



Leibniz-Institut für
Astrophysik Potsdam

Schlussbericht

*Beteiligung des AIP an eROSITA in der Missionsphase
(2021-2024) [Betrieb]*

(Förderkennzeichen 50 QR 2104)

Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam (AIP)

An der Sternwarte 16

14482 Potsdam

Autoren: Axel Schwobe, Georg Lamer

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

I.1. Aufgabenstellung

Im Rahmen des Vorhabens wurden am Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam, kurz AIP, Softwarekomponenten für das Röntgenteleskop eROSITA auf der russischen Weltraummission SRG (Spektrum-Röntgen-Gamma) entwickelt und der nationalen Kollaboration zur Verfügung gestellt. Kurz vor dem Beginn dieses Vorhabens absolvierte die Mission ein umfangreiches Kommissionierungs- und Kalibrationsprogramm. Ab dem Dezember 2019 ging die Mission in den Modus der Himmelsdurchmusterung über. Diese Hauptmission galt der Suche nach neuen Röntgenquellen am gesamten Himmel mit einem abbildenden Röntgenteleskop im Energiebereich zwischen 0.2 und 10 keV. Es wurden umfangreiche Softwarekomponenten erstellt, um zunächst kalibrierte Röntgenbilder und darauf aufbauend Röntgenquelllisten weitgehend automatisiert zu erstellen und für die wissenschaftliche Auswertung aufzubereiten. Die Kollaboration wurde regelmäßig mit fortschreitenden einzelnen Katalogen, später auch mit gestackten Katalogen versorgt. Im Rahmen des Vorhabens wurde ein Early Data Release (Freigabe der Daten aus der CalPV Phase der Mission) und ein erster weltweiter Datenrelease der ersten Himmelsdurchmusterung vorgenommen.

I.2. Voraussetzungen

Das Vorhaben basiert auf dem gemeinsam von allen beteiligten Instituten dem Gutachterausschuss „Extraterrestrik“ des DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) vorgelegten und genehmigten Antrag zum Bau und vorgesehenen Betrieb des Röntgenteleskops eROSITA (extended ROentgen Survey with an Imaging Telescope Array). Die am Bau von eROSITA beteiligten Institute verfügen über eine z.T. jahrzehntelange Erfahrung auf dem Gebiet der Hochenergieastrophysik bei Röntgenwellenlängen. Das Konsortium unter Federführung des MPE wurde so zusammengestellt, dass die in Deutschland vorhandene Expertise auf diesem Forschungsgebiet gebündelt wurde um somit eine Weltspitzenstellung zu behaupten, die mit der äußerst erfolgreichen Mission ROSAT begründet wurde.

eROSITA ist das Hauptinstrument auf der russischen Weltraummission SRG (Spektrum-Röntgen-Gamma). Ein zweites Instrument, ART X-C, wurde am IKI in Moskau entwickelt und mit gleicher Orientierung am Himmel auf die Beobachtungsplattform Navigator montiert. Der Start des Observatoriums, die Bereitstellung der Plattform, der zweiten Payload und der Betrieb des Observatoriums sind die russischen Beiträge zur Mission, die dem wesentlichen Ziel der Erforschung der Dunklen Energie und der Dunklen Materie gewidmet ist. Dazu haben das DLR und Roskosmos eine Vereinbarung getroffen, die den äußeren Rahmen des Vorhabens setzt.

Das AIP hat sich seit seiner Gründung im Jahr 1992 an Satellitenmissionen in nationaler und internationaler Zusammenarbeit beteiligt (CORONAS, RHESSI, STEREO, ROSAT, XMM-Newton, ABRIXAS, GAIA). Die Beiträge des AIP für ROSAT und XMM-Newton bestanden überwiegend in der Bereitstellung von Software. Für die Vorläufermission von eROSITA – ABRIXAS – hatte das AIP die Konsortialführerschaft und stellte auch Teile der Flughardware. Das AIP ist eines der Gründungsmitglieder des XMM-Newton Survey Science Center (XMM-SSC) und hat im Laufe dieses Vorhabens eine umfangreiche Expertise auf dem Gebiet der Quelldetektion und Hintergrundbestimmung in Röntgenbildern erarbeitet, die es in das eROSITA-Vorhaben vollumfänglich einbringt. Es hat sich z.T. federführend in die Zusammenstellung der bislang umfangreichsten Röntgenquellkataloge eingebracht, die auf den mittlerweile mehr als 20 Beobachtungsjahren mit XMM-Newton beruhen. Die auf XMM-Newton und der AIP-entwickelten Quelldetektionssoftware beruhenden und über verschiedene Kanäle der weltweiten Wissenschaftscommunity zur Verfügung gestellten und verbreiteten Quellkataloge aller mit XMM-Newton gefundenen Röntgenquellen (u.a. über die Webseiten der ESA) sind die umfangreichsten je erstellten Kataloge und repräsentieren den ‚Gold Standard‘. Sie wurden erst im Laufe dieses Vorhabens von eROSITA übertroffen.

Das primäre wissenschaftliche Ziel von eROSITA, die Erforschung der Dunklen Energie, ist in die wissenschaftlichen Kompetenz des AIP sehr gut eingebettet. Das AIP hat eine starke Forschungsabteilung ‚Kosmologie‘, die sich mit Fragen der Strukturbildung vorrangig theoretisch-numerisch auseinandersetzt. Das Institut beteiligt sich intensiv an optischen Folgebeobachtungsprogrammen neuer gefundener Röntgenquellen. Dazu beteiligt sich das AIP an entsprechenden großskaligen Durchmusterungsprogrammen im Rahmen des SDSS. Die Folgebeobachtungsprogramme von eROSITA sind Kernvorhaben der spektroskopischen Durchmusterungen mit 4MOST, dem neuen Multiobjektspektrographen der ESO (Betriebsbeginn im Frühjahr 2026), für die das AIP die Konsortialführerschaft innehat.

Das jetzt abgeschlossene Vorhaben wurde in nationaler Zusammenarbeit unter der wissenschaftlichen Federführung Max-Planck-Instituts für Extraterrestrische Physik in Garching bei München (MPE) und unter der Projektführung durch das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) im Jahr 2007 begonnen und am AIP in zwei Vorläufervorhaben (50 QR 0802, 50 QR 1604) vorbereitet.

I.3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Den äußeren Rahmen bildet das *Memorandum of Understanding* vom 23.3.2007 zwischen dem DLR und Roskosmos über die Zusammenarbeit beim astrophysikalischen Observatorium SRG. Dieses wurde ergänzt durch ein detailliertes Agreement, in dem der deutschen Seite die Bereitstellung des Röntgenteleskops eROSITA und der Aufbau eines Zentrums für die Verarbeitung der Rohdaten und wissenschaftlichen Informationen obliegt.

Der Start von SRG erfolgte am 13. Juli 2019 mit einer Proton-Rakete vom russischen Kosmodrom Baikonur. SRG wurde in einen Halo-Orbit um den Lagrange-Punkt L2 des Erde-Sonne Systems in ca 1.5 Mio km Entfernung von der Erde gebracht. Im Rahmen des Vorhabens hat eROSITA mehr als 4 vollständige Durchmusterungen des Himmels im Röntgenbereich bei Photonenenergien zwischen 0.2-10 keV durchgeführt. Die Durchmusterungen wurden durch eine Abtastbewegung (Scan) des Satelliten mit seinen Instrumenten realisiert. Die Scanachse zeigt in Richtung Sonne. Während eines Scans, der 4 Stunden dauert (entspricht einem eRODAY, einem eROSITA-Tag), wird ein Streifen entlang eines ekliptikalen Längengrades beobachtet. Durch die Progression der Scanachse, die durch die Bewegung der Erde um die Sonne gegeben ist, wird der gesamte Himmel nach 6 Monaten vollständig durchmustert. Innerhalb von 4 Jahren sollten 8 vollständige Surveys durchgeführt werden. Seit dem 26.2.2022 jedoch ist eROSITA im sicheren Betriebsmodus und hat rund 4.4 Durchmusterungen abgeschlossen.

Das MPE hat zur Erledigung der vereinbarten Aufgaben ein nationales Konsortium gebildet (siehe unter I.5), in dem die bei Antragstellung vorgesehenen Arbeitspakete definiert wurden.

Das AIP übernahm die Betreuung der Sternkameras, die (WP 2400-FM) den Bau von Teleskopinfrastruktur, insbesondere des MGSE (WP 2700), die Entwicklung von Komponenten für die eSASS in Bezug auf die Quelldetektion (WP 6400), die Attitude Analysis (WP 6500) und die Kalibrationsdatenbanken. Die Arbeiten zu den Sternkameras und dem MGSE wurden im Vorgängervorhaben abgeschlossen. Im Vorhaben, über das hier berichtet wird, geht es um die Beiträge zu Software und zur Kalibration in den Missionsphasen Inbetriebnahme, Kalibrationsphase, Leistungsfähigkeitsprüfung, Normalbetrieb und schließlich Publikation der Daten und Ergebnisse.

Die Gesamtkoordination des Projektes lag beim MPE. Die Arbeiten zu den einzelnen Work Packages wurden durch wechselseitige Besuche (Arbeitsbesprechungen), Working Group meetings, regelmäßige Telefonkonferenzen, sowie Kollaborationstreffen strukturiert und geplant.

Das "extended Science Analysis Software System" (eSASS) stellt die Software sowohl für die automatisierte Pipeline-Prozessierung aller eROSITA Daten als auch für die interaktive Analyse durch wissenschaftliche Nutzer zur Verfügung.

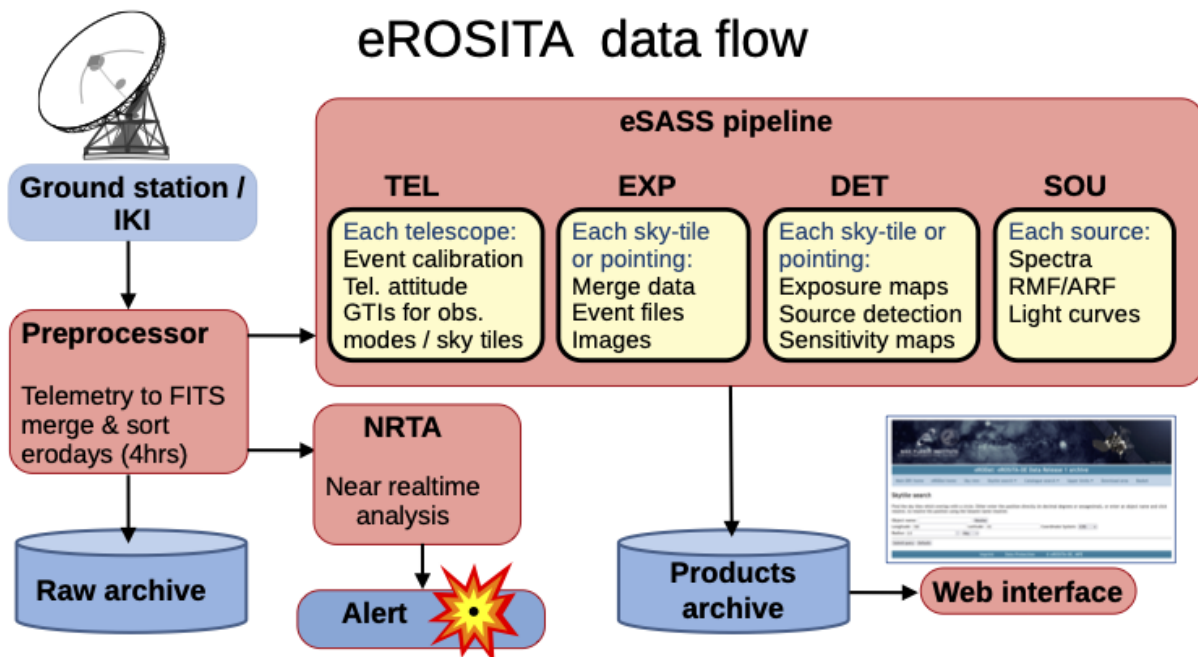


Abbildung 1: Überblick Datenfluss im eROSITA Groundsegment

Die Abbildung 1 veranschaulicht den Platz der eSASS im Gesamtzusammenhang der anfallenden und zuprozessierenden Daten. Nach dem pre-processing erstellen vier Chains (TEL, EXP, DET, SOU) die gewünschten Datenprodukte.

Die meisten der Pakete (Tasks) sind dabei sowohl in der Pipeline als auch für die interaktive Analyse verwendbar. Die beiden Anwendungsfälle unterscheiden sich nur durch die zur Steuerung verwendete Parameter-Interfaces. Bei der interaktiven Analyse kommt die für die INTEGRAL Mission entwickelte Parameter Interface Library (PIL) zum Einsatz, während die Pipeline-Steuerung auf einem ursprünglich für ROSAT entwickelten System beruht.

Die Funktionalität und Struktur der eSASS wurde von den beteiligten Instituten gemeinsam erarbeitet. Nachdem zunächst eine Anpassung der für die ABRIXAS Mission entwickelten Pipeline zur Diskussion stand, wurde dann jedoch eine weitgehende Neuentwicklung unter Verwendung von FORTRAN 95 entschieden.

Am AIP wurden alle Tasks der Quelldetektionspipeline (DET chain) programmiert, zudem wurden hier Teile der TEL chain implementiert (Verarbeitung der Attitude-Daten, Selektion von Events nach Beobachtungsblöcken und Survey-Feldern, siehe Abb. 2). Zur Koordination des Projekts fanden wöchentlich Telekonferenzen der eSASS Arbeitsgruppe statt. Persönliche Treffen fanden bis zum Ausbruch der Pandemie im Frühjahr 2020 bei den jährlichen Meetings

des deutschen eROSITA Konsortiums statt. Mitglieder der Arbeitsgruppe berichteten dort regelmäßig über den Stand der Softwareentwicklung. Auch in den Meetings der wissenschaftlichen Arbeitsgruppen fand regelmäßig ein Austausch über die eSASS Entwicklung statt, hier sind insbesondere die Details der Detektionspipeline von Interesse. Im deutschen eROSITA Konsortium wurden mehrere sogenannte *source detection challenges* durchgeführt, in denen verschiedene Methoden und Techniken der Quelldetektion auf simulierten Beobachtungsdaten im Wettbewerb gegeneinander getestet wurden. Qualitätsparameter waren die Vollständigkeit der Detektion wahrer Quellen, die Rate von Falschidentifikationen (false positives) und die Parametergenauigkeit der gefundenen Quellen gegenüber der Eingabe. Das am AIP entwickelte Paket DET Chain ging aus diesen Wettbewerben hervorragend hervor und bildet das Rückgrat zur Produktion der eROSITA-Quelllisten.

Alle eSASS Tasks werden regelmäßig in einem Gesamtpaket zusammengefasst und zur Installation/Nutzung an allen eROSITA-Instituten einschließlich dem russischen IKI über die Wiki-Seiten des MPE zur Verfügung gestellt.

I.4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Das Instrument eROSITA basiert auf einer langen Reihe wissenschaftlicher und technologischer Vorarbeiten, angefangen bei der sehr erfolgreichen deutsch/amerikanisch/englischen ROSAT-Mission (1990-1999), die federführend vom MPE entwickelt und durchgeführt wurde. Mit ROSAT wurde die erste vollständige Himmelsdurchmusterung mit einem abbildenden Röntgenteleskop (0.1-2.4 keV) erstellt und im Anschluss daran Tausende gerichteter Beobachtungen durchgeführt. Parallel zur ROSAT-Mission wurde allerdings klar, dass die im weichen Röntgenbereich ebenso wie die im optischen Bereich des elektromagnetischen Spektrums beobachteten aktiven Galaxien und Quasare nur einen kleinen Bruchteil der gesamten Population akkretierender Schwarzer Löcher ausmachen kann. Um das sehr harte Spektrum der Röntgenhintergrundstrahlung zu erklären, das ein Maximum bei etwa 30 keV aufweist, muss der Großteil der AGN durch dichte Gas- und Staubwolken in den Zentren der Galaxien absorbiert sein und kann deshalb nur im harten Röntgenbereich oberhalb von 2 keV beobachtet werden. Für die neue Generation großer Röntgenteleskope, das Chandra-Observatorium der NASA und die ESA-Mission XMM-Newton wurden deshalb Spiegelsysteme mit langer Brennweite (7.5–10m) zur Abbildung harter Röntgenstrahlung entwickelt. Diese Observatorien, die beide im Jahr 1999 gestartet wurden, können allerdings nur einzelne pointierte Beobachtungen durchführen, eine vollständige Himmelsdurchmusterung wie bei ROSAT ist mit diesen Teleskopen nicht möglich. Dies war der Ausgangspunkt für den Vorschlag einer eigenen Mission für eine abbildende Himmelsdurchmusterung im harten Röntgenbereich: ABRIXAS.

Die letztlich durch einen Designfehler gescheiterte ABRIXAS-Mission wurde über eine längere Kette nicht genehmigter oder nach Machbarkeitsstudie als nicht geeignet angesehener Projekte (ABRIXAS II, DUO, ROSITA) zum Ausgangspunkt für eROSITA auf SRG.

Um die Jahrtausendwende wurde durch astronomische Beobachtungen an entfernten Supernovae der Beweis erbracht, dass das Universum aufgrund einer sog. Dunklen Energie beschleunigt expandiert. Sie überwiegt alle anderen Energieformen im Universum bei Weitem. Ihre Wirkung wird jedoch erst auf Skalen sichtbar, die mit der Größe des Universums vergleichbar sind und ist außerdem so klein, dass sehr große astronomische Durchmusterungen für ihre detaillierte Untersuchung notwendig sind. Vor allem die Messung der Evolution der Massenfunktion der Galaxienhaufen, die eine Bestimmung der kosmologischen Parameter erlaubt, erfordert eine sehr große Stichprobe von Galaxienhaufen. Durch eine vollständige empfindliche Durchmusterung des Röntgenhimmels können rund 100.000 Galaxienhaufen aufgrund ihrer nebelartigen Morphologie detektiert und zur verbesserten Bestimmung der Massenfunktion herangezogen werden können. Diese Größe wurde damit zur Zielmarke für das neue eROSITA-Teleskop, das in Bezug auf den überdeckten Energiebereich, das räumliche und das spektrale Auflösungsvermögen und die Empfindlichkeit der Röntgendurchmusterungen die Vorgängermissionen sehr deutlich übertrifft.

I.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die Arbeiten wurden in nationaler Zusammenarbeit im Rahmen des Konsortiums eROSITA_DE begonnen, geplant und durchgeführt. Mit eROSITA_DE ist die deutsche Zusammenarbeit der fünf eROSITA-Kerninstitute unter Federführung des Max-Planck-Instituts für extraterrestrische Physik (MPE) mit Beteiligung der Universitäten in Hamburg, Erlangen-Nürnberg, Tübingen und dem Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam (AIP) und den beiden nur im Bereich der Wissenschaft engagierten Universitäten Bonn und LMU München gemeint. Darüberhinaus bestanden Wechselwirkungen mit den russischen Partnern von Lavochkin Association zur Festlegung von Datenformaten z.B. der Sternkameras zur Lageregelung. Mit Wissenschaftlern am IKI (Institut für Kosmosforschung der russischen Akademie der Wissenschaften) bestand bis zum 26.2.2022 ein enger Austausch in Bezug auf die allgemeinen Ziele der Mission, die Kalibration des Hauptinstrumentes und die zur gerichteten Beobachtung vorgesehenen Objekte.

II.1. Darstellung der Verwendung der Zuwendung und der erzielten Ergebnisse

Die Zuwendung wurde in ganz überwiegendem Maß für Personalkosten eingesetzt. Das umfasste in erster Linie die Anstellung eines erfahrenen Projektwissenschaftlers, dem die Entwicklung der Softwaremodule übertragen wurden. In zweiter Linie wurde eine

studentische Hilfskraft eingesetzt, um Tests und anfallende Routinearbeiten daran durchzuführen. Desweiteren wurde die bewilligten Reisemittel eingesetzt, um alle anfallenden Konsortialtreffen und Treffen der verschiedenen Arbeitsgruppen besuchen zu können. Auch wurde die Teilnahme an wissenschaftlichen Konferenzen (national und international) mit Projektbezug aus den Reisemitteln für die am Projekt Beteiligten ermöglicht.

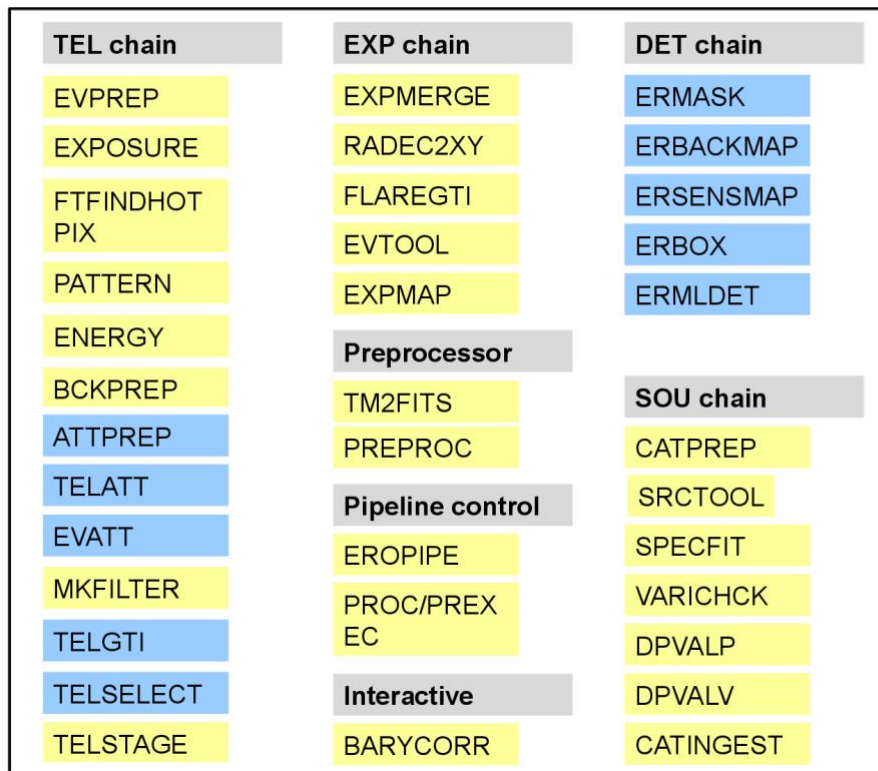


Abbildung 2: Übersicht zu den verschiedenen eROSITA Pipeline Segmenten. Blau unterlegt sind die Module in Verantwortung des AIP, die weitgehend in diesem Vorhaben gepflegt und weiterentwickelt wurden

In den folgenden Unterkapiteln wird eine stark zusammengefasste Darstellung der am AIP programmierten Softwaremodule und der Weiterentwicklungen im Vorhaben gegeben. Die Abbildung 2 veranschaulicht die Bearbeitungssequenz der Datenreduktionspipeline und identifiziert die eSASS-Module in der Verantwortung des AIP. Auf eine sehr detailliert eingehende Darstellung der Module und ihrer Funktionalität wird hier verzichtet, da sie im allgemeinen Sinne schon gegeben wurde (Abschlussbericht zum Vorhaben 50 QR 0802), bzw. im speziellen Sinne für die Anwender an anderer Stelle gegeben wurde. Das geschieht einerseits durch die Publikation Brunner et al. (2022), die im Europäischen Journal Astronomy & Astrophysics veröffentlicht wurde und eine Beschreibung der eSASS-Module enthält, und andererseits über die Webseiten des MPE, die eine sehr eingehende Beschreibung aller eSASS-Module mit einer Erläuterung aller Parameter gibt, die zum ersten weltweiten Release von eROSITA-Daten (EDR – early data release, am 28.6.2021) online ging.

II.1. TEL-Chain

II.1.1 ATTPREP

Mit dem Task ATTPREP werden die Rohdaten der an Bord von SRG befindlichen Sternsensoren und des Gyro-Lageregelungssystems in eine einheitliche Attitude-Zeitreihe im FITS-Format (Intermediate-Format) überführt.

Während der Inbetriebnahme von eROSITA wurde verifiziert, daß die „GYRO“ Telemetriedaten, die eine Kombination der Messungen des jeweils aktiven Sternsensors und des SRG Gyroskops enthalten, die genaueste Quelle für die eROSITA-Attitude darstellen. Daher wird die „GYRO“-Zeitreihe als Standard-Input für die Berechnung der eROSITA-Attitude genutzt. Nach dem ersten All-Sky-Survey wurde festgestellt, daß die Telemetriedaten in einzelnen Fällen Bit-Fehler in den Zeit-Werten enthalten, die dann zu Fehlern bei der Attitude-Korrektur führen. Daher wurde eine neue Routine ATTPREP_FILTER_ATT entwickelt, die solche fehlerhaften Datenpunkte erkennt und aus der GYRO-Zeitreihe entfernt.

II.1.2 TELATT

TELATT rechnet die Attitude-Zeitreihen aus dem intermediären Format unter Berücksichtigung der Kamera-Einbauwinkel in teleskopspezifische Attitude-Daten um. Die Einbauwinkel der eROSITA Kameras wurden als Tripel von Boresight-Winkeln in Kalibrationsdateien abgelegt. Die so kalibrierten attitude Zeitreihen werden von TELATT als FITS-Extensionen an die Event-Dateien der jeweiligen eROSITA Kameras angehängt.

II.1.3 EVATT

Der Task EVATT projiziert die Position jedes Photons von Detektorkoordinaten ins äquatoriale Koordinatensystem. Dabei wird die teleskopspezifische Attitude zum Zeitpunkt des Photon-Events interpoliert und die Himmelskoordinaten (Rektaszension und Deklination, RA und DEC) für jedes Event berechnet. Optional können hier auch in Kalibrationsdateien abgelegte Parameter für eine eventuelle Verzeichnung der Teleskope berücksichtigt werden.

Während der Kommissionierung und Kalibration der eROSITA Kameras wurden die Boresight-Winkel für alle Kombinationen von Sternsensoren und Kameras bestimmt und in den entsprechenden Kalibrationsdateien abgelegt. Anhand des Kalibrationstargets NGC 2516 wurden die Boresight-Kalibration und der Abbildungsmaßstab der einzelnen Kameras genau bestimmt. Während der Kalibrationsphase wurden mit Hilfe von Testbeobachtungen mit Scan-Umkehr Differenzen zwischen den Zeitmarken der eROSITA Kameras und der Attitude-Zeitreihen festgestellt. Insbesondere treten beim Reset einzelner eROSITA Kameras

Zeitsprünge von ± 1 sec auf. Diese Zeitdifferenzen werden in den INSTPAR Kalibrationsdateien erfasst und werden dann von EVATT berücksichtigt. Inzwischen werden die Reset-bedingten Zeitsprünge in einer gesonderten Kalibrationsdatei erfasst und die Korrektur bereits vom Task EVPREP an die Event-Daten angebracht.

2021: Korrektur in der Bezeichnung der „owner“ flags nahe der galaktischen Pole. Begrenzung der Zahl der Fehlermeldungen bei fehlende Attitude-Datenpunkten.

2022: Anpassungen an Änderungen in eSASS Bibliotheken

2023: Implementierung der zeitabhängigen Boresight Kalibration. Kalibration der Zeitabhängigkeit der Boresight-Winkel. Die Kalibration basiert auf den astrometrischen Korrekturen, die bei der Erstellung der eRASS1 – eRASS5 Kataloge angebracht wurden. Die Korrekturwerte sind in der neuen Kalibrationsdatei `srgt_tposscorr_190611v01.fits` abgelegt.

2024: Inversion des Vorzeichens in den zeitabhängigen astrometrischen Korrekturen

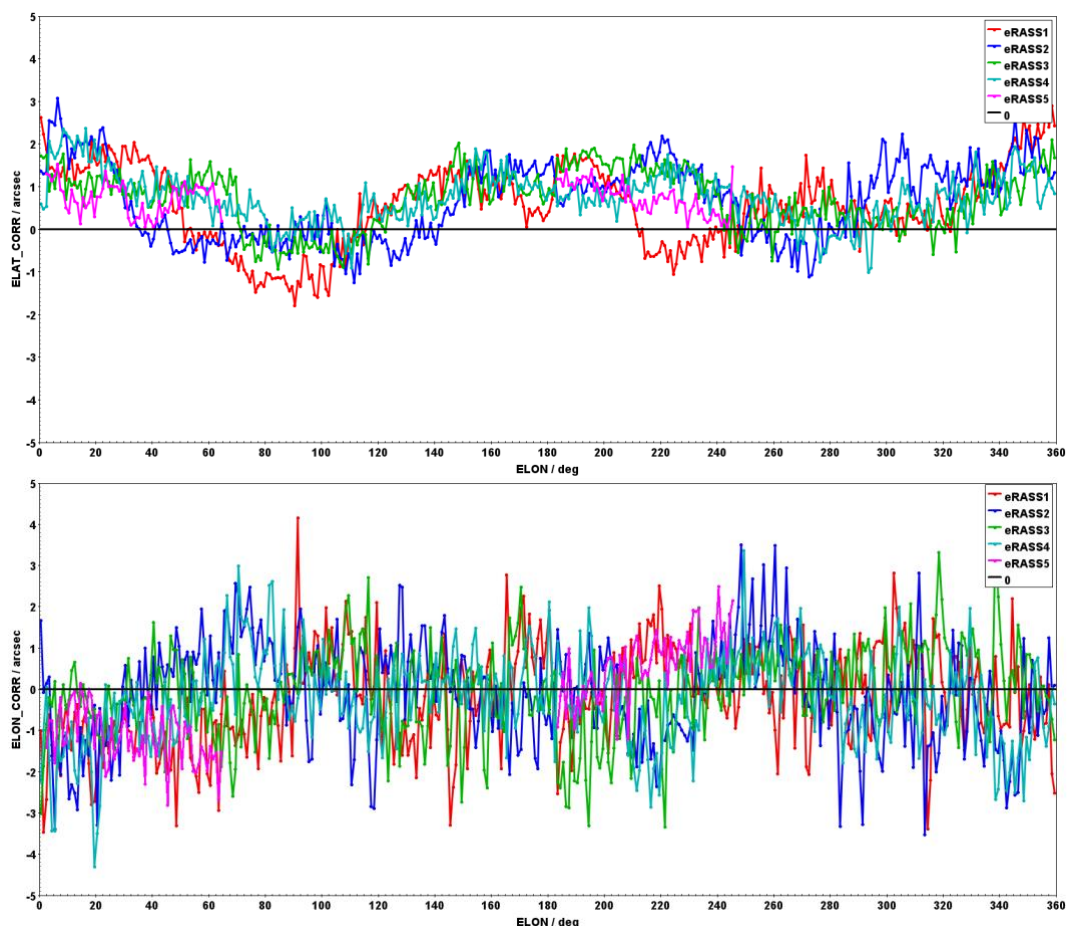


Abbildung 3: Astrometrische Korrekturen, die bei der Erstellung der Kataloge eRASS1 (rot), eRASS2 (blau), eRASS3 (grün), eRASS4 (cyan) und eRASS5 (magenta) in ekliptikaler Breite bzw. Länge angebracht wurden. Die Korrekturen sind jeweils als Funktion der ekliptikalen Länge, die dem jeweiligen Survey-Fortschritt entspricht, dargestellt. Durch Transformation der ekliptikalen Länge in jedem der 5 Surveys wurde eine neue Kalibrationsdatei erstellt, mit deren Hilfe die astrometrischen Korrekturen bereits in der TEL-chain der eROSITA Pipeline auf Event-Basis angebracht werden kann.

II.1.4 TELGTI

Dieser Task dient der Identifizierung von verschiedenen Beobachtungsphasen im Datenstrom von eROSITA. Dabei wird die Missionsplanungsdatei mit den tatsächlichen Daten in den Attitude- und Housekeeping-Dateien abgeglichen und die Anfangs- und Endzeiten von verschiedenen Beobachtungen als GTI (Good Time Interval) Dateien abgespeichert. Im Fall von All-Sky-Survey oder Slew Daten wird die Attitude-Zeitreihe mit der Liste der Survey-Felder abgeglichen und für jedes von den Daten abgedeckte Survey-Feld eine GTI Datei angelegt.

Bereits vor dem Start von SRG/eROSITA wurden Änderungen im Format der Missionsplanungsfiles implementiert.

2021: Mehrere kleinere Adaptionen und kleinere Fehlerkorrekturen, die während der routinemässigen Pipeline-Prozessierung auftraten.

2022: Verbesserung der Stabilität im Fall von fehlerhaften Housekeeping-Daten. Neuer Task-Parameter „pathname“, um Änderungen in der Pipeline-Steuerung zu unterstützen

2023: Korrektur eines Fehlers bei der Prozessierung von Pointing-Beobachtungen. Erhöhung der zeitlichen Toleranz zwischen Start/Stopp Zeiten in den Planungsfiles und den tatsächlichen Beobachtungen

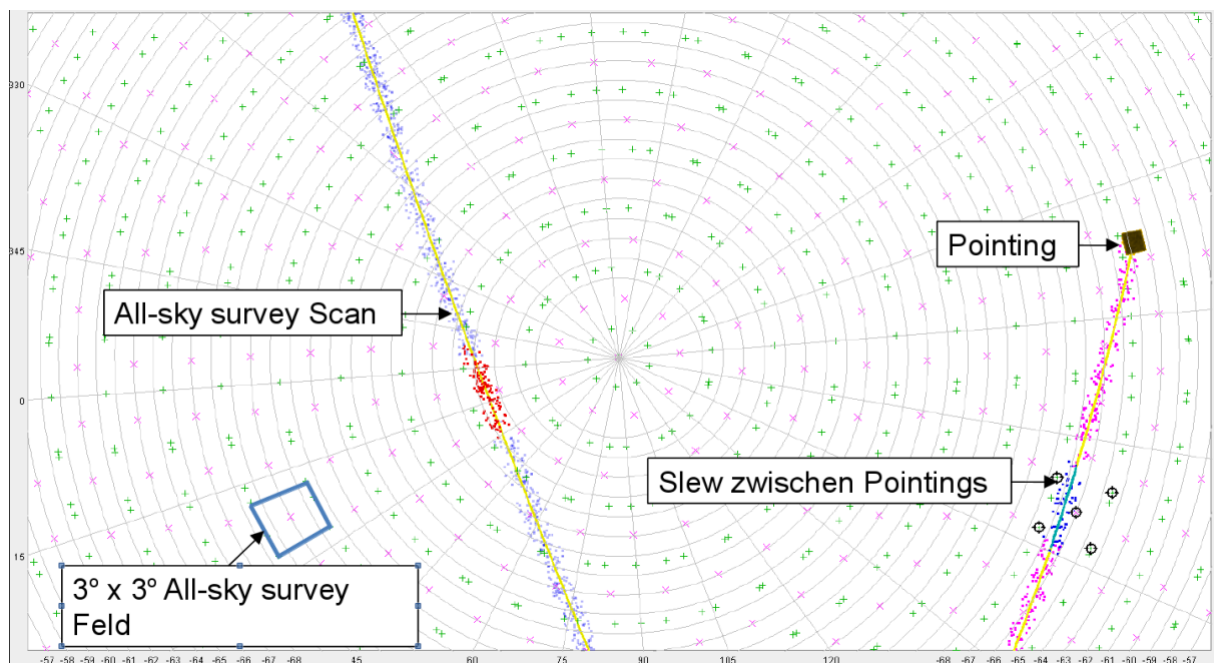


Abbildung 4: Simulation verschiedener eROSITA Beobachtungs-Modi: Auf Basis eines Missionsplanungs-Sequenz wurden Attitude-Zeitreihen (gelbe Linie) und Photon-Events (Punkte) simuliert. Die Kreuze markieren die Grenzen (grün) und Zentren (magenta) der 3 Grad x 3 Grad großen all-sky survey Felder. Mit dem eROSITA task "telgti" werden die Missionsplanungsdaten, Attitude- und Housekeeping-Zeitreihen ausgewertet, um GTIs (good-time intervals) für die survey-Felder und pointierte Beobachtungen zu berechnen. Der Task "telselect" selektiert dann die Event-Daten anhand dieser GTIs. In der Abbildung sind die Events eines All-sky survey Felds (rot), eines Slew-survey Felds (blau) und eines Pointings (schwarz) hervorgehoben.

II.1.5 TELSELECT

TELSELECT liest die vom Task TELSELECT erzeugten GTI-Dateien und selektiert die Input-Eventlisten gemäß den START/STOP Einträgen in den GTI-Dateien. Damit werden die Photon-Events sowie alle in weiteren FITS-Extension enthaltenen Zeitreihen (Attitude, Housekeeping, GTIs) den von TELGTI identifizierten Einzelbeobachtungen oder den Survey-Feldern zugeordnet und in entsprechend bezeichneten Dateien abgespeichert.

Nach der Inbetriebnahme von eROSITA wurde der Code an neuere Versionen der Routinen zur Event-Selektion in EROLIB angepasst.

II.1.6 SUN_ANGLES

Der Task SUN_ANGLES wurde vor dem Start von SRG/eROSITA entwickelt, um mit Hilfe der Attitude-Daten zu jeder Zeit die Winkel verschiedener Bezugsachsen von eROSITA zur Sonne zu berechnen. Diese Winkel sind insbesondere bei der Untersuchung des eROSITA-Thermalhaushalts oder der nach dem Start festgestellten optischen Kontamination („light leaks“) der Kameras TM5 und TM7 von Nutzen.

Eine modifizierte Version des Tasks wird auch für die Berechnung der Boresight-Korrektur verwendet, die für die Missionsplanung von pointierten Beobachtungen notwendig ist, um das Target auf den optischen Achsen der Teleskope zu platzieren.

II.1.7 eBARYCEN

Es wurde ein neuer SAS task entwickelt, der die Ankunftszeiten von eROSITA events auf das Baryzentrum des Sonnensystems korrigiert. Das Modul beruht auf dem HEAOSFT task barycen und wurde für eROSITA angepasst.

2023: Erstellung einer verbesserten Version für das eROSITA DR1, Update der Dokumentation

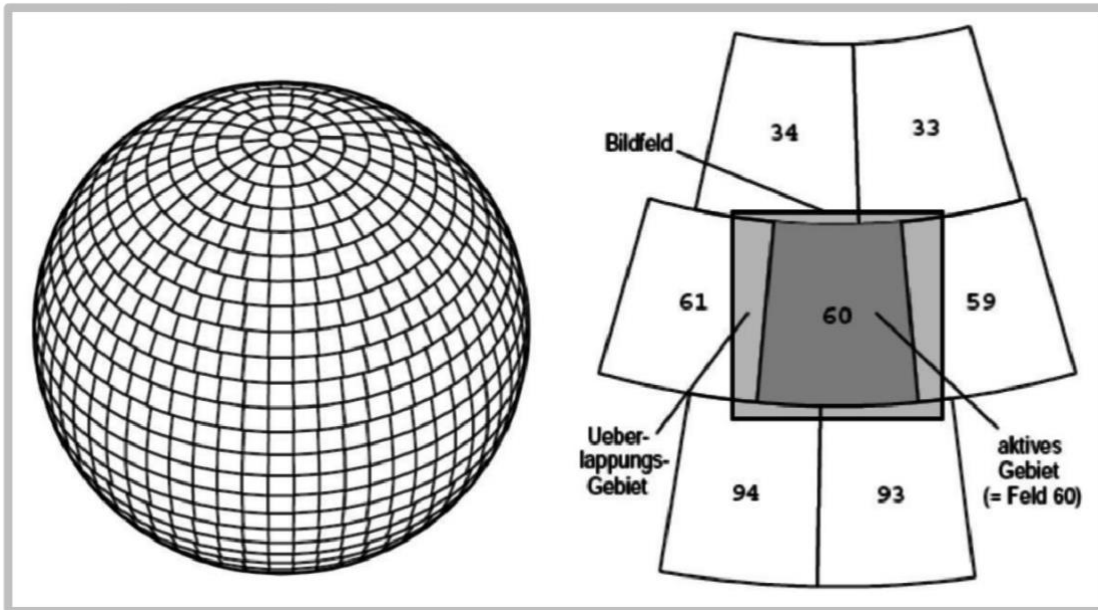


Abbildung 5: Einteilung des Himmels in Felder, auf denen Quelldetektion durchgeführt wird.

II. 2. DET-Chain

II.2.1 ERMASK

Der Task ERMASK analysiert die Belichtungskarten (exposure maps), die vom eSASS-Task EXPMAP erstellt werden und schreibt als Datenprodukt Detektionsmasken, in denen die für Quelldetektion nutzbaren Bildregionen definiert werden. Als Kriterien werden dabei Minimalwerte der exposure maps und Maximalwerte der exposure-Gradienten benutzt, die Schwellenwerte sind als Task-Parameter wählbar.

II.2.2 ERBOX

Mit Hilfe eines "sliding box" Detektionsalgorithmus werden statistisch signifikanten Exzessen in Detektionsboxen mit wählbarer Größe gesucht. Die Quelldetektion erfolgt simultan in Bildern aus verschiedenen Energiebereichen.

2022: Verbesserte Fehlermeldung im Fall von ungültigen Input-Daten

2024: Verbesserung der Stabilität durch Eliminierung von uninitialisierten Variablen.

II.2.3 ERBACKMAP

Dieser Task generiert aus den Input-Bildern und der vorläufigen ERBOX-Liste Hintergrundkarten. Dabei stehen zwei unterschiedliche Algorithmen zur Verfügung, um den Hintergrund zu glätten und an den Positionen von Röntgenquellen zu interpolieren.

Arbeiten vor der Inbetriebnahme: Es wurde eine völlig neue Methodik zur Bestimmung des Hintergrundes in Röntgenbildern entwickelt (adaptive Glättung). Im Laufe des Vorhabens wurden weitere Tests und Optimierungen durchgeführt, um die Zuverlässigkeit dieser Methodik bei sehr ausgedehnten Strukturen des Hintergrundes oder bei Galaxienhaufen mit geringer Flächenhelligkeit zu zeigen. Das wesentliche Missionsziel von eROSITA ist die

Detektion von Galaxienhaufen. Insbesondere an der Nachweisgrenze (am Flusslimit des all-sky survey) hängt der wissenschaftliche Ertrag sehr von der Zuverlässigkeit der Quelldetektion und damit ganz wesentlich von der Modellierung des Hintergrundes ab. Hier waren umfangreiche Tests notwendig, die es erlaubten, mit verschiedenen Hintergrundmodellen den jeweiligen Quellgehalt der Röntgenbilder zu extrahieren und vergleichend zu studieren. Diese Tests und Anpassungen/Optimierungen werden in Hinblick auf den zu erstellenden eROSITA-Quellkatalog in Zusammenarbeit mit Kollegen des MPE vorgenommen, die einerseits große diffuse galaktische Strukturen oder andererseits schwache Galaxienhaufen detektieren wollen und auf diese Weise unterschiedliche aber ähnliche Anforderungen an die Quelldetektion und Hintergrundmodellierung stellen.

2021: Lesen einer nutzerdefinierten Maske ermöglicht. Zahl der Kernel-Skalen erhöht von 8 auf 16. Exposure-Skalierung für smoothing mode implementiert.

II.2.4 ERSENSMAP

Dieser Task berechnet Sensitivitätskarten für pointierte Beobachtungen oder All-Sky-Survey Felder. Dabei werden mit Hilfe der Hintergrund- und Belichtungskarten Sensitivitäten für jedes Bildpixel berechnet und als Karte ausgegeben. Benutzerdefinierte Parameter bestimmen, ob die Sensitivität für die Entdeckung von Punktquellen oder von ausgedehnten Quellen bestimmt werden soll. Die Sensitivität kann für bestimmte Aperturen (entsprechend der Detektion durch ERBOX) oder für das PSF-fitting (entsprechen dem ERMLDET-Algorithmus) berechnet werden.

2021: Vermeidung von NaN Werten in den Output Maps, verbesserte Effizienz der Berechnungen.

2022: Korrektur eines Fehlers im Multi-Band Modus

II.2.5 ERMLDET

Der PSF-Fitting Task ERMLDET stellt folgende Funktionalitäten zur Verfügung:

- Parametrisierung der detektierten Quellen (Position, Zählrate, Ausdehnung).
- Bestimmung der endgültigen Signifikanzen für die Detektionen auf Basis der Cash-Statistik).
- Ermöglichung von Detektion und Parametrisierung der Quellen in Feldern mit signifikanter Quellkonfusion.

Während der eROSITA All-Sky-Surveys sowie der Scan-Mode Beobachtungen von Survey-Feldern werden die Photonen einer Quelle an verschiedenen Detektor-Positionen detektiert. Insbesondere kann dabei die Punktbild-Funktion für die Events einer Quelle stark variieren. Es kann daher von Vorteil sein, bei der Detektion statt eines gebintten Gesamtbildes die Einzelevents mit ihrer individuellen Punktbildfunktion zu berücksichtigen. Daher wurde für ERMLDET ein „photon-mode“ implementiert, bei dem die Positionen einzelner Events mit einem Modell verglichen werden, das auf ihrer individuellen Punktbildfunktion (gegebenenfalls gefaltet mit der Ausdehnung der Quelle) beruht. Eine besondere Herausforderung war dabei, die Effizienz des Algorithmus zu optimieren, um praktikable

Ausführungszeiten zu erreichen. Dies wurde insbesondere durch die Entwicklung einer Shapelet-Darstellung der Kalibrations-PSF (MPE / NOA Athen) unterstützt.

Wegen der zentralen Bedeutung der Detektions-Pipeline für die Erstellung der eROSITA Kataloge wurde ERMLDET im Zusammenspiel mit den anderen Tasks der Detektions-Pipeline anhand umfangreicher Simulationen getestet und optimiert. Unmittelbar vor dem Start von SRG/eROSITA wurden ERMLDET und alternative (Wavelet-basierte) Algorithmen auf eine Simulation des für die Verifikationsphase geplanten eFEDS-Survey angewendet („Detection Challenge“). Aufgrund der Ergebnisse wurde entschieden, ERMLDET mit der „photon-mode“ Option als Standard für die Erstellung für die eFEDS und All-Sky-Survey Kataloge zu verwenden.

Anhand der Beurteilung der Quellkataloge aus den laufenden Beobachtungen sowie von Simulationen wurden weitere Optimierungen der Algorithmen sowie Fehlerkorrekturen angebracht.

2021: Behebung von Problemen mit neueren Compiler Versionen

2022: Erhöhung der maximalen Zahl von Fit-Iterationen (von 100 auf 1000). Anpassung der Konvergenz-Kriterien, um die Genauigkeit der Resultate zu verbessern

2023: Verbesserungen am Fit-Algorithmus angebracht, um die Genauigkeit, insbesondere die Positionsgenauigkeit zu erhöhen. Korrektur eines Fehlers, der zu fehlenden Quellen in „forced photometry source maps“ führte.

2024: Vermeidung von ungültigen Werten in PSF-Bilder aus den Shapelet-Routinen durch Abfangen von NaN-Werten in den Shapelet-Koeffizienten.

Um während der laufenden All-Sky-Surveys stets einen aktuellen Gesamtkatalog für die wissenschaftliche Nutzung sowie die Überwachung der Datenqualität hinsichtlich z.B. Vollständigkeit, Sensitivität, und Astrometrie zur Verfügung zu stellen, wurden die Kataloge der einzelnen Sky-Tiles (siehe Abbildung 5) am AIP wöchentlich zu einem Gesamtkatalog zusammengefasst.

Dabei werden mit Hilfe des AllWISE-Katalogs von Infrarot Quellen astrometrische Korrekturen an die eROSITA-Positionen angebracht, sowie duplizierte Detektionen in den überlappenden Regionen der Sky-Tiles entfernt. Im Laufe des Vorhabens wurden etwa 4.4 vollständige Durchmusterungen des Himmels abgeschlossen. Für jede der Durchmusterungen wurde einzeln ein Katalog der in dieser Durchmusterung gefundenen Quellen erstellt (eRASS1, eRASS2, eRASS3, eRASS4, eRASS5, letzterer nur partiell) sowie mehrere Versionen der übereinandergelegten Daten (sog. stacks, eRASS:3, eRASS:4, eRASS:5). Der finale Katalog von eRASS1 wurde schließlich als weltweit erster Data Release von eROSITA (DR1) im Januar 2024 zur wissenschaftlichen Auswertung durch die Community publiziert. Die gestackten Kataloge eRASS:3 - eRASS:5 wurden und werden in der eROSITA Kollaboration einerseits zur wissenschaftlichen Auswertung verwendet und andererseits zur Selektion von Targets für die massiven Folgebeobachtungskampagnen mit SDSS-V und 4MOST herangezogen. Die für die einzelnen Durchmusterungen gewonnenen Bilder der Quellverteilungen am Himmel sind in der Abbildung 6 dargestellt.

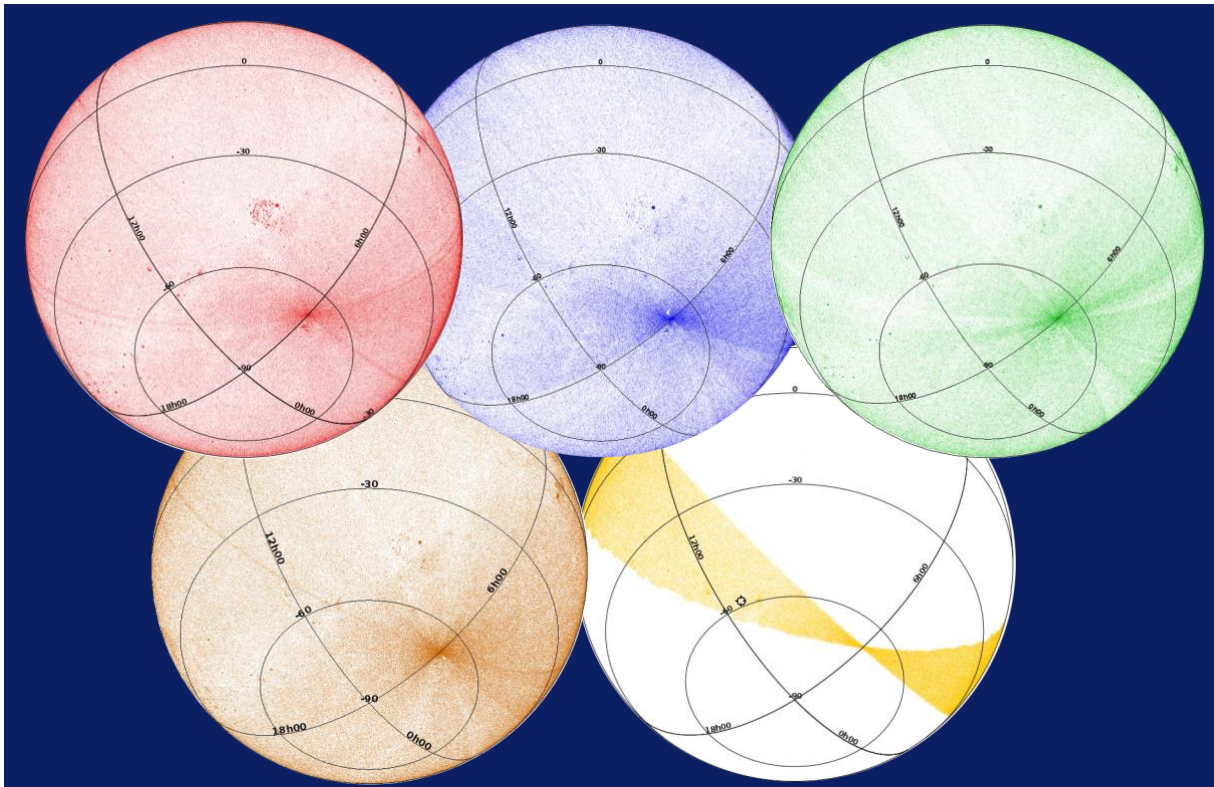


Abbildung 6: Übersicht der in allen 4.4 Durchmusterungen mit eROSITA gefundenen Röntgenquellen. Die Quelldichte ist jeweils am ekliptikal Pol am höchsten und von Durchmusterung zu Durchmusterung aufgrund unterschiedlicher Belichtungszeiten durch Kamera-Resets, Kalibrationsbeobachtungen, und Orbitalkorrekturen jeweils leicht unterschiedlich.

In Abbildung 6 wurden nur die Daten dargestellt, für die das deutsche eROSITA-Konsortium exklusive Datenrechte hat. Die Zahl der gefundenen Quellen steigt mit der Belichtungszeit, sie ist am südeklptikal Pol besonders hoch. Dort überlappen alle einzelnen Abtastungen. Auffallend sind desweiteren in eRASS1 zwei Großkreise mit tieferer Belichtung aus der Testphase der Mission, die eRASS1 zugeschlagen wurden. Die Zahl der gefundenen Quellen am Himmel liegt pro Durchmusterung bei knapp unter einer Million Quellen (punktförmig und ausgedehnt) und liegt bei drei Millionen Quellen im Stack aller Durchmusterungen.

II.1.3. eROSITA SASS Infrastrukturbibliotheken

II.1.3.1 CAL

Die eROSITA Kalibrationsdaten werden im Format des HEASOFT CALDB Datenbanksystems abgelegt. Die PSF Bilder wurden aus ray-tracing Simulationen des MPE erzeugt und im CALDB Format abgelegt. Der Zugriff auf die CALDB erfolgt über die Module CAL und PSFLIB.

2021: Modifikationen für den Fall, dass zu einem Datensatz mehrere passende Kalibrationsdateien gefunden wurden.

2023: Erstellung einer neuen Routine `cal_get_poscorr`, die neue zeitabhängige Boresight Kalibrationen durchführt.

II.1.3.2 EROIO

Enthält die Module ATT_IO, DETECT_IO, TEL_IO, und FITSIMAGE, in denen die Formate der eROSITA SASS FITS Dateien definiert sind, sowie die entsprechenden Lese- und Schreibroutinen. Das Modul QUATERNIONS enthält Routinen zur Arithmetik mit Orientierungsquaternionen.

Diese Bibliotheken erhalten regelmäßige Updates, um Änderungen in verschiedenen eSASS Tasks zu unterstützen. In 2021 gab es eine Vielzahl von updates (V2.44 – v2.50), um Änderungen in Datenformaten und SASS-tasks zu unterstützen.

2023: Unterstützung der zeitabhängigen Boresight-Kalibration

2024: Korrektur von Problemen mit dem '!' Zeichen in Dateinamen.

II.1.4 Der Upper Limit Server für eROSITA DR1

Als wesentliches Softwaremodul, den eROSITA DR1 begleitend, wurde am AIP ein Upper Limit Server (ULS) entwickelt. Dieses Programm berechnet für jede beliebige Koordinate am Himmel den maximal möglichen Röntgenfluss, den eine hypothetische Quelle haben dürfte, um einer Entdeckung zu entgehen. Es ist ein unverzichtbares Modul zur Suche nach Röntgenemission einer beliebigen Eingabestichprobe. Alle dafür notwendigen Berechnungen wurden am AIP durchgeführt und die Resultate dem MPE überstellt. Ein Web-basiertes Frontend erlaubt die unkomplizierte Eingabe von Koordinaten entweder von Einzelobjekten oder von Listen mit bis zu 1000 Einträgen. Eine begleitende Publikation wurde erstellt und bei A&A veröffentlicht (Tubin-Arenas et al. 2024). Die Empfindlichkeitskarte des Gesamthimmels ist in Abbildung 7 dargestellt.

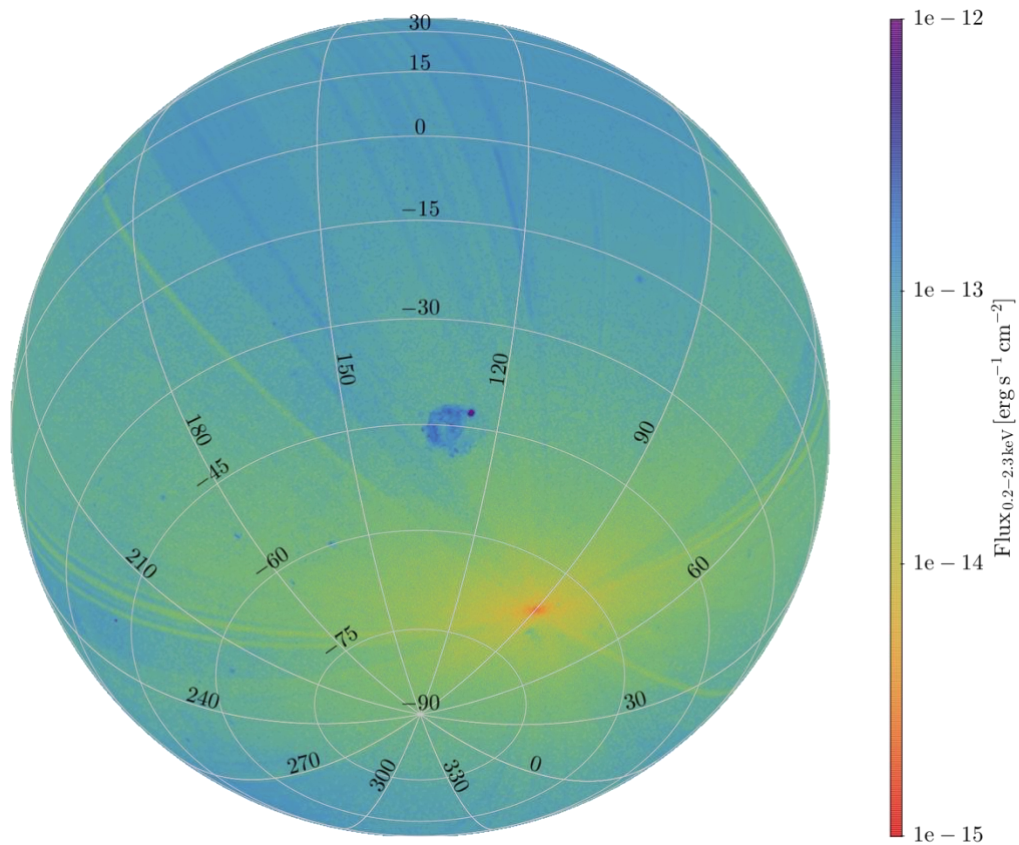


Abbildung 7: Karte der Upper-Limits für die erste eROSITA Himmelsdurchmusterung (eRASS1). Die Karte wurde für den DR1 Master-Katalog im Energiebereich 0.2-2.3 keV berechnet und zeigt die Flusslimits für die Konfidenzgrenze 99.87% (Tubin-Arenas et al. 2024).

II.1.5 Mitarbeit in den eROSITA Gremien

Der Projektwissenschaftler nahm an den wöchentlich abgehaltenen Telekonferenzen der eSASS Arbeitsgruppe teil sowie an den etwas unregelmäßiger abgehaltenen Konferenzen der AGN AG und der AG Datenanalyse und Kalibration.

Der Projektleiter fungierte über die Laufzeit des Vorhabens als Chair der AG Compact Objects und vertrat das AIP in den Treffen der Steering Group und in den zweiwöchentlich abgehaltenen Telekonferenzen des eROSITA CCB (Collaboration Coordination Board). Er vertrat weiterhin die Interessen des eROSITA Konsortiums im eROSITA SDSS Coordination Board (eSCC).

Der Projektleiter nahm an den Treffen (online oder in Person) des Joint German-Russian eROSITA/SRG committee teil und vertrat darin die Interessen der deutschen eROSITA Kollaboration.

Projektleiter und -wissenschaftler nahmen an den halb-, bzw jährlich abgehaltenen Treffen des gesamten eROSITA Konsortiums teil. Der Projektwissenschaftler berichtete regelmäßig über Fortschritte der Quelldetektion und Parametrisierung, der Projektleiter fasste die Ergebnisse der AG Compact Objects zusammen.

II. 2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Der zahlenmäßige Nachweis umfasst die Positionen „Beschäftigte“, „sonstige Beschäftigungs-Entgelte“, „allgemeine Verwaltungsausgaben“ und „Dienstreisen“ (434196, 15184, 44058, 12105) Positionen. Mit 85.6% nehmen Personalkosten den wichtigsten Teil ein. Beschäftigungsentgelte (studentische Hilfskraft zur Bearbeitung von Routineaufgaben), allgemeine Verwaltungsausgaben und Reisekosten tragen mit 3.0%, 8.7% und 2.4% nur jeweils einen kleinen Teil bei. Anzumerken ist, dass aufgrund der weltweiten Coronapandemie weniger Reisen als zunächst geplant durchgeführt wurden, die Reisekosten entsprechend geringer ausfielen.

II. 3. Ergebnisbeurteilung: Notwendigkeit und Angemessenheit der Arbeit

Die durchgeführten Arbeiten sowie die dafür aufgewandten Ressourcen waren notwendig und angemessen, da sie (i) der im Projektantrag detailliert dargelegten Planung entsprachen und (ii) alle im Arbeitsplan formulierten Aufgaben erfolgreich bearbeitet wurden. Ohne die durchgeführten Arbeiten hätte eROSITA nicht so erfolgreich in den Betrieb starten können, ohne die Arbeiten würde keine Pipeline Datenreduktion erfolgen können und der wissenschaftliche Erfolg der gesamten Mission wäre gefährdet.

II. 4. Ergebnisbeurteilung: Nutzen und Verwertbarkeit der Arbeit

Die durchgeführten Arbeiten sind zur wissenschaftlichen Verwertbarkeit der Daten von eROSITA unmittelbar einsetzbar und auch notwendig. Im Projekt wurden in Zusammenarbeit mit den nationalen Partnern in eROSITA_DE die Grundlagen für einen erfolgreichen Betrieb des Röntgenteleskops eROSITA auf SRG gelegt. Die wissenschaftliche Verwertbarkeit ist in höchstem Maße gegeben. Die ersten vier Durchmusterungen des Himmels konnten mittlerweile erfolgreich abgeschlossen werden. Die Daten, soweit ausgewertet, lassen eine extrem reiche wissenschaftliche Ente erwarten. Es ist damit zu rechnen, dass die Ergebnisse von eROSITA das Forschungsgebiet der Röntgenastronomie, die Erforschung der großräumigen Strukturen im Universum und der vielfältigen Populationen am Röntgenhimmel, einen wesentlichen Schub und möglicherweise eine Neuordnung erfährt. Davon zeugen die große Menge an eingeworbenen Beobachtungszeiten bei erdgebundenen und raumgestützten Großobservatorien (ESO, XMM-Newton Chandra, NICER, NuSTAR) sowie die sehr große Zahl an zur Nachbeobachtung mit SDSS-V und 4MOST vorgeschlagenen optischen Quellen als mögliche Gegenstücke zu eROSITA-Röntgenquellen.

II. 5. Ergebnisbeurteilung: Fortschritt bei anderen Stellen

Derzeit ist kein anderes mit eROSITA vergleichbares Projekt in Vorbereitung.

II.6. Veröffentlichungen des Ergebnisses

II.6.1 Wissenschaftliche Veröffentlichungen in Schriftform

Predehl, et al. (2021), The eROSITA telescope on SRG, A&A 647, A1

Lamer, G., et al., (2021), A giant X-ray dust scattering ring discovered with SRG/eROSITA around the black hole transient MAXI J1348-630. A&A 647, A7

Wolf, J., et al., First constraints on the AGN X-ray luminosity function at $z \approx 6$ from an eROSITA-detected quasar. A&A 647, A5

Arcodia et al., (2021), X-ray quasi-periodic eruptions from two previously quiescent galaxies. Nature 592, 704

Grotova et al (2021) SRG/eROSITA discovery of the classical nova AT2021jju as a bright super-soft X-ray source. ATEL 14927

Toba, Y., et al., 2021, The eROSITA Final Equatorial-Depth Survey (eFEDS). An X-ray-bright, extremely luminous infrared galaxy at $z = 1.87$. A&A 649, L11

Brunner et al., 2022, The eROSITA Final Equatorial Depth Survey (eFEDS). X-ray catalogue. A&A 661, A1

Salvato et al, 2022, The eROSITA Final Equatorial-Depth Survey (eFEDS). Identification and characterization of the counterparts to point-like sources. A&A 661, A3

Liu, T., et al., 2022, The eROSITA Final Equatorial-Depth Survey (eFEDS). The AGN catalog and its X-ray spectral properties. A&A 661, A5

Schwöpe et al., 2022, Phase-resolved X-ray spectroscopy of PSR B0656+14 with SRG/eROSITA and XMM-Newton. A&A 661, A41

Liu et al., 2022, The eROSITA extragalactic CalPV serendipitous catalog. A&A 664, A126

López-Navas, E., Sánchez-Sáez, P., Arévalo, P., et al. (2023) "Improving the selection of changing-look AGNs through multiwavelength photometric variability," MNRAS, 524, 188-206

Tubín-Arenas, D., Lamer, G., Krumpke, M., et al. (2023) "Discovery of the lensed quasar eRASS1 J050129.5–073309 with SRG/eROSITA and Gaia," A&A, 672, L9

Ok, S., Lamer, G., Schwobe, A., et al. (2023) "Serendipitous discovery of the magnetic cataclysmic variable SRGE J075818–612027," A&A, 672, A188

Homan, D., Krumpke, M., Markowitz, A., et al. (2023) "Discovery of the luminous X-ray ignition eRASSt J234402.9–352640. I. Tidal disruption event or a rapid increase in accretion in an active galactic nucleus?," A&A, 672, A167

Zheng, X., et al. 2024, Broadband maps of eROSITA and their comparison with the ROSAT survey. A&A 681, A77

Merloni, A., et al., 2024, The SRG/eROSITA all-sky survey. First X-ray catalogues and data release of the western Galactic hemisphere. A&A682, A34

Tubin-Arenas, D., et al., 2024, The eROSITA upper limits. Description and access to the data. A&A 682, A35

Bulbul, E., et al., 2024, The SRG/eROSITA All-Sky Survey. The first catalog of galaxy clusters and groups in the Western Galactic Hemisphere. A&A, 685, A106

Ghirardini et al., 2024, The SRG/eROSITA all-sky survey: Cosmology constraints from cluster abundances in the western Galactic hemisphere. A&A 689, A298

Marini, I., et al. 2024, Detecting galaxy groups populating the local Universe in the eROSITA era. A&A 689, A7

Kluge, M., et al., 2024, The SRG/eROSITA All-Sky Survey. Optical identification and properties of galaxy clusters and groups in the western galactic hemisphere. A&A 688, A210

II.6.2 Vorträge

A. Schwobe: Öffentliche Vorträge zur eROSITA Mission (eROSITA ein Jahr im All, Wie misst eROSITA die Dunkle Energie) im Rahmen der Babelsberger Sternennächte. Online unter <https://www.youtube.com/watch?v=AoA652paK6Q&t=184s>
<https://www.youtube.com/watch?v=iTQdAytrIbM&t=452s>
<https://www.youtube.com/watch?v=4jQpZHsIXXg>
<https://www.youtube.com/watch?v=sPAoyo0vzQ0>
<https://www.youtube.com/watch?v=mH2gy1x71rw>
mit über 200,000 Zugriffen

G. Lamer: Update on eRASS catalogs generation, eROSITA Consortium Meeting (online, Januar 2021)

A. Schwobe: Compact objects WG report + PV phase observations of PSR B0656, eROSITA Consortium Meeting, (online, Januar 2021)

G. Lamer: Update on eRASS catalogs generation, eROSITA Consortium Meeting (online, Juni 2021)

A. Schwobe: Compact objects WG report, eROSITA Consortium Meeting, (online, Juni 2021)

G. Lamer: eROSITA, ECAP Seminar Erlangen (online, 2. Nov. 2021)

A Schwobe: Röntgenastronomie mit eROSITA. Marie-Curie Gymnasium Ludwigsfelde (9.11.2021)

A Schwobe: Die Glorreichen Sieben. Babelsberger Sternennächte (Januar 2022)

G. Lamer: Update on eRASS catalogs generation: the final eRASS1 , eROSITA Consortium Meeting (online, Januar 2022)

A. Schwobe: Compact objects WG report, eROSITA Consortium Meeting, (online, Januar 2022)

A Schwobe: Die Welt mit anderen Augen sehen. Strahlenschutzseminar Berlin (30.6.2022)

A Schwobe: Das neue Bild des Röntgenhimmels mit eROSITA. Lange Nacht der Wissenschaften. Potsdam (2.7.2022)

A Schwobe: Das neue Bild des Röntgenhimmels mit eROSITA. Schönberg, Holstein (3.8.2022)

A Schwobe: 125 Jahre Entdeckung der Röntgenstrahlen. Industriemuseum Teltow (8.11.2022)

G. Lamer: Update on eRASS catalogs generation, eROSITA Consortium Meeting, Bamberg, November 2022

A. Schwobe: Compact objects WG report, eROSITA Consortium Meeting, Bamberg, November 2022

A Schwobe: Das neue Bild des Röntgenhimmels mit eROSITA. Marie-Curie Gymnasium Ludwigsfelde (17.11.2021)

A Schwobe: Highlife auf dem Sternfriedhof. Lehrerbildung LMU München (4.5.2023)

G. Lamer (with eSASS team): eSASS: what next? eROSITA Consortium Meeting, Garching, Mai 2023

A. Schwobe: Compact objects WG report, eROSITA Consortium Meeting, Garching, May 2023

A Schwobe: Entdeckung des Weißen Zwerg Pulsars eRASSU J1912-4410. Babelsberger Sternennächte 22.8.2023)

G. Lamer: The Magneticum / eROSITA sky, A journey through galactic environments, Porto Ercole, September 2023

G. Lamer: Ein kosmisches Röntgenecho und die exakte Vermessung eines Schwarzen Lochs , Vortrag Bruno-Buergel Sternwarte Berlin, Januar 2024

G. Lamer: The eROSITA data analysis and catalogue pipeline, XMM survey legacy for Athena and beyond, Toulouse, Februar 2024

A. Schwobe: Compact objects WG report and optical follow-up of a CWDB, eROSITA Consortium Meeting, Garching, March 2024

M. Krumpal: The eROSITA Upper Limits, eROSITA Consortium Meeting, Garching, März 2024

G. Lamer: Das Röntgenteleskop eROSITA: die Kartierung des heißen Universums, Vortrag Wilhelm-Foerster-Sternwarte Berlin, März 2024

G. Lamer: Lensed QSOs in the eROSITA all-sky surveys, First Results from the SRG /eROSITA ALL-Sky Survey, Garching, September 2024

D. Tubin: The SRG/eROSITA upper limits, First Results from the SRG /eROSITA ALL-Sky Survey, Garching, September 2024