

# Stuttgart

## Deutsches SOFIA Institut



Pfaffenwaldring 29, 70569 Stuttgart

### 0 Allgemeines

SOFIA, das Stratosphären Observatorium für Infrarot Astronomie (Stratospheric Observatory For Infrared Astronomy), ist ein Gemeinschaftsprojekt des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) und der National Aeronautics and Space Administration (NASA). Es wird im Auftrag des DLR mit Mitteln des Bundes (BMWK), des Landes Baden-Württemberg und der Universität Stuttgart durchgeführt. Die deutschen Instrumente von SOFIA wurden bislang durch die Max-Planck Gesellschaft, die Deutsche Forschungsgemeinschaft, die Universität zu Köln, das Institut für Raumfahrtsysteme der Universität Stuttgart und dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) finanziert. Das Deutsche SOFIA Institut (DSI) der Universität Stuttgart koordiniert den wissenschaftlichen Betrieb auf deutscher Seite, auf amerikanischer Seite das NASA Ames Research Center (ARC) und die Universities Space Research Association (USRA). Das gesamte Projekt wird zu 80% von der NASA und zu 20% vom DLR finanziert; dies betrifft sowohl den Bau des Observatoriums als auch den 20-jährigen Betrieb. Der deutsche Beitrag zum Bau umfasst das Teleskop mit seinem 2,7 m durchmessenden Hauptspiegel. Das DLR hat das DSI an der Universität Stuttgart im November 2004 beauftragt, die Fertigstellung des SOFIA Observatoriums und später dessen Betrieb und wissenschaftliche Nutzung zu koordinieren. Das DSI vertritt außerdem die Interessen der deutschen Astronomen im Projekt, unterstützt die deutschen Wissenschaftler beim Bau deutscher Instrumente und steht in ständigem Kontakt mit der German SOFIA Science Working Group (GSSWG). Der Flugbetrieb wird unter Federführung des NASA Armstrong Flight Research Centers (AFRC) durchgeführt. Das NASA Ames Research Center (ARC) bereitet die wissenschaftliche Nutzung und die astronomischen Beobachtungsflüge vor und führt diese durch.

Die Aufgaben des DSI erstrecken sich auf folgende Bereiche:

- Betrieb des deutschen Kompetenzzentrums für Infrarotastronomie
  - Koordination des wissenschaftlichen Programms
  - Unterstützung der GSSWG und der deutschen Instrumententeams
  - Unterstützung der deutschen Wissenschaftler bei der Benutzung des SOFIA Observatoriums und speziell des FIFI-LS und des FPI+ Instrumentes an Bord von SOFIA
  - Unterstützung der deutschen SOFIA Instrumententeams
  - Bewertungsverfahren der eingereichten SOFIA Beobachtungsanträge
  - Mitarbeit bei der Erstellung des Beobachtungszeitplans für SOFIA
- Betrieb und Wartung des SOFIA Teleskops
- Weiterentwicklung und Verbesserung des SOFIA Teleskopes und der Subsysteme
- Aufbau und Koordination eines akademischen Austauschprogramms
- Öffentlichkeitsarbeit sowie Aufbau und Koordination eines bundesweiten Bildungsprogramms
- Bereitstellung der nötigen Infrastruktur z.B. im Bereich der Personalentsendung, Archivierung des Datentransfers, und Rechnerunterstützung

Das Observatorium wurde im September 2022 ausser Dienst gestellt und im Januar 2023 ins Pima Air and Space Museum (PASM) überführt. Das DSI hat in 2023 begonnen die Standorte in USA abzuwickeln und bereitet die Transition zu einem neu zu gründenden SOFIA Datenzentrum (SOFIA Data Center, SDC) vor.

Die Geschäftsstellen des DSI sind:

- Stuttgart : Hauptgeschäftsstelle am Institut für Raumfahrtsysteme (IRS) der Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 29, 70569 Stuttgart, Deutschland
- AFRC : Zweigstelle am NASA Armstrong Flight Research Center, Mail Stop: AFRC Bldg. 703, S231, P.O. Box 273, Edwards, CA 93523, USA
- ARC : Zweigstelle am SOFIA Science Center, NASA Ames Research Center (ARC), Mailstop N211-1, Moffett Field, CA 94035, USA

Die Webseite des DSI ist: <http://www.dsi.uni-stuttgart.de/>

## 1 Personal und Ausstattung

### 1.1 Personalstand

*Direktoren und Professoren: 2*

*Direktoren: 1*

Prof. Dr. Alfred Krabbe (Leitung des DSI, Stuttgart)

*Professoren: 2*

Prof. Dr. Alfred Krabbe (Leitung des DSI, Stuttgart), Prof. Dr. Jörg Wagner

*Wissenschaftliche Mitarbeiter: 18*

- Stuttgart : Jonas Früh (Ingenieur für Wissenschaftsinstrumente), Dr.-Ing. Benjamin Greiner (Structural Dynamics & IT Infrastructure and Service), Dr. rer. nat. Christof Iserlohe, Dr. rer. nat. Maja Kazmierczak-Barthel, Dr.-Ing. Thomas Keilig (Geschäftsleiter), Bastian Knieling (Ingenieur für Wissenschaftsinstrumente und Okkultationswissenschaftler), Prof. Dr. rer. nat. Alfred Krabbe (Direktor des DSI), Philipp Maier, Prof. Dr.-Ing. Jörg Wagner, Dr. rer. nat. Jürgen Wolf
- AFRC : Michael Beck, Dr.-Ing. Christian Fischer (Instrument-Wissenschaftler für FIFI-LS), Nadine Fischer, Michael Hütwohl (Standortleiter AFRC), Dr. rer. nat. Bernhard Schulz, Andreas Siggelkow (Techn. Redakteur), Dr.-Ing. Oliver Zeile (Leitender SOFIA Teleskop Ingenieur)
- ARC : Dr.-Ing. Manuel Wiedemann (Standortleiter ARC)

*Doktoranden: 5*

- Stuttgart : Andre Beck, Philipp Maier  
Externe Doktoranden: Aaron Bryant, Rainer Hönle
- ARC : Karsten Schindler

*Bachelor- und Masterstudenten: 1**Masterstudenten: 1*

- ARC : Marvin Rothmeier

*Sekretariat und Verwaltung: 5*

- Stuttgart : Dr. rer. nat. Antje Lischke-Weis (Verwaltung - EPO), Dr. rer. nat. Dörte Mehlert (Verwaltung - EPO), Katja Paterson (Verwaltung), Sarah Peter (Verwaltung - Reisekosten), Monika Rößler (Verwaltung - Finanzen)

*Technische Mitarbeiter: 6*

- Stuttgart : Florian Behrens, Steve Elsemüller, Benedikt Györfi  
AFRC : Alexander Grill, Marco Lentini, Rainer Strecker

**2 Wissenschaftliche Arbeiten****2.1 Arbeitsschwerpunkte der Hauptgeschäftsstelle Stuttgart***Verwaltung*

Am Standort in Stuttgart befindet sich der Hauptverwaltungssitz des DSI, welches die Leitung und die Finanz- und Personaladministration wahrnimmt. Dort befindet sich ebenso die Abteilung für die deutsche Öffentlichkeits- und Bildungsarbeit zum SOFIA Programm, die auch das deutsche Lehrermitflug-Programm "SOFIA German Ambassador Program" (SGAP) betreibt. Siehe auch <http://www.dsi.uni-stuttgart.de/bildungsprogramm/SGAP> und Kapitel 4.5.

*Wissenschaft*

In der astronomischen Arbeitsgruppe mit Prof. Dr. A. Krabbe als Leiter werden u. a. Daten ausgewertet, die von SOFIA mit dem FIFI-LS Instrument (Far Infrared Field Imaging Line Spectrometer) gewonnen wurden. Forschungsschwerpunkte am DSI sind das Zentrum unserer Milchstrasse sowie die zentrale molekulare Zone (circum molecular zone, CMZ). Ein weiterer Forschungsschwerpunkt ist massive Sternentstehung in Galaxien wie z.B. M82 und NGC253. Hier werden unter anderem Ferninfrarot-Daten des abbildenden Spektrographen FIFI-LS ausgewertet. Diesen Themen widmen sich die Doktoranden Andre Beck, Aaron Bryant sowie die wissenschaftlichen Mitarbeiter Dr. Christof Iserlohe und Dr. Christian Fischer.

Ein wichtiger Forschungsaspekt am DSI betrifft die atmosphärische Kalibration von Daten, die mit Instrumenten an Bord von SOFIA genommen wurden. Hierbei spielt der ausfällbare Wasserdampf (precipitable water vapor, PWV) in der Stratosphäre als Hauptabsorber für Ferninfrarot-Strahlung eine grosse Rolle. Dieser wird aus Satellitenbeobachtungen und Modellrechnungen des European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) bestimmt und mit Messungen, die mit dem FIFI-LS und FORCAST Instrument gewonnen wurden, verglichen. Diesem Thema widmen sich die wissenschaftlichen Mitarbeiter Dr. Christian Fischer und Dr. Christof Iserlohe.

#### *European Stratospheric Balloon Observatory, ESBO*

Ein weiteres Forschungsfeld ist die ESBO-Initiative (European Stratospheric Balloon Observatory), ein europäisches Forschungsvorhaben, das den Weg für ein breit zugängliches, regelmäßig fliegendes astronomisches Observatorium auf Basis von wissenschaftlichen Stratosphärenballons bereiten soll. Unter dem ESBO-Vorhaben wird unter anderem die UV-Prototypmission STUDIO (Stratospheric UV Demonstrator of an Imaging Observatory) entwickelt. Das Projektkonsortium wird vom Institut für Raumfahrtssysteme (IRS) der Universität Stuttgart geleitet und umfasst neben der Mitarbeit der Abteilungen Prof. S. Klinkner und Prof. A. Krabbe im IRS weiterhin die Swedish Space Corporation, das Institut für Astronomie und Astrophysik der Universität Tübingen, das Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik und das Instituto de Astrofísica de Andalucía.

Das Pilotprojekt ESBO DS (European Stratospheric Balloon Observatory - Design Study) wurde 2022 erfolgreich abgeschlossen. ESBO DS wurde im Rahmen des Horizont 2020 Förderprogramms für Forschung und Innovation der Europäischen Union unter Zuwendungsvereinbarung 777516 finanziert.

#### *Fluxer*

Desweiteren wird am Standort Stuttgart das IDL-Softwarepaket FLUXER entwickelt, welches zur Visualisierung und Auswertung astronomischer Daten-Kuben wie z.B. von FIFI-LS Daten dient. Die Software wird interessierten Wissenschaftlern kostenlos zur Verfügung gestellt.

#### *Beitrag der Professur für Flugmesstechnik*

Der Beitrag der Professur für Flugmesstechnik bestand auch 2024 in der Unterstützung der Arbeiten am SOFIA-Teleskop und seinen Subsystemen auf den Gebieten der Mechanik, Strukturmechanik und Messtechnik. Den Schwerpunkt bildete eines der bisherigen Vorhaben zur Technik des Teleskops.

Die im Aufbau befindliche zweite, verbesserte inertielle Messeinheit des Teleskops aus drei sehr hochwertigen faseroptischen Kreisel und drei Beschleunigungsmessern musste ursprünglich noch flugqualifiziert werden. Hierzu sollten zur Überprüfung der vorgegebenen Spezifikationen und zur Genauigkeitssteigerung die sechs Inertialsensoren im Labor der Professur auf einem Drehtisch nachkalibriert und insbesondere in der Lage ihrer Messachsen zueinander vermessen werden. Die hierzu aufgebaute Methodik wird nun zur Nachbereitung der Daten der bisherigen inertialen Messeinheit des Teleskops eingesetzt.

Hierzu wurde nach die aus dem SOFIA Teleskop ausgebaute Inertialeinheit erfolgreich aus den USA exportiert und ins Labor nach Stuttgart gebracht. Nach einer Anpassung der bestehenden Mess- und Steuereinrichtungen für das Unit-Upgrade wurden Langzeitstabilitätsmessungen sowie Messungen der Fehlauseinrichtungswinkel durchgeführt. Die Auswertung und ein Vergleich zu Charakterisierungen aus dem vergangenen aktiven SOFIA Betrieb sind Gegenstand der 2025 fortgeführten Aktivitäten.

Neben der Unterstützung von SOFIA führt die Professur auch historische Untersuchungen durch, die ihren Ausgangspunkt im wissenschaftlichen Werk des Tübinger Astronomen J.G.F. Bohnenberger haben.

### *SOFIA Data Center, SDC*

Das Jahr 2024 begann für das DSI mit der Fertigstellung und der Einreichung des Zuwendungsantrags an die Deutsche Raumfahrtagentur im DLR zum Aufbau des SOFIA Data Centers (SDC). Dieser sieht vor, über eine Laufzeit von 5 Jahren die gesamten Wissenschaftsdaten sowie auch die betrieblichen und technischen Daten des Observatoriums aufzuarbeiten und für Astronomen und Ingenieure in einem VO-kompatiblen Archiv online zur Verfügung zu stellen. Zudem soll aktive Unterstützung für mit SOFIA-Daten Forschende geleistet werden.

Diesem Antrag wurde im Juni mit Beginn zum 1. Juli 2024 stattgegeben. Da der Umzug des DSI zurück nach Deutschland noch in vollem Gange war, beschränkten sich die Aktivitäten mit Bezug auf das SDC auf eine Reihe von Planungsbesprechungen und die Sicherung der Rohdaten der Flüge von Servern der NASA und des DSI. Des Weiteren wurden alle verfügbaren Informationen zur Organisation der Beobachtungen und deren Ausführung gesammelt. Letztlich konnten auch Informationen über die Zusammenhänge zwischen Beobachtungsprogrammen, konfigurierten Beobachtungen (AORs), Beobachtungsblöcken und den Beobachtungsflügen gesichert werden.

Die Zusammenarbeit mit der NASA gestaltetet sich in diesem Bereich als etwas schwierig, da die Eigentumsverhältnisse in der internationalen Kooperation im Voraus nicht ausreichend geklärt worden waren. Aus diesem Grund fehlende Informationen sollen aus den in den Rohdaten gespeicherten Metadaten extrahiert werden.

Weitere vorbereitende Arbeiten bestanden in ersten Planungen zu einer das SDC unterstützenden User-Group, Planungen und Prototyping zum Betriebs und Technikarchiv sowie ein SDC Projektworkshop vom 22. bis zum 25. Oktober 2024 am DSI-Standort in Ames, bei dem sich alle an diesem Projekt Beteiligten zum ersten Mal seit Projektbeginn in einem Raum zusammenfanden.

## 2.2 Arbeitsschwerpunkte der Zweigstelle AFRC

Das NASA Neil A. Armstrong Flight Research Center (AFRC) im kalifornischen Palmdale war der operative Standort und Heimatflughafen des SOFIA Observatoriums. Das dauerhaft dort stationierte DSI-Team verfügte über eine nominelle Personalstärke von 25 Mitarbeitenden der verschiedensten technischen Fachrichtungen und Qualifikationen. Bedingt durch das Projektende waren Anfang 2024 noch elf Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in Palmdale tätig. Nach Abschluss aller Arbeiten und dem Rückumzug der Mitarbeitenden wurde der Standort Palmdale am 31.12.2024 endgültig geschlossen. Die Arbeitsschwerpunkte des Teams lagen im Berichtszeitraum im strukturierten Rückbau der dort vorhandenen 'deutschen' Infrastruktur. Das beinhaltete die fachgerechte Entsorgung von Material und Rückversand von Gegenständen nach Deutschland. Zudem wurden vorbereitende Arbeiten für das geplante und im Juni 2024 durch das DLR genehmigte SOFIA Data Center (SDC, siehe separater Absatz) durchgeführt.

Der Rückbau der Infrastruktur beinhaltete im Wesentlichen zwei Aspekte: Gegenstände, die in Deutschland einer sinnvollen Verwendung zugeführt werden konnten, wurden identifiziert, für den Transport vorbereitet und verpackt. Der Versand nach Deutschland erfolgte dann in mehreren Lieferungen und war am Ende des Jahres 2024 weitgehend abgeschlossen (11 von 15 Lieferungen waren zu diesem Zeitpunkt bereits in Deutschland angekommen). Alle anderen Gegenstände, bei denen eine Weiterverwendung in Deutschland wirtschaftlich oder technisch nicht als sinnvoll erachtet wurde, wurden gemäß der gesetzlichen Bestimmungen vor Ort in Kalifornien entsorgt bzw. recycelt. Die Weiterverwendung in Deutschland sollte nach Möglichkeit entweder in einem vom DLR finanzierten Projekt oder bevorzugt in Forschung und Lehre erfolgen. Aber auch die Verwendung als Ausstellungs- oder Museumsstück war möglich. Bei den Gegenständen, die weiterverwendet werden können, handelt es sich in erster Linie um die Labor- und Werkstattausstattung des DSI. Insbesondere das Elektrolabor mit einer Vielzahl von Messgeräten sowie die feinmechanische Werkstatt mit Dreh- und Fräsmaschine sind hier zu nennen. Für die Entsorgung wurden

alle Dinge vorgesehen, die entweder aufgrund ihres Alters oder ihrer speziell auf den Einsatz in SOFIA zugeschnittenen Form und Funktion keine andere Verwendung finden konnten.

Einige Punkte sollen an dieser Stelle ausdrücklich genannt werden:

Der komplette optische Pfad des Teleskops, bestehend aus Primär-, Sekundär- und Tertiärspiegel, wurde an das Deutsche Optische Museum in Jena übergeben und wird dort in dem Museumsneubau an exponierter Stelle der Öffentlichkeit zugänglich gemacht.

Die faseroptische Gyro-Unit, die zur Lageregelung des Teleskops verwendet wurde, wird nach mehr als 10 Jahren und nahezu 1.000 Flügen nochmals vermessen, um die Eigenschaften mit denen vor dem Einbau ins Flugzeug zu vergleichen. Dies geschieht an der Universität Stuttgart (Professur für Flugmesstechnik, Prof. Dr. Jörg Wagner). Erste Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Eigenschaften der faseroptischen Kreisel nahezu unverändert sind. Die Analysearbeiten sind im Gange und werden im Laufe des Jahres 2025 abgeschlossen.

Zwei 40 Fuss Seefrachtcontainer, die als Büro bzw. feinmechanische Werkstatt für den mobilen Einsatz ausgerüstet sind, werden an der Universität Stuttgart weiter verwendet. Ebenso das Elektrolabor mit einer großen Zahl von Messgeräten, ESD-Arbeitsplätzen, Lötstation etc.

Auch eine große Menge an Daten wurden zum Projektende nach Deutschland transferiert. Diese beinhalten sowohl die astronomisch-wissenschaftlichen Daten als auch die gesamten Operations- und Engineering-Daten, die im Laufe des Betriebs über mehr als zehn Jahre angefallen sind. Die Daten werden in dem bereits erwähnten SOFIA Data Center Verwendung finden.

Das Flugzeug SOFIA befindet sich nach wie vor am Pima Air and Space Museum in Arizona und wird derzeit für die Dauerausstellung vorbereitet. Das DSI hat den SOFIA-Standort Building 703 in Palmdale am 05.09.2024 vollständig geräumt und verlassen. Die NASA hat ihrerseits das Gelände zum 30.09.24 an den Eigentümer Los Angeles World Airport (LAWA) zurück gegeben.

### *FIFI-LS*

Das DSI hat in 2024 die Entwicklung und Vervollständigung der FIFI-LS Pipeline und der Datenstruktur weiter vorangetrieben. Dem Sofia Data Center wird eine im Vergleich zur letzten SMO Version stark verbesserte Pipeline mit Bug-fixes, verbesserter Kalibration und neuen Funktionalitäten zur Reduktion von OTF Daten, einem Drizzle und einem Teleskop pointing check übergeben. Zur abschließenden Archivierung der Daten wurde eine quellenorientierte Datenstruktur nach wissenschaftlichen Kriterien entwickelt.

Das FIFI-LS Instrument selber wurde als Ausstellungsstück aufbereitet und einmalige Teile, Mechanismen und Elektronik zur dauerhaften Einlagerung inventarisiert.

## 2.3 Arbeitsschwerpunkte der Zweigstelle ARC

Die Anwendung der Gaußprozess-Regression zur Modellierung von Lichtkurven und zur verbesserten Vorhersage von Sternbedeckungen wurde im Planetary Science Journal unter dem Titel “Stellar Occultations in the Era of Data Mining and Modern Regression Models: Using Gaussian Processes to Analyze Light Curves and Improve Predictions” veröffentlicht. Das Verfahren zur Modellierung von Lichtkurven wurde anhand synthetischer Lichtkurven verifiziert und anschließend auf gemessene Lichtkurven einer Sternbedeckung von Pluto von August 2022 angewendet. Die aus öffentlichen Beobachtungsdaten der Zwicky Transient Facility (ZTF) abgeleiteten Ephemeridenkorrekturmodelle verbesserten die Vorhersagen von Bedeckungsereignissen, was anhand erfolgreich beobachteter Sternbedeckungen der transneptunischen Objekte Pluto, Haumea und Chiron erfolgreich verifiziert werden konnte.

Im Rahmen einer Masterarbeit (M. Rothmeier) wurde der extrasolare Planet TrES-5 b näher untersucht. Dieser gehört zur Klasse der ultraheißen Jupiter, die ihr Zentralgestirn in

sehr geringem Abstand sehr schnell umkreisen ( $< 3$  Tage). Der Theorie nach verringert sich die Umlaufdauer dieser Planeten allmählich durch Gezeitenkräfte, bis diese von ihrem Zentralgestirn einverleibt werden. Für einen Nachweis werden systematische Beobachtungen über einen langen Zeitraum benötigt. Insgesamt wurden 13 Transits dieses Planeten mit dem Astronomischen Teleskop der Universität Stuttgart (ATUS) gemessen und gemeinsam mit Transits aus weiteren Quellen (TESS, Calar Alto, Veröffentlichungen, Exoplanet Transit Database) auf eine möglicherweise abnehmende Umlaufperiode hin untersucht. Die über 15-jährige Datenbasis ließ diese nicht erkennen. Die Arbeit wurde in Kooperation mit einem internationalen Konsortium angefertigt, das bereits 43 weitere Exoplaneten auf eine Periodenabnahme geprüft hat, diese mit statistischer Sicherheit bislang jedoch nur bei zwei Systemen nachweisen konnte. Dank der Fähigkeit der sehr präzisen Zeitreferenzierung aller Aufnahmen ist ATUS für derartige Arbeiten gerade zu prädestiniert. Die Masterarbeit wurde im Juli 2024 erfolgreich abgeschlossen.

Die ursprünglich für den Fine Field und Wide Field Imager auf SOFIA vorgesehenen Kameras wurden zusammen mit den Steuerungs-PCs dem Lowell Observatory in Flagstaff, AZ übergeben. Dort soll in einer Kollaboration mit der vom DSI gestellten Hardware ein abbildendes 3-Kanal-Photometer für das 4.3m Lowell Discovery Telescope (LDT) im sichtbaren bis nah-infraroten Spektralbereich entstehen.

Das am DSI entwickelte “Shack-Hartmann Instrument Fast-Tracked” (SHIFT) wurde in mehreren Messkampagnen am “Astronomischen Teleskop der Universität Stuttgart” (ATUS) erstmalig am Sternenhimmel in Betrieb genommen und verbessert. Das anfangs sehr hohe Hintergrundsignal in den SHIFT Messungen konnte durch den Einbau einer weiteren Blende im Instrument effektiv reduziert werden. Neben Optimierungen am Instrument selbst wurden auch die Datenerfassung und die Auswertesoftware nach der ersten Messkampagne verbessert, so dass in den weiteren Messungen das Instrument und die Rekonstruktion der Wellenfronten sehr gut funktionierten. Ungereimtheiten bei den Spiegelparametern von ATUS erlaubten jedoch nicht die ursprünglich geplante Nutzung des Raytracing-basierten Machine Learning Algorithmus zur Optimierung der Spiegelstellung. Hierfür ist die genaue Kenntnis der vorliegenden Spiegelkonfiguration notwendig. Bei der ersten Messkampagne ergaben sich Diskrepanzen zwischen den gemessenen und den modellierten Werten, was zeigt, dass die angenommenen Krümmungsradien und konischen Konstanten der Spiegel nicht den vom Hersteller kommunizierten Werten entsprechen. Durch eine SHIFT-Messreihe bei verschiedenen Spiegelabständen konnten Abstand und Justage der Spiegel optimiert werden. Dadurch wurden optische Aberrationen minimiert und ein Abbildungsvermögen erreicht, das deutlich unterhalb des lokalen Seeings sowie des Auflösungslimits der Hauptkamera von ATUS liegt. Zudem wurde die wahrscheinlichste Kombination der Spiegelparameter von ATUS bestimmt.

ATUS wurde kurz nach der letzten SHIFT-Messkampagne Mitte Oktober am Sierra Remote Observatory abgebaut und für den Versand nach Deutschland vorbereitet. Es gibt Pläne, ATUS zukünftig an einem neuen Standort in einem Konsortium mit anderen astronomischen Instituten weiter zu betreiben.

Neben ATUS wurde auch das Laborinventar und Equipment aus deutschem Besitz verpackt und nach Deutschland versendet. Ein 20ft Seefrachtcontainer stach am 24.12.2024 am Hafen von Oakland in See. Die DSI-Präsenz am NASA Ames Research Center wurde endgültig zum 31.12.2024 beendet und alle Räumlichkeiten zurück an die NASA übergeben.

### 3 Akademische Abschlussarbeiten

#### 3.1 Masterarbeiten

*Abgeschlossen: 1*

Rothmeier, Marvin, “Transit observations of extrasolar planets using ATUS”

## 3.2 Dissertationen

*Abgeschlossen: 2*

Beck, Andre, “The numerous phases of the interstellar medium in the starburst galaxy NGC 253”

Greiner, Benjamin, “Multi Stage Model Identification of Complex Lightweight Structures”

## 4 Veröffentlichungen

### 4.1 In referierten Zeitschriften (6)

Bryant A., Krabbe A., Schulz B., Maier P., Zinnecker H.: The legacy of SOFIA and perspectives on the far-infrared. In: Coyle, L.E., Matsuura, S., Perrin, M.D. (SPIE) Conference Series (2024), 13092, 130920D. doi:10.1117/12.3019708

Knieling B., Schindler K., Sickafoose, et al.: Stellar Occultations in the Era of Data Mining and Modern Regression Models: Using Gaussian Processes to Analyze Light Curves and Improve Predictions. Planet. Sci. J. 5 (2024) 104

Pineda J. L., Horiuchi S., Anderson L.D., et al.: Nitrogen Abundance Distribution in the Inner Milky Way, ApJ, **973** (2024) 89

Polles F. L., Fadda D., Vacca W. D., et al.: Electron Density Distribution in H II Regions in IC 10, ApJ, **168** (2024) 117

Schulz B., Marton G., Valtchanov I., et al.: VizieR Online Data Catalog: Herschel/SPIRE point source catalog (HSPSC) (2024), yCat, 8112. VIII/112

Wolf V., Stecklum B., Caratti o Garatti A., et al.: The accretion burst of the massive young stellar object G323.46-0.08, A&A, **688** (2024) A8

### 4.2 Konferenzbeiträge (9)

Fischer C., Vortrag “Technical Summary 1” und Poster: “Determining the Water Vapor overburden for SOFIA Observations from in situ measurements and satellite data”, 814. WE-Heraeus Seminar: Heritage of SOFIA – Scientific Highlights and Future Perspectives, Stuttgart 22.4.-26.4.

Fischer N., “Ideas and preparatory works for the final archiving of FIFI-LS data in Germany”, 814. WE-Heraeus Seminar: Heritage of SOFIA – Scientific Highlights and Future Perspectives, Stuttgart 22.4.-26.4.

Greiner B., “A Science Platform for the SOFIA Data Center.”, Astronomical Data Analysis Software & Systems 2024 (ADASS XXXIV); Valetta, Malta; 10.11.-14.11

Greiner B., Fischer N., Fischer C., et al.: “A Science Platform for the SOFIA Data Center.” In: De Marco, A. and Said J. (eds.): Astronomical Data Analysis Software and Systems XXXIV ASP Conf. Series (2025), in publication

Greiner B., Hofmann S., Wagner J.: “SOFIA Performance Improvements Through Active Mass Damping.”, In: Marshall, H.K.; Spyromilio, J.; Usuda, T. (eds.): Ground-based and Airborne Telescopes X, Proc. of SPIE, Vol. 13094 (2024), Bellingham, WA: SPIE, 2024, S. 1309444.1-1309444-6

Maier P., “Balloon-borne far infrared astronomy: design considerations for a 5 m aperture telescope with closed-loop image stabilization”, 25th ESA Symposium on European Rocket & Balloon Programmes and related research, Luzern, Switzerland, 19.-23. May 2024.

Philipp D., “Development and testing of an autonomous parafoil recovery system for high-altitude balloon gondola.”, 25th ESA Symposium on European Rocket & Balloon Programmes and related research, Luzern, Switzerland, 19.-23. May 2024.

Sickafoose A. A., Adams E., Knieling B., et al., “Stellar Occultations by Bodies in the Outer Solar System”, In: 32nd General Assembly International Union (IAUGA 2024), Cape Town, South Africa, poster id. 999

Zietz M., et al., “Development and in-flight performance of a reaction wheel-only stabilisation system for the lightweight balloon platform ‘BUBBLE’”, 25th ESA Symposium on European Rocket & Balloon Programmes and related research, Luzern, Switzerland, 19.-23. May 2024.

### 4.3 Lehrtätigkeiten

Eine Zusammenstellung der vom DSI in 2024 betreuten Vorlesungen und Seminare findet sich in Tabelle 1.

Tabelle 1: Vorlesungen und Seminare.

Art	Titel	Umfang	Dozenten
<hr/>			
WS23/24			
Vorlesung	Astronomiemissionen	2 SWS	A. Krabbe, A. Beck und Gäste
Vorlesung	Experimentelle Methoden der Infrarot-Astronomie I	2 SWS	C. Fischer
Vorlesung	Raumfahrt aus Leidenschaft	1 SWS	S. Fasoulas, S. Klinkner, A. Krabbe, R. Ewald, R. Srama
<hr/>			
SS23			
Vorlesung	Planetenmissionen	2 SWS	D. Mehlert, T. Keilig und Gäste
Vorlesung	Einführung in die Elektronik für Luft- und Raumfahrtingenieure	2 SWS	S. Klinkner, A. Beck, J. Burgdorf, C. Fischer

Bernhard Schulz hielt am DSI die Gastvorlesung “SOFIA Science Highlights” im Rahmen der Reihe “Astronomiemissionen”.

ATUS kam außerdem erneut für Live-Beobachtungen, u.a. während einer Vorlesung der Vorlesungsreihe Planetenmissionen zum Einsatz.

### 4.4 Gremientätigkeit

#### *Sonstige Gremientätigkeiten*

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

Prof. Dr. Alfred Krabbe ist ex officio Mitglied der GSSWG, die zweimal im Jahr tagt, und stimmberechtigter Vertreter des DSI im Rat deutscher Sternwarten.

Prof. Dr. A. Krabbe nimmt an den halbjährlichen RDS Sitzungen teil.

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).

Jörg Wagner: Mitglied im Fachausschuss “Inertialsensorik” der “Deutschen Gesellschaft für Ortung und Navigation” und im Programmkomitee der Tagung “Symposium on Inertial Sensors and Systems” (ISS).

## 4.5 Projekte der Abteilung Bildungs- und Öffentlichkeitsarbeit am Standort Stuttgart

### *Bildungsarbeit*

1. SOFIA Ambassador Programm (Mitflug deutscher Lehrkräfte) Aufgrund der Einstellung des SOFIA-Flugbetriebes wurde das Mitflugprogramm für die Lehrkräfte eingestellt. Die Lehrkräfte, die von ihren Mitflugerfahrungen in öffentlichen Vorträgen, in Schulen und im Unterricht berichten, haben vom DSI Informationsmaterial und Folien für Vorträge erhalten.

2. Bei der bundesweiten WE-Heraeus-Lehrerfortbildung zur Astronomie am Haus der Astronomie in Heidelberg fand der jährliche SOFIA-Thementreff statt. Die Lehrkräfte, die an einem SOFIA-Mitflug teilnehmen konnten, erschienen bei dieser Veranstaltung mit ihren blauen Mitflugjacken und wecken auch noch Jahre nach dem Mitflug Interesse und Begeisterung für das SOFIA-Projekt in ihrem Umfeld in den Schulen und bei öffentlichen Vorträgen. Die Anwesenden haben betont, dass die Mitflugerfahrung nachhaltig ihren Unterricht prägt und sie damit die Jugendlichen im MINT-Bereich begeistern können.

3. Das DSI Schulnetzwerk wurde weiter gepflegt und regelmäßig mit Informationen zu SOFIA versorgt. Bei Bedarf und Möglichkeit wurden wie gewohnt Modelle, Experimentierkoffer, Wärmebildkameras und Infomaterial für verschiedene Schulveranstaltungen und öffentliche Vorträge zur Verfügung gestellt. Auch wurden die DSI-Netzwerkschulen kontinuierlich mit Info, Bild und Videomaterialien versorgt, die unter anderem in den Online-Unterricht eingebunden werden können.

4. Das SOFIA-Projekt konnte Schulklassen bei Institutsbesuchen vorgestellt werden. Das Interesse an dem Projekt ist nach wie vor sehr groß.

Ausserdem nahm Antje Lischke-Weis an folgenden Veranstaltungen teil:

- Vortrag Thementreff "SOFIA" bei der Bundesweite Wilhelm und Else Heraeus
- Lehrerfortbildung zur Astronomie am Haus der Astronomie in Heidelberg, 7.11.2024

### *Öffentlichkeitsarbeit*

1. Nachhaltige Präsentation von SOFIA über das Ende des Projektes hinaus

- Unterstützung der SOFIA Präsentation im Pima Air & Space Museum (PASM) und der University of Arizona, beides in Tucson, Arizona: Unterstützung bei Konzepterstellung in Hinblick auf den deutschen Beitrag (Teleskop, Instrumente, wissenschaftliches Erbe), Modelle und Materialien zur Verfügung gestellt, Experimente zur IR-Strahlung und IR-Astronomie vorgestellt, Interview über deutschen Beitrag zum Observatorium für die Ausstellung zur IR-Astronomie im Flandrau Science Center and Planetarium in Tucson
- Unterstützung des Deutschen Optischen Museums in Jena bei der SOFIA Präsentation im Museum, bei der das Spiegelsystem des SOFIA-Observatoriums im Zentrum stehen soll: Modelle und Materialien zur Verfügung gestellt, Unterstützung bei Medienevent zur Ankunft des Spiegelsystems in Erfurt am 19. Juli
- Unterstützung der SOFIA Präsentation am Arctic Center in Christchurch (nach dem Umbau ab ca. 2027): Modelle und Infomaterial zur Verfügung gestellt
- Erstellen eines Buchs zum SOFIA Projekt und seinen Errungenschaften
- virtuelle SOFIA Tour (Fertigstellung 2025)

2. News, die auf die DSI Homepage veröffentlicht und per E-Mailverteiler und Soziale Medien verbreitet wurden:

- Erstmals Wasser auf Asteroiden entdeckt (21. Februar)

- Energiereichster Wachstumsschub eines jungen Sterns beobachtet (30. Juli)
- FEEDBACK Programm treibt Erkenntnisse zur Sternentstehung voran (23. August)
- SOFIA-Spiegel zurück in Deutschland (28. August)
- SOFIA Mission Accomplished (25. November)

### 3. Öffentlichkeitswirksame Veranstaltungen

- SOFIA Präsentation beim Tag der Wissenschaft der Universität Stuttgart am (08. Juni)
- Vorbereitung & Durchführung der SOFIA-Präsentation im Rahmen der Aktion Try Science der Universität Stuttgart (29.10.)
- Projekt-Abschluss-Event (“SOFIA - Mission Accomplished”, 25. 11.)
- SOFIA Führungen für verschiedenen Besuchergruppen am RZBW

### 4. Öffentlichkeitswirksame Vorträge über SOFIA, die fliegende Infrarotsternwarte

- Schulklassen, Jugendgruppen, BoGy-Praktikantinnen und BoGy-Praktikanten sowie bei der Begabtenförderung in der Grundschule

## 4.6 Nationale und internationale Tagungen

### Vorträge:

Schulz, B., “Zuwendungsantrag SOFIA Data Center (SDC) Eckdaten”, DSI/DLR Meeting Bonn, 24.1.2024

Schulz, B., “Der Zuwendungsantrag zum SOFIA Data Center (SDC)”, GSSWG Videocon, 7.3.2024

Schulz, B., “The SOFIA Data Center” 814. Wilhelm and Else Haraeus Seminar: Heritage of SOFIA - Scientific Highlights and Future Perspectives, 22.-26.4.2024, University Stuttgart

Schulz, B., “SOFIA Data Center (SDC)”, GSSWG Meeting, MPIfR Bonn, 5.9.2024

Schulz, B., “The SOFIA Data Center (SDC)”, S22, 10.-13.9.2024 AG-Tagung, Köln

## 4.7 Kooperationen

Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern am Massachusetts Institute of Technology (MIT), Planetary Science Institute (PSI) und Lowell Observatory auf dem Gebiet der Vorhersage, Messung und Auswertung von Sternbedeckungen durch Körper des Sonnensystems.

Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern am Planetary Science Institute (PSI) und der Boise State University, Idaho bei einer Langzeitstudie der Umlaufdauer von ultraheißen Jupitern.

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

Im Bereich Datenanalyse und Astrophysik mit FIFI-LS bestanden bzw. bestehen Kooperationen mit den Arbeitsgruppen um J. Eislöffel und Bringfried Stecklum (TLS Tautenburg), L. Looney (University of Illinois, USA), A. Karska (MPR + Nicolaus Copernicus University, Polen) sowie S. Madden (CEA, Frankreich).

Zusammenarbeit im Bereich der Modellierung des Interstellaren Mediums naher Galaxien mit der Arbeitsgruppe um Vianney Lebouteiller (CEA/Laboratoire Formation des Etoiles et Milieu Interstellaire, LFEMI)

Abbildendes 3-Kanal-Photometer für das 4.3m Lowell Discovery Telescope (LDT) mit ehemaliger SOFIA-Hardware: Beistellung von Hardware und Know-how.

## 5 Abkürzungsverzeichnis

AFRC	:	NASA Armstrong Flight Research Center, ehemals NASA Dryden Flight Research Center (DFRC)
ARC	:	NASA Ames Research Center
ATUS	:	Astronomical Telescope of the University of Stuttgart, siehe <a href="https://www.dsi.uni-stuttgart.de/forschung/atus.html">https://www.dsi.uni-stuttgart.de/forschung/atus.html</a>
BMWK	:	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
DLR	:	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
DSI	:	Deutsches SOFIA Institut
ESBO DS	:	European Stratospheric Balloon Observatory - Design Study
FIFI-LS	:	Far Infrared Field-Imaging Line Spectrometer
GSSWG	:	German SOFIA Science Working Group
IRS	:	Institut für Raumfahrtssysteme an der Universität Stuttgart
LAWA	:	Los Angeles World Airport
NASA	:	National Aeronautics and Space Administration
PASM	:	Pima Air and Space Museum, Tucson, Arizona, USA
SDC	:	SOFIA Data Center
SOFIA	:	Stratospheric Observatory For Infrared Astronomy
SMO	:	SOFIA Science Mission Operations
USRA	:	Universities Space Research Association
ZTF	:	Zwicky Transient Facility

Alfred Krabbe