systeme im weichen Röntgenbereich angenommen wird ('soft X-ray excess'). Im Falle der 'bombardement accretion', also bei sehr geringen spezifischen Akkretionsraten, erfolgt die Kühlung überwiegend durch optische Zyklotronstrahlung und es bildet sich kein Stoß (Woelk & Beuermann 1992). Ein Ziel unserer Beobachtungen war die Überprüfung dieser Akkretionszenarien in Abhängigkeit von wesentlichen Systemparametern (Akkretionsrate, Magnetfeldstärke, Geometrie) für einige ausgewählte Einzelobjekte. Polare und intermediäre Polare sind magnetische kataklysmische Veränderliche, bestehend aus einen Spättyp-Hauptreihenstern und einem akkretierenden magnetischen Weißen Zwerg. Das Magnetfeld des Weißen Zwerges führt zur Spin-Bahn Synchronisation des Weißen Zwerges, es drückt den inneren Rand einer möglichen Scheibe nach außen, führt die akkretierte Materie in gerichteten Strömen in die Polregionen des Weißen Zwerges und dort zu intensiver Zyklotronstrahlung. Die Zyklotronstrahlung ist aufgrund der hohen Magnetfeldstärken in den optischen Spektralbereich verschoben und bietet im Zusammenspiel mit der Röntgenstrahlung aus den Kühlregionen der Akkretionsflecken große diagnostische Möglichkeiten.

Tabelle 1: Übersicht über die in Vorbereitung oder im Rahmen des Projektes eingeworbenen Beobachtungsdaten mit XMM-Newton. Jede Zeile steht für einen eigenen erfolgreichen Beobachtungsantrag.

AO/Prio	Target	Exp	AIP as PI/CoI	Ref.
GT	HU Aqr	38	PI	1,8
GT	UZ For	24	PI	1
AO2	HU Aqr	26	PI	1,2,8
AO2	HU Aqr	12	PI	1,2,8
AO3	WX LMi	33	PI	3
AO4	AM Her	32	PI	4
AO4	HU Aqr	18	PI	2,8
AO4	Paloma	63	PI	5
AO4	Soft Polars	20	CoI	6
AO4	RXJ062518.2+7333	35	PI	7
AO4	RXJ115928.5-524717	30	PI	
AO4	RBS1223	60	PI	11
AO4	HS0220+0603	13	PI	
AO4-TOO	V446 Her	13	PI	
AO5	Soft Polars	20	CoI	
AO5-TOO	Bright Polars	43	PI	9
AO6-TOO	Bright Polars	50	PI	9
AO7-TOO	Bright Polars	43	PI, to be triggered	
AO7	HS0922+39	48	PI	10
AO8-TOO	Bright Polars	42	PI, to be triggered	
AO8	RBS1955	54	PI	
AO9-TOO	AR UMa	24	PI, to be triggered	
AO9	V405 Peg	44	PI	
AO9	EF Eri	63	CoI	

Referenzen: (1) Schwope et al. 2004, ASPC 315, 230; (2) Schwarz et al. 2006, 2008, ESA SP-604, 295 sowie A&A submitted; (3) Vogel et al. 2007, A&A 464, 647; (4) Schwope et al. 2006, ESA SP-604, 297; (5) Schwarz et al. 2007, A&A 473, 511; (6) Traulsen et al. 2009, A&A, subm; (7) Staude et al. 2008, A&A 486, 899; (8) Schwarz et al. 2009, A&A 496, 833; (9) Schwope et al. 2008, Online Presentation 'Wild Stars in the Old West 2009'; (10) Vogel et al. 2010, submitted; (11) Schwope et al. 2007, APSS 308, 619

Die von uns ausgewählten Objekte haben Schlüsselcharakter für das Verständnis magnetischer Akkretion auf Weißen Zwergen. Hauptziel der Beobachtungen war eine detaillierte Spektralanalyse, aus der sowohl die Gesamtenergiebilanz des Akkretionsprozesses, als auch die Verteilung der einzelnen Emissionskomponenten erschlossen werden sollte. Die Analysen beruhen im wesentlichen auf phasenaufgelöster EPIC-Spektroskopie bzw. OM-Photometrie, sowie begleitender optischer Spektroskopie/Photometrie.

Stand der Wissenschaft zu Beginn des Vorhabens:

### **Teilprojekt 2: Isolierte Neutronensterne**

Die ROSAT-Mission führte zur Entdeckung der ersten 7 isolierten Neutronensterne, in denen die Atmosphäre eines solchen kompakten Objektes frei von nicht-thermischen Komponenten, frei von überlagerten Effekten durch Akkretion von einem Begleitstern und frei von der Emission aus einem Supernovaüberrest studiert werden konnte. Die gegenüber den Voraussetzungen vor der ROSAT-Mission doch sehr geringe Zahl gefundener Objekte verlangte nach einer Klärung des Heizungsmechanismus der wenigen gefundenen Objekte. Wichtig war es, Kenntnis über die spektrale Gestalt, mögliche Zeitveränderungen, mögliche Ortsveränderungen

gen (Eigenbewegungen) und mögliche spektrale Merkmale zu erlangen. Dazu wurden umfangreiche Beobachtungen mit dem XMM-Newton Satelliten, dem Observatorium Chandra sowie bodengebundenen Teleskopen wie dem VLT, dem SUBARU-Teleskop und dem LBT durchgeführt.

Stand der Wissenschaft zu Beginn des Vorhabens:

### **Teilprojekt 3: Doppelsternentwicklung**

Die Entwicklung enger Doppelsterne und die sie treibenden Kräfte ist seit Jahren umstritten und heiss diskutiert. Das gängige Modell des Drehimpulsverlustes in einem Roche-Volumen füllenden engen Doppelstern vom CV-Typ der diskontinuierlichen magnetischen Bremsung (DMB) führte zu Vorhersagen, die an bekannten Stichproben nicht zu verifizieren waren. Wir haben daher das Feld erweitert und versuchten, derlei offene Fragen der Doppelsternentwicklung durch eine Analyse einer großen Stichprobe prä-kataklysmischer Doppelsterne zu erzielen. Dazu wurden einerseits die AIP-Beteiligung am SDSS-II Projekt ausgenutzt, andererseits wurden Röntgenbeobachtungen magnetischer prä-CVs ausgewertet.

## **3.2 Durchführung des Vorhabens**

### **3.2.1 Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse**

Die wichtigste und am dringendsten zu erwerbende Ressource um die in den Anträgen an das DLR beschriebenen Vorhaben durchführen zu können, ist Arbeitskraft. Mit den zugewiesenen Mitteln wurden daher in erster Linie (Nachwuchs-)Wissenschaftler gefördert, die im Rahmen ihrer Dissertation oder als Postdoc Satellitendaten und begleitende bodengebunden erworbene Daten auswerteten und ihre Ergebnisse der Fachwelt vorstellten. Die in den hier beschriebenen Teilvorhaben eingesetzten Mitarbeiter waren:

Matthias Schreiber	Postdoc	1.10.2004 – 28.2.2006
Ada Nebot Gomez-Moran	Doktorandin	15.4.2006 – 31.12.2009
Justus Vogel	Doktorand	1.10.2004 – 30.9.2007
	postdoc	1.3.2008 – 28.2.2009
Robert Schwarz	Postdoc (75%)	01.10.2004 – 30.9.2007
Andreas Staude	Postdoc (25%)	01.11.2005 – 28.2.2007
Valeri Hambaryan	Postdoc	1.9.2006 – 31.8.2007

Die eingeworbenen Mittel wurden desweiteren dazu genutzt, die Ergebnisse auf Fachkonferenzen vorzustellen, bzw. bei Arbeitsbesuchen zu konsolidieren. Matthias Schreiber wurde auf eine Professorenstelle an der Universität Valparaiso (Chile) berufen. Justus Vogel und Ada Nebot Gomez-Moran konnten ihre in der Laufzeit des Vorhabens eingereichten Dissertationen erfolgreich verteidigen.

### **Ergebnisse Teilprojekt 1: Magnetische kataklysmische Veränderliche**

**HU Aqr** Im Rahmen des Projekts wurden vier XMM-Beobachtungen analysiert, bei denen das System jeweils zweimal mit intermediären bzw. sehr niedrigen Akkretionsraten angetroffen wurde. Das herausragende und überraschende Ergebnis dieser Beobachtungen ist eine weitgehend ausgeglichene, dem Standardmodell entsprechende Energiebilanz des Systems im intermediären Akkretionszustand. Daraus folgt eine Abhängigkeit des 'soft X-ray excess' von der Gesamtakkretionsrate, die sich nach dem Modell von Frank et al. (1988) durch Dichteveränderungen in der Kopplungsregion erklären lässt.

Die Röntgenemission im Zustand stark reduzierter Akkretionsrate ähnelt in ihren spektralen Eigenschaften denen der Prä-Polare (Vogel et al. 2007), und kann entweder durch kühle thermische Strahlung aus der Akkretionssäule oder koronale Aktivität des Begleitsterns erklärt werden. Das Ergebnis bleibt mehrdeutig. Im letzteren Fall läge die gemessene Röntgenemission am oberen Rand des Sättigungslimits aktiver Hauptreihensterne (Pizzolato et al. 2003).

Als weiteres wichtiges Ergebnis konnte aus der Untersuchung aller bisher gemessenen Bedeckungszeitpunkte eine Langzeitephemeride abgeleitet werden, die auf deutliche Variationen der Bahnperiode hinweist. Die Beobachtungen deuten zum einen auf eine starke Verringerung der Bahnperiode durch 'magnetisches Bremsen' hin, das für den Entwicklungszustand von HU Aqr eigentlich nicht zu erwarten ist. Desweiteren könnten periodische Schwankungen mit Perioden von 6 bzw. 11 Jahren auf weitere bisher unbekannte planetare Begleiter mit ca. vier Jupitermassen zurückzuführen sein.

Im Mai 2005 wurde HU Aqr parallel zur XMM-Newton Beobachtung mit dem ESO 8m VLT beobachtet. Das dabei verwendete ULTRACAM Instrument ermöglichte zeitlich hoch aufgelöste 3-Farben-Photometrie. Da sich HU Aqr zum Zeitpunkt der Beobachtung in einem Zustand mit stark verringerter Akkretionsrate befand, zeigt sich in den Lichtkurven, neben einer schwachen Restzyklotronkomponente, klar der Weiße Zwerg. Dieser wird normalerweise in den photometrischen Beobachtungen von AM Herculis Sternen nicht beobachtet, da die Akkretionsregion wesentlich leuchtkräftiger ist.

Durch diesen Umstand und die sehr hohe Zeitauflösung der ULTRACAM Aufnahmen wurde es möglich die Systemparameter erstmals direkt und mit hoher Genauigkeit zu bestimmen und die Temperaturverteilung auf dem Weißen Zwerg zu bestimmen.

**AM Her** Das prototypische System AM Herculis stellt einen wichtigen Schlüssel für das Verständnis synchroner magnetischer CVs dar. Der von uns eingeworbene Datensatz wurde im Zustand normalen Massentransfers aufgenommen und ist in Bezug auf die Photonenstatistik der bisher beste durch XMM-Newton gewonnene Datensatz eines Polars. Mit Zählraten von über 20 cts/sec sind Detailuntersuchungen der kurzzeitigen Strahlungsausbrüche (flares) und der Linienemission mit dem RGS-Spektrometer möglich. Neben primärer Emission aus dem Postschockplasma finden sich auch Linien niedrigangeregten Spezies und neutrale Übergänge die auf Photoionisation und Fluoreszenz hinweisen. Diagnostische Verhältnisse hochionisierter Sauerstofflinien weisen auf hohe Dichten im emittierenden Plasma hin. Die weitere Auswertung konzentrierte sich auf die Variabilität der fluoreszierenden Eisenlinie, sowie eine Korrelationsanalyse von Röntgen- und UV-Emission. Im Gegensatz zum Standardmodell sind weiche und harte Röntgenstrahlung nicht assoziiert, während Flares im harten Röntgenbereich und im UV eine zeitliche Korrelation aufweisen. Dies ist ein erster direkter Hinweis darauf das die primäre harte Röntgenemission zum Großteil im UV-Bereich reprozessiert wird.

**Paloma (RX J0524+42)** RX J0524+42 (Schwarz et al. 2007) ist ein asynchroner magnetischer CV, der aufgrund seines besonderen Verhältnisses zwischen Bahn- und Spinperiode ein Bindeglied zwischen den Polaren und intermidären Polaren (Patterson 1984) darstellt. Das von uns eingeworbene XMM-pointing ist die erste zusammenhängende Röntgenbeobachtung dieses Systems überhaupt, und überdeckt mit 17 Stunden einen Großteil des Schwebungszyklus des Systems. In diesem Zeitraum ändert sich fortlaufend die Akkretionsgeometrie zwischen dem magnetischen Weißen Zwerg und dem einfallenden Materiestrom. Anhand der Röntgenlichtkurve läßt sich eindeutig Emission von einer kompakten, selbstbedeckenden Akkretionsregion nachweisen, wie sie oft auch in synchronen Polaren anzutreffen ist. Die Lage

und Länge der daraus resultierenden hellen Phase ändert sich systematisch von Zyklus zu Zyklus, und gibt somit Hinweis auf eine kontinuierliche Umstrukturierung der Hauptakkretionsregion.

Die phasenaufgelöste Spektroskopie ist durch harte Röntgenbremsstrahlung von ca. 40 keV dominiert und weißt keine weiche reprozesierte Komponente auf, wie sie für synchrone Pole typisch ist. Während des Schwebungszyklus ändern sich dabei spektralen Parameter überraschenderweise kaum. Dies ist ein weiteres Indiz für die Dominanz einer einzigen Akkretionsregion. Darüberhinaus gibt es keine Hinweise auf komplexe Absorptionsstrukturen wie sie in stark asynchronen magnetischen CVs zu finden sind. Als Ergänzung zu den Röntgenbeobachtungen wurden zeitnahe optische Spektren am Calar Alto 3.5 Meter Teleskop gewonnen, mit deren Hilfe die Akkretionsgeometrie des Systems genauer abgeleitet werden konnte. Es wurden erstmals Tomogramme von RX J0524+42 aufgenommen, in denen ein ausgedehnter Materievorhang sichtbar ist, wie er auch in dem leicht asynchronen magnetischen CV BY Cam nachgewiesen werden konnte (Schwarz et al. 2005). Die Tomogramme zeigen auch die Lage des Begleitsterns, die als Referenzpunkt für alle Emissionkomponenten im Doppelsternsystem wichtig ist.

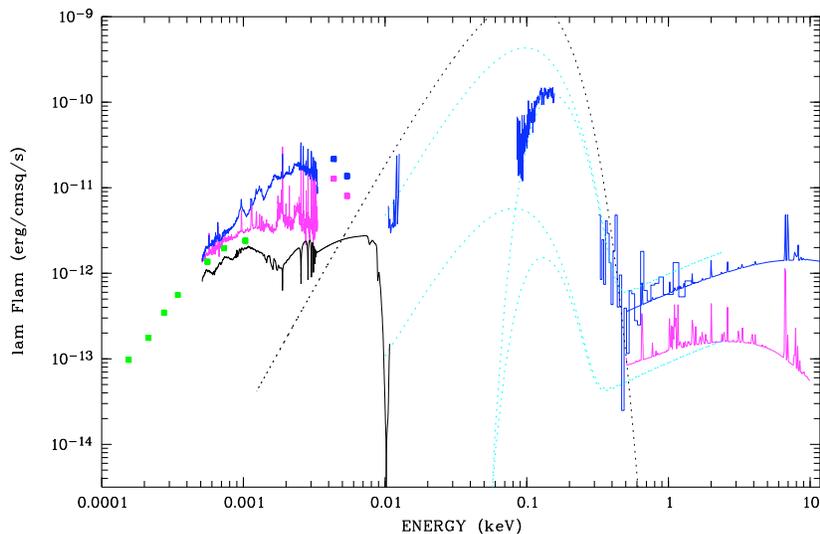


Abbildung 1: Spektrale Energieverteilung des mCV VV Puppis. Das Objekt ist von Interesse, weil es zwei akkretierende Polregionen mit stark unterschiedlichen Akkretionsraten zeigt, die in dieser Simultanbeobachtung mit XMM-Newton und dem SMARTS-Teleskop simultan studiert werden konnten.

**MU Cam** MU Cam ist ein neuentdeckter intermediärer Polar (Staudte et al. 2003) der sich durch einen ungewöhnlich hohen Anteil weicher, reprozesierter Röntgenstrahlung auszeichnet. Die Quelle wurde von XMM-Newton in den Jahren 2005 und 2006 über mehrere Bahnumläufe beobachtet; die ersten pointierten Röntgenbeobachtungen dieses Systems überhaupt. Zwischen den beiden Beobachtungen kam es zu gravierenden Änderungen des Akkretionsprozesses der einer dezidierte Variabilitäts- und Spektralanalyse unterzogen wurde. Zu allen Zeitpunkten dominierte im harten Röntgenbereich ein kohärentes, periodisches Signal von 18 min, das als die wahre Rotationsperiode des Weißen Zwerges festgelegt werden konnte. Während der Beobachtung im Jahre 2006 war diese Signal auch die einzige signifikante Periodizität im weichen Röntgenbereich, sowie bei UV und optischen Wellenlängen. In diesem Zustand entsprach MU Cam dem Standardmodell eines intermediären Polars, bei dem der gesamte Massentransfer zu den Magnetpolen über den Innenrand einer Akkretionsscheibe

erfolgt.

Dieses Bild änderte sich in der Beobachtung aus dem Jahr 2005 dramatisch, als im UV und optischen Bereich, wie auch für die weiche Röntgenkomponente, Variabilität ausschließlich auf Schwebungsfrequenzen zwischen Bahn- und Rotationsperiode auftrat. Während im optischen und UV-Bereich solche Frequenzen durch Reprozession an verschiedenen Orten im Doppelsternsystem erklärbar ist, weist dagegen ein solches Signal für die primäre weiche Röntgenstrahlung auf direkten Massentransfer vom Begleitstern hin. Als wahrscheinlicher Mechanismus wird angenommen, dass Materie aus dem Akkretionsstrom, der über den äußeren Rand der Akkretionsscheibe hinübergelaufen ist, an die Feldlinien ankoppelt. Dieser Prozess ist für eine handvoll intermediäre Polare bestätigt (Hellier 2002). Das besondere am Verhalten MU Cams ist, daß sich scheiben- bzw. stromgeführte Akkretion in separater harter bzw. weicher Röntgenstrahlung niederschlägt. Es ist davon auszugehen, daß die stromgeführte Akkretion auf höhere Materiedichten beschränkt ist.

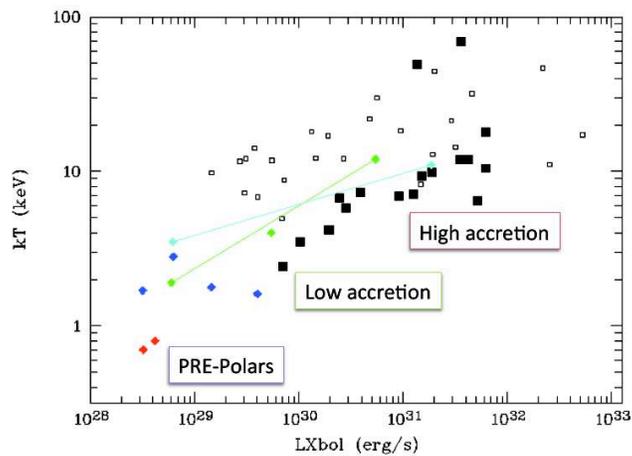


Abbildung 2: Zusammenhang zwischen mittlerer Plasmatemperatur und Röntgenleuchtkraft in akkretierenden magnetischen Weißen Zwergen. Daten für den primären Akkretionspol in VV Pup und V834 Cen, die in Zuständen hoher und niedriger Akkretion aufgenommen wurden, sind durch Linien miteinander verbunden. Effekte durch das Spektrum der  $M_{WD}$  und  $B$  sind noch überlagert. Gefüllte Symbole stehen für Objekte mit gemessener Entfernung, offene Symbole für Objekte, für die nur Obergrenzen der Entfernungen angegeben werden konnten.

**2XMMJ1312 und die reprozesierte Röntgenkomponente** Das AIP ist beteiligt am XMM-Newton SSC, welches den umfangreichsten je zusammengetragenen Katalog von Röntgenquellen aus den zufällig in XMM-Beobachtungen gefundenen Quellen zusammengestellt hat. Für alle hellen Objekte wurden Lichtkurven und Spektren generiert und visuell überprüft. Dabei ist der neue verdeckende magnetische CV 2XMMp J131223.4+173659 gefunden worden, der nahezu zweifelsfrei allein aufgrund seiner Röntgenlichtkurve identifiziert wurde. Die Beobachtung fand im Juni 2004 statt und deckte mehr als fünf aufeinanderfolgende Orbits des CVs ab. Die Lichtkurve zeigt eine distinkte *bright and faint* phase, verursacht durch die sich während eines Orbits verändernde Sichtbarkeit der Akkretionsregion, eine Verdeckung des Weißen Zwerges durch den Begleitstern und eine Verdeckung der Akkretionsregion auf dem Weißen Zwerg durch den Akkretionsstrom. Es wurde zusätzlich DDT-Zeit am Calar Alto für spektroskopische und photometrische Follow-Up Beobachtungen eingeworben, welche im Februar und März 2007 durchgeführt wurden.

Das Röntgenspektrum fällt aus dem in ROSAT-Zeiten entwickelten Bild magnetischer CVs extrem weicher Röntgenquellen heraus (Beuermann & Burwitz 1995). Es zeigt keine Strahlungskomponente weicher reprozessierter Strahlung, welche bei der überwiegenden Zahl der magnetischen CVs beobachtet wird. Dies erklärt auch die Nichtdetektion des Objektes im ROSAT All Sky Survey.

**Die Energiebilanz magnetischer Akkretion auf Weiße Zwerge** Ein wesentliches Ziel des Vorhabens ist die Entschlüsselung und Trennung der akkretionsinduzierten spektralen Komponenten. Die ist exemplarisch in Abb. 1 für das Objekt VV Pup dargestellt. Im Röntgenbereich sind die harte Plasmakomponente und die weiche Komponente reprozessierter Strahlung erkennbar. Der UV-Bereich ist durch den Weißen Zwerg dominiert, im optischen Spektralbereich schließlich ist Zyklotronstrahlung dominant. Mit XMM-Newton war es erstmals möglich, die Plasmatemperatur für die Mehrzahl der bekannten Objekte zu bestimmen. Ein wesentliches Resultat dieser Entfaltung ist in Abb. 2 dargestellt. Erstmals wird der Zusammenhang zwischen Plasmatemperatur und Akkretionsrate evident. Der Übergang eines durch einen hydrodynamischen Stoß zu einem durch Teilchenbombardement geheizten Plasmas wird sichtbar gemacht. Die Akkretionsplasmem in den prä-CVs passen sich am unteren Ende der Skala in das neue Bild ein. Das mit ROSAT entworfene Bild von mCVS als weichen Röntgenquellen muss revidiert werden, ca. 30% der mCVS zeigen überhaupt keine weiche Komponente, ein in Hinblick auf die Himmelsdurchmusterungen mit eROSITA interessantes Ergebnis.

**Ergebnisse Teilprojekt 2: Isolierte Neutronensterne** Es wurden die drei isolierten Neutronensterne genauer untersucht, die von Schwope et al. (2000) im ROSAT Bright Survey optischen Identifikationsprogramm erstmals beschrieben wurden.

Für RBS1556 konnte durch Beobachtungen mit dem HST und dem Subaru-Teleskop eine deutliche Eigenbewegung nachgewiesen werden.

Für RBS1774 wurde mit dem LBT ein extrem schwaches optischen Gegenstück gefunden. Die somit etablierte SED (spektrale Energieverteilung) ist als Summe von zwei Schwarzkörperspektren darstellbar und fügt sich damit in das Bild ein, das diese Objektgruppe als mittelalte, nur durch Kühlung angetriebene, Neutronensterne ansieht.

Für RBS1223 wurden Pulsationen mit einer Periodizität von 10.31 Sekunden gefunden, es wurde ein Mutlitemperaturmodell entwickelt, das zufriedenstellend die Röntgenlichtkurven und gleichzeitig die SED wiederspiegelt. In diesem Objekt wurde auch das Absorptionsfeature mit der größten Äquivalentbreite aller derartigen Merkmale detektiert, das entweder als Protonzyklotronlinie oder alternativ als atmosphärisches feature gedeutet werden kann. Erstmals wurde für einen isolierten Neutronenstern eine Eigenbewegung allein aus Röntgenbeobachtungen etabliert. Mit  $\mu = 220 \pm 25 \text{ mas yr}^{-1}$  kann die Transversalgeschwindigkeit sogar etliche  $100 \text{ km s}^{-1}$  betragen. Diese Studien bieten weitere Hinweise auf die Natur der Objekte (mittelalt, kühlend) und geben Hinweise auf die möglichen Entstehungsorte der INS.

### **Ergebnisse Teilprojekt 3: Doppelsternentwicklung**

**WXLMi und die Prepolars** Der Großteil der AM Herculis Systeme wurde im Röntgenbereich entdeckt. Durch das abkühlende *post shock plasma* und den aufgeheizten Akkretionsfleck auf der Oberfläche des Weißen Zwerges sind sie in diesem Wellenlängenbereich meist sehr

leuchtkräftig. Zwischen 1999 und 2004 wurden einige wenige Systeme in optischen Himmelsdurchmusterungen gefunden, welche aufgrund ihrer Zyklotronharmonischen als AM Herculis Systeme identifiziert wurden. Ihnen allen war gemeinsam, daß die aus den Spektren abgeleitete Akkretionsrate im Bereich von  $10^{-13} \text{ M}_{\odot}\text{yr}^{-1}$  und damit um mehrere Größenordnungen unter der für AM Herculis Sterne üblicherweise beobachteten Akkretionsrate liegt. Für sie wurde bald, die heute überholte Bezeichnung *low accretion rate polars* genutzt (Schwope et al. 2002). Ihr Status in der Evolution von AM Herculis Sternen war unklar, aber aufgrund der niedrigen Weißen Zwerg Temperaturen und der geringen Akkretionsraten wurde bald vermutet, daß es sich bei diesen Objekten um evolutionäre Vorläufer von AM Herculis Sternen handeln könnte, deren Begleitstern noch nicht sein Rochevolumen ausfüllt und bei denen aus dem Sternwind des Begleitsternes akkretiert wird (Webbink&Wickramasinghe 2005, Schmidt et al. 2005). Eines dieser damals fünf bekannten Systeme war WX LMi (Reimers et al. 1999). Es wurde im April 2004 (AO-3) mit XMM-Newton für 30 ksec beobachtet. Zusammen mit optischen spektroskopischen Aufnahmen sollte durch eine detaillierte Analyse dieses Systems nicht nur diese Vermutung näher untersucht werden, sondern ebenso die Energiebilanz für den Akkretionsprozeß bei solch geringen Akkretionsraten. Theoretische Modelle (Fischer&Beuermann 2001) sagen für den Fall hoher magnetischer Feldstärken und sehr geringer spezifischer Massenakkretionsraten  $\dot{m}$  das sogenannte *bombardment scenario* voraus. Hier wird die Zyklotronkühlung so effektiv, daß die einfallenden Teilchen innerhalb ihrer mittleren freien Weglänge genügend Energie abgeben können, um die Ausbildung einer Stoßfront zu unterdrücken. Das Plasma kühlt also hauptsächlich durch Zyklotronstrahlung, nicht durch Bremsstrahlung.

Die Analyse der spektralen Energieverteilung bestätigte vollauf die theoretischen Modelle. Das Akkretionsplasma besitzt hier eine sehr niedrige Temperatur von  $< 1 \text{ keV}$  und kühlt primär über optische Zyklotronstrahlung.

Die UV Daten des Optischen Monitors von XMM ermöglichten eine genauere Abschätzung der Weißen Zwerg Temperatur. Um den OM als Bolometer zu eichen und zu benutzen, wurden umfangreiche Auswertungen bisheriger Weißer Zwerg OM-Beobachtungen vorgenommen. Ebenso wurden Untersuchungen über den Einfluß der Temperatur eines Weißen Zwerges auf seine Masse-Radius-Beziehung und den Einfluß magnetischer Felder auf den Kontinuumsverlauf Weißer Zwerg Spektren vorgenommen. Es wurde eine Weiße Zwerg Temperatur von weniger als 8000 K gefunden, wobei sich aufgrund mangelnder Verfügbarkeit theoretischer Weißer Zwerg Spektren für Temperaturen unterhalb von 8000 Kelvin nur dieses obere Limit ableiten ließ. Im Gegensatz zu der ursprünglich in Reimers 1999 aus optischen Daten abgeleiteten Temperatur von 13000 K, läßt diese niedrige Temperatur im Hinblick auf die Kompressionsheizung nur eine Akkretionsrate von  $10^{-11} \text{ M}_{\odot}\text{yr}^{-1}$  in der Vergangenheit zu, was eine für Polars übliche Akkretionsrate ausschließt. Zusammen mit der aus optischen Daten abgeleiteten Tatsache, daß der Begleitstern sein Rochevolumen unterschreitet, also kein Materieüberfluß auf dem in Polars üblichen Weg stattfinden kann, läßt dies nur den Schluß zu, daß es sich bei WX LMi nicht um einen *low accretion rate polar*, sondern vielmehr um einen Präpolar handelt, der aus dem Wind des Begleitsternes akkretiert.

Die gleichen Untersuchungen, wenn auch mit wesentlich geringerem Datenmaterial, wurden für die anderen Objekte durchgeführt und lieferten ein zu WX LMi konsistentes Bild.

**Post-common envelope binaries aus dem SDSS** Die Mitgliedschaft des AIP im SDSS-Konsortium wurde ausgenutzt, um SDSS-Spektroskopie aufgrund neuer Farbkriterien zur Selektion von post-common envelope binaries zu beantragen. Insgesamt wurden 433 SDSS Spektren aufgenommen, etwas mehr als 304 entpuppten sich als die gesuchten potenziellen Vorläufersysteme von CVs, bestehend aus einem Weissen Zwerg und einem Spättypphaup-

treihenstern. Ein umfangreiches Nachbeobachtungsprogramm wurde initiiert, um enge von weiten Doppelsystemen abzugrenzen und die Bahnumlaufperioden der engen Doppelsterne zu messen. Neben der Entdeckung neuer bedeckender Sterne, die für die Eichung der Masse-Radius Beziehung am unteren Ende der Hauptreihe enorm wichtig sind, ergab die Studie einen sehr direkten Hinweis auf die Gültigkeit des Modells der diskontinuierlichen Magnetischen Bremsung.

## Ergebnisbeurteilung

**Notwendigkeit und Angemessenheit der Arbeit:** Qualität und Umfang der eingeworbenen Daten sowie die Komplexität der eingeworbenen Datensätze hat einen deutlichen Erkenntnisprung der Erforschung magnetischer Akkretion in engen Doppelsternen ermöglicht. Ohne insbesondere die personelle Förderung durch das DLR hätten die Datenanalysen nicht in der vorgelegten Form und schon gar nicht im erzielten Umfang durchgeführt werden können.

**Nutzen und Verwertbarkeit:** Die einzelnen Teilvorhaben haben der Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Astrophysik gedient und unsere Kenntnis darin erweitert. Unmittelbarer wissenschaftlicher Nutzen wurde durch die kontinuierliche Einwerbung weiterer Beobachtungszeiten mit XMM-Newton gezogen, eine Anerkennung des zuvor erzielten Erkenntnisgewinns und der Aktualität des Forschungsthemas. Die weitere Verwertbarkeit auch zu anderen Zwecken (eine typische Beobachtung mit XMM-Newton liefert neben den Informationen über das eigentliche Target der Beobachtung auch Daten für ca. 50 weitere Röntgenquellen) des eingeworbenen Beobachtungsmaterials ist durch die Archivierung der Rohdaten und den gesicherten freien Zugang dazu gewährleistet. Ein wirtschaftlicher Nutzen war nicht geplant und wurde nicht erzielt.

**Veröffentlichungen:** Die meisten begonnenen Arbeiten konnten mittlerweile durch Publikationen in Fachjournalen abgeschlossen werden. Über derlei projektbezogene referierte Publikationen gibt die folgende Aufstellung Auskunft.

## Literatur

- Schwope, A.D., Staude, A., Vogel, J., Schwarz, R.: 2004, *Indirect imaging of polars AN 325*, 197
- Hambaryan, V., Staude, A., Schwoppe, A.D., Scholz, R.-D., Kimeswenger, S., Neuhäuser, R.: 2004, *A new strongly X-ray flaring M9 dwarf in the solar neighborhood* *Astron. Astrophys.* 415, 265
- Scholz, R.-D., Lodieu, N., Ibata, R., Irwin, R., McCaughrean, M.J., Schwoppe, A.: 2004, *An active M8.5 dwarf wide companion to the M4/DA binary LHS 4039/LHS 4040* *MNRAS* 347, 685
- Schwarz, R., Schwoppe, A.D., Staude, A., Remillard, R.A.: 2005, *Doppler tomography of the asynchronous polar BY Camelopardalis* *Astron. Astrophys.* 444, 213
- Schwoppe, A.D., Hambaryan, V., Haberl, F., Motch, C.: 2005, *The pulsed X-ray light curves of the isolated neutron star RBS1223* *Astron. Astrophys.* 441, 597
- Scholz, R.-D., Lo Curto, G., Mendez, R.A., Hambaryan, Costa, E., Henry, T., Schwoppe, A.: 2005, *Three active M dwarfs within 8 pc: L 449-1, L 43-72, & LP 949-15* *Astron. Astrophys.* 439, 1127

- Schwope, A.D.; Schreiber, M.R.; Szkody, P.: 2006, *A 110 MG cyclotron harmonic in the optical spectrum of RX J1554.2+2721* *Astron. Astrophys.* 452, 955
- Kuulkers, E., Norton, A., Schwope, A., Warner, B.: *X-rays from Cataclysmic Variables*. In *Compact Stellar X-Ray Sources*, eds. W.H.G. Lewin and M. van der Klis, Cambridge University Press (2006)
- Schwope, A.D., Schreiber, M.R., Szkody, P.: 2006, *A 110 MG cyclotron harmonic in the optical spectrum of RX J1554.2+2721*. *A&A* 452, 955
- Vogel J., Schwope A.D., Gänsicke B.T.: 2006, *An in-depth study of the pre-polar WX LMi*. *A&A* 464, 647
- Harrison, Th.E.; Campbell, R.K.; Howell, S.B.; Cordova, F.A.; Schwope, A.D.: 2006, *Spitzer IRS spectroscopy of Intermediate Polars: Constraints on mid-infrared emission*. *ApJ* 6565, 444
- Schwope, A.D.; Staude, A.; Koester, D., Vogel, J.: 2007, *XMM-Newton observations of EF Eridani: the textbook example of low-accretion rate polars*. *A&A* 469, 1027
- Schwarz, R.; Schwope, A.D.; Staude, A.; Rau, A.; Hasinger, G.; Urrutia, T.; Motch, C.: 2007, *Paloma (RXJ0524+42): The missing link in magnetic CV evolution?* *A&A* 473, 511 (this paper became an A&A press release)
- Schreiber, M.R.; Gänsicke, B.T.; Southworth, J.K.; Schwope, A.D.; Koester, D.: 2008, *Post common envelope binaries from SDSS. II: Identification of 9 close binaries with VLT/FORS2*. *A&A* 484, 441
- Staude, A.; Schwope, A.D.; Schwarz, R.; Vogel, J.; Krumpke, M.; Nebot Gomez-Moran, A.: 2008, *The changing accretion states of the intermediate polar MU Cam*. *A&A* 486, 899
- Rebassa-Mansergas, A.; Gänsicke, B.T.; Schreiber, M.R.; Southworth, J.; Schwope, A.D.; Nebot Gomez-Moran, A.; Aungwerowijt, A.; Rodriguez-Gil, P.; Karamanavis, V.; Krumpke M.; Tremou, E.; Schwarz, R.; Staude, A.; Vogel, J.: 2008, *Post common envelope binaries from the SDSS - III. Seven new orbital periods* *MNRAS* 390, 1635
- Vogel, J., Byckling, K., Schwope, A., Osborne, J., Schwarz, R., Watson, M.G.: 2008, *Serendipitous discovery of a short-period eclipsing polar in 2XMMp*. *A&A* 485, 787
- Mukai, K.; Walter, F.; Schwope, A.: 2008, *The end of the prolonged low state of EF Eridani* *ATel* 1562
- Campbell, R.K.; Harrison, Th.E.; Schwope, A.D.; Howell, S.B.: 2008, *Cyclotron modeling phase-resolved infrared spectroscopy of polars I: EF Eridani* *ApJ* 672, 531
- Campbell, R.K.; Harrison, Th.E.; Mason, E.; Howell, S.B.; Schwope, A.D.: 2008, *Cyclotron Modeling Phase-Resolved Infrared Spectroscopy of Polars. II. EQ Ceti, AN Ursa Majoris, and VV Puppis*. *ApJ* 678, 1304
- Nebot Gomez-Moran, A.; Schwope, A.D.; Schreiber, M.R.; Gänsicke, B.T.; Pyrzas, S.; Schwarz, R.; Southworth, J.; Kohnert, J.; Vogel, J.; Krumpke, M.; Rodriguez-Gil, P.: 2009, *Post common envelope binaries from the SDSS. IV. SDSS J121258.25-012310.1, a new eclipsing system* *A&A*, 495, 561
- Schwarz, R., Schwope, A.D., Kanbach, G., Dhillon, V., Marsh, T.: 2009 *Hunting high and low: XMM monitoring of the eclipsing polar HU Aqr* *A&A* 496, 833
- Szkody, P.; Anderson, S.F.; Hayden, M.; Kronberg, M.; McGurk, R.; Riecken, Th.; Schmidt, G.D.; West, A.W.; Gänsicke, B.T.; Nebot Gomez-Moran, A.; Schneider, D.P.; Schreiber, M.R.; Schwope, A.D.: 2009, *Cataclysmic Variables from SDSS VII. The Seventh Year (2006)* *AJ* 137, 4011
- Thorstensen, J.; Schwarz, R.; Schwope, A.D.; Staude, A.; Vogel, J.; Krumpke, M.; Kohnert,

- J.; Nebot Gomez-Moran, A.: 2009, *V405 Peg (RBS 1955): A nearby low-luminosity cataclysmic binary* PASP 121, 465
- Yanny, B.; ... ; Schwobe, A.; ... ; et al. (SDSS/SEGUE collaboration): 2009, *SEGUE: A spectroscopic survey of 240,000 stars with  $g = 14 - 20$*  AJ 137, 4377
- Hambaryan, V.; Neuhäuser, R.; Haberl, F.; Hohle, M.M.; Schwobe, A.D.: 2009, *XMM-Newton RGS spectrum of RX J0720.4-3125: An absorption feature at 0.57 keV*. Astron. Astrophys. 497, L9
- Mignani, R.; Motch, C.; Haberl, F.; Zane, S.; Turolla, R.; Schwobe, A.: 2009, *VLT optical observations of the isolated neutron star RX J0420.0-5022*. A&A 505, 707
- Schwobe, A.; Nebot Gomez-Moran, A.; Schreiber, M.; Gaensicke, B.: 2009, *Post common envelope binaries from the SDSS. VI. SDSS J120615.73+510047.0: a new low accretion rate magnetic binary*. A&A 500, 867
- Schwobe, A.; Erben, T.; Kohnert, J.; Lamer, G.; Steinmetz, M.; Strassmeier, K.; Zinnecker, H.; Bechtold, J.; Diolaiti, E.; Fontana, A.; Gallozzi, S.; Giallongo, E.; Ragazzoni, R.; De Santis, C.; Testa, V. 2009, *The isolated neutron star RBS1774 revisited* Astron. Astrophys. 499, 267
- Beuermann, K.; Diese, J.; Paik, S.; Ploch, A.; Zachmann, J.; Schwobe, A.D.; Hessman, F.V.: 2009 *A long-term optical and X-ray ephemeris of the polar EK Ursae Majoris* Astron. Astrophys. 507, 385
- Schwobe, A.D.; Christensen, L.: 2010 *X-Shooting EF Eridani: further evidence for a massive white dwarf and a sub-stellar secondary* A&A 514, A89
- Schreiber, M. R.; Gänsicke, B.T.; Rebassa-Mansergas, A.; Nebot Gomez-Moran, A.; Southworth, J.; Schwobe, A.D.; Müller, M.; Papadaki, C.; Pyrzas, S.; Rabitz, A.; Rodriguez-Gil, P.; Schmidtobreick, L.; Schwarz, R.; Tappert, C.; Toloza, O.; Vogel, J.; Zorotovic, M.: 2010, *Post common envelope binaries from the SDSS. IX. Evidence for disrupted magnetic braking* A&A 513, L7
- Mukadam, A.S.; Townsley, D.M.; Gänsicke, B.T.; Szkody, P.; Marsh, T.R.; Robinson, E.L.; Bildsten, L.; Aungwerojwit, A.; Schreiber, M.R.; Southworth, J.; Schwobe, A.; For, B.; Tovmassian, G.; Zharikov, S.V.; Hidas, M.G.; Baliber, N.; Brown, T.; Woudt, P.A.; Warner, B.; O'Donoghue, D.; Buckley, D.; Sefako, R.; Sion, E.M.: 2010, *Multi-site observations of pulsation in the accreting white dwarf SDSS J161033.64-010223.3 (V386 Ser)* ApJ 714, 1702
- Traulsen, I., Reinsch, Schwarz, R., Dreizler, S., Burwitz, V., Schwobe, A.D.: 2010, *X-ray spectroscopy and photometry of the long-period polar AI Tri*. A&A, in press

## 4 Suche nach Planeten um Weiße Zwerge

Es wurden HST/NICMOS Beobachtungen von 7 Weissen Zwergen im Hyaden Sternhaufen ausgewertet (HST proposal ID # 9737). Die Auswertung wurde von Dr. Serge Correia durchgeführt. Wir verweisen auf die verschiedenen Zwischenberichte, die wir hier noch einmal durch eine Gesamtschau zusammengefasst.

Der Hyaden Sternhaufen ist durch seine Kombination von Alter (625 Millionen Jahre) und Entfernung (45pc) ideal, um junge selbstleuchtende Riesen-Planeten als Begleiter zu massearmen Sternen zu entdecken. Dabei stellen Weiße Zwerge besonders interessante Suchobjekte dar, da sie durch ihre geringe Leuchtkraft (ca. ein Tausendstel der Sonne) ein besonders gutes Kontrastverhältnis bieten. Auch sollte theoretisch der zu erwartende Abstand eines Hauptplaneten zum Weissen Zwerg durch den Massenverlust des Elternsterns (von den anfänglichen 3 Sonnenmassen wurden 4/5 durch eine Sternwindphase abgestossen) auf das 5-fache des ursprünglichen Abstands steigen (adiabatische Vergrößerung der Umlaufbahn), was die räumliche Auflösung und damit die Entdeckbarkeit eines Planetenbegleiters wesentlich steigert. Im Fall der Hyaden könnten wir dadurch Riesenplaneten um Weisse Zwerge bis zu einem Kontrast von 1:10,000 in Winkelabständen von 0.4 Bogensekunden (18 AE) oder grösser sehen. Die Auswertung der Beobachtungen haben aber ergeben, dass wir in diesem Parameterbereich keine Planeten mit HST/NICMOS bei 1.1 und 1.6 micron gesehen haben.

### 4.1 Mitarbeiter

Die eingeworbenen Mittel wurden im Wesentlichen für die Finanzierung von Wissenschaftlerstellen zur Datenauswertung und Modellbildung verwendet. Im Projekt beschäftigt waren die folgenden Wissenschaftler

Dr. Serge Correia (1.1.2005 – 31.7.2005, 1.1.2006 – 30.11.2006)

Dr. Spyridon Kitsionas (1.1.2007 – 31.5.2007)

### 4.2 Ergebnisse

Diese Ergebnisse wurden bei verschiedenen Konferenzen präsentiert und publiziert, insbesondere beim IAU Colloquium 200 in Nizza 2005 (Zinnecker et al. 2006 in *Direct Imaging of Exo-Planets: Science and Techniques*, eds. Aime et al., Cambridge Univ. Press).

Trotz der nicht erfolgreichen Suche mit HST/NICMOS wurde eine weitere Methode angewandt, um die Suche fortzusetzen. Wir benutzen den Infrarotsatelliten Spitzer und dessen Infrarotkamera IRAC, um bei längeren Wellenlängen (3.6, 4.4, 5.8, 8.0 micron) einen Infratexzess bei Weissen Zwergen nachzuweisen, der von kühlen Planetenbegleitern stammen müsste. Auch hier war die Suche negativ (siehe Friedrich et al. 2007, 15th European Workshop on White Dwarfs, ASPC 372, 343, eds. R. Napiwotzki & M.R. Burleigh).

Dies veranlasste uns schliesslich zu einer theoretischen Untersuchung, wobei wir die Orbitentwicklung eines Hauptplaneten mit Bahnradien im Bereich 1 bis 5 AE in Abhängigkeit von der Entwicklung des Elternsterns zum Roten Riesen und schliesslich zum Weissen Zwerg simulierten (S. Kitsionas 2007, unveröffentlicht). Möglicherweise konnten wir keine Planeten entdecken, weil diese fast alle von der expandierenden Hülle um ihren Elternstern verschluckt

worden sind und durch die Gasreibung nach innen spiraltten, um schliesslich mit dem zentralen Weissen Zwergen zu verschmelzen! (sog. common envelope evolution).

### 4.3 Schlussbemerkung

Leider wurden unsere HST Folge-Anträge alle abgelehnt, so dass das Projekt letztlich auf halbem Wege stehenblieb. Der zeitliche Verzug der Verbundförderung (mehr als ein Jahr nachdem die Daten verfügbar wurden) spielte dabei auch eine negative Rolle. Wir glaubten immer, dass unsere Idee des 'angular differential imaging' (entweder mit HST oder mit bodengebundenen Teleskopen mit adaptiver Optik) eine gute Idee sei, und wir haben deshalb die Suche nicht aufgegeben und jüngst sogar den hellsten Weissen Zwerg in der Sonnenumgebung mit dem Keck Teleskop beobachtet (in Zusammenarbeit mit einer kanadischen Gruppe in Toronto). Wieder scheint das Ergebnis auf den ersten Blick negativ. Es sollte nicht unerwähnt bleiben, dass dieselbe Methode vor kurzem bei dem jungen A-Stern HR8799 (ein Stern wie die Vorläufer der von uns untersuchten Weissen Zwerg) endlich zu einem sensationellen Erfolg geführt haben: besagter Stern besitzt gleich 3 planetare Begleiter!!! (bei 24, 38, 68 AE; mit Massen zwischen 5-13 mal der des Planeten Jupiter; Marois et al. 2009, Bull. AAS 41. 734)

### 4.4 Aus dem Teilvorhaben resultierende Veröffentlichungen

Friedrich, S.; Zinnecker, H.; Correia, S.; Brandner, W.; Burleigh, M.; McCaughrean, M., 2007: *Search for Giant Planets around White Dwarfs with HST, Spitzer, and VLT*, 2007ASPC..372..343F

Zinnecker, H.; Correia, S.; Brandner, W.; Friedrich, S.; McCaughrean, M., 2006: *Search for giant extrasolar planets around white dwarfs: direct imaging with NICMOS/HST and NACO/VLT*, 2006dies.conf...19Z

Friedrich, S.; Zinnecker, H.; Brandner, W.; Correia, S.; McCaughrean, M., 2005: *A NICMOS Direct Imaging Search for Giant Planets around the Single White Dwarfs in the Hyades*, 2005ASPC..334..431F

## 5 GEMS: Eine Studie der Galaxienentwicklung mit dem Hubble Weltraumteleskop

### 5.1 Einleitung

Das GEMS-Projekt (*Galaxy Evolution from Morphology and SEDs*) war 2001 als *Large Programme* am Hubble Space Telescope (HST) genehmigt und im Laufe des Jahres 2002 durchgeführt worden. PI des Projekts war Prof. Hans-Walter Rix (MPIA Heidelberg), CoI und federführend für die Thematik der Aktiven Galaxienkerne war L. Wisotzki (AIP). Die Beobachtungen bestanden darin, ein großflächiges Mosaik des *Extended Chandra Deep Field South* in zwei photometrischen Bändern aufzunehmen. Damit war und ist GEMS bis heute die größte Farbaufnahme, die das HST jemals gemacht hat. Das allgemeine Ziel von GEMS bestand darin, zu allen  $\sim 10\,000$  Galaxien des Rotverschiebungssurveys COMBO-17 morphologische Information zu liefern, um daraus Schlüsse über die Entwicklung von Galaxien zu ziehen. Die spezielle Zielsetzung des am AIP durchgeführten Teilprojekts bestand in der Untersuchung der Hostgalaxien von Aktiven Galaxienkernen, die durch COMBO-17 im GEMS-Feld entdeckt worden waren. Die zentrale wissenschaftliche Fragestellung zum Zeitpunkt der Antragstellung bezog sich auf die strukturellen Eigenschaften von AGN-Hostgalaxien und ihre Entwicklung im Laufe der kosmischen Zeit.

Planung und Ablauf der Arbeiten am GEMS-Projekt lassen sich in drei Phasen gliedern:

1. Vorbereitung der Beobachtungen (2001). In dieser (nicht vom DLR geförderten) Phase wurde die genaue Beobachtungsstrategie festgelegt, und es wurden die Arbeiten am begleitenden COMBO-17-Katalog vorangetrieben.
2. Durchführung und Reduktion der Beobachtungen (2002–2003). Die Arbeiten in dieser Zeit waren sehr stark gemeinschaftlich innerhalb des Konsortiums geprägt; insbesondere die Aufgaben der Qualitätskontrolle (für die L. Wisotzki mit verantwortlich war) und der Einrichtung der Datenreduktionspipeline mussten hier mit hohem Zeitdruck umgesetzt werden.
3. Wissenschaftliche Auswertung (2004–2008). Das GEMS-Projekt muss als großer Erfolg in jeder Hinsicht angesehen werden. Auf GEMS allein basierten insgesamt 18 referierte wissenschaftliche Publikationen des Konsortiums, die ausnahmslos viel beachtet und häufig zitiert wurden; dazu kommen noch etliche weitere Arbeiten, die GEMS-Ergebnisse mit anderen Daten kombinierten. Während der ganzen Auswertungsphase gab es zunächst halbjährliche, später jährliche Arbeitstreffen des Konsortiums, in denen der Fortgang der Auswertung besprochen und die weiteren Schritte geplant wurden. Auf AIP-Seite bestand ein erhebliches Problem darin, dass die Verbundforschungsförderung erst im September 2004 einsetzte; nur durch ein erheblich höheres Einbringen von Eigenleistungen als geplant konnte eine signifikante Rolle der AIP-Gruppe bei der wissenschaftlichen Auswertung gesichert werden.

### 5.2 Einzelheiten des Vorhabens

Die Zuwendung wurde hauptsächlich zur Finanzierung einer wissenschaftlichen Mitarbeiterstelle verwendet:

- Dr. Kund Jahnke (1.9.2004–15.9.2005); zuvor war Herr Jahnke für zwei Jahre aus AIP-Eigenleistung im Projekt aktiv.

- Dr. Isabelle Gavignaud (1.3.2006–31.8.2008, mit längerer Unterbrechung wegen Mutterschutz und Mutterschaftsurlaub).

Zusätzlich arbeitete neben dem Projektleiter L. Wisotzki ab Mitte 2003 auch noch Dr. S.F. Sanchez an dem wissenschaftlichen Projekt mit, wiederum durch AIP-Eigenleistung finanziert.

Die darüber hinaus zur Verfügung gestellten Reisemittel wurden genutzt zu folgenden Zwecken:

- Beteiligung an den regelmäßigen GEMS-Arbeitstreffen an verschiedenen Orten (Baltimore, Oxford, Heidelberg, auch Potsdam).
- Teilnahme an internationalen Konferenzen zur Vorstellung der GEMS-Resultate sowie zur Information über den Stand der Forschung auf dem Gebiet der Galaxienentwicklung.

**Ziele und Ergebnisse:** Die einzelnen Ziele des ursprünglichen Vorhabens waren:

- *Morphologische Klassifikation.* Die Durchführung einer morphologischen Klassifikation und insbesondere einer Bulge-Disk-Zerlegung stellte sich schwieriger als gedacht dar. An dessen Stelle trat eine automatische, durch das Anpassen von Modellen erreichte Bestimmung struktureller Parameter, insbesondere des Sersic-Indexes, durch den ebenfalls eine solide Unterteilung in bulge- und scheibendominierte Galaxien möglich war. Als Hauptergebnis wurde gefunden, dass fast 80 % der AGN-Hostgalaxien bei mittleren Rotverschiebungen ( $z \sim 0.5-1$ ) ganz eindeutig elliptische Galaxien sind (publiziert in Sanchez et al. 2004).
- *Strukturelle Evolution von AGN-Hostgalaxien.* Die hier gesetzten Ziele wurden voll und ganz erreicht. Es konnte erstmals eine *size-luminosity relation* für AGN-Hostgalaxien bei diesen Rotverschiebungen aufgestellt werden (ebenfalls Sanchez et al. 2004).
- *Die Relation zwischen Bulge- und Kernleuchtkräften.* Die Auswertung dieser Relation spielte vor allem bei größeren Rotverschiebungen eine Rolle. Ergebnisse publiziert in Jahnke et al. (2004).
- *Leuchtkraftevolution von AGN-Hostgalaxien.* Dieses Arbeitsziel wurde in seiner Priorität abgewertet, vor allem wegen des erheblich größeren Potenzials des nachfolgenden Themas. Es wurden keine abschließenden Resultate erzielt.
- *Stellare Populationen.* Dieser im Antrag nur sehr knapp angerissene Zielkomplex stellte sich später als der wissenschaftlich bedeutendste heraus. Entsprechend wurde die Priorität heraufgesetzt, und es wurde ein sehr viel detaillierteres Arbeitspaket entwickelt. Anhand von GEMS konnten wir erstmals überhaupt zeigen, dass AGN-Hostgalaxien bei höheren Rotverschiebungen systematisch junge stellare Populationen aufweisen. Mit unterschiedlichen Methoden wurde sowohl eine Stichprobe von AGN mittlerer Rotverschiebung (Sanchez et al. 2004) und hoher Rotverschiebung (Jahnke et al. 2004) untersucht, wobei die Ergebnisse sich zwanglos in ein einheitliches Entwicklungsschema von AGN-Hostgalaxien einpassen lassen.

Über diese unmittelbar im Antrag formulierten wissenschaftlichen Ziele waren auch etliche technische Aspekte Teil des Arbeitsprogramms. Dazu gehörte die Beteiligung an der GEMS-Qualitätskontrolle, vor allem aber die Bestimmung der Point Spread Function und ihrer räumlichen Variation durch K. Jahnke – ein essentieller Schritt nicht nur für die Potsdamer, sondern auch für alle anderen GEMS-Arbeiten – sowie die Entwicklung einer Galaxienmodellierungspipeline, an der S.F. Sanchez und wiederum K. Jahnke zentral beteiligt waren.

**Parallele Fortschritte auf dem Gebiet:** Der im Rahmen des GEMS-Projekt erhaltene Datensatz war in seiner Art einzigartig und ist es in manchen Aspekten bis heute. Beispielsweise verfügt das COSMOS-Projekt immer noch über keine Überdeckung des (erheblich größeren) Felds mit zwei Bändern von HST-Qualität. Entsprechend sind die durch das GEMS-Team erzielten Ergebnisse in ihrer Zeit fast konkurrenzlos gewesen. Mittlerweile sind die (von uns öffentlich verfügbar gemachten) GEMS-Daten auch von diversen anderen Gruppen genutzt worden, woraus insbesondere durch Verknüpfung mit Multi- $\lambda$ -Daten wie z.B. Infrarot- oder vor allem Röntgensurveys wesentliche neue Erkenntnisse gewonnen wurden. Dazu zählt insbesondere die Ausweitung unserer Untersuchungen der Farben und stellaren Populationen von AGN-Hostgalaxien auf die erheblich zahlreicheren röntgenselektierten AGN durch Silverman et al (2008), die aber unsere Ergebnisse in vollem Umfang bestätigen.

Selbstverständlich gab es parallel zum GEMS-Projekt weitere ehrgeizige Vorhaben zum Thema der Galaxienentwicklung, an praktisch allen großen Observatorien der Welt. Es ist in diesem Rahmen unmöglich, diese parallelen Erkenntnisgewinne auch nur grob zu umreißen. Auf jeden Fall gab es keine in zentralen Fragen die GEMS-Resultate anzweifelnde oder gar widersprechende Publikationen.

**Notwendigkeit und Angemessenheit der Arbeit:** Aus den obigen Ausführungen geht hervor, dass das GEMS-Projekt einen erheblichen Erkenntnisgewinn für die Astrophysik hervorgebracht hat. Ohne den erbrachten Aufwand hätten die Daten nicht, jedenfalls nicht zeitnah, in diesem umfassenden Maße ausgewertet und wissenschaftlich interpretiert werden können. Gemessen am Mitteleinsatz ist darüber hinaus der Ertrag des Projekts (im Sinne der Zahl publizierter Arbeiten und ihrem *impact*) weit überdurchschnittlich.

**Nutzen und Verwertbarkeit:** Das geförderte Vorhaben hat der astronomischen Grundlagenforschung erhebliche Erkenntnisfortschritte erbracht. Wirtschaftlicher Nutzen und Verwertbarkeit war zu keiner Zeit zu erhoffen und wurde auch nicht erbracht.

Verwertbarkeit: Während die Rohdaten des Hubble-Teleskops grundsätzlich weltweit verfügbar sind, hat unsere Gruppe in einer besonderen Anstrengung dafür gesorgt, dass das vollständig reduzierte und geeichte GEMS-Mosaik samt aller verfügbaren Zusatzinformation für die wissenschaftliche Gemeinschaft zugänglich gemacht wird. Diese Daten können über das *Multi-mission Archive at Space Telescope* (MAST) frei abgerufen werden; eine große Anzahl internationaler Nutzer hat dies auch getan.

**Veröffentlichung der Ergebnisse:** Im Rahmen des GEMS-Projekts wurde eine große Anzahl wissenschaftlicher Ergebnisse in Form referierter und unreferierter Publikationen (letztere in der Regel Beiträge zu Konferenzen und Sammelbänden) hervorgebracht. Wir unterscheiden hier noch zwischen Publikationen, die thematisch unmittelbar aus dem am AIP geförderten wissenschaftlichen Arbeitsprogramm hervorgegangen sind, und solchen, zu denen die geförderte Arbeitsgruppe ebenfalls maßgeblich beigetragen hat, die aber nicht unmittelbar die Thematik der Aktiven Galaxienkerne betreffen, sondern die allgemeinere Zielsetzung der Galaxienentwicklung. Alle Publikationen in referierten Zeitschriften werden nachfolgend aufgeführt.

Von bemerkenswertem öffentlichem Echo war die Entwicklung des “Skywalker”-Konzepts, das für den GEMS-Survey nach einer Idee von L. Wisotzki gemeinsam durch S.F. Sanchez und K. Jahnke realisiert worden war, erstmals 2004 und nachfolgend mehrfach verbessert und auf andere Daten erweitert. Mit dem Skywalker kann man in komfortabler Weise per Maus

auf dem riesigen GEMS-Datenmosaik herumreisen und die Vielfalt von Galaxien bestaunen. Das ganze ist so programmiert, dass es selbst bei einer relativ langsamen Internetverbindung noch funktioniert, da zu keinem Zeitpunkt umfangreiche Datenmengen transferiert werden müssen. Eine durch K. Jahnke für das Hubble Ultra Deep Field adaptierte Version wurde vom Space Telescope Science Institute weltweit propagiert und durch das Space Telescope Users Committee als herausragender Beitrag zur Popularisierung gelobt.

## Veröffentlichungen

### Aktive Galaxienkerne

- Jahnke K., Sánchez S. F., Wisotzki L., Barden M., Beckwith S. V. W., Bell E. F., Borch A., Caldwell J. A. R., Häussler B., Heymans C., Jogee S., McIntosh D. H., Meisenheimer K., Peng C. Y., Rix H.-W., Somerville R. S., Wolf C., 2004: *Ultraviolet Light from Young Stars in GEMS Quasar Host Galaxies at  $1.8 < z < 2.75$* , ApJ 614, 568-585
- Sánchez S. F., Jahnke K., Wisotzki L., McIntosh D. H., Bell E. F., Barden M., Beckwith S. V. W., Borch A., Caldwell J. A. R., Häussler B., Jogee S., Meisenheimer K., Peng C. Y., Rix H.-W., Somerville R. S., Wolf C., 2004: *Colors of Active Galactic Nucleus Host Galaxies at  $0.5 < z < 1.1$  from the GEMS Survey*, ApJ 614, 586-606
- Jahnke K., Wisotzki L., Sánchez S. F., 2006: *Young stars in high-z QSO host galaxies*, New Astronomy Review 50, 766-768
- Wisotzki L., Jahnke K., Sanchez S. F., Schramm M., 2006: *The evolution of QSO host colours*, New Astronomy Review 50, 829-832

### Galaxienentwicklung und GEMS-Projekt

- Rix H., Barden M., Beckwith S. V. W., Bell E. F., Borch A., Caldwell J. A. R., Häussler B., Jahnke K., Jogee S., McIntosh D. H., Meisenheimer K., Peng C. Y., Sanchez S. F., Somerville R. S., Wisotzki L., Wolf C., 2004: *GEMS: Galaxy Evolution from Morphologies and SEDs*, ApJS 152, 163-173
- Bell E. F., McIntosh D. H., Barden M., Wolf C., Caldwell J. A. R., Rix H., Beckwith S. V. W., Borch A., Häussler B., Jahnke K., Jogee S., Meisenheimer K., Peng C. Y., Sanchez S. F., Somerville R., Wisotzki L., 2004: *GEMS Imaging of Red Sequence Galaxies at  $z \sim 0.7$ : Dusty or Old?*, ApJL 600, L11
- Jogee S., Barazza F. D., Rix H.-W., Shlosman I., Barden M., Wolf C., Davies J., Heyer I., Beckwith S. V. W., Bell E. F., Borch A., Caldwell J. A. R., Conselice C. J., Dahlen T., Häussler B., Heymans C., Jahnke K., Knapen J. H., Laine S., Lubell G. M., Mobasher B., McIntosh D. H., Meisenheimer K., Peng C. Y., Ravindranath S., Sanchez S. F., Somerville R. S., Wisotzki L., 2004: *Bar Evolution Over the Last Eight Billion Years: A Constant Fraction of Strong Bars in GEMS*, ApJ 615, L105
- Wolf C., Bell E. F., McIntosh D. H., Rix H.-W., Barden M., Beckwith S. V. W., Borch A., Caldwell J. A. R., Häussler B., Heymans C., Jahnke K., Jogee S., Meisenheimer K., Peng C. Y., Sanchez S. F., Somerville R. S., Wisotzki L., 2005: *GEMS: In what type of galaxies do most stars form at  $z \sim 0.7$ ?*, ApJ 630, 771
- McIntosh D. H., Bell E. F., Rix H.-W., Wolf C., Heymans C., Peng, C. Y. Jogee S., Somerville R. S., Barden M., Beckwith S. V. W., Borch A., Caldwell J. A. R., Häussler B., Jahnke K., Jogee S., Meisenheimer K., Sanchez S. F., Wisotzki L., 2005: *The Evolution of Early-Type Red Galaxies with the GEMS Survey: Luminosity-Size and Stellar Mass-size Relations Since  $z = 1$* , ApJ 632, 191

- Heymans C., Brown M., Barden M., Caldwell J. A. R., Jahnke K., Rix H.-W., Taylor A., Beckwith S. V. W., Bell E. F., Borch A., Haeussler B., Jogee S., McIntosh D. H., Meisenheimer K., Peng C. Y., Sanchez S. F., Somerville R. S., Wisotzki L., Wolf C., 2005: *Cosmological Weak Lensing with the HST GEMS Survey*, MNRAS 361, 160
- Barden M., Rix H.-W., Somerville R. S., Bell E. F., Haeussler B., Peng C. Y., Jogee S., Borch A., Beckwith S. V. W., Caldwell J. A. R., Heymans C., Jahnke K., Jogee S., McIntosh D. H., Meisenheimer K., Sanchez S. F., Wisotzki L., Wolf C., 2005: *GEMS: The Size Evolution of Disk Galaxies*, ApJ 635, 959
- Heymans C., Bell E. F., Rix H.-W., Barden M., Borch A., Caldwell J. A. R., McIntosh D. H., Meisenheimer K., Peng C. Y., Wolf C., Beckwith S. V. W., Häußler B., Jahnke K., Jogee S., Sánchez S. F., Somerville R., Wisotzki L., 2006: *A weak lensing estimate from GEMS of the virial to stellar mass ratio in massive galaxies to  $z \sim 0.8$* , MNRAS 371, L60
- Bell E. F., Naab T., McIntosh D. H., Somerville R. S., Caldwell J. A. R., Barden M., Wolf C., Rix H.-W., Beckwith S. V. W., Borch A., Haeussler B., Heymans C., Jahnke K., Jogee S., Meisenheimer K., Peng C. Y., Sanchez S. F., Wisotzki L., 2006: *Dry Mergers in GEMS: The Dynamical Evolution of Massive Early-Type Galaxies*, ApJ 640, 241
- Haeussler B., McIntosh D. H., Barden M., Bell E. F., Rix H., Borch A., Beckwith S. V. W., Caldwell J. A. R., Heymans C., Jahnke K., Jogee S., Kuposov S. E., Meisenheimer K., Sanchez S. F., Somerville R. S., Wisotzki L., Wolf C., 2007: *GEMS: Galaxy fitting catalogues and testing parametric galaxy fitting codes: GALFIT, GIM2D*, ApJS 172, 615
- Caldwell J. A. R., McIntosh D. H., Rix H., Barden M., Beckwith S. V. W., Bell E. F., Borch A., Heymans C., Haeussler B., Jahnke K., Jogee S., Meisenheimer K., Peng C. Y., Sanchez S. F., Somerville R. S., Wisotzki L., Wolf C., 2008: *GEMS Survey Data and Catalog*, ApJS 174, 136
- Somerville R. S., Barden M., Rix H.-W., Bell E. F., Borch A., Beckwith S. V. W., Caldwell J. A. R., Haeussler B., Heymans C., Jahnke K., Jogee S., McIntosh D. H., Meisenheimer K., Peng C. Y., Sanchez S. F., Wisotzki L., Wolf C., 2008: *An Explanation for the Observed Weak Size Evolution of Disk Galaxies*, ApJ 672, 776
- Jogee S., Miller S. H., Penner K., Skelton R. E., Conselice C. J., Somerville R. S., Bell E. F., Zheng X. Z., Rix H., Robaina A. R., Barazza F. D., Barden M., Borch A., Beckwith S. V. W., Caldwell J. A. R., Peng C. Y., Heymans C., McIntosh D. H., Häußler B., Jahnke K., Meisenheimer K., Sanchez S. F., Wisotzki L., Wolf C., Papovich C., 2009: *History of Galaxy Interactions and Their Impact on Star Formation Over the Last 7 Gyr from GEMS*, ApJ 697, 1971-1992
- Robaina A. R., Bell E. F., Skelton R. E., McIntosh D. H., Somerville R. S., Zheng X., Rix H., Bacon D., Balogh M., Barazza F. D., Barden M., Böhm A., Caldwell J. A. R., Gallazzi A., Gray M. E., Häussler B., Heymans C., Jahnke K., Jogee S., van Kampen E., Lane K., Meisenheimer K., Papovich C., Peng C. Y., Sánchez S. F., Skibba R., Taylor A., Wisotzki L., Wolf C., 2009: *Less Than 10 Percent of Star Formation in  $z \sim 0.6$  Massive Galaxies is Triggered by Major Interactions*, ApJ 704, 324-340

## 6 Die kosmologische Entwicklung von Quasar-Hostgalaxien zwischen $z \simeq 2$ und $z \simeq 0$

### 6.1 Einleitung

Unter dem obigen Titel wurde ein Vorhaben gefördert, das überwiegend auf Daten beruht, die im Rahmen von drei verschiedenen Projekten am Hubble Space Telescope (HST) eingeworben worden waren. Mit diesen drei Beobachtungsprojekten waren jeweils leicht unterschiedliche Ziele verbunden, die sich aber alle in der obigen Überschrift wiederfinden lassen. Die Teilvorhaben im Einzelnen:

**Teilprojekt 1: Morphologie und stellare Populationsdiagnostik von Quasar-Hostgalaxien bei  $z \simeq 2$ .** Dieses Teilvorhaben beruhte auf Beobachtungen einer kleinen, aber wohldefinierten Stichprobe von Quasaren mit der Nahinfrarotkamera NICMOS. PI des Beobachtungsprojekts (31 HST-Orbits) war L. Wisotzki. Die Auswahl der Objekte war anhand der Tatsache erfolgt, dass diese Objekte bereits im Rahmen des GEMS-Projektes im optischen Spektralbereich beobachtet und ihre Hostgalaxien erfolgreich nachgewiesen worden waren. Nach mehreren weitgehend erfolglosen Versuchen anderer Gruppen in den letzten Jahren, im Infraroten detektierte Quasar-Hostgalaxien im optischen nachzuweisen, waren wir die ersten (und bis heute die einzigen), die – erfolgreich – den umgekehrten Weg beschritten.

Die Beobachtungen wurden zwischen März und August 2005 durchgeführt. Die Datenqualität erwies sich als einwandfrei.

Die Reduktion, Analyse und Auswertung der Daten erfolgte im Rahmen eines Promotionsprojekts an der Universität Potsdam. Weiter unten wird im Einzelnen auf die Ergebnisse eingegangen.

**Teilprojekt 2: Quantitative und vergleichende Morphologie von AGN-Hostgalaxien bei  $z \simeq 1$ .** Dieses Teilvorhaben beruhte hauptsächlich auf einer Beteiligung unserer Gruppe an dem STAGES-Projekt (Space Telescope A901/902 Galaxy Evolution Survey; PI Dr. M. Gray, Nottingham), in dessen Rahmen ein großes Mosaik (80 HST-Pointings in ebensovielen Orbits) der Region um den Superhaufen A901/902 erstellt wurde. Das STAGES-Team ging – mit einigen personellen Änderungen – aus dem GEMS-Konsortium hervor, und die Beobachtungsplanung konnte von den Erfahrungen aus GEMS profitieren. Allerdings war die wissenschaftliche Zielsetzung eine deutlich andere: Während bei GEMS das zentrale Ziel eine Untersuchung der Galaxienentwicklung als Funktion der Rotverschiebung war, lag der Fokus bei STAGES auf der Umgebungsabhängigkeit von Galaxieneigenschaften, insbesondere im Umfeld eines noch nicht relaxierten Superhaufens. Eine solche Studie gab es zuvor nicht, und vergleichbares ist auch bis heute nicht verfügbar. Allenfalls erreichte die im Rahmen des GalaxyZoo-Projekts durchgeführte morphologische Untersuchung des gesamten SDSS einen ähnlichen Bereich an kosmischen Überdichten.

Darüber hinaus konnte das STAGES-Datenmaterial natürlich aber auch für die Untersuchung von Galaxieneigenschaften bei anderen Rotverschiebungen als der des Superhaufens genutzt werden (*“background science”*), was insbesondere in Kombination mit GEMS eine Verdoppelung der Datenbasis bedeutete. Die dazu benötigten Rotverschiebungen wurden ebenso wie bei GEMS durch den zuvor durchgeführten COMBO-17-Survey geliefert.

Die STAGES-Daten wurden zwischen Januar 2005 und Januar 2006 aufgenommen. Die Qua-

lität der Daten ist wiederum bestechend. Die Datenreduktion konnte aufgrund der GEMS-Erfahrungen relativ schnell vorgenommen werden. Die Analyse und wissenschaftliche Auswertung hat im Laufe von 2007 begonnen und ist noch keineswegs abgeschlossen. Zum jetzigen Zeitpunkt sind 6 referierte Publikationen im Rahmen von STAGES erschienen, weitere sind in Vorbereitung.

Das wissenschaftliche Interesse unserer Potsdamer Gruppe an STAGES bestand primär im Aspekt der aktiven Galaxienkerne im Feld, und zwar in der Frage, wie sich die morphologischen Eigenschaften der AGN-Hostgalaxien quantitativ charakterisieren lassen, und was daraus für Schlüsse über die Entwicklung von AGN gezogen werden können.

**Teilprojekt 3: Detailuntersuchungen von nahen ( $z \simeq 0.2$ ) Quasaren: Testen der Mergerhypothese.** Dieses Teilvorhaben umfasste die Nachbeobachtung von Quasaren des Hamburg/ESO-Survey in Form hochaufgelöster Bilder. Zu allen Quasaren waren außerdem bereits mit dem ESO-VLT integralfeldspektroskopische Daten eingeworben worden. Dieses Vorhaben war in Kooperation mit Kollegen aus Lausanne (PI des HST-Antrags war Dr. F. Courbin) und Liege durchgeführt worden. Ziel des Vorhabens war eine detaillierte morphologische Charakterisierung der beobachteten Quasar-Hostgalaxien, insbesondere zur Unterstützung der spektroskopischen Auswertung, die ja eine bedeutend geringere Winkelauflösung aufwies. Das Besondere an unserem Ansatz und der Grund für die Bewilligung der Beobachtungszeit war gerade die Chance der Kombination dieser unterschiedlichen Datentypen.

Die HST-Beobachtungen wurden zwischen September 2004 und August 2005 durchgeführt. Die Daten sind von hoher Qualität und zeigen einige der schönsten Beispiele für Hostgalaxien leuchtkräftiger Quasare. Allerdings erwies sich die geplante Kombination von direkter Abbildung und Integralfeldspektroskopie als sehr schwierig, letztlich in der ursprünglich vorgesehenen Form als nicht realisierbar. Somit blieb nur die getrennte Auswertung und die Zusammenführung extrahierter Daten. Für ein herausragendes Objekt (s.u.) konnte dies bereits Anfang 2005 durchgeführt werden, der Großteil der Datenreduktion und Analyse erfolgte im Rahmen eines Dissertationsprojekts an der Universität Liege und wurde erst vor kurzem abgeschlossen.

## 6.2 Einzelheiten des Vorhabens

Die Zuwendung wurde hauptsächlich zur Finanzierung folgenden Personals eingesetzt:

- eine Promotionsförderstelle (Herr Malte Schramm), eingestellt vom 01.11.2005 bis zum 31.10.2008.
- ein Wissenschaftlicher Mitarbeiter (Herr Dr. Asmus Böhm), eingestellt vom 01.10.2005 bis zum 30.09.2008.

Die darüber hinaus zur Verfügung gestellten Reisemittel wurden genutzt zur Teilnahme der Projektteilnehmer an internationalen Konferenzen zur Vorstellung der Resultate sowie zur Information über den Stand der Forschung auf dem Gebiet der aktiven Galaxienkerne. Des Weiteren reiste Herr Schramm für längere Zeit zum Space Telescope Science Institute nach Baltimore/USA, um sich dort über Fortschritte im Umgang mit Daten des NICMOS-Instruments zu informieren. Herr Böhm nahm an mehreren Kollaborationstreffen an verschiedenen Orten in Europa teil.

## Teilprojekt 1: Morphologie und stellare Populationsdiagnostik von Quasar-Hostgalaxien bei $z \simeq 2$ .

**Ziele und Ergebnisse:** Die einzelnen Ziele des ursprünglichen Vorhabens waren:

- *Morphologie.* Die von uns bestimmten effektiven Radien von typischerweise  $\sim 2$  kpc liegen am Rande dessen, was mit HST für AGN-Hostgalaxien noch aufgelöst werden kann. Damit wurde das etwa gleichzeitig auch für inaktive Galaxien entdeckte Phänomen der sehr kompakten Galaxien bei  $z \sim 2$  auf AGN-Hostgalaxien ausgedehnt.
- *Interpretation der Farben.* Im Zuge der Bearbeitung des Aspekts der  $M_{\text{BH}}-M_{\text{Bulge}}$ -Relation (s.u.) wurde vor allem Wert auf eine robuste Abschätzung der stellaren Massen gelegt. Dazu wurde auch eigens ein Monte-Carlo-Code entwickelt, der die Unsicherheiten der Ergebnisse quantifiziert. Es ergaben sich stellare Massen im Bereich von typischerweise  $\sim 10^{11}$  oder knapp darunter.
- *Erstellung einer Vergleichsstichprobe.* Da mehrere methodisch vergleichbare Studien inaktiver Galaxien parallel von anderen Forschergruppen durchgeführt worden waren, konnten Vergleichsstichproben somit unmittelbar aus der Literatur entnommen werden.

Im Laufe der Durchführung des Vorhabens kam vor allem folgender Aspekt noch hinzu:

- *Untersuchung der  $M_{\text{BH}}-M_{\text{Bulge}}$ -Relation und ihrer Entwicklung.* Zum Zeitpunkt der Antragstellung noch überhaupt nicht abzusehen, stellte sich bald heraus, dass mit einer solchen Stichprobe eine deutliche Verbesserung der  $M_{\text{BH}}-M_{\text{Bulge}}$ -Relation bei  $z \sim 2$  möglich sein würde, sofern spektroskopische Daten die Bestimmung der entsprechenden Schwarzschild-Massen erlauben. Damit wurde das Vorhaben unmittelbar relevant für eines der aktuellsten und umstrittensten Themen der Galaxienentwicklung. Nachdem unsere Einwerbung der notwendigen Spektroskopiedaten am ESO-VLT erfolgreich war, wurde auch dieser Aspekt in die Auswertung einbezogen. Es ergaben sich Hinweise auf eine schwache, aber statistisch signifikante Entwicklung des  $M_{\text{BH}}/M_{\text{Bulge}}$ -Verhältnissen zwischen  $z \approx 0$  und  $z \approx 2$ .

Die Endergebnisse dieses Teilvorhabens sind in der Dissertation von Herrn Schramm zusammengefasst, die zur Zeit noch nicht ganz abgeschlossen ist. Es ist geplant, diese in Form von drei referierten Publikationen zu veröffentlichen.

**Parallele Fortschritte auf dem Gebiet:** Die Frage nach der Gültigkeit der  $M_{\text{BH}}-M_{\text{Bulge}}$ -Relation bei höheren Rotverschiebungen sowie ihrer Entwicklung mit  $z$  hat in den letzten Jahren eine fast unüberschaubare Flut von Publikationen ausgelöst. Unsere Ergebnisse wurden auf mehreren internationalen Konferenzen vorgestellt und gehören nach vielen Urteilen zu den belastbarsten in diesem Feld. Allerdings sind die Unsicherheiten trotz allem noch erheblich.

## Teilprojekt 2: Quantitative und vergleichende Morphologie von AGN-Hostgalaxien bei $z \simeq 1$ .

**Ziele und Ergebnisse:** Die einzelnen Ziele des ursprünglichen Vorhabens waren:

- *Bereitstellung der Stichprobe.* Als Mitglieder des STAGES-Konsortiums gehörte es zu unseren Aufgaben, bei der Datenauswertung insgesamt mitzuwirken. Dabei waren wir insbesondere für die Konstruktion der Point-Spread-Function zuständig. Anhand des COMBO-17-Katalogs wurden dann das entsprechende AGN-Datenmaterial extrahiert und der Analyse zugeführt. Das ursprüngliche Fernziel, auch noch die Daten des COSMOS-Projekts einzubeziehen, musste als unrealistisch verworfen werden.
- *Software zur Simultananpassung.* Das PAMDAI-Softwarepaket zur Anpassung von Modellen an Quasar-Hostgalaxienbilder wurde durch Herrn Schramm dahingehend erweitert, dass mehrere Bilder des gleichen Quasars simultan modelliert werden können. Es zeigte sich, dass der Hauptnutzen dieser Software in Teilprojekt 1 lag.
- *Quantitative Klassifikation.* Die Systeme CAS und Gini/M20 wurden von uns überprüft. Zum Vergleich zwischen Quasar-Hostgalaxien und normalen inaktiven Galaxien musste noch ein weiterer wichtiger Schritt eingebaut werden, nämlich das systematische Degradieren der inaktiven Galaxien durch Einbau und nachfolgendes Subtrahieren einer künstlichen Punktquelle. Es ergab sich, dass die oft geäußerten Behauptung, Quasare säßen überhäufig in stark gestörten Galaxien, für unsere große Stichprobe nicht haltbar ist. Die zugehörige Publikation (Böhm et al. 2010) steht kurz vor der Einreichung in einem referierten Journal.
- *Morphologische Evolution.* Mehr oder weniger gleichzeitig wurden im Rahmen des SDSS Untersuchungen von AGN-Hostgalaxien bei  $z \approx 0$  durchgeführt, die zu sehr ähnlichen Ergebnissen kommen wie wir bei  $z \approx 0.7$ . Zusammengeführt lässt sich dies als Evidenz für “keine Evolution” interpretieren.

**Parallele Fortschritte auf dem Gebiet:** Eine wichtige Parallelentwicklung zu STAGES war zweifellos das etwa gleichzeitig aufgenommene COSMOS-Projekt – des größten jemals mit HST erstellten (monochromatischen) Mosaiks. Hinsichtlich des Aspekts der “background science” stellte COSMOS ein konkurrierendes und letztendlich durch die weit größere Datenmenge wie auch die bessere personelle Ausstattung überlegenes Vorhaben dar. Allerdings ist der Aspekt der quantitativen Morphologie von AGN-Hostgalaxien innerhalb von COSMOS bisher nur in einer methodisch völlig unzureichenden Weise angegangen worden; dieses Ergebnis unserer Arbeit stellen also auch gegen diese Konkurrenz einen signifikanten Fortschritt dar.

### **Teilprojekt 3: Detailuntersuchungen von nahen ( $z \simeq 0.2$ ) Quasaren: Testen der Mergerhypothese.**

**Ziele und Ergebnisse:** Die einzelnen Ziele des ursprünglichen Vorhabens waren:

- *Morphologische Analyse.* Die morphologische Analyse der Daten ergab einen überraschend hohen Anteil (für so leuchtkräftige Quasare) von scheibendominierten Galaxien. Damit erschwerte sich die Analyse dahingehend, dass mehr als eine einfache Sersic-Komponente berücksichtigt werden muss, insbesondere auch Spiralarme. Erst die vor kurzem veröffentlichte GALFIT-Version ist dazu imstande. Diese Arbeiten sind noch nicht abgeschlossen.
- *Kartierung kleinskaliger Strukturen.* Dieser Aspekt spielte speziell eine Rolle beim Zusammenführen von Bild- und spektroskopischer Information, und zwar in beiden Richtungen: Identifikation von in den Bildern gefundenen Strukturen in den Spektren, aber auch Suche nach Gegenstücken von z.B. Emissionslinienregionen in den ungleich

tiefere Direktbildern. Letzterem kam bei der Untersuchung von HE 0450–2958 (s.u.) eine zentrale Rolle zu.

- *Begleiterstatistik.* Diesem Aspekt wurde in der bisherigen Auswertung noch keine große Aufmerksamkeit gewidmet.

Im Laufe der Durchführung des Vorhabens hinzu kam vor allem folgender Aspekt:

- *Interpretation des HE 0450–2958-Systems.* Bereits Anfang 2005 stellte sich heraus, dass dieser Quasar sehr ungewöhnlich sein muss, denn trotz sorgfältiger Analyse mit verschiedenen Methoden konnte die Hostgalaxie in unseren HST-Daten nicht gefunden werden, obwohl dies unbedingt zu erwarten gewesen wäre. Die Hostgalaxie ist also erheblich unterleuchtkräftig (was zu Konflikten mit der  $M_{\text{BH}}-M_{\text{Bulge}}$ -Relation führt), oder an anderer Stelle zu finden als der Quasar selbst, was wiederum erklärt werden müsste. Diese Entdeckung, publiziert als *Letter in Nature*, führte zu einer großen Zahl nachfolgender Publikationen zur Deutung dieses Phänomens. Inzwischen wurde die Hostgalaxie in einer extrem tiefen Aufnahme des ESO-VLT tatsächlich entdeckt, sie unterliegt dem Quasar und ist in der Tat ganz ungewöhnlich leuchtschwach.

**Parallele Fortschritte auf dem Gebiet:** Durch die Entdeckung des außerordentlichen Systems HE 0450–2958 wurde die Diskussion über mögliche aus ihren Muttergalaxien herausgeschleuderte schwarze Löcher neu angeheizt. Innerhalb weniger Wochen nach Erscheinen unseres Nature-Letters kam es zur Veröffentlichung von drei Arbeiten, die alle unterschiedliche Vorschläge zur Deutung machten. Im Rückblick muss man sagen, dass sie alle falsch waren.

## Ergebnisbeurteilung

**Notwendigkeit und Angemessenheit der Arbeit:** Die Qualität der Daten hat die wissenschaftlichen Erwartungen erfüllt, und ihre Analyse hat den erhofften Erkenntnisgewinn erbracht. Die Förderung war eine unbedingte Voraussetzung hierzu, ohne die weder die aufwändige und langwierige Datenreduktion noch die Analyse der Daten hätte durchgeführt werden können. Aus dem Vorhaben sind bereits etliche wissenschaftliche Publikationen hervorgegangen, weitere sind in Vorbereitung.

**Nutzen und Verwertbarkeit:** Das geförderte Vorhaben hat der astronomischen Grundlagenforschung erhebliche Erkenntnisfortschritte erbracht. Wirtschaftlicher Nutzen und Verwertbarkeit war zu keiner Zeit zu erhoffen und wurde auch nicht erbracht.

Verwertbarkeit: Während die Rohdaten des Hubble-Teleskops grundsätzlich weltweit verfügbar sind, hat unsere Gruppe in einer besonderen Anstrengung dafür gesorgt, dass das vollständig reduzierte und geeichte STAGES-Mosaik samt aller verfügbaren Zusatzinformation für die wissenschaftliche Gemeinschaft zugänglich gemacht wird. Diese Daten können über das *Multi-mission Archive at Space Telescope* (MAST) frei abgerufen werden.

**Veröffentlichung der Ergebnisse:** Im Rahmen des hier beschriebenen Projekts wurde eine beträchtliche Anzahl wissenschaftlicher Ergebnisse in Form referierter und unreferierter Publikationen (letztere in der Regel Beiträge zu Konferenzen und Sammelbänden) hervorgebracht. Wir unterscheiden hier noch zwischen Publikationen, die thematisch unmittelbar

aus dem am AIP geförderten wissenschaftlichen Arbeitsprogramm hervorgegangen sind, und solchen, zu denen die geförderte Arbeitsgruppe ebenfalls maßgeblich beigetragen hat, die aber nicht unmittelbar die Thematik der Aktiven Galaxienkerne betreffen, sondern die allgemeinere Zielsetzung der Galaxienentwicklung. Alle diese Publikationen werden nachfolgend aufgeführt. Wie oben mehrfach gesagt, sind die Arbeiten noch nicht abgeschlossen, weitere Publikationen werden zur Zeit vorbereitet oder sind geplant.

## Veröffentlichungen

### Quasar-Hostgalaxien

- Magain P., Letawe G., Courbin F., Jablonka P., Jahnke K., Meylan G., Wisotzki L., 2005: *Discovery of a bright quasar without a massive host galaxy*, Nature 437, 381-384
- Letawe G., Magain P., Courbin F., Jablonka P., Jahnke K., Meylan G., Wisotzki L., 2007: *On-axis spectroscopy of the host galaxies of 20 optically luminous quasars at  $z \sim 0.3$* , MNRAS 378, 83
- Schramm M., Wisotzki L., Jahnke K., 2008: *Host galaxies of bright high-redshift quasars: Luminosities and Colours*, A&A 478, 311
- Khalatyan A., Cattaneo A., Schramm M., Gottloeber S., Steinmetz M., Wisotzki L., 2008: *Is AGN feedback necessary to form red elliptical galaxies?*, MNRAS 387, 13
- Gavignaud I., Wisotzki L., Bongiorno A., et al., 2008: *Eddington ratios of faint AGN at intermediate redshift: evidence for a population of half-starved black holes*, A&A 492, 637-650
- Jahnke K., Elbaz D., Pantin E., Böhm A., Wisotzki L., Letawe G., Chantry V., Lagage P., 2009: *The QSO HE 0450-2958: Scantily Dressed or Heavily Robed? A Normal Quasar as Part of an Unusual ULIRG*, ApJ 700, 1820-1830

### Galaxienentwicklung und STAGES-Projekt

- Gray M. E., Wolf C., Barden M., Peng C. Y., Häußler B., Bell E. F., McIntosh D. H., Guo Y., Caldwell J. A. R., Bacon D., Balogh M., Barazza F. D., Böhm A., Heymans C., Jahnke K., Jogee S., van Kampen E., Lane K., Meisenheimer K., Sánchez S. F., Taylor A., Wisotzki L., Zheng X., Green D. A., Beswick R. J., Saikia D. J., Gilmour R., Johnson B. D., Papovich C., 2009: *STAGES: the Space Telescope A901/2 Galaxy Evolution Survey*, MNRAS 393, 1275-1301
- Wolf C., Aragón-Salamanca A., Balogh M., Barden M., Bell E. F., Gray M. E., Peng C. Y., Bacon D., Barazza F. D., Böhm A., Caldwell J. A. R., Gallazzi A., Häußler B., Heymans C., Jahnke K., Jogee S., van Kampen E., Lane K., McIntosh D. H., Meisenheimer K., Papovich C., Sánchez S. F., Taylor A., Wisotzki L., Zheng X., 2009: *The STAGES view of red spirals and dusty red galaxies: mass-dependent quenching of star formation in cluster infall*, MNRAS 393, 1302-1323
- Gallazzi A., Bell E. F., Wolf C., Gray M. E., Papovich C., Barden M., Peng C. Y., Meisenheimer K., Heymans C., van Kampen E., Gilmour R., Balogh M., McIntosh D. H., Bacon D., Barazza F. D., Böhm A., Caldwell J. A. R., Häußler B., Jahnke K., Jogee S., Lane K., Robaina A. R., Sanchez S. F., Taylor A., Wisotzki L., Zheng X., 2009: *Obscured Star Formation in Intermediate-Density Environments: A Spitzer Study of the Abell 901/902 Supercluster*, ApJ 690, 1883-1900
- Marinova I., Jogee S., Heiderman A., Barazza F. D., Gray M. E., Barden M., Wolf C., Peng C. Y., Bacon D., Balogh M., Bell E. F., Böhm A., Caldwell J. A. R., Häußler B., Heymans

- C., Jahnke K., van Kampen E., Lane K., McIntosh D. H., Meisenheimer K., Sánchez S. F., Somerville R., Taylor A., Wisotzki L., Zheng X., 2009: *Barred Galaxies in the Abell 901/2 Supercluster with Stages*, ApJ 698, 1639-1658
- Heiderman A., Jogee S., Marinova I., van Kampen E., Barden M., Peng C. Y., Heymans C., Gray M. E., Bell E. F., Bacon D., Balogh M., Barazza F. D., Böhm A., Caldwell J. A. R., Häußler B., Jahnke K., Lane K., McIntosh D. H., Meisenheimer K., Sánchez S. F., Somerville R. S., Taylor A., Wisotzki L., Wolf C., Zheng X., 2009: *Interacting Galaxies in the A901/902 Supercluster with Stages*, ApJ 705, 1433-1455
- Barazza F. D., Wolf C., Gray M. E., Jogee S., Balogh M., McIntosh D. H., Bacon D., Barden M., Bell E. F., Böhm A., Caldwell J. A. R., Häußler B., Heiderman A., Heymans C., Jahnke K., van Kampen E., Lane K., Marinova I., Meisenheimer K., Peng C. Y., Sanchez S. F., Taylor A., Wisotzki L., Zheng X., 2009: *Relating basic properties of bright early-type dwarf galaxies to their location in Abell 901/902*, A&A 508, 665-675

# 7 Dynamik des Strahlungsmechanismus superweicher Röntgenquellen

## 7.1 Einleitung

Auswertung und Interpretation eines in der AO6 eingeworbenen umfangreichen XMM-Newton Datensatzes der Superweichen Röntgenquelle CAL 83. Bei dieser, auch **Supersoft Sources**, (SSS) genannten Objektklasse kommt es laut Standardhypothese (van den Heuvel et al. 1992, A&A 262, 97; Rappaport et al. 1994, ApJ 426, 692) stationären Wasserstoffschalenbrennen auf der Oberfläche eines massenakkretierenden Weißen Zwerges. Der im Gegensatz zu den Novae nicht eruptive Fusionsprozeß, die durch das Standardmodell implizierten hohen Massenakkretionsraten von  $\sim 10^{-7} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$  und die relative hohe Masse des Begleitsterns machen SSS zu bisher besten Kandidaten für die bisher unidentifizierten Vorläufersysteme von Supernovae des Typs Ia. Im Falle der dem 'single degenerate' Szenario zugeordneten SSS kommt es zur Supernovaexplosion durch Massentransfer induzierten Kernkollaps des Weißen Zwerges beim Überschreiten der Chandrasekhar Grenze. CAL 83 zählt neben RXJ0513.9-69 zu den beiden SSS bei denen es zu anti-korrelierten, quasi-periodischen Veränderungen des optischen und Röntgenflusses kommt (Greiner & DiStefano 2002, A&A 387, 944; Southwell et al. 1996, ApJ 470, 1065). Dieses Verhalten wird als Grenzyklus eines schalenbrennenden, massenreichen der Weißen Zwerges interpretiert, dessen Massenakkretionsrate sich nahe am Edditionlimit befindet, und machen diese beiden Doppelsterne zu den aussichtsreichsten Vorläufern von Supernovae des Typ Ia. Darüberhinaus sind beide Objekte ideale Laboratorien mit den die Dynamik des Strahlungsmechanismus von SSS untersucht werden kann. Zur Zeit werden zwei unterschiedliche Erklärungsmodelle diskutiert, bei denen die beobachtete Variabilität zum einem durch rein adiabatische Expansion und Kühlung der Sternhülle erklärt wird (Reinsch et al. 2000, A&A 354, L37), oder zusätzlich ein optisch dicker Wind zur Modulation der Röntgenstrahlung bzw. der Massenakkretionsrate führt (Hachisu & Kato 2003, ApJ, 590, 445).

## 7.2 Einzelheiten des Vorhabens

Hauptziel unserer Beobachtung von CAL 83 war, durch ein dichtes Monitoring der Quelle während der Übergangsphase vom röntgenschwachen zum röntgenhellen Zustand, Aufschluß über die Gültigkeit der jeweiligen Modellvorstellung zu finden. Grundlage für die eingeworbene XMM-Beobachtung sowie für den Erfolg des gesamten Projekts war ein tägliches optisches Monitoring der Quelle mit dem 1.3 Meter YALO Teleskops, mit dessen Hilfe nach automatischer Reduktion der Daten am AIP der Zustand des Systems zeitnah eingeschätzt und gegebenenfalls die XMM-Beobachtung ausgelöst werden konnte. Nach dem im Dezember 2007 die Röntgenemission der Quelle unter die Nachweisgrenze gefallen war, konnte im März 2008 beim nächsten optisch nachgewiesenen Wechsel des Helligkeitszustand eine Serie von 11 einzelnen XMM-Beobachtungen ausgelöst werden. Dieser Datensatz deckt einen großen Bereich unterschiedlicher Röntgenzählraten (Faktor 100) ab, und ermöglicht die Untersuchung des Phasenübergangs mit kurzen Kadenzzeiten von 2 Tagen. Zusätzlich zu diesen Beobachtungen wurden gezielt drei weitere Beobachtungen getriggert, bei denen sich das System jeweils in einem von uns bisher nicht erfassten Helligkeitszustand befand. Zur Analyse wurden zudem neun pointierte Beobachtungen aus dem XMM-Archiv (PI Lanz) hinzugezogen, die in der gleichen Beobachtungsperiode aufgenommen wurden und unserer Kampagne aufgenommen und vorallem mittlere Helligkeitszustände des Systems abdeckt, die mit unseren Messungen nicht erfasst wurden.

Die Auswertung konzentrierte sich vor allem auf die Röntgenspektroanalyse, die sich für die Beobachtungen im röntgenhellen Zustand auch auf hochaufgelöste Daten des RGS Spektrometers erstreckte. Es wurden verschiedene Emissionsmodelle (Schwarzkörperstrahlung, Modellatmosphäre) und Absorptionsmodelle (neutral, ionisiert) getestet. In Analogie zu den zu testenden Modellvorstellungen wurden verschiedene Parameter (Absorption, intrinsischer Röntgenfluß) festgesetzt und für die anderen Parameter nach Korrelationen gesucht. Für sechs Einzelbeobachtungen war eine Spektralanalyse hoher Auflösung mit dem RGS-Spektrometer möglich. Alle Spektren zeigen sehr ähnliche Liniensignaturen die von zwei Lyman-Serien teilionisierten Kohlenstoffs dominiert werden. In Zusammenarbeit mit T. Rauch (IAAT, Tübingen) wurde ein Grid von Modellatmosphären konstruiert, daß die Temperatur und Oberflächengravitation von CAL 83 abdeckt und für die deutliche Kohlenstoffüberhäufigkeit optimiert ist. Ferner wurde die gesamte zur Verfügung stehende optische Photometrie im Zeitraum von 2001 bis 2009 ausgewertet, um Muster und Zeitskalen der Zustandänderungen im System ableiten zu können. Entscheidend für die Interpretation der spektralen Energieverteilung war auch die OM-Photometrie, die die simultan zu den Röntgenhelligkeiten Helligkeiten in fünf optischen und UV-Bändern lieferte.

### 7.3 Ergebnisse

Im folgenden werden die im Rahmen der Projektziele erreichten Ergebnisse vorgestellt:

1. Die Anti-Korrelation zwischen Röntgenzählrate und optischer bzw. UV-Helligkeit, die im Falle von RXJ0513+69 nur aus zwei Zuständen (an/aus) abgeleitet werden kann (Reinsch et al. 1996, A&A 309, L11), ließ sich für CAL 83 über einen sehr weiten Bereich (Faktor 100 im Röntgenfluß) bestätigen. Dabei konnte erstmal auch weiche Röntgenstrahlung im Zustand hoher optischen/geringer Röntgenemission nachgewiesen werden, die ausschließt das die beobachtete Variation auf das Erlöschen des Schalenbrennen zurückzuführen ist.
2. Die niederaufgelösten Röntgenspektroskopie unter Festsetzung der Absorption zeigte eine Variation der Schwarzkörpertemperatur um 30% in Abhängigkeit von der Röntgenzählrate im Sinne des Modells von Reinsch et al. (2000). Ein Vergleich der zu erwartenden spektralen Energieverteilung mit den Beobachtungen zeigt aber, daß diese Temperaturveränderung nicht ausreicht, um, wie bei Reinsch et al. angenommen, auch den Anstieg der optischen Intensität zu erklären.
3. Es wurden Spektralmodelle mit variabler, ionisierter Absorption bei konstant angenommenen intrinsischem Röntgenfluß angepasst, mit denen, die im Modell von Hachisu & Kato (2003) angenommene Unterdrückung der Röntgenemission durch einen optisch dicken Wind, simuliert werden konnte. Diese Modelle beschreiben die Daten ähnlich gut wie die Anpassungen mit variabler Temperatur, und legen nahe das die Zustände niedriger Röntgenemission mit Säulendichten von  $10^{23} \text{ cm}^{-2}$  erklärbar sind. Für die Verhalten der anti-korrelierten optischen Helligkeit macht das Hachisu-Modell im Gegensatz zu Reinsch et al. keine Vorhersage.
4. Ein wesentliche Element des Modells von Hachisu & Kato sind die Zeitskalen in der sich der optisch dicke Wind bildet, dadurch die Massenakkretion vom Begleitstern unterdrückt, und diese Variationen durch die Akkretionscheibe an die Hülle des brennenden Weißen Zwerges weitergegeben weitergibt. Unsere Beobachtungen ließen sich diese Zeitskalen zum erstenmal detailliert angeben, zeigen ein zu RXJ0513+69 deutlich aperiodischeres Verhalten. Röntgenhelle Zustände wiederholen sich ca. alle 400 Tage, wobei die Länge eines röntgenhellen ca. 200 Tage beträgt. Im Modell von Hachisu &

Kato beträgt diese Dauer höchstens 60 Tage und ist immer kürzer als der vorhergehende röntgenschwache Zustand. In unserer XMM-Beobachtung vom März/April 2008 dauerte ein röntgenheller Zustand nur 5 Tage, viel kürzer als die im Hachisu-Modell veranschlagten 30 Tage, die nötig sind um die komplexen Wechselwirkungen des Windes im Doppelsternsystem zu erklären. Für den Übergang vom röntgenhellen zum röntgenschwachen Zustand, also die Bildung des des optischen Windes, werden im Hachisu-Modell nur wenige Tage veranschlagt, während in CAL 83 Zeitskalen von 20 zu 40 Tagen beobachtet werden.

Zusammenfassend ist zu sagen, daß durch die im Projekt bearbeiteten Beobachtungen ein ähnlicher Grenzyklus wie in RXJ0513+69 bestätigt werden konnte. Es zeigte sich aber, daß beide für RXJ0513+69 entwickelten Modelle im Detail mit den Beobachtungen von CAL 83 nicht verträglich sind. Weitere Fortschritte für das Verständnis der Strahlungsprozesse in diesen SSS setzen bessere Modellvorhersagen für die Antikorrelation zwischen optischen und Röntgenbereich, sowie die Einbeziehung der bisher vernachlässigten Reprozessionsprozesse voraus.

**Notwendigkeit und Angemessenheit der Arbeit** Im Vorhaben wurde eine Detailstudie der superweichen Quelle Cal83 vorgelegt. Ohne eine Förderung durch das DLR hätte der in seinem Umfang einmalige Datensatz nicht bearbeitet werden können und die Ergebnisse nicht erzielt werden können.

**Nutzen und Verwertbarkeit** Das geförderte Vorhaben hat der astronomischen Grundlagenforschung wichtige Erkenntnisse gebracht. Wirtschaftlicher Nutzen und Verwertbarkeit war nicht geplant und wurde nicht erzielt. Die rohen Beobachtungsdaten werden in der Datenbank der ESA der weltweiten astronomischen community zur weiteren Bearbeitung kostenfrei zur Verfügung gestellt.

**Veröffentlichung der Ergebnisse** Die Ergebnisse wurde auf einem von der ESA (ESAC, Madrid) veranstalteten Workshop "Supersoft X-ray Sources - New Developments" vorgestellt. Eine Publikation, die die Ergebnisse der niederaufgelösten Röntgenspektroskopie und das Variabilitätsverhalten im Vergleich mit den beiden gängigen Modellvorstellungen vorstellt, ist weitgehend abgeschlossen, und wird zur Zeit mit den Co-Autoren diskutiert.