

Abgehobene Astronomie

Ein Flug mit dem „Stratosphären-Observatorium für Infrarot-Astronomie“

Stefan Jorda

In der Abendsonne laufe ich über das Vorfeld des Armstrong Flight Research Center der NASA im kalifornischen Palmdale. Mit mir haben ein Team der NASA, Wissenschaftler und Techniker sowie einige Gäste das gleiche Ziel: ein „kurzer“ Jumbojet, eine selten gebaute Boeing 747-SP. Auf dem beigen Overall des Piloten prangt ein Emblem der „Society of Experimental Test Pilots“ – meist ist er in Kampfflugzeugen unterwegs. An Bord erwartet uns zunächst eine Sicherheitseinweisung: Wir werden ermahnt, die Kaffeetassen und Wasserflaschen immer geschlossen zu halten und uns im Flugzeug nicht ohne den Beutel mit dem „Emergency Passenger Oxygen System“ zu bewegen. Diese Haube mit eingebauter Sauerstoffpatrone sollen wir uns über den Kopf stülpen, falls einer der vielen Elektronikschränke zu qualmen beginnt. Inzwischen ist die Sonne untergegangen, wir sind startklar und heben um 20:52 Ortszeit ab, mit dem „Stratosphären Observatorium Für Infrarot-Astronomie“ SOFIA.

Knapp 20 Minuten später und bereits einige Kilometer über dem Boden geschieht, was man während eines Flugs eigentlich nicht erleben



NASA / Carla Thomas

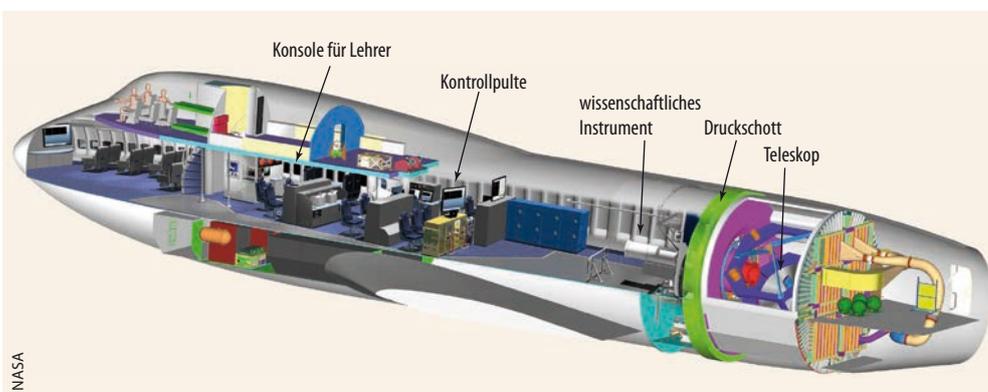
Bevor SOFIA Ende 2009 erstmals mit vollständig geöffnetem Tor fliegen konnte,

waren umfangreiche Entwicklungsarbeiten und Umbauten notwendig.

möchte: Am Rumpf hinten links öffnet sich ein großes Tor. Sehen kann ich das nicht, nur eine Anzeige auf dem Bildschirm vor mir springt auf grün. Wider Erwarten merke ich überhaupt nichts von dem offenen Tor, das einem Teleskop den Blick frei gibt auf den Nachthimmel. Ein Druckschott trennt das 2,7-Meter-Teleskop von der vorderen Kabine. Hier herrscht der gleiche Luftdruck wie in einem normalen Passagierflugzeug, an das ansonsten aber nur wenig erinnert. An großen Kontrollpulten sitzen

die Flugkontrolleure der NASA sowie Wissenschaftler und Techniker. Die Klimaanlage sowie die Ventilatoren der Elektronikschränke verursachen einen Lärm wie in einer Fabrikhalle. Daher tragen alle Kopfhörer und unterhalten sich über die Bordsprechanlage. Sie sind bereit für eine lange Beobachtungsnacht. Doch dazu muss SOFIA zunächst auf über 13 Kilometer steigen und einen Großteil der Atmosphäre unter sich lassen.

Insbesondere der Wasserdampf und das Kohlendioxid der Atmosphäre absorbieren Infrarotstrahlung stark. Daher öffnen sich erdgebundenen Teleskopen an trockenen und hohen Standorten, wie sie die Anden oder Hawaii bieten, nur einige Beobachtungsfenster im nahen und mittleren Infrarot. Wellenlängen im fernen Infrarot werden aber komplett absorbiert, sodass Beobachtungen nur von Flugzeugen oder Satelliten möglich sind. Satelliten haben den Vorteil, dass sie sich komplett oberhalb der warmen Atmosphäre befinden und selbst kalt sind. Ihre Detektoren müssen aber dennoch mit flüssigem Helium auf 4 Kelvin gekühlt werden, und



NASA

Das gesamte Teleskop von SOFIA bildet eine Hantel, die in dem Druckschott gelagert ist. Während der Spiegel durch das offene Tor freien Blick in den Himmel hat,

befindet sich das wissenschaftliche Instrument in der Passagierkabine und ist damit zugänglich für die Wissenschaftler und Techniker.

dessen Verbrauch begrenzt die Lebensdauer des Satelliten auf wenige Jahre. Zudem ist die Technologie eines Satelliten beim Start viele Jahre alt. Im Gegensatz hierzu kann man an einem Flugzeugteleskop flexibel verschiedene Instrumente wie Kameras und Spektrographen montieren, die sich regelmäßig auf den neuesten Stand der Technik bringen und vor jedem Flug abkühlen lassen. Allerdings sind das Flugzeug und die ganze Optik warm, emittieren also ebenso wie die Restatmosphäre selbst im Infraroten. Diese Hintergrundemission kann sogar bis zwei Größenordnungen höher sein als das Messsignal. „Daher sehen wir im Infraroten nie den schwarzen Nachthimmel, sondern arbeiten quasi immer in der Dämmerung“, erläutert Alfred Krabbe. Der Astrophysiker leitet das Deutsche SOFIA-Institut (DSI) in Stuttgart und ist verantwortlich für das abbildende Spektrometer FIFI-LS, das heute im Einsatz ist.

Die deutsch-amerikanische Zusammenarbeit in der Infrarot-astronomie hat eine lange Tradition: Bereits beim Kuiper Airborne Observatory, das mit einem 92-cm-Teleskop über zwanzig Jahre lang in Betrieb war, waren zwei deutsche Max-Planck-Gruppen mit eigenen Instrumenten beteiligt. Schon Anfang der 1980er-Jahre entstand der Plan, gemeinsam ein noch größeres Flugzeugobservatorium zu bauen. 1996 wurde der Vertrag für SOFIA unterzeichnet, in dem sich die NASA verpflichtete, das Flugzeug zu kaufen, umzubauen und zu betreiben. Die Wahl fiel auf eine 1977 gebaute Kurzversion des Jumbojets (747-SP), die früher bei Pan Am und United Airlines im Linienverkehr eingesetzt war. Im Gegenzug lieferte die DARA (heute Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, DLR) das Teleskop und übernahm die Verantwortung für dessen Wartung und Weiterentwicklung, die vor zehn Jahren dem DSI übertragen wurde.¹⁾ Die Betriebskosten von rund 100 Millionen Euro pro Jahr teilen sich NASA und DLR im Verhältnis 80 zu 20. Damit ist Deutschland zwar Juniorpartner, aber mit dem Teleskop für die Kernkompo-

nente verantwortlich. „Wir dürfen uns daher nicht zu billig verkaufen, denn ohne das Teleskop ist SOFIA nichts weiter als ein altes Flugzeug“, sagt Michael Hütwohl. Der Ingenieur mit langjähriger Industrieerfahrung leitet den DSI-Standort in Palmdale, an dem inzwischen 25 Mitarbeiter beschäftigt sind.

Eine stabilisierte Hantel

Doch wie lässt sich von einem Flugzeug aus überhaupt ein Objekt am Nachthimmel minuten- oder gar stundenlang fixieren? „Die meisten Leute glauben, das Wichtigste an einem Teleskop sei die Optik“, sagt der Ingenieur Hans-Jürgen Kärcher, der bei der Firma MT-Mechanics (früher MAN) der

sphärischen Öllager, das sich in dem Druckschott befindet. Auf der einen Seite der Hantel befinden sich neben dem großen Primär- auch Sekundär- und Tertiärspiegel, die das Licht durch die Hantelachse in die Kabine leiten, wo Gegengewichte und das wissenschaftliche Instrument befestigt sind. Optische Gyroskope registrieren jede Lageänderung und füttern ausgeklügelte Regelsysteme, die wiederum Motoren ansteuern, um Korrekturbewegungen um alle Achsen von bis zu drei Grad auszuführen. Wie gut das funktioniert, kann ich erraten, als wir durch Turbulenzen fliegen: Wie von Geisterhand gesteuert setzt sich die 17 Tonnen schwere Hantel auf dem hauchdünnen Ölfilm in Bewegung – nein, das Teleskop verharrt bewegungslos



A. Lischke-Weis, DSI

Über die Kontrollpulte hinweg blickt man auf das Druckschott (blau) und das darin gelagerte Teleskop, von dem in der

Kabine nur das Instrument und die Gegengewichte zu sehen sind.

führende Kopf bei der Entwicklung des Teleskops war und bis heute SOFIA als Berater verbunden ist. Aber die besten Spiegeloberflächen würden nichts helfen, wenn es nicht gelänge, diese auf wenige Bogen Sekunden genau auszurichten – ungeachtet der Vibrationen und des enormen Temperaturunterschieds von 70 Grad zwischen Außenraum und klimatisierter Kabine. „Man muss das Teleskop vom Flugzeug vollständig mechanisch entkoppeln, um es über seine Trägheit zu stabilisieren“, erläutert Kärcher.

Das gesamte Teleskop hat daher die Form einer waagrechten Hantel. In der Mitte ruht sie in einem

im Raum, aber das Flugzeug „wackelt“ um es herum, rufe ich mir in Erinnerung. Das funktioniert inzwischen so gut, dass SOFIA eine Euro-Münze aus rund zehn Kilometer Entfernung über viele Minuten lang anvisieren könnte.

Inzwischen haben wir auf unserem Steigflug Richtung Nordost Las Vegas überflogen – der hell erleuchtete Strip mit den Casinos ist auch aus der Höhe klar auszumachen – und drehen ab Richtung Norden, um zunächst den Mond zur Kalibrierung ins Visier zu nehmen. Die Kursänderung ist nötig, da sich das Teleskop zwar zwischen 17 und 65 Grad kippen, nicht aber

1) Physik Journal, Januar 2015, S. 11



Stefan Jorda vor dem Flug mit dem amerikanisch-deutschen Flugzeugobservatorium für die Infrarot-Astronomie SOFIA.

um die senkrechte Achse drehen lässt – abgesehen von den kleinen Korrekturbewegungen. Daher bedarf es einer genauen Planung, um in einer Nacht verschiedene Objekte unterschiedlich lang beobachten zu können und am Ende wieder in Palmdale zu landen. In den nächsten Stunden wird es im Zickzack zunächst nach Osten Richtung South Dakota gehen, dann über drei Stunden lang zum Pazifik, über Vancouver Island hinweg bis fast zur Grenze zwischen Kanada und Alaska, zurück bis Montana und schließlich mit einem Umweg über Nevada wieder nach Kalifornien. Auf dem Beobachtungsplan stehen in dieser Nacht Galaxien und das interstellare diffuse Gas darin sowie Supernova-Überreste.

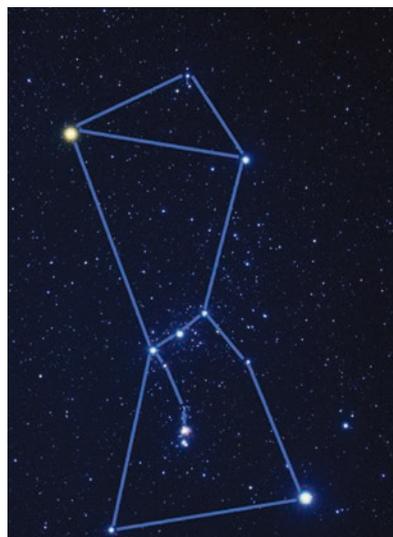
läutert Krabbe. Daher seien auch Laborexperimente wichtig, um die Reaktionen überhaupt verstehen und die beobachteten Spektrallinien interpretieren zu können.²⁾ Auch für die Beobachtung weit entfernter Galaxien spielt die Infrarotastronomie eine wichtige Rolle, da diese aufgrund der starken Rotverschiebung kaum noch im Sichtbaren, sondern primär im Infraroten zu sehen sind. Schließlich hat SOFIA auch den Vorteil, nicht auf einen Standort festgelegt zu sein. So ist das Flugzeug in diesem Sommer zum zweiten Mal für einige Wochen in Neuseeland stationiert, um von dort aus den Südhimmel zu beobachten. Diese Flexibilität wurde auch bereits genutzt, um Pluto zu beobachten, während er vor einem

Stern vorbeizog. Eine solche Pluto-Okkultation erlaubt es, mehr über die Planetenatmosphäre zu lernen.

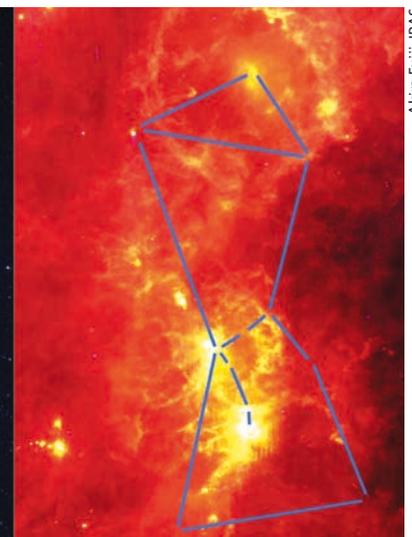
Doch bevor die Astrophysiker an die Interpretation von Daten gehen können, gilt es zunächst, das Messsignal aus dem diffusen und zudem zeitlich veränderlichen Hintergrund, der „Dämmerung“, herauszufischen. Durch rasches Kippen des Sekundärspiegels und weitere ausgeklügelte Maßnahmen werden daher verschiedene Bilder des Objekts sowie des Hintergrunds unmittelbar daneben aufgenommen, sodass eine Differenzbildung möglich ist. Danach ist eine weitere Datenreduktion notwendig, bis die gewünschten Spektren vorliegen. „Wenn Sie das nach Lehrbuch machen, geht es garantiert in die Hose“, sagt Krabbe, „denn das Instrument ist eine Persönlichkeit, die man erst verstehen muss, um ein ordentliches Signal zu erhalten“. Daher ist Krabbe bei jedem Flug mit FIFI-LS selbst an Bord und analysiert mit seinen Mitarbeitern die Daten, um gegebenenfalls direkt reagieren zu können. Um das bei drei Flügen pro Woche drei Wochen lang durchzuhalten – so lange dauert die Kampagne mit FIFI-LS –, stellt er seinen Tag-Nacht-Rhythmus komplett um. Pro Woche ist ohnehin nur ein Tag frei, und mit der Vor- und Nachbereitung der Flüge kommen 14- bis 16-Stunden-Tage zusammen. „Mit normaler Arbeitszeit

Einzigartige Beobachtungen

Generell gibt es mehrere Gründe dafür, Astronomie im Infraroten zu betreiben. So existieren Quellen, die im Sichtbaren dunkel sind, weil Staub das Licht absorbiert, während Infrarotstrahlung passieren kann. Dies gilt insbesondere für Gebiete, in denen neue Sterne entstehen. Außerdem sieht man im Infraroten Rotations- und Vibrationsbanden von Molekülen im interstellaren Medium. „Früher dachte man, da gibt es nur Wasserstoff, Sauerstoff und ein bisschen Staub, aber heute wissen wir, dass die interstellare Chemie überaus komplex ist“, er-



Anders als im sichtbaren Licht (links) zeigt eine Infrarotaufnahme des Sternbilds Orion riesige Wolken aus heißem



Gas und Staub, in denen neue Sterne entstehen (rechts).

2) Physik Journal, April 2015, S. 20

hat das nichts zu tun“, sagt Krabbe schmunzelnd, „das ist Forschung und Abenteuer.“

Von diesem Engagement profitieren natürlich auch die Wissenschaftler, die Beobachtungszeit beantragen können und den Daten voll und ganz vertrauen müssen. Der Kostenaufteilung entsprechend vergibt Deutschland 20 Prozent der Beobachtungszeit und Amerika 80 Prozent. Neben FIFI-LS gibt es mit dem hochauflösenden Spektrometer GREAT (kürzlich zu upGREAT weiterentwickelt) ein weiteres deutsches Instrument, mit Rolf Güsten vom MPI für Radioastronomie in Bonn als Principal Investigator. Hinzu kommen derzeit sechs amerikanische Instrumente wie die IR-Kamera FORCAST. Dabei kann jeder Wissenschaftler Beobachtungszeit für jedes Instrument beantragen, und die Nachfrage entscheidet, wie oft ein Instrument zum Einsatz kommt.

Eine Besonderheit von SOFIA ist eine eigene Instrumentenkonsole für die Öffentlichkeits- und Bildungsarbeit. Hier sitze ich über weite Teile des Flugs gemeinsam mit vier deutschen Lehrern, die sich beim DSI mit Projekten um den Mitflug beworben haben. Mit ganz unterschiedlichen Projekten wollen sie im Unterricht an SOFIA anknüpfen, zum Beispiel durch die Auswertung von echten Daten, durch Versuche zur Infrarotstrahlung oder durch Experimente zur aktiven Schwingungsdämpfung. Und ihre Begeisterung nehmen sie natürlich auch mit in die Schule. Vor uns haben wir mehrere Monitore, die Daten zum Teleskop anzeigen sowie die Bilder von optischen Kameras, mit deren Hilfe das Teleskop sein Ziel findet. Wir dürfen uns auch frei im Flugzeug bewegen, solange wir dem Teleskop nicht zu nahe kommen und peinlich die Sicherheitsvorschriften einhalten – sonst gibt es sofort einen freundlichen Rüffel der NASA-Leute.

Im Flugzeug herrscht über Stunden eine ruhige, konzentrierte Atmosphäre. Das letzte Ziel ist bereits anvisiert, als es doch noch unruhig wird. Die Teleskopsteuerung rea-



Flightaware.com

Der SOFIA-Flug in der Nacht vom 25. auf den 26. März führte von Palmdale (KPMD) aus in nordöstlicher Richtung bis

South Dakota, von dort Richtung Nordwest an den Pazifik und im Zickzack wieder zurück.

giert nicht wie erwartet. Deutsche und Amerikaner diskutieren miteinander und suchen fieberhaft nach einer Lösung. Mehrere Systeme werden neu gestartet, bis die Steuerung nach einer halben Stunde endlich wieder funktioniert, ohne dass die Ursache gefunden worden wäre. Die kostbare Beobachtungszeit ist verloren, denn kurz danach müssen die Piloten bereits den Sinkflug einleiten. Das Tor im Heck schließt sich, und nach fast zehn Stunden landen wir im Morgengrauen wieder in Palmdale. Alfred Krabbe ist ungeachtet des aufgetretenen Problems zufrieden: „Dass dieses Observatorium so durchgeschüttelt wird und dennoch so gut funktioniert, ist erstaunlich und macht wirklich Spaß.“



A. Lischke-Weis, DSI

Alfred Krabbe vom Deutschen SOFIA-Institut (rechts) im Gespräch mit Stefan Jorda.

Während für mich Feierabend ist, machen sich Mitarbeiter von DSI und NASA sofort daran, den aufgetretenen Fehler zu finden. Sie haben wenig Zeit, denn am Abend soll SOFIA wieder starten. Nachdem das Observatorium im vergangenen Jahr die Entwicklungsphase abgeschlossen hat, stehen Michael Hütwohl und sein Team vom DSI sowie die NASA-Kollegen nun vor der Herausforderung, neun Monate lang im Jahr drei bis vier Wissenschaftsflüge pro Woche durchzuführen. Angesichts der Tatsache, dass SOFIA aufgrund einer angekündigten Kürzung des NASA-Budgets wiederholt vor dem Aus stand,³⁾ ist allen Beteiligten klar, dass jetzt vor allem überzeugende wissenschaftliche Ergebnisse notwendig sind, um allen Kritikern den Wind aus den Segeln zu nehmen. Die ersten Ergebnisse, hauptsächlich durch GREAT, sind inzwischen auch veröffentlicht.⁴⁾ „Natürlich muss ein solches Projekt ständig seine wissenschaftliche Relevanz beweisen“, ist sich Hütwohl bewusst, „es hilft ja nichts, ein totes Pferd zu reiten.“ Doch er und seine Kollegen lassen keine Zweifel daran aufkommen, dass SOFIA sehr lebendig und gut aufgestellt ist für die geplanten zwanzig Betriebsjahre. Aus wissenschaftlicher Sicht ist gerade für den ferninfraroten Bereich ohnehin keine Konkurrenz abzusehen.

3) Physik Journal, April 2014, S. 7

4) z. B. Nature 516, 219 (2014); Science 348, 413 (2015)