

# Stuttgart

## SOFIA Data Center

Institut für Raumfahrtsysteme - IRS  
Universität Stuttgart  
Pfaffenwaldring 29  
70569 Stuttgart

### 0 Allgemeines

Das SOFIA Data Center (SDC) ist ein Projekt des Instituts für Raumfahrtsysteme (IRS) an der Universität Stuttgart und der Nachfolger des Deutschen SOFIA Institutes (DSI). Das SDC wird im Rahmen eines fünf-jährigen Förderprogramms der Deutschen Raumfahrtagentur (DLR-Förderkennzeichen 500K2404) die Daten des Stratosphärenobservatoriums für Infrarotastronomie (SOFIA) aufbereiten und ihre langfristige Zugänglichkeit sicherstellen. SOFIA, ein Gemeinschaftsprojekt von NASA und DLR, wurde über zwölf Jahre von zwei Zentren in Palmdale (Aircraft & Mission Operations) und Moffett Field (Science Operations) sowie von mehreren Standorten auf der Südhalbkugel betrieben. Dabei wurden etwa 5300 Beobachtungsstunden im mittleren bis fernen Infrarot mit einer Reihe spezialisierter Wissenschaftsinstrumente aufgezeichnet, von denen bislang erst ein Teil veröffentlicht ist. Das SDC wird die Roh- sowie bereits reduzierten Daten in einem öffentlich zugänglichen Archiv bereitstellen, das nach gängigen Virtual-Observatory-Standards (VO) strukturiert ist und somit eine unkomplizierte Einbindung in bestehende VO-Dienste ermöglicht. Im Zuge einer konsistenten Re-Prozessierung werden die Daten mit den jeweils aktuellsten Reduktions-Pipelines, einer präzisen Rekonstruktion des Teleskop-Pointings via Analyse der Bilder der Leitkameras sowie einer atmosphärischen Korrektur basierend auf ECMWF-Reanalyse-Modellen, auf eine einheitlich hohe Qualitätsstufe gebracht. Weitere Verbesserungen werden je nach Einzelfall iterativ implementiert. Zusätzlich umfasst das Technik- und Betriebsarchiv umfassende Dokumentation und Daten zum Teleskop und dessen Technik sowie seines Betriebs. Um die wissenschaftliche Nachnutzung zu erleichtern, erhalten Forschende darüber hinaus gezielte Unterstützung durch Workshops, detaillierte Handbücher und individuelle Beratung, sodass der einzigartige Datenbestand von SOFIA effizient für aktuelle und zukünftige astrophysikalische Fragestellungen genutzt werden kann.

### 1 Personal und Ausstattung

#### 1.1 Personalstand

*Direktoren: 2*

Dr. rer. nat. Bernhard Schulz (wissenschaftl. Leitung), Michael Hütwohl (diszipl. Leitung)

*Wissenschaftliche Mitarbeiter: 13*

Aaron Bryant, Nadine Fischer, Dr.-Ing. Christian Fischer, Jonas Früh, Dr.-Ing. Benjamin Greiner, Dr. rer. nat. Christof Iserlohe, Dr.-Ing. Thomas Keilig, Bastian Knieling, Prof. Dr. rer. nat. Alfred Krabbe, Karsten Schindler, Andreas Siggelkow, Dr.-Ing. Manuel Wiedemann, Dr.-Ing. Oliver Zeile

*Doktoranden: 2*

Aaron Bryant, Karsten Schindler

## 2 Wissenschaftliche Arbeiten

### 2.1 SOFIA Technik- und Betriebsarchiv

Das SDC-Projekt hat die Aufgabe, neben den astronomischen Daten auch die technischen und operativen Daten des SOFIA-Teleskops zu archivieren und bei Bedarf interessierten Wissenschaftler:innen zugänglich zu machen. Dies wird in dem Datenrepositorium der Universität Stuttgart (DaRUS) erfolgen, das auf der Open-Source-Software “Dataverse” beruht.

DaRUS erfüllt alle Anforderungen, die an ein solches Archiv von Seiten der Nutzer gestellt werden, und bietet zudem den Vorteil, dass seitens des SDC kein Aufwand für den Betrieb von Servern, die Datensicherung, das Einrichten von Usern etc. geleistet werden muss. Zudem ist die langfristige Verfügbarkeit der Daten sichergestellt. Das Laden der Daten in das Archiv erfolgt skriptbasiert, wobei die Daten während dieses Prozesses mit einer Vielzahl von Metadaten angereichert werden, was effizientes Suchen und Filtern der Daten sicherstellt.

Die Vorarbeiten und Skriptentwicklung wurden im Jahr 2025 weitgehend abgeschlossen; mit dem Laden der Daten wird im ersten Halbjahr 2026 begonnen.

Mitglieder der Arbeitsgruppe sind B. Greiner, M. Hütwohl, A. Siggelkow und O. Zeile.

### 2.2 SDC-Internetauftritt

Das SDC-Projekt und dessen Wissenschaftsarchiv soll im Internet eine angemessene Repräsentation haben und für Nutzer der verschiedenen Services leicht zu finden sein. Um dies zu erreichen wird eine eigene Domain mit dem Namen “sofiadatacenter.de” eingerichtet werden, geplant für Q1/2026. Bereits seit November 2025 ist ein SDC-Projektüberblick auf den Seiten des “Instituts für Raumfahrtsysteme” der Universität Stuttgart online verfügbar. Dieser ist zukünftig ebenfalls über die genannte Domain erreichbar. Zudem werden dort auch alle “historischen” Seiten des DSI über das SOFIA-Projekt eingepflegt werden. Zudem wird diese Domain der zentrale Anlaufpunkt zu allen Services mit Bezug auf astronomische Daten sein, zum Beispiel zum SDC Virtual Observatory. Die genannten Arbeitsbereiche befinden sich in Entwicklung und werden schrittweise ab 2026 veröffentlicht. Der Webauftritt des SDC wird von M. Hütwohl verantwortet.

### 2.3 Datenreduktions-Pipeline, REDUX

Das SDC hat die ursprünglich von SOFIA-USRA gepflegte SOFIA Datenreduktionspipeline für einen Großteil der wissenschaftlichen Instrumente vom SOFIA-USRA Software Repository auf GitHub geforkt und entwickelt sie intern auf einer GitHub-Enterprise-Instanz der Universität Stuttgart weiter. Dabei wurde zunächst die Kompatibilität mit zugrundeliegenden Bibliotheken in aktuellen Versionen hergestellt. Das Team nutzt moderne Development-Workflows wie Pull Requests und ein CI/CD-Setup für Unit-Tests. Updates wurden regelmäßig auf GitHub.com unter dem Namen SOFIA-Data-Center/sofia\_redux veröffentlicht. Zudem erfolgte die Übernahme des etablierten Pakets sofia\_redux auf dem Python Packaging Index (PyPI). Dort wurde im Dezember sofia\_redux v1.4.0 veröffentlicht. Mitglieder der Arbeitsgruppe sind A. Bryant, N. Fischer, J. Früh, B. Greiner, B. Knieling.

## 2.4 Atmosphärische Kalibration

In der Arbeitsgruppe “Atmosphärische Kalibration” wird an der Verbesserung der tellurischen Korrektur der mit den SOFIA Wissenschaftsinstrumenten gewonnenen Daten gearbeitet. Diese ist kritisch für die weitere Verwendung der Daten als Wissenschaftsprodukt. 2025 wurde eine verbesserte Version der tellurischen Korrektur in der Datenreduktionspipeline des FIFI-LS Instrumentes vorgenommen, die ausserdem eine Verbesserung der verwendeten atmosphärischen Modelle umfasst, die auf dem Strahlungstransport-Programm ATRAN beruhen. Mitglieder der Arbeitsgruppe sind A. Bryant, J. Früh, C. Iserlohe, und B. Knieling.

## 2.5 Teleskop-Pointing

2025 wurde begonnen eine Pipeline zu entwickeln, um die Bilder der drei Guide-Kameras (WFI, FFI & FPI) zu prozessieren und zur Verbesserung der SOFIA Pointing-Knowledge zu nutzen. Dafür müssen zunächst die Bilddaten aus einem SOFIA-eigenen Container-Format in FITS-Bilder konvertiert und mit Hilfe von Teleskop Houskeeping-Daten um relevante Header Keywords ergänzt werden. Anschließend werden die FITS-Bilder nach Möglichkeit astrometrisch gelöst, um das tatsächliche Pointing des Teleskops zu bestimmen. Neben den Guide Kamera Bildern im FITS-Format sollen auch Pointing Tabellen veröffentlicht werden, die z.B. von REDUX genutzt werden können um das Pointing der Wissenschaftsdaten zu verbessern. Mitglieder der Arbeitsgruppe sind M. Wiedemann und O. Zeile.

## 2.6 Wissenschaftsinstrumente

Die Vorbereitung auf Verbesserungen der Pipelines der Instrumente EXES, FORCAST und HAWC+ konzentrierte sich zunächst auf die Sicherung von Daten und Expertenwissen.

### *FIFI-LS*

Im März 2025 wurde die Verantwortung für die FIFI-LS-Pipeline am SDC von Dr. Christian Fischer an Aaron Bryant übertragen. Zu den ersten größeren FIFI-LS-Projekten, die am SDC begonnen wurden, gehörte eine Fluss-Rekalibrierung unter Verwendung eines vollständig zeitaufgelösten Mars-Flussmodells und eines flusserhaltenden Drizzle-Algorithmus. Weitere Projekte umfassen die Entwicklung eines automatisierten Filters für FIFI-LS-Rohdaten mit fehlerhaftem Teleskop-Pointing, eine verbesserte und aktualisierte Dokumentation, die automatisierte Identifizierung und spezielle Reduktion von tellurischen Messungen sowie ein Snakemake-Skript zur Automatisierung der Reprozessierung des gesamten FIFI-LS-Datenarchivs. Stand und Ausblick der FIFI-LS-Pipeline-Entwicklung wurden im November auf der ADASS XXXV in Görlitz sowie bei den SDC-UG im März und September vorgestellt. Darüber hinaus wurden wissenschaftliche Ergebnisse von FIFI-LS zum galaktischen Zentrum im Dezember beim IRS-Doktorandenseminar in Stuttgart sowie im Oktober bei der WE-Heraeus und NARIT Cosmology School 2025 in Thailand präsentiert. Mitglieder der Arbeitsgruppe sind A. Bryant, J. Früh, C. Iserlohe und B. Knieling.

## 2.7 Virtual Observatory

Zur Inbetriebnahme eines astronomischen Archivs des SOFIA Data Center wird ein Ansatz im Kontext der Standards des Virtual Observatory (IVO) verfolgt. Übernommene Rohdaten aus NASA-Beständen, wie sie auch dem IRSA vorliegen, wurden in den SDC-Cluster integriert und zunächst intern verfügbar gemacht. Redundante Backup-Systeme sowie Tape-Sicherungen wurden aufgebaut. In Kooperation mit dem ARI Heidelberg entstand ein erster Prototyp für VO-Dienste auf Basis von DaCHS, zunächst für FORCAST-Produkte. Mitglieder der Arbeitsgruppe sind B. Greiner, C. Iserlohe, B. Schulz und M. Wiedemann.

## 2.8 Astronomisches Beratungsgremium SDC User Group, SDC-UG

Um bestmögliche wissenschaftlich-technische Ergebnisse in enger Abstimmung mit den Nutzern der am SDC zu erzeugenden Datenprodukte erreichen zu können, wurde ein astronomisches Beratungsgremium, die SDC User Group (SDC-UG) einberufen. Es wurde zusammen mit der ehemaligen German SOFIA Science Working Group (GSSWG) eine Charta für die SDC-UG erarbeitet sowie Verena Wolf (TLS Tautenburg) und Guido Fuchs (Universität Kassel) als Sprecher gewählt. Der Rat deutscher Sternwarten (RdS) ernannte auf Antrag der SDC-User Group zwei Community-Vertreter: Robert Simon (Universität zu Köln) und Helmut Wiesemeyer (MPIfR Bonn). Die Community-Vertreter sind vom RdS auf zunächst zwei Jahre ernannt. Das SDC hat damit de facto auch im RdS die offizielle Nachfolge des Deutschen SOFIA Instituts (DSI) angetreten.

## 3 Veröffentlichungen

### 3.1 In referierten Zeitschriften (6)

Fischer, C., et al., “Probing the Atmospheric Precipitable Water Vapor with SOFIA. Part V. Telluric Scaling: Correcting Telescope Elevation Effects in Non-chopped Observations by Modeling the Telluric Background Based on the Water Vapor Overburden”, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, Vol. 137, No. 7 (PASP 137 075002), DOI 10.1088/1538-3873/adeec5

Fischer, C., et al., “Large-scale mapping of [C II] and [O III] in the LMC molecular ridge: I. Dataset and line ratio analyses”, *A&A* **Vol. 702** 2025, A273, DOI: 10.1051/0004-6361/202555833

Harris, A. I., et al., “SOFIA/upGREAT Imaging Spectroscopy of the [C ii] 158  $\mu$ m Fine-structure Line toward the Sgr A Region in the Galactic Center”, *ApJ* **Vol. 985** 2025, 130, DOI: 10.3847/1538-4357/adcb48

Karska, A., et al., “SOFIA FIFI-LS spectroscopy of DR21 Main: Energetics of the spatially resolved outflow from a high-mass protostar”, *A&A* **Vol. 697** 2025, A186, DOI: 10.1051/0004-6361/202453109

Kovačić, I., et al., “Full disc [C II] mapping of nearby star-forming galaxies: SOFIA FIFI/LS observations of NGC 3627, NGC 4321, and NGC 6946”, *A&A* **Vol. 694** 2025, A87, DOI: 10.1051/0004-6361/202450062

Rothmeier, M., et al., “Doomed Worlds. II. Reassessing Suggestions of Orbital Decay for TrES-5 b.”, *PSJ* **6** (2025) id. 292

### 3.2 Konferenzbeiträge (12)

Bryant, A., et al., Poster: “The FIFI-LS Pipeline at the SOFIA Data Center - New Flux Calibration and Improvements” ADASS XXXV, Görlitz 2025, ASP Conf. Ser. **TBD** (2026)

Greiner, B., et al., Vortrag: “Twentieth Century FOG: Revisiting the SOFIA Gyroscopes 25 Years Later.”, 2025 DGON Inertial Sensors and Applications (ISA), Braunschweig, Germany, 2025, pp. 1-22, doi: 10.1109/ISA67150.2025.11279297.

Greiner, B., et al., Poster: “Maintaining SOFIA Redux.”, ADASS XXXV, Görlitz 2025, ASP Conf. Ser. **TBD** (2026)

Lewis, M., et al., Poster: “Simulating Quaoar’s Ring with Confinement by Weywot.”, EPSC-DPS Joint Meeting 2025, held 7-12 September, 2025 in Helsinki, Finland; id. EPSC-DPS2025-1136

Rothmeier M., et al., Vortrag: “Doomed Worlds II: Reassessing Suggestions of Orbital Decay for TrES-5 b.”, EPSC-DPS Joint Meeting 2025, held 7-12 September, 2025 in Helsinki, Finland; id. EPSC-DPS2025-215

Schulz B., et al., Poster: “Helping Bridge the FIR-Data-Drought with the SOFIA Data Center (SDC)”, 245th Meeting of the American Astronomical Society, id. 209.11, National Harbor, Maryland 12.1.-16.1.

Schulz B., et al., Poster: “The FIR-Data Gap and how the SOFIA Data Center (SDC) can help”, Workshop: “Future Role of FIR-Submm Space Observations Defining Urgent Science and Instrumentation”, In honor of Thijs de Graauw and his collaborators, Leiden 2.4.-4.4.

Schulz B., et al., Vortrag: “Progress in Constructing the SOFIA Data Center”, AG-Tagung, Splinter: E-Science / E-Infrastructures / Virtual Observatory / Machine Learning, Görlitz 15.9.-19.9.

Schulz B., Vortragsveranstaltung, “Das Universum in einem anderen Licht, Die fliegende Infrarotsternwarte SOFIA”, Sternwarte Überlingen 26.09.

Schulz B., et al., Poster: “The SOFIA Data Center (SDC)”, ADASS XXXV, Görlitz 2025, ASP Conf. Ser. **TBD** (2026)

Schulz B., Vortrag, “Instrument Dedicated Teams, The ISO Story”, ESAC, Madrid, Spanien 18.11.

Sickafoose, A., et al., Poster: “Pluto’s Atmosphere in Decline.”, EPSC-DPS Joint Meeting 2025, held 7-12 September, 2025 in Helsinki, Finland; id. EPSC-DPS2025-1363

### 3.3 Populärwissenschaftliche und sonstige Veröffentlichungen (2)

Greiner, B., et al., “SOFIA-Data-Center/sofia\_redux (v1.4.0)”, Zenodo (2025), <https://doi.org/10.5281/zenodo.17980055>

“SOFIA Mission infrarotes Universum”, Publ. University of Stuttgart, IRS, eds. Krabbe, A.; Mehlert, D.; Wolf, J., <https://elib.uni-stuttgart.de/handle/11682/15658> (2025)

## 4 Lehrtätigkeit, Prüfungen und Gremientätigkeit

### 4.1 Lehrtätigkeiten

Keilig, T., Gastvorlesung “Das fliegende Observatorium SOFIA: Technik und Betrieb” am IRS, Uni Stuttgart 9.12. im Rahmen der Vorlesung “Astronomiemissionen”

Schulz, B., Gastvorlesung “SOFIA Science Highlights” am IRS, Uni Stuttgart 2.12. im Rahmen der Vorlesung “Astronomiemissionen”

### 4.2 Gremientätigkeit

Dr. Christian Fischer ist Vollmitglied der German SOFIA Science Working Group (GSSWG).

Prof. Dr. Alfred Krabbe ist Mitglied bei: Astronomische Gesellschaft (Vollmitglied), European Astronomical Society (Affiliated), German SOFIA Science Working Group (GSSWG) (ex-officio Mitglied), Rat deutscher Sternwarten (RdS), SOFIA Data Center User Group (SDC-UG) (ex-officio Mitglied).

Dr. Bernhard Schulz ist Mitglied bei: Astronomische Gesellschaft (Vollmitglied), European Astronomical Society (Affiliated), American Astronomical Society (Vollmitglied), German SOFIA Science Working Group (GSSWG) (ex-officio Mitglied), SOFIA Data Center User Group (SDC-UG) (ex-officio Mitglied).

### 4.3 Kooperationen

Kooperation mit Herrn Dr. Markus Demleitner vom Astronomischen Rechenzentrum der Uni Heidelberg zur technischen Umsetzung eines VO kompatiblen Wissenschaftsarchivs.

Kooperation mit Dr. Juan Luis Verbena und Dr. Christof Buchbender vom 1. Physikalischen Institut der Universität zu Köln zur Einbindung der GREAT Wissenschaftsdaten in das SDC Archiv.

## 5 Abkürzungsverzeichnis

DaRUS	:	DATA Repository of the University of Stuttgart
DLR	:	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
DSI	:	Deutsches SOFIA Institut
ECMWF	:	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
FIFI-LS	:	Far Infrared Field-Imaging Line Spectrometer
GSSWG	:	German SOFIA Science Working Group
GREAT	:	German REceiver for Astronomy at Terahertz Frequencies
IRS	:	Institut für Raumfahrtsysteme an der Universität Stuttgart
IRSA	:	NASA/IPAC Infrared Science Archive
IVOA	:	International Virtual Observatory Alliance
MPIfR	:	Max-Planck-Institut für Radioastronomie, Bonn
NASA	:	National Aeronautics and Space Administration
RdS	:	Rat deutscher Sternwarten
SDC	:	SOFIA Data Center
SDC-UG	:	SOFIA Data Center User Group
SOFIA	:	Stratospheric Observatory For Infrared Astronomy
TLS	:	Thüringer Landessternwarte, Tautenburg
USRA	:	Universities Space Research Association
VO	:	Virtual Observatory

Dr. rer. nat. Bernhard Schulz