

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart Schlussbericht
3a. Titel des Berichts XMM-Newton Charakterisierung neu entdeckter Galaxiengruppen	
3b. Titel der Publikation	
4a. Autoren des Berichts (Name, Vorname(n)) Reiprich, Thomas H.	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.12.2024
4b. Autoren der Publikation (Name, Vorname(n))	6. Veröffentlichungsdatum
	7. Form der Publikation
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Universität Bonn Argelander-Institut für Astronomie Auf dem Hügel 71 53121 Bonn	9. Ber.Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 50 OR 2112
	11a. Seitenzahl Bericht 4
	11b. Seitenzahl Publikation
13. Fördernde Institution (Name, Adresse) Deutsche Raumfahrtagentur im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. Königswinterer Str. 522-524 53227 Bonn	12. Literaturangaben 6
	14. Tabellen
	15. Abbildungen
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung <p>1. Derzeitiger Stand von Wissenschaft und Technik: Die Kosmologie mit Galaxienhaufen beruht auf vollständigen und reinen Stichproben, die einen großen Bereich von Massen und Rotverschiebungen abdecken. In Xu et al. (2018, A&A, 619, A162) und Xu et al. (2022, A&A, 658, A59) entdeckten wir eine scheinbar neue Population von Galaxiengruppen und -haufen mit im Durchschnitt flacheren Röntgenoberflächenhelligkeitsprofilen als bekannte Haufen; diese Haufenpopulation wurde in früheren Haufendurchmusterungen übersehen. Die Entdeckung einer solchen neuen Klasse von Objekten könnte einen bedeutenden Einfluss auf kosmologische Anwendungen von Galaxienhaufen haben.</p> <p>2. Begründung/Ziele der Untersuchung: In dieser Arbeit wollen wir eine Unterstichprobe dieser Systeme charakterisieren, um festzustellen, ob sie zu einer neuen Population gehören.</p> <p>3. Methode: Für drei dieser Galaxiengruppen und -haufen nutzen wir hochwertige XMM-Newton-Beobachtungen. Wir erstellen Bilder und Spektren und nutzen sie für Modellanpassungen. Wir identifizieren bekannte Galaxien, oder Haufen in diesem Feld.</p> <p>4. Ergebnis: Die Beobachtungen zeigen, dass alle drei Systeme jeweils aus mehreren Gruppen bestehen, entweder bei der gleichen oder bei unterschiedlichen Rotverschiebungen. Insgesamt charakterisieren wir neun Gruppen. Wir messen flache Oberflächenhelligkeitsprofile mit dem Steigungsparameter $\beta < 0,6$, d.h. kleiner als der kanonische Wert $\beta=2/3$. Für die beiden zentralen Hauptgruppen messen wir sogar $\beta < 0,4$. Wenn die Flüsse der drei Beobachtungen auf die neun identifizierten Gruppen aufgeteilt werden, überschreitet keine von ihnen die typische Flussgrenze, die in früheren RASS-Haufenkatalogen angenommen wurde, $3 \text{ mal } 10^{-12} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ im Energiebereich von 0,1-2,4 keV.</p> <p>5. Schlussfolgerungen/Anwendungsmöglichkeiten: Die Beobachtungen zeigen, dass es Gruppen mit flachen Oberflächenhelligkeitsprofilen gibt. Ob sie eine neue, separate Population bilden, erfordert angesichts der Komplexität, die wir entdeckt haben, zusätzliche Beobachtungen weiterer Systeme aus der Stichprobe von Xu et al. Solche ausgedehnten Systeme mit geringer Oberflächenhelligkeit sowie Mehrfachsysteme und Projektionseffekte müssen bei der Bestimmung von Auswahlfunktionen von Gruppen- und Haufenproben berücksichtigt werden. Diese Kurzfassung stammt aus unserer Veröffentlichung Spinelli, Veronica et al. (2025, A&A, angenommen).</p>	
19. Schlagwörter Galaxiengruppen	
20. Verlag	21. Preis

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. Type of Report Final Report
3a. Report Title XMM-Newton Charakterisierung neu entdeckter Galaxiengruppen	
3b. Title of Publication	
4a. Author(s) of the Report (Family Name, First Name(s)) Reiprich, Thomas H.	5. End of Project 31.12.2024
4b. Author(s) of the Publication (Family Name, First Name(s))	6. Publication Date
	7. Form of Publication
8. Performing Organization(s) (Name, Address) Universität Bonn Argelander-Institut für Astronomie Auf dem Hügel 71 53121 Bonn	9. Originator's Report No.
	10. Reference No. 50 OR 2112
	11a. No. of Pages Report 4
	11b. No. of Pages Publication
13. Sponsoring Agency (Name, Address) Deutsche Raumfahrtagentur im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. Königswinterer Str. 522-524 53227 Bonn	12. No. of References 6
	14. No. of Tables
	15. No. of Figures
16. Supplementary Notes	
17. Presented at (Title, Place, Date)	
18. Abstract <p>1. State of the art: Galaxy cluster cosmology relies on complete and pure samples spanning over a large range of masses and redshifts. In Xu et al. (2018, A&A, 619, A162) and Xu et al. (2022, A&A, 658, A59), we discovered an apparently new population of galaxy groups and clusters with, on average, flatter X-ray surface brightness profiles than known clusters; this cluster population was missed in previous cluster surveys. The discovery of such a new class of objects could have a significant impact on cosmological applications of galaxy clusters.</p> <p>2. Justification/goals of the investigation: In this work we aim to characterize a subsample of these systems to assess whether they belong to a new population.</p> <p>3. Methods: We follow up three of these galaxy groups and clusters with high-quality XMM-Newton observations. We produce clean images and spectra and use them for model fitting. We also identify known galaxies, groups, or clusters in the field.</p> <p>4. Results: The observations reveal that all three systems are composed of multiple groups each, either at the same or at different redshifts. In total, we characterize nine groups. We measure flat surface brightness profiles with slope parameter $\beta < 0.6$; i.e., less than the canonical $\beta=2/3$. For the two main central groups, we even measure $\beta < 0.4$. When the fluxes for the three observations are split up across the nine identified groups, none of them exceeds the typical flux limit adopted in previous RASS cluster catalogs, 3 times 10^{-12} erg s$^{-1}$ cm$^{-2}$ in the 0.1–2.4 keV energy band.</p> <p>5. Conclusions/applications: The observations reveal that groups with flat surface brightness profiles exist. Whether they form a new, separate population requires additional follow-up observations of further systems from the Xu et al. sample, given the complexity we have discovered. Such extended low surface brightness systems, as well as multiple systems and projection effects, need to be taken into account when determining selection functions of group and cluster samples. This abstract is taken from our publication Spinelli, Veronica et al. (2025, A&A, accepted).</p>	
19. Keywords Galaxy groups	

20. Publisher	21. Price
---------------	-----------

XMM-Newton Charakterisierung neu entdeckter Galaxiengruppen

Förderkennzeichen 50 OR 2112: Schlussbericht

Prof. Dr. Thomas H. Reiprich
Bonn, den 25. Juni 2025

1 Übersicht zur Zuwendung

1.1 Förderkennzeichen:

50 OR 2112.

1.2 Zuwendungsempfänger:

Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.

1.3 Ausführende Stelle:

Argelander-Institut für Astronomie.

1.4 Projektleiter:

Prof. Dr. Thomas H. Reiprich.

1.5 Über das Projekt finanzierte Mitarbeiterinnen:

Claudia Spinelli und Dr. Angie Veronica.

1.6 Vorhabenbezeichnung:

XMM-Newton Charakterisierung neu entdeckter Galaxiengruppen, XCNEG

1.7 Bewilligungszeitraum:

01.11.2021 bis 31.12.2024

1.8 Berichtszeitraum

Schlussbericht.

2 Kurzdarstellung

2.1 Aufgabenstellung

Das Gesamtziel dieses Vorhabens war die Auswertung unserer neuen *XMM-Newton* Beobachtungen von Galaxiengruppen. Die Motivation für dieses Vorhaben und den Beobachtungsantrag war die Charakterisierung der von uns neu entdeckten Galaxiengruppen.

2.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die *XMM-Newton* Daten standen uns zu Beginn des Vorhabens zur Verfügung. Qualifiziertes Personal für die Durchführung war, mit Unterbrechung, über die gesamte, angepasste Projektlaufzeit vorhanden.

2.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Die gesteckten Ziele, sowie weitere darüberhinaus gehende Ergebnisse wurden erreicht.

2.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Bei der Durchführung konnten wir auf eigene wissenschaftliche und technische Vorarbeiten zurückgreifen.

2.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Rahmen einer Konferenzteilnahme fand ein Gedankenaustausch über die Arbeit mit Fachkolleg*innen statt.

3 Eingehende Darstellung

3.1 Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse

Im Antrag wurde das Ziel definiert, während der Vorhabenlaufzeit unsere neuen *XMM-Newton*-Beobachtungen von Galaxiengruppen auszuwerten. Dieses Ziel wurde erreicht und darüberhinaus konnten weitere Nebenergebnisse erzielt werden. Es sind bisher sechs Veröffentlichungen entstanden.

Kosmologie mit Galaxienhaufen beruht auf vollständigen und reinen Stichproben, die einen großen Massen- und Rotverschiebungsbereich umfassen. In Xu et al. (2018) und Xu et al. (2022) hatten wir eine scheinbar neue Population von Galaxiengruppen und -haufen mit durchschnittlich flacheren Helligkeitsprofilen im Röntgenbereich als bekannte Haufen entdeckt; diese Haufenpopulation wurde in früheren Haufendurchmusterungen übersehen. Die Entdeckung einer solchen neuen Klasse von Objekten könnte einen bedeutenden Einfluss auf kosmologische Anwendungen von Galaxienhaufen haben. In diesem Vorhaben wollten wir eine Untergruppe dieser Systeme charakterisieren, um zu beurteilen, ob sie zu einer neuen Population gehören. Wir haben vier dieser Galaxiengruppen und -haufen mit *XMM-Newton* nachbeobachtet. Eine der vier Beobachtungen war kontaminiert und konnte für weitere Analysen nicht genutzt werden. Wir haben Bilder und Spektren erstellt und dann für Modellanpassungen verwendet. Wir haben auch bekannte Galaxien, Gruppen oder Haufen in den Feldern identifiziert. Die Beobachtungen zeigen, dass alle drei Systeme jeweils aus mehreren Gruppen bestehen, entweder bei der gleichen oder bei unterschiedlichen Rotverschiebungen. Insgesamt haben wir neun Gruppen in den drei Beobachtungen charakterisiert. Wir haben flache Oberflächenhelligkeitsprofile gemessen mit dem Steigungsparameter $\beta < 0,6$; d.h. weniger als der kanonische $\beta = 2/3$. Für die beiden zentralen Hauptgruppen haben wir sogar $\beta < 0,4$ gemessen. Wenn die Flüsse der drei Beobachtungen einzeln auf die neun identifizierten Gruppen aufgeteilt werden, überschreitet keine von ihnen die typische Flussgrenze, die in früheren RASS-Haufenkatalogen angenommen wurde, $\approx 3 \times 10^{-12}$ erg/s/cm² im Energieband 0,1–2,4 keV. Die Beobachtungen zeigen, dass es Gruppen mit flachen Oberflächenhelligkeitsprofilen gibt. Ob sie eine neue, separate Population bilden, erfordert angesichts der von uns entdeckten Komplexität zusätzliche Folgebeobachtungen an weiteren Systemen aus der Stichprobe von Xu et al. Solche ausgedehnten Systeme mit geringer Oberflächenhelligkeit sowie Mehrfachsysteme und Projektionseffekte müssen bei der Bestimmung der Auswahlfunktionen von Gruppen- und Haufenproben berücksichtigt werden. Diese Zusammenfassung stammt aus unserer Veröffentlichung Spinelli, Veronica et al. (2025, *A&A*, angenommen, arXiv:2506.19718).

Nach den ersten Analysen, die Frau Spinelli durchgeführt hatte, hatte sich ein kompliziertes Bild ergeben, da wir mit unseren *XMM-Newton*-Daten neun Galaxienhaufen entdeckt hatten, statt der ursprünglich mit dem ROSAT All-Sky Survey katalogisierten drei Galaxienhaufen. Weitere Untersuchungen, inklusive Spektralanalyse waren deshalb geplant. Frau Spinelli hatte uns dann aber jedoch, wie mitgeteilt, vorzeitig Ende Februar 2023 verlassen. Sie konnte jedoch bis dahin noch weitere Analysen durchführen, inklusive einiger Spektralanalysen, auf denen wir aufbauen konnten. Vom 15. März 2024 bis 31. Dezember 2024 hat Frau Veronica die weiteren Analysen durchgeführt. Die resultierende Veröffentlichung (Spinelli, Veronica et al.) wurde mittlerweile von der Fachzeitschrift *Astronomy & Astrophysics*, *A&A*, zur Veröffentlichung angenommen (arXiv:2506.19718).

3.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Der Großteil der Zuwendung war für Personalausgaben vorgesehen. Während der Projektlaufzeit waren zuerst Frau Spinelli und anschliessend Frau Veronica für dieses Vorhaben eingestellt. Die von ihnen durchgeführten Arbeiten sind im obigen Abschnitt beschrieben.

3.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Arbeiten waren insbesondere notwendig, um eine Bearbeitung unserer, in internationaler Konkurrenz eingeworbenen *XMM-Newton* Daten zu gewährleisten. Ohne diese Zuwendung wäre dies nicht möglich gewesen.

3.4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses

Der Nutzen und die Verwertbarkeit des Ergebnisses dieses Vorhabens sind in Abschnitt 3.1 ausführlich dargelegt. Unsere Arbeiten haben ein komplexeres Bild ergeben, als ursprünglich vermutet, was neue Fragen aufgeworfen hat und auch weitere Beobachtungen nötig macht.

3.5 Fortschritt bei anderen Stellen

Bisher wurden keine weiteren *XMM-Newton*-Nachbeobachtungen der Xu et al. Stichprobe von uns oder anderen Stellen durchgeführt. Nach Abschluss dieses Vorhabens planen wir nun, weitere *XMM-Newton*-Beobachtungen zu beantragen.

3.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses

Veröffentlichungen in referierten Fachzeitschriften (mit Acknowledgement)

Hauptergebnis:

1. Spinelli, C., Veronica, A., Pacaud, F., Reiprich, T.H., Migkas, K., Xu, W., Ramos-Ceja, M. E. (2025) *XMM-Newton follow-up of a sample of apparent low surface brightness galaxy groups detected in the ROSAT All-Sky Survey*, A&A, angenommen, arXiv:2506.19718.

Weitere Ergebnisse:

1. Veronica, A., Reiprich, T. H., Pacaud, F. et al. (2025) *The life of central radio galaxies in clusters: AGN-ICM studies of eRASS1 clusters in the ASKAP fields*, Publications of the Astronomical Society of Australia (PASA), eingereicht.
2. Veronica, A., Reiprich, T. H., Pacaud, F. et al. (2025) *The SRG/eROSITA All-Sky Survey: Large-scale view of Centaurus Cluster*, A&A 694, A168, DOI: 10.1051/0004-6361/202450277.
3. Reiprich, T. H., Veronica, A., Pacaud, F. et al. (2025) *The SRG/eROSITA all-sky survey: View of the Fornax galaxy cluster*, A&A, eingereicht, DOI: 10.48550/arXiv.2503.02884.
4. Dietl, J., Pacaud, F., Reiprich, T. H., Veronica, A. et al. (2024) *Discovery of a >13 Mpc long X-ray filament between two galaxy clusters beyond three times their virial radii*, A&A 691, A286, DOI: 10.1051/0004-6361/202449354.
5. Veronica, A., Reiprich, T.H., Pacaud, F., et int., Spinelli, C. (2024) *The eROSITA view of the Abell 3391/95 field. Cluster outskirts and filaments*, A&A, 681, A108.

4 Datum, Unterschrift

Bonn, den 25. Juni 2025.

Prof. Dr. Thomas H. Reiprich

A Erfolgskontrollbericht

A.1 Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen

Das Vorhaben diente der wissenschaftlichen Auswertung unserer neuen, in internationaler Konkurrenz gewonnenen Satelliten-Beobachtung sowie der Verfolgung der im Antrag beschriebenen wissenschaftlichen Ziele. Ergebnisse wurden von uns zeitnah veröffentlicht.

A.2 Wissenschaftlich-technisches Ergebnis des Vorhabens, Nebenergebnisse und wesentliche Erfahrungen

Ergebnisse des Vorhabens wurden/werden in insgesamt sechs Fachartikeln veröffentlicht.

A.3 Fortschreibung des Verwertungsplans

A.3.1 Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen

In diesem Vorhaben der Grundlagenforschung wurden keine Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen etc. gemacht.

A.3.2 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Eine direkte wirtschaftliche Verwertung der Ergebnisse dieses Vorhabens ist zu diesem Zeitpunkt nicht absehbar.

A.3.3 Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten

Die erzielten Ergebnisse sind zeitnah in referierten Fachjournalen veröffentlicht, um sie der wissenschaftlichen Gemeinschaft zugänglich zu machen. Damit wird eine weitere Nutzung durch Dritte ermöglicht.

A.3.4 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Unsere Analysen der Galaxiengruppen haben ein komplexes Bild ergeben. Daher werden wir weitere Galaxiengruppen aus der Xu et al.-Stichprobe mit qualitativ hochwertigen Daten untersuchen, sowie die neuen Fragen bearbeiten. Insgesamt ist die systematische Untersuchung von unerkannten Unvollständigkeiten von besonderer Wichtigkeit für die *eROSITA* Röntgensatellitenmission zur Eingrenzung der dunklen Energie mit Hilfe von Galaxiengruppen und -haufen. Dieses Vorhaben wird damit direkt die weitere kosmologische Interpretation der Daten des DLR-geförderten *eROSITA* Teleskops unterstützen.

A.4 Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben

Keine.

A.5 Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer

Die hier erzielten Ergebnisse werden auf weiteren Fachtagungen vorgestellt werden. Nutzer können Graphiken etc. bei Bedarf und bei entsprechender Kenntlichmachung verwenden.

A.6 Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung

Die Ausgaben- sowie die angepasste Zeitplanung wurden eingehalten.