

# Stuttgart

Deutsches SOFIA Institut



Pfaffenwaldring 29, 70569 Stuttgart

## 1 Einleitung

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 (BMWi), 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 amerikanische Partner ist für die Modifikation des ehemaligen Langstreckenflugzeugs, den Einbau des Teleskops und den Test des Observatoriums verantwortlich. Die Flugtests und der Flugbetrieb werden 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 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
- 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

Die Geschäftsstellen des DSI sind:

Stuttgart : Hauptgeschäftsstelle am Institut für Raumfahrtsysteme (IRS) an 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, Moffet Field, CA 94035, USA

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

## 2 Personal und Ausstattung

### 2.1 Personalstand

*Direktoren:*

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

*Professoren:*

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

Prof. Dr.-Ing. Jörg Wagner (Technischer Berater, ISD, Stuttgart)

*Wissenschaftliche Mitarbeiter:*

Stuttgart : Aaron Bryant, Sebastian Colditz, Benjamin Greiner, Rainer Hönle, Dr. Christof Iserlohe, Dr. Thomas Keilig (Geschäftsleitung des DSI), Dr. Antje Lischke-Weis (Bildungs- und Öffentlichkeitsarbeit), Dr. Dörte Mehlert (Bildungs- und Öffentlichkeitsarbeit), Felix Rebell, Prof. Dr.-Ing. Jörg Wagner (Technischer Berater, ISD, Stuttgart)  
 AFRC : Michael Hütwohl (Leiter am Standort AFRC) Michael Beck, Dr. Christian Fischer, Nadine Fischer, Dr. Holger Jakob, Paul Paterson, Sarah Peter, Dr. Andreas Reinacher, Oliver Rohe, Nico Scheiffert, Alexander Steiner, Dr. Oliver Zeile  
 ARC : Dr. Jürgen Wolf (Leiter am Standort ARC), Friederike Graf, Dr. Michael Lachenmann, Yannick Lammen, Enrico Pfüller, Karsten Schindler, Manuel Wiedemann, Dr. Hans Zinnecker (Stellvertretender SMO Direktor)

*Praktikanten:*

ARC : Andreas Kourtis, Joshua Kiefer, Jan Drendel

*Bachelorstudenten:*

ARC : Ermias Yared, Joshua Kiefer

*Masterstudenten:*

ARC : Ariane Exle, Sebastian Wenzel

*Sekretariat und Verwaltung:*

Stuttgart : Barbara Klett (Assistenz) und Berta Friedrich (Sachbearbeitung)  
 AFRC : Katja Paterson (Administration), Antam Reinacher (Administration)

*Technische Mitarbeiter:*

Stuttgart : Simon Beckmann  
 AFRC : Florian Behrens, Oliver Gerhard, Alexander Grill, Marco Lentini, Jörk Lichte, Jean Michel Meyer, Corvin Müller, Andreas Siggelkow, Rainer Strecker

## 2.2 Gäste

Folgende Gastwissenschaftler haben das DSI in 2015 besucht :

Fabio Fumi, Deutschland

Prof. Dr. Leslie Looney, University of Illinois at Urbana-Champaign, USA

Prof. Dr. Jürgen Stutzki, 1. Physikalisches Institut der Universität zu Köln, Deutschland

## 3 Lehrtätigkeit, Prüfungen und Gremientätigkeit

### 3.1 Lehrtätigkeiten

Das DSI hat 2018 folgende Vorlesungen und Seminare veranstaltet:

Art	Titel	Umfang	Dozenten
Vorlesung	Astronomiemissionen	WS15/16 2 SWS	Prof. Dr. Alfred Krabbe, Felix Rebell und Gäste
Vorlesung	Planetenmissionen	SS15 2 SWS	Prof. Dr. Alfred Krabbe, Dr. Dörte Mehlert und Gäste
Vorlesung	Experimentelle Methoden der Infrarot-Astronomie I	WS15/16 2 SWS	Prof. Dr. Alfred Krabbe, Dr. Christof Iserlohe

### 3.2 Gremientätigkeit

Einmal im Jahr organisiert das DSI ein Komitee zur Beurteilung eingereicherter deutscher Beobachtungsanträge für SOFIA. Die Beurteilung der Beobachtungsanträge fand am 1. und 2. September 2015 am DSI statt ohne direkte Beteiligung durch DSI Angehörige. 2015 wurden von deutscher Seite 30 Beobachtungsanträge eingereicht wobei die Gutachter des Komitees (Time Allocation Committee, TAC) 80.4 Stunden an Beobachtungszeit vergeben haben. Die Gutachter waren Prof. Dr. Andreas Quirrenbach, Vorsitz, (LSW Heidelberg), Hermann Boehnhardt (MPS, Goettingen), Cesaroni, Riccardo (Arcetri, Florence), Simon Glover (ITA, Heidelberg), Carsten Kramer (IRAM 30m, Granada), Darek Lis (LERMA, Obs. de Paris), Nicola Schneider (Obs. Bordeaux), Floris van der Tak (SRON, Groningen), Leonardo Testi (ESO/ALMA)

Desweiteren:

Dr. Hans Zinnecker:

- Vermittlung eines Informationsaustausches bzgl. SOFIA zwischen NASA und aeronautischen Kreisen in Chile
- Organisation und co-chair eines wiss. SOFIA Workshops Schloss Ringberg, Tegernsee, 15. - 18. März 2015
- Organisation des Auswahlkommittees für SOFIA Cycle 4 Beobachtungen, DSI/Stuttgart, 1/2. September 2015
- Mitglied des Teams zur Vorbereitung des SOFIA Senior Reviews bei NASA/Ames.

## 4 Wissenschaftliche Arbeiten

### 4.1 SOFIA Flugstatistik für 2015

2015 startete SOFIA 83 Mal zu wissenschaftlichen Missionen und 5 Mal zu technischen bzw. Überführungsflügen. Auf die einzelnen Instrumente entfielen jeweils: FIFI-LS (16 Flüge), FLITECAM (5 Flüge), FORECAST (30 Flüge), EXES (8 Flüge), GREAT/upGREAT (24 Flüge).

Das Jahr 2015 stand zu Anfang ganz im Zeichen der Wiederaufnahme des wissenschaftlichen Beobachtungsbetriebs nach dem Heavy Maintenance Visit (HMV) bei Lufthansa Technik in Hamburg, welcher im Dezember 2014 zu Ende ging. Hierzu gab es zu Jahresbeginn einen 'Engineering Checkout Flight' (SOFIA Flug #183) am 07.01.2015. Der Schwerpunkt diese Fluges lag auf der Wieder-Inbetriebnahme und Verifikation aller Teleskop Systeme im Flug (Jitter-Messungen, Flexible Body Compensation, Chopper-Performance, Sensor-Kalibrationen, etc.).

Im Januar und Februar folgten noch Beobachtungsflüge aus SOFIA Cycle 2: Die GREAT Winter-Kampagne mit insgesamt 6 Flügen (SOFIA Flüge #184 - #189), gefolgt von 4 FORECAST Flügen (SOFIA Flüge #190 - #193). Der SOFIA Cycle 2 wurde im Februar mit 3 EXES Commissioning Flügen (SOFIA Flüge #194 - #196) abgeschlossen.

Am 1. März 2015 begann der SOFIA Cycle 3 mit 2 EXES Beobachtungs-Flügen (SOFIA Flüge #197 - #198), gefolgt von 8 FIFI-LS Beobachtungs-Flügen (SOFIA Flüge #199 - #206).

Nachdem im April der Closed Cycle Cryo Cooler in SOFIA integriert wurde, folgten im Mai 4 upGREAT Commissioning Flüge (SOFIA Flüge #207 - #210). Es folgten 5 FORECAST Beobachtungsflüge sowie ein Functional Check Flight (FCF) für das automatische Landesystem am 01.06.2015 (SOFIA Flüge #211 - #216). Am 12.06. erfolgte der Ferry Flight von Palmdale nach Hawaii als FORECAST Beobachtungsflug. Nach einem kurzen Aufenthalt in Hawaii folgte der Weiterflug nach Christchurch (Neuseeland), wo SOFIA am 15.06. eintraf (SOFIA Flüge #217 - #218).

In der ersten Hälfte des Southern Hemisphere Deployment konnte aufgrund des Winterwetters nur 3 von 6 geplanten FORECAST-Flügen stattfinden (SOFIA Flüge #219 - #221). In Christchurch folgte der sehr erfolgreiche Pluto Occultation Flug, bei dem mit FLIPO und dem FPI+ Lichtkurven aufgezeichnet wurden (SOFIA Flüge #222 - #223).

In der zweiten Hälfte des Neuseeland Deployments 2015 wurden 4 FORECAST und 5 GREAT-Flüge erfolgreich durchgeführt. SOFIA ist danach am 24.07.2015 wieder nach Palmdale zurückgekehrt. Es schloss sich im August die 'Maintenance and Integration Phase #8' an, welche bis zum 20.08.2015 andauerte. Am Teleskop wurden während der Downtime viele Wartungsarbeiten (FD Bremsen, VIS Drucksensoren, Re-Design der CD Hard Stops) und Software-Optimierungen durchgeführt.

Nach der August-Downtime waren Flüge mit EXES geplant. Aufgrund von Triebwerksproblemen konnten von 6 geplanten EXES-Flügen nur 3 durchgeführt werden. Es folgten 5 FORECAST Beobachtungsflüge im SOFIA Cycle 3, und danach 3 Flüge mit FLITECAM und dem FPI+ statt mit dem Schwerpunkt Exoplaneten-Beobachtungen.

Im 4. Quartal 2015 wurden weiter Cycle 3 Wissenschaftsflüge mit folgende SIs durchgeführt: 8 Flüge (#246 - #253) mit FIFI-LS im Oktober, 8 Flüge (#254 - #261) mit FORCAST im November, 9 Flüge (#262 - #270) mit upGREAT im Dezember.

#### 4.2 Arbeitsschwerpunkte der Geschäftsstellen im Jahr 2015:

**Stuttgart:** Das IRS betreibt das FIFI-LS Instrument (Field-Imaging Far-Infrared Line Spectrometer), ein abbildendes Spektrometer für den ferninfraroten Wellenlängenbereich an Bord von SOFIA. Der Principal Investigator (PI) ist Prof. Dr. A. Krabbe vom DSI. Die ersten erfolgreichen Beobachtungen (First-Light) von FIFI-LS fanden am 7. März 2014 statt. In 2015 flog FIFI-LS 16 Mal und hat währenddessen 128 Stunden den Nachthimmel beobachtet. Zum FIFI-LS Team gehören mehrere Techniker, Wissenschaftler und Doktoranden, die das Instrument am Boden warten, im Flug bedienen und die gewonnenen wissenschaftlichen Daten auswerten. Das FIFI-LS Instrument wurde im Rahmen eines Besuchs des Rektors der Universität Stuttgart Wolfram Ressel, am 28.10.2015 an die NASA übergeben, die das Instrument nun in Eigenregie betreibt. Das DSI ist an zahlreichen Flugkampagnen wissenschaftl. federführend oder ist im Rahmen von Kooperationen an der Analyse der aufgenommenen Daten beteiligt. Wissenschaftler am DSI betreiben astronomische Forschung am Galaktischen Zentrum, an galaktischen Sternentstehungsregionen und Starburst-Galaxien.

**AFRC:** Nach dem Erreichen des NASA-Meilensteins 'Full Operational Capability' im Mai 2014 und des sich daran anschließenden 'Heavy Maintenance Visit' bei der Lufthansa Technik im zweiten Halbjahr, war das Jahr 2015 das erste volle Kalenderjahr, das uneingeschränkt zum operativen Flug- und Wissenschaftsbetrieb von SOFIA zur Verfügung stand.

Insgesamt wurden im Jahr 2015 88 Flüge durchgeführt, wovon 73 Wissenschaftsflüge aus den SOFIA-Wissenschaftszyklen zwei und drei waren. Weitere 15 Flüge dienten entweder zur Inbetriebnahme neuer Wissenschaftsinstrumente oder waren Erprobungs-, Abnahme- oder Transferflüge. In den 73 Wissenschaftsflügen konnten den Wissenschaftlern und Astronomen insgesamt 670 Wissenschaftsstunden an Beobachtungszeit zur Verfügung gestellt werden.

Als neues SOFIA-Wissenschaftsinstrument wurde in 2015 upGREAT als Weiterentwicklung des Instrumentes GREAT (German Receiver for Astronomy at Terahertz Frequencies) in Betrieb genommen und auch für erste Beobachtungen genutzt. Aufgrund des hohen Leistungsverbrauchs von upGREAT kommt hier erstmalig an Bord von SOFIA ein 'Closed Cycle Cryo Cooler' zur Kühlung des Instrumentes zum Einsatz. Neben dem Instrument upGREAT kamen im Jahre 2015 auch alle sechs weiteren derzeit für SOFIA zur Verfügung stehenden Instrumente für den Wissenschaftsbetrieb zum Einsatz: FORCAST, FLIPO, FIFI-LS, EXES und FLITECAM.

Das Deutsche SOFIA Institut (DSI) am Neil A. Armstrong Flight Research Center (AFRC) der NASA in Palmdale, Kalifornien, trägt die Verantwortung für den reibungslosen Einsatz des SOFIA-Teleskops im Rahmen des Wissenschaftsbetriebs.

Dies umfasst die Sicherung der Betriebsbereitschaft des Teleskops durch Planung und Ausführung der kurz-, mittel- und langfristigen Wartungsarbeiten an allen mechanischen, elektrischen und elektronischen Komponenten des Teleskops. Daneben können in einer DSI-eigenen Werkstatt komplexe mechanische Bauteile für Testaufbauten und den Flugbetrieb selbst gefertigt werden.

Darüber hinaus erfolgen kontinuierliche Verbesserung und Weiterentwicklung des Teleskops zur Optimierung des Beobachtungsbetriebs. Dies beinhaltet Maßnahmen zur Verkürzung der Liegezeiten von SOFIA bei Wartungsarbeiten oder Instrumentenwechseln und reicht bis hin zur Steigerung der Effizienz bei den wissenschaftlichen Beobachtungen. Diese Arbeiten umfassen sowohl Modifikationen an den mechanischen Komponenten als auch Innovationen bei Elektronik und Software.

Der dritte wesentliche Verantwortungsbereich des DSI am Standort AFRC besteht in der Steigerung der technischen Performanz des SOFIA-Teleskops.

So wurde z.B. der Pointing Jitter des SOFIA-Teleskops durch eine Reihe von Maßnahmen im Jahr 2015 um bis zu 25% reduziert. Neben einer optimierten Verkabelung einiger Beschleunigungssensoren wurden verschiedene Filter und Matrizen in der Software angepasst und der Programmablauf optimiert, um eine vorhandene Totzeit im Regelkreis zu minimieren.

Im Bereich Sekundärspiegelmechanismus wurde damit begonnen einen Laboraufbau zu entwickeln. Neben der Erprobung von Softwareverbesserungen und dem Test veränderter Steuerelektronik dient der Testaufbau inkl. Kamera zur optischen Positionsvermessung insbesondere der Untersuchung struktureller Änderungen zur Verschiebung/Dämpfung einer Eigenfrequenz bzw. der Erweiterung mit Piezo-Aktoren zur Ausrichtkorrektur bei hohen Frequenzen.

Zur Wahrnehmung seiner Aufgaben beschäftigt das DSI am Standort Palmdale 25 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der verschiedensten technischen-, ingenieur- und naturwissenschaftlichen Fachrichtungen. Die Einhaltung aller Luftfahrtstandards und NASA-Regularien wird beim DSI in Palmdale durch eine eigene Qualitätskontrolle sichergestellt.

Auch im Jahr 2015 hat das SOFIA-Observatorium wie bereits 2013 einen Forschungsaufenthalt in der südlichen Hemisphäre durchgeführt. Für den Zeitraum von sechs Wochen operierte SOFIA mit vier unterschiedlichen Wissenschaftsinstrumenten von Christchurch, Neuseeland aus und konnte auf diese Weise den Astronomen den Blick auf das galaktische Zentrum, die Magellanschen Wolken und andere Objekte des südlichen Sternenhimmels ermöglichen. Im Rahmen dieses Aufenthalts konnte auch eine Sternbedeckung durch den Zwergplaneten Pluto beobachtet werden. Das DSI Palmdale war für den gesamten Zeitraum mit rund zehn Mitarbeitern zur Sicherstellung des fehlerfreien Betriebs des Teleskops in Neuseeland vertreten.

Im Rahmen des Lehrer-Mitflug-Programms wurden im Jahr 2015 drei Lehrergruppen in Palmdale vor und während ihres Mitflugs an Bord von SOFIA betreut und in die Technik und Funktionsweise des Observatoriums eingeführt. Zudem konnten auch in diesem Jahr wieder hochkarätige Gäste an Bord von SOFIA durch das DSI begrüßt und betreut werden, so z.B. die deutsche Botschafterin in Neuseeland, Frau Dr. Anne-Marie Schleich, der Rektor der Universität Stuttgart, Prof. Dr. Wolfram Ressel sowie der Vorsitzende des Rates Deutscher Sternwarten, Prof. Dr. Matthias Steinmetz.

**ARC:** Verbesserung der SOFIA Sucher- und Nachführkameras:

Nachdem die primäre Nachführkamera von SOFIA, der "Focal Plane Imager" (FPI) bereits in 2013 mit einer deutlich empfindlicheren CCD Kamera der Firma "Andor Technology" ersetzt wurde, sollen nun auch die zwei weiteren Sucher- und Nachführkameras ("Wide Field Imager" (WFI) und "Fine Field Imager" (FFI)) mit neuen, empfindlicheren Kameras bestückt werden. Da WFI und FFI am Frontring des SOFIA Teleskops befestigt sind, sind sie im Flug den tiefen Temperaturen und geringem Druck der Stratosphäre ausgesetzt ( $T \approx -40^\circ \text{C}$ ,  $p \approx 0.1 \text{ atm}$ ). Bei diesen Umweltbedingungen funktioniert eine Kamera, wie die als FPI eingesetzte Andor iXon 888, nicht mehr zuverlässig. Gemeinsam mit Andor entwickelte und testete das DSI daher eine Prototypkamera basierend auf dem iXon 888 Modell, das bei den extremen Umweltbedingungen auf SOFIA funktioniert. Die Prototypkamera wurde im letzten Quartal 2015 fertiggestellt und vom DSI intensiv in einer Klimakammer getestet. Die Tests zeigten, dass die Empfindlichkeit der Kamera gleichwertig mit der Standardversion der iXon 888 ist und sie funktionierte während der mehr als 50 Temperaturzyklen fehlerfrei. Neben den Kameras sollen auch die Optiken von WFI und FFI verbessert werden. Beim WFI war die Motivation die Abbildungsqualität zu verbessern. Hierfür konnte ein geeignetes, kommerzielles Objektiv gefunden werden, das eine exzellente Abbildungsqualität hat und sich bei Klimatests als besonders fokusstabil erwiesen hat. Beim FFI war die Hauptmotivation die Fokusstabilität in der Abkühlphase zu verbessern. Gemeinsam mit der Firma "Officina Stellare" (Italien) wurde ein 300 mm Ricardi-Honders Teleskop

entwickelt, dessen optischen Elemente ausschließlich aus Quarzglas bestehen und dadurch deutlich temperaturstabiler ist. Die optischen Simulationen zeigen ausgezeichnete optische und thermale Eigenschaften. Die Optik wurde bereits gefertigt und mit der Fertigung des Tubus wird 2016 begonnen. Eine Integration der fertigen Imager soll 2017 während einer geplanten Wartungsphase von SOFIA durchgeführt werden.

#### Ersatz-Sekundärspiegel:

Der Sekundärspiegel des SOFIA Teleskops ist ein Einzelstück, dessen Ausfall im Falle einer Beschädigung den Observatoriumsbetrieb für viele Monate zum Erliegen bringen könnte. Aus diesem Grund wurde vom DSI ein Ersatzspiegel beschafft, der aus Kostengründen aus Aluminium anstatt aus Siliziumkarbid gefertigt wurde. Im langwelligen Infraroten ist die Verwendung eines Aluminiumspiegels möglich trotz einer im Vergleich zu Siliziumkarbid ungenaueren Spiegeloberfläche. Um mit dem vorhandenen Sekundärspiegelmechanismus mechanisch und dynamisch kompatibel zu sein, wurde die Konstruktion an die unterschiedlichen Materialwerte von Siliziumkarbid und Aluminium angepasst. Der Aluminium-Ersatzsekundärspiegel wurde 2015 von TNO in den Niederlanden hergestellt. Hierbei kam eine neuartige Aluminiumlegierung zum Einsatz, mit der eine fast ebenso präzise Spiegeloberfläche hergestellt werden konnte, wie sie am Siliziumkarbidspiegel vorhanden ist. Anhand von Messdaten der gesamten Spiegeloberfläche wurde die optische Qualität vom DSI simuliert. Mit dem neuen Ersatzsekundärspiegel kann nun in Zukunft im Fall der Fälle, sowohl mit dem FPI+ nachgeführt werden, als auch Infrarotbeobachtungen mit allen Infrarotinstrumenten durchgeführt werden.

#### Geisterbilder:

Der dichroitische Tertiärspiegel des SOFIA Teleskops sorgt dafür, dass im FPI+ aufgrund von Doppelreflexionen Sterne zum Teil mehrfach abgebildet werden. Einige dieser ungewollten Abbildungen, sogenannte Geisterabbildungen, sehen Sternen zum Verwechseln ähnlich, verhalten sich jedoch bei Drehbewegungen des Teleskops unterschiedlich. Eine genaue Nachführung des Teleskops auf solchen Geisterabbildungen ist damit unmöglich. Das DSI in Ames hat die dafür verantwortlichen Strahlengänge simuliert. Es konnten sieben verschiedene Strahlengänge identifiziert werden, durch die Lichtstrahlen von Sternen, die bis zu zwei Grad außerhalb des Gesichtsfelds liegen, im FPI+ detektiert werden können. Die Bediener des Teleskops können mit diesen Erkenntnissen nun geschult werden.

#### Teleskop-Diagnostik Tätigkeiten:

Es gab 2015 mehrfach die Möglichkeit Teleskop-Test-Messungen auf SOFIA durchzuführen. In erster Linie wurde der Teleskop Jitter zu verschiedenen Einstellungen der "Flexible Body Compensation" (FBC) im Flug und bei Bodentests optisch untersucht. Dazu wurden der FPI+ im Diagnostikmodus genutzt um schnelle Bildfolgen eines einzelnen Sterns aufzunehmen. Aus den Bilddaten kann mittels Frequenzanalyse ermittelt werden, welche FBC Einstellungen die Teleskopsvingungen am besten korrigieren. Für wissenschaftliche Aufnahmen resultieren diese Verbesserungen in kompakteren Sternbildern, was besonders für Instrumente wichtig ist, die für spektrale Messungen die Abbildung eines Objekts in einem schmalen Spalt positionieren müssen.

#### Autonome Sternfeldererkennung auf SOFIA:

Nach dem Öffnen der Teleskoptür von SOFIA ist die Ausrichtung des Teleskops mit einer Genauigkeit von ca.  $1\text{circ}$  bekannt. Sie wird anhand von GPS Messungen der Flugzeugposition und genauen Zeit, dem Flugkurs, sowie der inertialen Messung der Teleskoplage durch drei faseroptische Gyroskope errechnet. Die präzise Ausrichtung des Teleskops muss dann durch das Teleskopbedienpersonal anhand von Bildern der drei Nachführ- und Sucherkameras (WFI, FFI, FPI) kalibriert werden, in denen Referenzsterne manuell identifiziert und markiert werden müssen. Die Teleskopausrichtung wird auch zu Beginn jedes Flugsegments kalibriert, da die inertielle Messung der Gyroskope driftbehaftet ist. Diese Aufgabe erscheint automatisierbar, da die astrometrische Lösung von Sternfeldaufnahmen ein Standardproblem in der Datenreduktion darstellt, für das bereits eine Vielzahl an Lösungen existiert. Das Softwarepaket `astrometry.net` hat sich als ein äußerst robustes, schnelles und

quelloffenes Werkzeug etabliert, um eine astrometrische Lösung ohne a priori Informationen ausschließlich aus Bilddaten abzuleiten. Nach ausführlichen Tests zur Bewertung der Zuverlässigkeit und Genauigkeit sowie zur Geschwindigkeitsoptimierung des Algorithmus wurde die Implementierung von `astrometry.net` auf SOFIA angestrebt. Ziel soll es sein, eine kontinuierliche Ausgabe der Rektaszension und Deklination der Bildmitte und Bildrotation bereitzustellen, die aus Aufnahmen des Wide Field Imagers (WFI) errechnet werden. Die errechnete astrometrische Lösung kann dann zur Kalibrierung der Ausrichtung des SOFIA Teleskops dienen. Dies würde wertvolle Minuten an Flugzeit sparen, die dann zum Sammeln wissenschaftlicher Daten genutzt werden können. Das ursprünglich für Linux geschriebene Softwarepaket wurde auf Solaris 10 portiert, um es auf den Telescope Operator Workstations an Board von SOFIA einsetzen zu können. Im Zuge der Portierung des Quelltextes wurden Betriebssystem-bedingte Inkompatibilitäten schrittweise beseitigt. Alle Änderungen am Quelltext zur verbesserten Portabilität des Codes wurden offiziell im Release v0.65 des `astrometry.net` Pakets umgesetzt, welches nun auf Solaris 10 ohne weitere Modifikationen kompiliert werden kann. Eine Implementierung und Erprobung auf SOFIA ist in 2016 geplant. Um die Bedienung des kommandozeilenbasierten Programms im alltäglichen Einsatz zu vereinfachen, wurde eine plattformunabhängige grafische Benutzeroberfläche (GUI) auf Basis von Python und PyQt4 erstellt. Sie wird inzwischen unter Windows, macOS und Ubuntu erfolgreich eingesetzt.

#### FPI+ Wissenschaftsinstrument:

Mit dem "Call for Proposals" für den vierten SOFIA Beobachtungs-Cycle wurde der FPI+ am 1. Mai 2015 offiziell als Wissenschaftsinstrument vorgestellt. Zuvor wurden die notwendigen Dokumente angefertigt wie zum Beispiel das "Observers Handbook". Weiterhin wurden Daten des FPI aus vorangegangenen Flügen ausgewertet um die Empfindlichkeit der Kamera in den verschiedenen verfügbaren spektralen Filtern zu bestimmen. Diese Daten werden für den SOFIA "Time Estimator" benötigt, damit Beobachtungszeiten im Voraus abgeschätzt werden können. Ebenfalls zur Vorbereitung der Cycle 4 Beobachtungen, wurden bei Bodentests sogenannte "Flat Fields" in verschiedenen Spektralfiltern aufgenommen. Es wurden Python Skripte erstellt, welche die Bedienung des FPI+ automatisieren und somit das effiziente Durchführen komplexer Beobachtungsprogramme ermöglichen. Die Skripte wurden zuerst erfolgreich im MCCS Simulator getestet und später auch bei Bodentests an Bord von SOFIA.

#### Sternbedeckung durch Pluto und Exoplaneten Transits:

Mit dem FPI+ sowie HIPO und FLITECAM wurde eine Sternbedeckung durch Pluto am 29. Juni 2015 mit SOFIA von Neuseeland aus beobachtet. Die Vorhersage des Schattenpfades durch das Team um M. Person am Massachusetts Institute of Technology (MIT) war so präzise, dass SOFIA auf etwa 20 km genau in das Zentrum des Plutoschattens manövriert werden konnte. So konnten alle drei Instrumente eine der besten, bis dahin gemessene Lichtkurven einer Sternbedeckung durch Pluto aufzeichnen, einschließlich eines ausgeprägten "central flash". Die ersten Ergebnisse wurden von M. Person et al. und A. Bosh et al. veröffentlicht (beide MIT). Weiterhin wurden mit dem FPI+ zwei Exo-Planetentransit Beobachtungen an den Sternen GJ3470 und HD189733 durchgeführt. Zusammen mit FLITECAM wurden bei diesen Beobachtungen visuelle Daten mit dem FPI+ gesammelt. Die Daten, der mehr als 2,5 Stunden langen Beobachtungen, konnten erfolgreich aufgenommen werden und wurden den PI's zur Verfügung gestellt. Die Auswertungen zu diesen Beobachtungen dauern noch an.

#### Sternbedeckungen durch Trans-Neptunische Objekte:

Das DSI hat für den SOFIA Cycle 4 erfolgreich einen Beobachtungszeitantrag für den FPI+ gestellt, dem im DSI entwickelten Facility Science Instrument. Das Proposal "Stellar Occultations by Trans-Neptunian Objects and Centaurs" (PI: J. Wolf, CoIs u.a.: K. Schindler & E. Pfüller) wurde in der Kategorie A ("must do") bewertet. Es wurden bis zu 5 Bedeckungsereignisse mit jeweils 30 min Messzeit beantragt und genehmigt, die als "Target of Opportunity" Beobachtungen durchgeführt werden können. Die Beobachtungen sollen in einem internationalen Konsortium mit Vertretern von MIT (Cambridge, USA),



IAA (Granada, Spanien), LESIA (Paris, Frankreich) und Observatorio Nacional (Brasilien) geplant, durchgeführt, ausgewertet und veröffentlicht werden.

Astronomisches Teleskop der Universität Stuttgart (ATUS):

Das DSI betreibt gemeinsam mit der Universität Stuttgart das via Internet fernbedienbare 0,6 m Ritchey-Chretien Teleskop "ATUS", das "Astronomische Teleskop der Universität Stuttgart". Der Hersteller Officina Stellare (Italien) hat in Partnerschaft mit dem DSI einen Teleskoptubus mit hoher mechanischer Steifigkeit, einer Fokussierung über einen achsial verschiebbaren Sekundärspiegel und mit einem leichtgewichteten Hauptspiegel entwickelt und im April 2015 ausgeliefert. Das Teleskop wurde im Mai 2015 am Sierra Remote Observatory in der kalifornischen Sierra Nevada, etwa 1 Autostunde nordöstlich von Fresno, montiert und in Betrieb genommen. Refraktionseffekte, kleine noch vorhandene statische Verbiegungen und Achsfehler werden durch ein Pointingmodell sehr gut korrigiert. Während die Universität das Teleskop für Lehr- und Forschungszwecke nutzt, dient ATUS dem DSI als Testplattform für neue Hard- und Software für SOFIA. So wurden mit Hilfe von ATUS verschiedene Verfahren zur Vermessung von Wellenfronten untersucht, die auf SOFIA u.a. zur Beurteilung und Verbesserung der Kollimation der Optik zum Einsatz kommen könnten: Die Messung lokaler Gradienten der Wellenfront mittels eines Shack-Hartmann Wellenfrontsensors sowie die Messung der Krümmung der Wellenfront, abgeleitet aus der Intensitätsverteilung in defokussierten Bildern nach der Theorie von Roddier. Weitere Anwendungen waren die Beurteilung und Entwicklung von verschiedenen Algorithmen zur Bestimmung der Verzeichnung einer Optik sowie der ausführliche Test des für SOFIA vorgesehenen Softwarepakets *astrometry.net* zur autonomen Erkennung von Sternfeldern. Das Teleskop leistete außerdem wertvolle Hilfestellung bei der Planung und Durchführung von Beobachtungen auf SOFIA, so z.B. für die Pluto Bedeckung 2015. Das 60 cm Teleskop ATUS ermöglichte die Teilnahme an zwei koordinierten Beobachtungskampagnen möglicher Bedeckungen durch (54598) Bienor und (50000) Quaoar I Weywot, zu denen Mitglieder des Konsortiums des SOFIA TNO Proposals aufgerufen hatten.

## 5 Akademische Abschlussarbeiten

### 5.1 Bachelorarbeiten

*Abgeschlossen:*

ARC : Joshua Kiefer, Nikolas Schröder

*Laufend:*

ARC : Ermias Yared

### 5.2 Masterarbeiten

*Laufend:*

ARC : Ariane Exle, Sebastian Wenzel

### 5.3 Dissertationen

*Laufend:*

Stuttgart : Aaron Bryant, Sebastian Colditz, Benjamin Greiner, Rainer Hönle, Felix Rebell  
 AFRC : Yannick Lammen  
 ARC : Friederike Graf, Manuel Wiedemann, Enrico Pfüller, Karsten Schindler

## 6 Tagungen, Projekte am Institut und Beobachtungszeiten

### 6.1 Projekte und Kooperationen mit anderen Instituten

- KOSMA Translator: 1. Physikalisches Institut der Universität zu Köln
- Sternentstehungsregionen im Ferninfraroten: Universities Space Research Association (USRA), University of Illinois at Urbana-Champaign
- Sternentstehung in NGC6946: Dr. Frank Bigiel, Universität Heidelberg

## 7 Auswärtige Tätigkeiten

### 7.1 Öffentliche (allgemein verständliche) Vorträge

- Röser Kolloquium, Stuttgart, "Abgehoben: Wie Astronomen fliegen lernten", Krabbe
- Tag der Wissenschaft, Stuttgart, "Astronomische Flüge mit SOFIA, Erste Ergebnisse mit FIFI-LS", Krabbe
- IRS Colloquium, Stuttgart, "Erste astronomische Beobachtungen mit FIFI-LS auf SOFIA", Krabbe
- DSI, Palmdale, USA, "10 Jahre DSI", Krabbe
- Urania, Berlin, "SOFIA - die deutsch-amerikanische fliegende Sternwarte", Zinnecker
- Ev. Gemeinde Coburg, "Exoplaneten, Ist die Erde einzigartig", Krabbe
- Tag der Raumfahrt, Stuttgart, SOFIA - the airborne infrared observatory, Zinnecker

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

Im Rahmen des SOFIA German Ambassador Program bietet das DSI Lehrern, die an deutschen Schulen unterrichten, die Möglichkeit an einem SOFIA Forschungsflug teilzunehmen. Durch die Mitflugerfahrung sollen die Lehrer einerseits selbst inspiriert werden und andererseits ihre Begeisterung anschließend im Klassenzimmer auf die Schüler übertragen. Langfristiges Ziel ist es hierbei, den Nachwuchs bereits heute für natur- und ingenieurwissenschaftliche Themen zu gewinnen. Daher ist es dem DSI wichtig, dass die mitfliegenden Lehrerinnen und Lehrer sich vorab ein Konzept überlegen, mit dem Sie ihre Mitflugerfahrung positiv und nachhaltig in ihren Unterricht einbringen wollen und als Deutscher SOFIA Botschafter für die Schulen bzw. als SOFIA German Ambassador tätig sind.

2015 sind von deutscher Seite Lehrer aus Baden-Württemberg (1) Brandenburg (2) und Schleswig-Holstein (1) für das Programm ausgewählt worden und haben an einem SOFIA Flug teilgenommen.

Journalisten & Medienmitflüge: - Gernot Meiser & Pascale Demy (AV - Altelier / Planetariumsshow; 17. & 18.3.) - Stefan Jorda (Physikjournal; 24. & 25. 3.) - Markus Völter (Omega Tau Blog; 21. & 22. 10.)

Weitere Projekte der Abteilung Bildungs- und Öffentlichkeitsarbeit:

- 20. Juni - SOFIA Präsentation am Tag der Wissenschaft der Universität Stuttgart
- 3. - 14. August 2015 - SOFIA Präsentation bei der IAU Generalvollversammlung in Honolulu inkl. Standplanung, Koordination mit USRA & NASA, Betreuung der SOFIA Ausstellung vor Ort

- SOFIA Wanderausstellung mehrfach an Partner sowie andere Bildungs- und Forschungseinrichtungen verschickt. Ausstellung des SFB 956 (Uni Köln); Titel: Dialog der Sterne; Ort: Walzwerk in Pulheim (28.2.-22.3), 50 Jahre Walter- Blohm Stiftung (20.3.), Yuris night am Planetarium Stuttgart (18. April), Explore Science, Mannheim (6.-13.7), Astrotag bei Conrad in HH-Wandsbeck (17.10.), Tage der offenen Tür von Partnerschulen, Gottlieb Daimler Gymnasium Stuttgart (6.3.), Weimar (10.4.), Weisenfels (19.6.), Willy Brandt Gesamtschule Bottrop (18.9.).
- Öffentliche Vorträge zu SOFIA (extern): Schul- und Volkssternwarte Heilbronn (20.2.), VHS Schorndorf (2.12)
- Führung am RZBW organisiert für: Dr. Jeffrey A. Isaacson, President and Chief Executive Officer, Dr. Nicholas E. White, Senior Vice President for Science, Dr. Erick E. Young, Director SOFIA SMO, Interne (am IRS /DSI) Führungen und Vorträge für diverse Schüler-, Studenten- und Besuchergruppen am RZBW bzw. der Universität Stuttgart

### 7.3 Nationale und internationale Tagungen

- SOFIA - A pointing challenge, JPL, Pasadena, USA, Juli 2015, F. Graf
- Erste astronomische Beobachtungen mit FIFI-LS, Uni Stuttgart, Juni 2015, A. Krabbe
- Far Infrared Imaging Spectroscopy with FIFI-LS, MPIA Heidelberg, Kolloquium, Juni 2016, A. Krabbe
- Far infrared science beyond Herschel, FIFI-LS on SOFIA, NASA Goddard, Kolloquium, November 2015, A. Krabbe
- Sensor fusion based vibration estimation using inertial sensors for a complex lightweight structure, DGON Inertial Sensors and Systems, Karlsruhe, September 2015, P. Kaswekar
- SOFIA - Herausforderung beim Betrieb einer fliegenden Sternwarte, RAL-Kolloquium, Stuttgart, Juli 2015, T. Keilig
- Aluminium-Sekundärspiegel (Al-M2) für SOFIA, NASA Ames, Oktober 2015, Lachenmann
- Imager Upgrade, NASA Ames, Oktober 2015, Lachenmann
- FPI+ Ghosts, SPOT, Palmdale, USA, Dezember 2015, Lachenmann
- Application of SolidWorks in the SOFIA project, Dassault-Systems, Palmdale, USA, März 2015, Lammen
- Occultation Work with SOFIA & the University of Stuttgart's 60 cm Telescope 'ATUS', IOTA North America Annual Meeting, Las Vegas, USA, Oktober 2015, K. Schindler
- The Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy and its two Pluto occultation observations, Space Portal, NASA Ames, Dezember 2015, K. Wiedemann
- Uni Stuttgart, IRS: Hanspeterroeser and andere Kleinplaneten im Sonnensystem, Februar 2015, J. Wolf
- Small bodies in the solar system, Stuttgart, DGLR-DLR, November 2015, J. Wolf
- Evolution of Binary Stars near the Galactic Center MODEST15 Workshop, Concepcion/Chile, 3. März 2015, H. Zinnecker
- The SOFIA Facility: current status and opportunities in star formation Chinese/German SF/PF Workshop, Nanjing/China, 24. März 2015, H. Zinnecker
- SOFIA - potential for magnetic field measurements in star formation regions, STARS2015 Konferenz, Havanna/Kuba, 11. Mai 2015, H. Zinnecker
- SOFIA Cycle 4, MPIA Workshop, Heidelberg, Juni 2015, H. Zinnecker
- The Quantum Mechanics of Fine Structure Lines: [OI], [OIII], [CII], C[I] Feinstrukturlinien-Workshop, HdA, MPIA Heidelberg, 11. Juni 2015, H. Zinnecker
- Probing universal ISM processes with SOFIA, IAU-Symp 315, IAU-GA, Honolulu, 4. August 2015, H. Zinnecker
- Tracing the dynamics of infalling gas towards massive proto-clusters IAU-Symp. 316, IAU-GA, Honolulu, 11. August 2015, H. Zinnecker
- SOFIA - a brief overview of ISM science highlights to date Zermatt, Schweiz, 8. September 2015, H. Zinnecker

- SOFIA and IR Astrophysics - the link to astrochemistry MPG Harnack Haus, Berlin,  
6. Oktober 2015 - SOFIA - the airborne infrared observatory, DGLR Raumfahrtkonferenz,  
Stuttgart, November 2015, H. Zinnecker

## 8 Weitere Aktivitäten

Vom 24. - 30. Oktober 2015 besuchte der Rektor der Universität Stuttgart Universität Wolfram Ressel die verschiedenen DSI Standorte in den USA und nahm an einem Wissenschaftsflug von SOFIA mit FIFI-LS teil. Im Rahmen des Besuchsprogramms wurde das FIFI-LS Instrument an NASA übergeben und ATUS (Astronomical Telescope of the University of Stuttgart), das in Kalifornien stationierte astronomische Ausbildungsteleskop der Universität Stuttgart, eingeweiht.

## 9 Veröffentlichungen

### 9.1 In Zeitschriften und Büchern

Angerhausen D., et al.: First exoplanet transit observation with the Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy: confirmation of Rayleigh scattering in HD 189733 b with the High-Speed Imaging Photometer for Occultations. *Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems*, Volume 1, id. 034002 (2015).

Timerson B., et al.: Asteroidal Occultation by 82 Alkmene and the Inversion Model Match. *The Minor Planet Bulletin* (ISSN 1052-8091). *Bulletin of the Minor Planets Section of the Association of Lunar and Planetary Observers*, **42,2**, 129-131 (2015)

### 9.2 Konferenzbeiträge

Bosh A. S. et al.: Haze in Pluto's atmosphere: Results from SOFIA and ground-based observations of the 2015 June 29 Pluto occultation. *American Astronomical Society, DPS meeting #47*, id.105.03

Kaswekar P., Wagner, J.F.: Sensor fusion based vibration estimation using inertial sensors for a complex lightweight structure. Trommer, G. (ed.), *Proc. of the 2015 DGON Inertial Sensors and Systems* (Karlsruhe, 22-23 September, 2015). Karlsruhe: IEEE, p. 10.1-10.20.

Klein R., Looney L., Cox E., et al.: *IAU General Assembly 2015*, 22, 2251222

Klein R., Looney L., Henning T., Chakrabarti S., & Shenoy S.: *IAU General Assembly 2015*, 22, 2251224

Person M. J., et al.: Central Flash Analysis of the 29 June 2015 Occultation. *American Astronomical Society, DPS meeting #47*, id.105.05

Sickafoose Amanda A., et al.: Investigation of particle sizes in Pluto's atmosphere from the 29 June 2015 occultation. *American Astronomical Society, DPS meeting #47*, id.105.04

Zinnecker H., Stutzki J., & Young E. T.: Probing universal ISM processes with SOFIA. *IAU General Assembly 2015*, 22, 2253710

Zinnecker H., & Wyrowski F.: Tracing the dynamics of infalling gas towards massive proto-clusters. *IAU General Assembly 2015*, 22, 2253677

## 10 Abkürzungsverzeichnis

ARC: NASA Ames Research Center

AFRC: NASA Armstrong Flight Research Center, ehemals NASA Dryden Flight Research Center (DFRC)

DLR: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

DSI: Deutsches SOFIA Institut

GSSWG: German SOFIA Science Working Group

IRS: Institut für Raumfahrtsysteme an der Universität Stuttgart

LHT: Lufthansa Technik

NASA: National Aeronautics and Space Administration

SI: Science Instrument

SOFIA: Stratospheric Observatory For Infrared Astronomy

SMO: Science Mission Operations

TAC: Time Allocation Committee

USRA: Universities Space Research Association

Leiter des DSI, Prof. Dr. Alfred Krabbe