

SOFIA: ein Projekt für Forschung und Bildung

von Olaf Fischer und Ruth Titz

SOFIA, das Stratosphären-Observatorium für Infrarot-Astronomie, ist ein Forschungsflugzeug, mit dem ab dem Jahr 2002 regelmäßige Beobachtungen möglich sind. SOFIA, gebaut von NASA und DLR, wird für wissenschaftliche Überraschungen sorgen und neue Maßstäbe in der Bildungsarbeit setzen.

Infrarot-Astronomie

Astronomische Erkenntnisse basieren im Wesentlichen auf Beobachtungen, d. h. auf Informationen, die aus der empfangenen Strahlung der Himmelskörper abgeleitet werden. Lange Zeit waren die Augen die einzigen Strahlungsempfänger und lange Zeit war man sich des verborgen gebliebenen „Strahlungsozeans“ auch nicht bewusst. Heute ist man bemüht, Informationen aus möglichst vielen Spektralbereichen zu erhalten. Von besonderer Bedeutung ist dabei der infrarote Spektralbereich (IR), der Wellenlängen zwischen 0,75 μm und 1000 μm umfasst. Zum einen strahlen viele kosmische Objekte im IR am stärksten, zum anderen kann IR-Strahlung kosmische Staubwolken, hinter denen sich viele interessante Vorgänge abspielen, fast ungehindert durchdringen. Einen Blick hinter diese „kosmischen Staubvorhänge“ zu werfen, ist mit keinem optischen Teleskop möglich, und sei es noch so groß (siehe Bild 1). Die Bedeutung des IR für die Astronomie sei nachfolgend an einigen Beispielen hervorgehoben.

Die Suche nach Planeten bei Sternen in unserer Nachbarschaft findet im IR statt, weil der Helligkeitsunterschied zwischen Stern und Planet in diesem Spektralbereich weitaus geringer ausfällt als bei sichtbarer Strahlung. Je größer der Helligkeitsunterschied ist, desto schwieriger ist es, einen Planeten im Licht der Beugungsringe des Sterns nachzuweisen. Außerdem können spektrale Merkmale im IR-Bereich von der Zusammensetzung einer Planetenatmosphäre berichten. Die Erforschung der Frühstadien der Sternentstehung und -entwicklung ist ein typisches Arbeitsgebiet der IR-Astronomie. Sowohl die Entstehung als auch die frühe Entwicklung der Sterne finden eingehüllt in ein Kokon aus Gas und Staub statt, was eine direkte Beobachtung im sichtbaren Spektralbereich meist unmöglich macht. Eine relativ nahe Region intensiver Ster-

nentstehung befindet sich im Sternbild Orion (500 pc). Während Aufnahmen im visuellen Spektralbereich nur den kosmischen Staubvorhang in Gestalt von Dunkelwolken zeigen, eröffnen IR-Aufnahmen den Blick auf Sterne im Frühstadium ihrer Entwicklung (siehe Bild 1). Erst kürzlich veröffentlichte IR-Beobachtungen des NASA-Satelliten COBE (COsmic Background Explorer) zeigen, dass es neben der bekannten kosmischen Mikrowellen-Hintergrundstrahlung auch eine kosmische IR-Hintergrundstrahlung gibt, interpretiert als „Strahlungsfossil“ längst vergangener Sterne, deren Licht durch Unmassen von Staub in den „Ur-galaxien“ sofort zu IR-Strahlung transformiert wurde.

Ein vorläufiges Modell für die IR-Hintergrundstrahlung besagt unter anderem, dass 50 % des Sternenlichts des jungen Universums auf Grund mangelnder Beobachtungsmöglichkeiten im mittleren Infrarot-Bereich noch undetektiert sind. Hier gibt es für SOFIA viel zu tun.

Erdatmosphäre – Schild und Schirm

Unsere Erdatmosphäre schützt einerseits vor lebensfeindlicher Ultraviolett-Strahlung, andererseits erschwert oder verhindert sie aber auch den Empfang verschiedener Strahlungsarten.

Die Erdatmosphäre besteht im wesentlichen aus verschiedenen Gasen, Wassertropfen und Staubteilchen.

Die Gasmoleküle bilden teilchentypische „Fallen“ für Strahlung ganz bestimmter Wellenlängenintervalle und führen damit zu charakteristischen Linien und Bändern in der Transmission der Atmosphäre (siehe Bild 2).

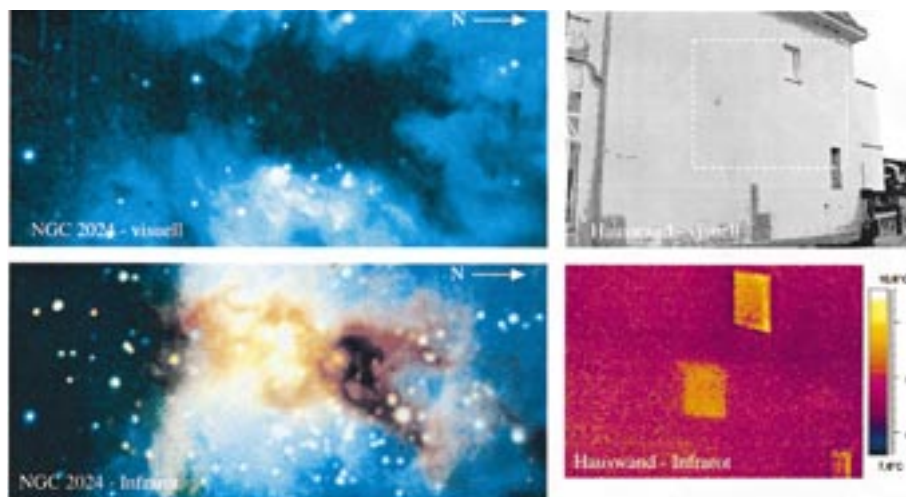


Bild 1: „Der durchdringende Blick im IR“ – astronomisch und irdisch. Links: Sichtbares Licht von jungen Sternen ist oft nicht beobachtbar, da es im zirkumstellaren Staub absorbiert wird. Die absorbierende Wolke erscheint im Umgebungslicht als Dunkelwolke (Bild oben). Im Infrarotbereich absorbiert der Staub bedeutend weniger, so dass ein IR-Bild (unten) sehr viele eingebettete Sterne zeigt. Dargestellt ist die Sternentstehungsregion NGC 2024, ein Gebiet ca. 30' nördlich des Pferdekopfnebels im Sternbild Orion (Größe: ca. 10,6' x 4,6'). Das IR-Bild entstand aus Aufnahmen, die bei verschiedenen IR-Wellenlängen gemacht wurden (Quelle: <http://www.noao.edu/education/ir.asp/captions.html>). Rechts: Während auf einem konventionellen Foto (oben) ein zugemauertes und zugeputztes Fenster nicht sichtbar ist, erscheint es auf dem unteren IR-Bild (Thermographieaufnahme bei 3,6 bis 5 μm , Quelle: K. P. Möllmann, M. Vollmer, FH Brandenburg) als „Wärmeleck“. Die gestrichelt gezeichnete Box auf dem Foto markiert den Ausschnitt, der im Thermographiebild zu sehen ist.



Bild 2: Dargestellt ist das Transmissionsverhalten der Erdatmosphäre in den verschiedenen Spektralbereichen. Das hellblau unterlegte Gebiet der nahezu ungehinderten Transmission reicht bei verschiedenen Wellenlängen verschieden nah an den Erdboden heran. „Beobachtungs-Fenster“ liegen im sichtbaren Spektralbereich und im Radiobereich. Im IR gelangt nur Strahlung aus einigen wenigen eng begrenzten Spektralbereichen bis zur Erdoberfläche. In Stratosphärenhöhe dagegen kann das „IR-Fenster“ weit geöffnet werden.

Unsere Atmosphäre besteht im Wesentlichen aus verschiedenen Gasen, Wassertropfchen und Staubteilchen. Der bodennahe Staub führt zu einer mehr oder weniger starken „Trübung“ der Strahlung im gesamten Spektralbereich.

Für astronomische Beobachtungen im IR ist der Gehalt an Wasser und Kohlendioxid von Bedeutung. Das CO₂- und insbesondere das H₂O-Molekül werden durch Infrarotstrahlung zu inneren Schwingungen angeregt, wobei die entsprechenden Strahlungsanteile dem Spektrum entzogen werden.

Da sich die Dichte der Erdatmosphäre exponentiell mit wachsender Höhe verringert, sind bereits 50 % der Atmosphärenmasse in den untersten 5 ... 6 km konzentriert (Die Erdatmosphäre erstreckt sich über mehr als 1000 km!). Für die IR-Astronomen ist zudem noch die Tatsache erfreulich, dass sich der Wasserdampfgehalt pro kg Luft vom Erdboden bis in 15 km Höhe etwa auf ein Tausendstel verringert. Die Druckverbreiterung der einzelnen Spektrallinien nimmt ebenfalls in größeren Höhen merklich ab.

Alle Argumente zusammengenommen zeigen, dass sich die Beobachtungsbedingungen im IR mit zunehmender Höhe enorm verbessern.

Flugzeugastronomie mit SOFIA

Einen ersten Schritt in die Höhe machten die Astronomen, indem sie IR-Observatorien auf hohen Bergen errichteten. Das höchstgelegene erdgebundene IR-Teleskop steht auf dem Mauna Kea (4200 m), einem erloschenen Vulkankegel auf Hawaii. Jedoch auch dieser Standort ist noch wetterabhängig und reicht bei weitem nicht aus, um über ein stets offenes „IR-Fenster“ zu verfügen.

Einen Ausweg aus diesen Beschränkungen bieten flugzeuggetragene Teleskope, die bei einer Flughöhe von 14 km bereits 99 % des atmosphärischen Wasserdampfes unter sich lassen. Ein zusätzlicher Vorteil eines Flugzeugobservatoriums ist seine

Ortsungebundenheit, d. h. es kann Regionen anfliegen, von denen aus kurzzeitige astronomische Ereignisse, wie z. B. Mond- und Sonnenfinsternisse oder Sternbedeckungen, beobachtet werden können.

Die Flugzeugastronomie begann 1969 mit dem Lear-Jet (30-cm-Spiegel) und wurde ab 1974 mit dem KAO (Kuiper Airborne Observatory, 91-cm-Spiegel) fortgesetzt. Ein Höhepunkt in der 21-jährigen Betriebszeit des KAO war die Entdeckung eines Ringsystems um den Planeten Uranus während einer Sternbedeckung. Hier zeigte sich die Flexibilität eines Flugzeugobservatoriums und seine Unabhängigkeit von den Wetterbedingungen.

Mit dem neuen Jahrtausend wird nun eine neue Ära der Flugzeugastronomie eingeläutet. Ab 2002 soll SOFIA als gemeinsames Projekt der NASA (National Aeronautics and Space Administration) und der DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) in Betrieb gehen. Die Beobachtungsplattform wird dabei ein Flugzeug sein, das sowohl für lange Strecken als auch große Lasten konzipiert wurde – eine Boeing 747-SP. Im hinteren Teil des Flugzeugrumpfs wird sich die Beobachtungsöffnung befinden, hinter

der sich das Teleskop mit seinem 2,7 m großen Hauptspiegel befindet.

Im Folgenden sollen beispielhaft einige Details angesprochen werden, die die ingenieurtechnischen Herausforderungen des SOFIA-Projektes verdeutlichen.

Eine technische Neuheit ist die riesige Öffnung in der hinteren Backbord-Seite des Flugzeugrumpfes. Die Größe der Öffnung, die aus der Teleskop-Apertur samt ihres notwendigen Bewegungsspielraums resultiert, gleicht in ihren Ausmaßen der Garageneinfahrt für einen Reisebus und ist damit hinsichtlich der Rumpfstabilität Neuland für den Flugzeugbau. In Beobachtungshöhe (ca. 14 km) wird die Öffnung freigegeben.

Effektiv offen ist dabei jedoch nur die Teleskopapertur. Der verbleibende Öffnungsbereich ist durch bewegliche Segmente abgedeckt. Ein Loch von ca. 4 m² Größe ist bei einer Fluggeschwindigkeit von 675 km/h ein ernst zu nehmendes Problem. Eine abdeckende Glasplatte ist ungeeignet: ihre Wirkung im IR gleicht derjenigen einer Holzplatte im sichtbaren Spektralbereich. In einer Hochgeschwindigkeitsströmung entstehen innerhalb der Teleskopöffnung Verwirbelungen. Man denke an die flatternden Haare, wenn man in einem offenen Auto fährt. Das Design der Öffnung muss die Wirbelbildung verringern, kann sie jedoch nicht ganz ausschalten. Das führt zu der Kernfrage nach der erschütterungsfreien Ausrichtung des Teleskops: Werden nicht alle „Bilder“ mit SOFIA verwickelt sein?

Stoßdämpfer zwischen dem Flugzeugrumpf und dem Teleskop minimieren die Übertragung der Triebwerksvibrationen. Die verbleibenden Triebwerksschwingungen und die eben erwähnten Windlasten, die auf das Teleskop wirken, müssen schnell ausbalanciert werden. Man misst die Wirkung der Störung auf eine Eichquelle und richtet das Teleskop aus. Das geschieht durch Motoren, die um die Achse des Teleskopaufbaus angeordnet



Bild 3: Oben: SOFIA-Flugzeug (Boeing 747-SP) in Beobachtungshöhe. Die schwarz gestrichene Sektion am hinteren Teil markiert die Größe der notwendigen Öffnung im Flugzeugrumpf. Unten: Ein maßstabgetreues Modell der „geöffneten“ Boeing 747-SP im Windkanal.

sind und die über einen Computer, der die Daten aus der Eichquelle erfasst, schnell angesteuert werden.

Zuletzt sei noch auf ein „Temperaturproblem“ aufmerksam gemacht. Während es an einem Sommertag am Boden bis zu 40 °C heiß werden kann, sinkt die Temperatur beim Aufstieg in die untere Stratosphäre bis auf -60 °C. Thermisch bedingte Dehnungs- und Kontraktionsbewegungen am Teleskop würden Bildfehler und Materialstress bedeuten. Zur Verringerung der thermischen Materialbewegungen sind spezielle Werkstoffe nötig. Um die Temperaturdifferenz zwischen Boden und Stratosphäre möglichst gering zu halten, kühlt man die Teleskopsektion von SOFIA bereits am Boden.

SOFIA: Astronomieunterricht über den Wolken

Die NASA legt in zunehmendem Maße Wert darauf, dass astronomische Großforschungsprojekte mit einem entsprechenden EPO-Programm (Educational and Public Outreach) verbunden sind. So stellt die Bildungs- und Öffentlichkeitsarbeit ein von Beginn an integriertes Arbeitspaket dar, das gleichberechtigt zu den wissenschaftlich-technischen Bereichen existiert. Dieses Programm soll dazu beitragen, die Öffentlichkeit über Forschungsvorhaben zu informieren und Interesse an Naturwissenschaft zu wecken. Insbesondere sollen durch die Zusammenarbeit mit Lehrern, Schülern und Studenten moderne Forschungsinhalte hautnah vermittelt werden.

Deutschland wagt auf diesem Gebiet die ersten Schritte und SOFIA wird dabei ein Testobjekt und Meilenstein sein.

Bereits bei der Planung von SOFIA wurden Plätze für mitfliegende Gäste vorgesehen. Dazu will man die im kommerziellen Einsatz der Boeing 747-SP für Passagiere der ersten Klasse reservierten Sitzplätze in der vorderen Flugzeugsektion nutzen (siehe Bild 4).

Die Ausstattung des EPO-Bereiches in SOFIA ist musterhaft. Per Audio-Video-Technik kann die Arbeit der Techniker und Astronomen in anderen Flugzeugsektionen verfolgt werden. Vortrags- und Seminartätigkeit können das Bildungsprogramm an Bord ergänzen. Bei einer Flugdauer von ca. 8 Stunden erscheint ein

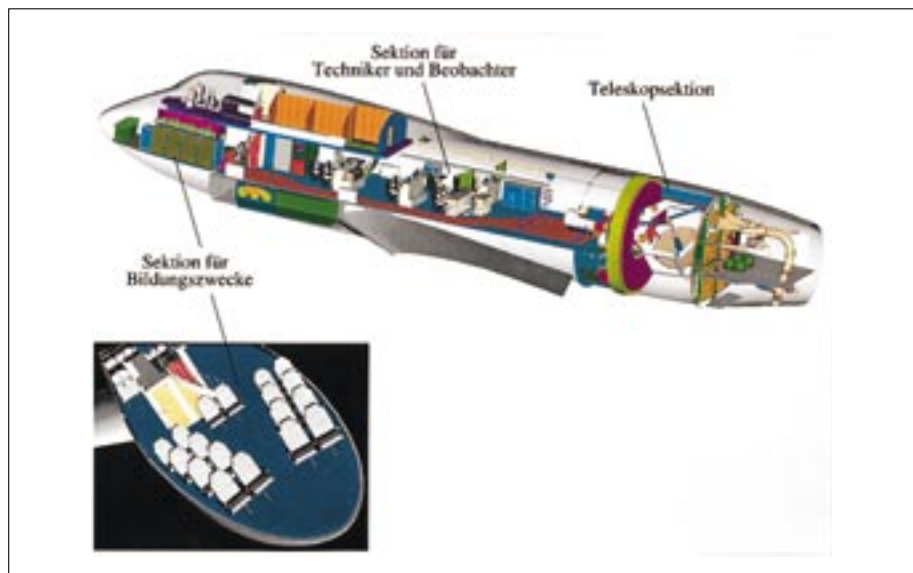


Bild 4: Blick in das Innere von SOFIA mit verschiedenen Arbeitsbereichen.

„rundes“ Programm aus Theorie und Praxis gut möglich.

Bei 160 geplanten Flügen pro Jahr erhält Deutschland, gemäß der Aufteilung der Projektkosten, ca. 30 Flüge. Würden bei jedem Flug ca. 10 Gäste mitfliegen, dann wären das pro Jahr theoretisch von deutscher Seite her rund 300 Lehrer, Schüler und Studenten oder anderweitig bildungsorientierte Personen, z. B. Wissenschaftsjournalisten. Aufwendig ist von Deutschland aus die Anreise zum Heimatflughafen von SOFIA. Er liegt ca. 1 Autostunde südlich von San Francisco, auf dem NASA Ames Research Center in Moffett Field. SOFIA wird aber auch andere Flughäfen ansteuern, insbesondere auf der südlichen Hemisphäre im Rahmen von Beobachtungsmissionen und in Deutschland zwecks Wartungsarbeiten und Öffentlichkeitsarbeit. Diese Möglichkeiten sollten für die EPO-Arbeit entsprechend genutzt werden.

Ein Mitflug auf SOFIA soll nicht nur ein achtstündiges Erlebnis darstellen, sondern eingebettet sein in ein größeres Lern- und Lehrprogramm. Einen lohnenswerter Ansatz scheint die Einbindung in die Lehrerfortbildung zu sein. Im Rahmen der Lehrerqualifikation könnte ein solches Unternehmen, langfristig vorbereitet und lebenslang nachbereitet, sehr willkommen sein. Forschung und Lehre kommen durch SOFIA in einen wünschenswert engen Kontakt. Einzelne Schüler und

Studenten sollten im Zuge von eigenen kleinen Forschungsprojekten oder aber als Auszeichnung oder als Preis in einem Wettbewerb ein Flugticket erhalten.

Wenn auch SOFIA nur einen kleinen Raum im Astronomie- und Physikunterricht einnehmen kann, so steckt darin doch eine große Motivationskraft.

Literatur

Roedel, W.: *Physik unserer Umwelt, Die Atmosphäre*, Springer, ISBN 3-540-54285-X, Berlin, 1992.

Röser, H.-P., Schmid-Burgk, J.: *Flugzeugastronomie in Deutschland*, *Sterne und Weltraum* 28, 648-653, November 1989.

Fischer, D.: *Staubige Galaxien lassen Infrarothimmel strahlen*, *Sterne und Weltraum* 2, 1999, 118-120.

Titz, R., Röser, H.-P. (Hrsg.): *SOFIA – Astronomie und Technologie im 21. Jahrhundert*, *Astronomy and Technology in the 21st Century*, Wissenschaft & Technik Verlag, ISBN 3-89685-558-1, Berlin 1998.

<http://www.sofia.dlr.de>

<http://sofia.arc.nasa.gov>

Anschriften der Verfasser:

Dr. Olaf Fischer, AG Didaktik der Physik und Astronomie, Max-Wien-Platz 1, 07743 Jena

E-mail: fischer@astro.uni-jena.de

Dr. Ruth Titz, DLR, Institut für Weltraumensorik und Planetenerkundung, Rutherfordstr. 2, 12489 Berlin

E-mail: ruth.titz@dlr.de

Erfolgreiche Lehrerfortbildung

Zu den traditionellen **Tagen der Schulastronomie**, die 1999 zum XIII. Male stattfanden, trafen sich in den Sommerferien etwa 100 wißbegierige Lehrer aus verschiedenen Bundesländern. Tagungsort war diesmal der Sitz der Sächsischen Lehreraakademie, Schloß Siebeneichen bei Meißen. Experten referierten zu neueren Erkenntnissen der Fachwissenschaft, Fachdidaktik und Beobachtungspraxis und fanden stets aufmerksame Zuhö-

rer. Wertvoll war auch der rege Erfahrungsaustausch der Anwesenden, nicht nur nach Vorträgen, sondern während der gesamten Tagung. Die Teilnehmer reisten mit dem Wunsch in ihre Heimatorte, im Jahre 2000 an der repräsentativsten Veranstaltung zur Fortbildung für Lehrer und Lehrerbildner in Astronomie im Freistaat Sachsen, die gleichzeitig bundesweit und europaauffen ist, wiederum teilzunehmen.