

Astronomie in luftigen Höhen

Im nächsten Jahr soll SOFIA, das Stratosphären-Observatorium für Infrarot-Astronomie, erstmals sein Teleskopauge auf das infrarote Weltall richten. Dieser Artikel beleuchtet die Anfänge der flugzeuggetragenen Infrarotastronomie in den 1960er Jahren und stellt die neue Sternwarte kurz vor.

Von Cecilia Scorza de Appl

Im Sommer des Jahres 1800 untersuchte der aus Hannover nach England ausgewanderte Astronom Friedrich Wilhelm Herschel (1738–1822) das Spektrum des Sonnenlichts, nicht ahnend, dass er kurz vor einer großen Entdeckung stand. Herschel beschäftigte sich mit dem möglichen Zusammenhang zwischen den Spektralfarben und den Mengen an Wärme, die sie transportieren. Er maß daher die Temperatur an verschiedenen Stellen des Spektrums. Dazu ließ er das Sonnenlicht durch einen Spalt auf ein Prisma fallen, wobei es in die einzelnen Spektralfarben aufgespalten und auf einen Tisch projiziert wurde.

Eine Anekdote berichtet, dass Herschel seine Messanordnung eine Zeit lang unbeachtet ließ (siehe das Gemälde ganz rechts). Als er wieder zurückkam, stand die Sonne etwas tiefer am Himmel und das Spektrum

hatte sich relativ zu den Thermometern verschoben. Zu seiner Überraschung stellte er fest, dass jenseits der roten Farbe des Spektrums, dort, wo das sichtbare Licht aufhört, eines der Thermometer die höchste Temperatur anzeigte. Herschel hatte die unsichtbare Infrarotstrahlung entdeckt und somit – ohne es zu ahnen – ein neues Fenster für die Astronomie geöffnet.

Astronomie mit Wärmestrahlung

Kurz nach der Entdeckung von Herschel versuchten einige seiner Kollegen herauszufinden, ob auch andere Himmelskörper im Infrarotbereich strahlen. So maß der irische Astronom William Parsons, der 3. Earl of Rosse (1800–1867), im Jahre 1845 erstmals die Infrarotstrahlung des Mondes. Der berühmte amerikanische Erfinder Thomas Alva Edison beobachtete 1878 eine Sonnenfinsternis im Infraroten.

Im Jahre 1948 fanden Forscher heraus, dass der Mond mit feinem Staub bedeckt ist. Während einer totalen Mondfinsternis zeigte sich nämlich, dass die Mondoberfläche binnen kurzer Zeit abkühlt. Offenbar dringt die Sonnenwärme nur sehr wenig in die Gesteine der Mondoberfläche ein, und nur die obersten wenigen Zentimeter werden im direkten Sonnenlicht bis zu 120 Grad Celsius heiß. Eine Staubschicht ist ein schlechter Wärmeleiter und isoliert die darunter liegenden festen Gesteine gut.

Dieser Erfolg motivierte die Astronomen, das Weltall systematisch im unsichtbaren Infrarotlicht zu erforschen. Eine besondere Herausforderung lag darin, erst einmal geeignete Detektoren für die Messungen am Fernrohr zu erfinden.

Ein wichtiger Durchbruch gelang im Jahre 1961 Frank J. Low mit der Entwicklung des Germanium-Bolometers. Dieser Detektor konnte den kompletten Infrarotbereich von 790 Nanometern bis zu einem Millimeter abdecken. Im Prinzip handelt es sich dabei um ein hochempfindliches elektrisches Widerstandsthermometer. Als eigentlicher Sensor dient ein mit Gallium dotierter Halbleiterkristall aus Germanium, einem engen Verwandten des Siliziums, dessen elektrischer Widerstand sich durch das Einwirken von infraroter Strahlung ändert. Legt man eine konstante



Wissenschaft in die Schulen!

Infrarotstrahlung sowie ein Modell einer Staubwolke mit »versteckten« Sternen vor. Unser Projekt »Wissenschaft in die Schulen!« führen wir in Zusammenarbeit mit der Landesakademie für Lehrerfortbildung in Bad Wildbad durch. Es wird von der Klaus Tschira Stiftung gGmbH großzügig gefördert.

Didaktisches Material zu diesem Beitrag steht Ihnen kostenlos auf der Website www.wissenschaft-schulen.de zur Verfügung. In diesem stellen wir Experimente zum Nachweis und Absorption der



Das Kuiper Airborne Observatory KAO (links) nahm 1974 den Betrieb auf und war mit einem 91,5-Zentimeter-Spiegelteleskop ausgerüstet. Es blieb bis 1995 im Einsatz und ist der erfolgreichste Vorgänger der neuen Flugzeugsternwarte SOFIA, rechts im Bild.

NASA

Spannung an, so lässt sich die Veränderung des Widerstands sehr genau bestimmen und daraus wiederum die Menge an eingeleiteter Strahlung ableiten.

Atmosphärischer Wasserdampf als Störfaktor

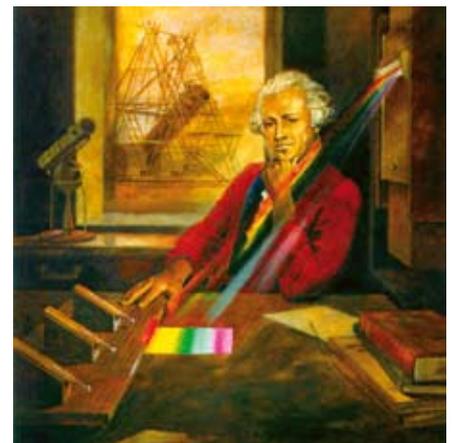
Die Erwartungen der Astronomen waren groß, denn nun ließ sich das Weltall im Infraroten erforschen. Ein großes Hindernis für solche Beobachtungen ist jedoch die starke Absorption der Infrarotstrahlung durch die Erdatmosphäre. Besonders ihr Gehalt an Wasserdampf stört die Messungen sehr. Schon bei relativ geringer Luftfeuchtigkeit waren Messungen im Infraroten praktisch unmöglich, selbst bei wolkenlosem Himmel.

Ein weiteres Problem ist die eigene Infrarotstrahlung des Teleskops und der Atmosphäre aufgrund ihrer Temperatur. Durch Kühlen der Detektoren ließ sich das Rauschen der Messanordnungen reduzieren, und man stellte die Teleskope an möglichst hohen Orten auf, beispielsweise auf dem 4200 Meter hohen Vulkan Mauna Kea auf Hawaii. Hier beträgt der atmosphärische Gehalt an Wasserdampf nur noch etwa 40 Prozent desjenigen auf Meereshöhe (siehe Kasten auf der nächsten Seite). Zudem ließ man kleinere Teleskope an Ballons in Höhen von 20 bis 30 Kilometern aufsteigen, wo der atmosphä-

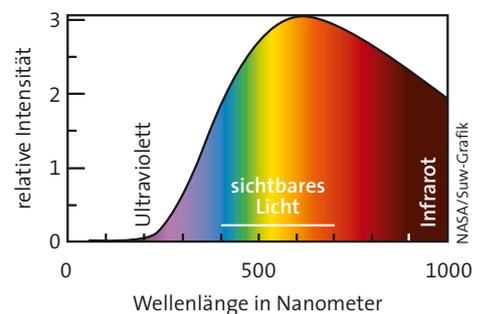
rische Gehalt an Wasserdampf gegenüber Meereshöhe weniger als ein Prozent beträgt. Jedoch lassen sich ballongetragene Teleskope wegen des Aufwands beim Start und der Bergung nicht allzu oft einsetzen. Zudem ist die Größe für derartige Instrumente beschränkt.

Daher kam der aus den Niederlanden stammende US-Astronom Gerard P. Kuiper (1908–1973) in den 1960er Jahren auf den Gedanken, ein Infrarotteleskop an Bord eines Forschungsflugzeugs der US-Raumfahrtbehörde NASA zu montieren.

Obwohl dieses für Studien der Erdatmosphäre gedacht war und deshalb Himmelsaufnahmen mit dem installierten Teleskop nur durch die Flugzeugfenster möglich waren, gelangen sofort erste interessante Entdeckungen. So konnten die Forscher mit dieser Flugzeugsternwarte mit dem Namen Galileo feststellen, dass die dicke Wolkenhülle um Venus nicht, wie bis dahin angenommen, aus Wasserdampf besteht, sondern hauptsächlich aus Schwefelsäure. Die Untersuchung der Saturnringe enthüllte, dass diese vorwiegend aus Wassereis zusammengesetzt sind. Tragischerweise wurde Galileo im Jahre 1973 bei einem Zusammenstoß mit einem anderen Flugzeug zerstört. Ein zweites fliegendes Infrarotobservatorium war aber aufgrund der bis dahin erzielten Erfolge schon im Bau.



NASA

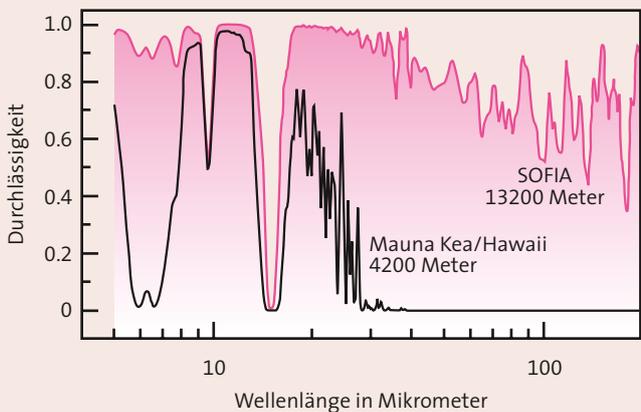


NASA/Suw-Grafik

Der deutschstämmige Astronom William Herschel untersuchte das durch ein Prisma erzeugte Sonnenspektrum unter anderem mit Thermometern (Gemälde oben). Die Sonne sendet neben dem sichtbaren Licht auch kurzwellige Ultraviolettstrahlung und langwellige Infrarotstrahlung aus (unten). Hier ist ein Idealspektrum des Sonnenlichts ohne atmosphärische Absorption zu sehen.

Warum die Infrarotastronomen in die Höhe streben

Die im sichtbaren Licht sehr durchlässige Erdatmosphäre stellt im Infraroten ein erhebliches Hindernis dar. Insbesondere der in der Atmosphäre enthaltene Wasserdampf verschluckt einen Großteil des infraroten Lichts. In dieser Grafik ist die Durchlässigkeit unserer Lufthülle im infraroten Wellenlängenbereich von 5 bis 200 Mikrometern einmal für den Mauna Kea (schwarz) und für die Flughöhe von SOFIA (magenta) darge-



stellt. Dabei steht der Wert 1,0 für völlige Transparenz und 0 für vollständige Absorption. Bei vollständiger Absorption besteht keine Möglichkeit zur Beobachtung.

Um überhaupt erdgebundene Infrarotastronomie betreiben zu können, werden die Teleskope auf hohen Bergen wie dem 4200 Meter hohen Mauna Kea auf Hawaii aufgestellt. Gegenüber der Situation auf Meereshöhe bedeutet dies durch den deutlich verringerten Wasserdampfgehalt bereits eine erhebliche Verbesserung. Dennoch bleiben bedeutende Bereiche des Infraroten für erdgebundene Teleskope unbeobachtbar. Bei Wellenlängen von mehr als 20 Mikrometern ist die Atmosphäre auch in diesen Höhen nach wie vor undurchsichtig.

Sehr viel besser sieht die Lage in der Flughöhe des Flugzeugobservatoriums SOFIA aus: In mehr als 13 Kilometer Höhe über dem Erdboden lässt man mehr als 99 Prozent des atmosphärischen Wasserdampfs unter sich, und das infrarote Licht kann fast ungestört das Teleskop erreichen. Der scharfe Einbruch bei 15 Mikrometern wird durch atmosphärisches Kohlendioxid verursacht. Die anderen Einbrüche sind auf Absorptionen durch weitere atmosphärische Bestandteile zurückzuführen.

Diesmal entfernten die NASA-Ingenieure aus einem kleinen Learjet ein Kabinfenster, um ein 30-Zentimeter-Teleskop einzupassen, das dann ungehindert den Infrarothimmel beobachten konnte. Da der Learjet über keine Druckkabine verfügte, waren die Arbeitsbedingungen für die Astronomen an Bord sehr schwierig. Sie mussten auf dem Boden sitzen und während des Flugs Atemmasken und dicke, steife Wärmeschutzanzüge tragen.

Trotz dieser Schwierigkeiten waren die Forscher sehr erfolgreich. Sie entdeckten, dass Jupiter und Saturn deutlich mehr Wärme abstrahlen, als sie von der Sonne erhalten; offenbar verfügen diese Planeten über interne Energiequellen. Mit hoher Wahrscheinlichkeit handelt es sich im Falle von Jupiter um Kompressionswärme, die durch geringfügiges Schrumpfen des Pla-

neten entsteht. Um die beobachteten Wärmeüberschüsse freizusetzen, muss sich der mehr als 142 000 Kilometer große Gasriese pro Jahr um weniger als einen Millimeter zusammenziehen.

Des Weiteren konnten die Astronomen zum ersten Mal die inneren Bereiche interstellarer Gas- und Staubwolken erkunden, die im sichtbaren Licht wegen der starken Staubabsorption verborgen bleiben.

Das Kuiper Airborne Observatory

Ein weit leistungsfähigeres Flugzeugobservatorium stellte die NASA im Jahre 1974 mit dem Kuiper Airborne Observatory (KAO) in Dienst. In ein Militärtransportflugzeug vom Typ C-141 Starlifter schnitten die NASA-Techniker vor der linken Tragfläche ein Loch in die Außenhaut, das ein Teleskop mit einem Hauptspie-

geldurchmesser von 91,5 Zentimetern aufnehmen konnte. Im Vergleich zu den früheren fliegenden Sternwarten war dies ein deutlicher Fortschritt, denn das neue Teleskop besaß aufgrund seines größeren Spiegels eine viel höhere Empfindlichkeit und räumliche Auflösung.

Zu den bekanntesten Ergebnissen des KAO gehören die im Jahre 1977 entdeckten Uranusringe und der Nachweis der äußerst dünnen Methanatmosphäre des Zwergplaneten Pluto. Zudem konnten die Forscher bestätigen, dass die Kometenkerne zu einem großen Teil aus Wassereis bestehen. Mit KAO ließen sich erstmals auch die Verteilungen von Wasserdampf und organischen Molekülen im interstellaren Raum grob erfassen. KAO wurde im Jahre 1995 außer Dienst gestellt und soll nun im Jahre 2009 vom Stratosphären-Observatorium für Infrarot-Astronomie (SOFIA) abgelöst werden.

SOFIA – Die neue Generation

SOFIA ist ein Gemeinschaftsprojekt des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) und der US-Raumfahrtbehörde NASA. Auf deutscher Seite wird es vom Deutschen SOFIA Institut (DSI) betrieben, das sich an der Universität Stuttgart befindet. Als Plattform für SOFIA dient ein Flugzeug vom Typ Boeing 747 SP, das auch als Jumbojet bekannt ist. Im Vergleich zu seinen Vorgängern ist dieses Flugzeugob-



Das Herzstück des Stratosphären-Observatoriums für Infrarot-Astronomie SOFIA ist das in Deutschland entwickelte und gebaute 2,7-Meter-Spiegelteleskop. SOFIA soll im Herbst 2008 erstmals sein »Auge« öffnen.

servatorium ziemlich luxuriös ausgestattet. Das Langstreckenflugzeug erlaubt Beobachtungszeiten von mehr als acht Stunden, in denen das Flugzeug oberhalb von 13 Kilometern fliegen wird. In dieser Höhe lassen die Astronomen mehr als 99 Prozent des atmosphärischen Wasserdampfs unter sich und können rund 80 Prozent der einfallenden Infrarotstrahlung beobachten.

Das Herzstück von SOFIA, das 17 Tonnen schwere Spiegelteleskop mit einer Öffnung von 2,7 Metern, stellt den deutschen Hauptbeitrag zum Projekt dar. Ein Teleskop, das sich Triebwerksvibrationen, Turbulenzen, Kursänderungen und sich ständig ändernden Windlasten zum Trotz für lange Zeit exakt auf ein Objekt ausrichten lässt, ist eine ingenieurtechnische Meisterleistung. In der Tat lässt sich die auf 0,2 Bogensekunden genaue Ausrichtung des Teleskops mit einem Reiter auf einem galoppierenden Pferd vergleichen, der aus einer Entfernung von 25 Kilometern mit einer Pistole eine Centmünze treffen will. (Technische Details zu SOFIA finden sich in »Sterne und Weltraum« 12/1999, auf den Seiten 1052 bis 1063.)

Beim Start und bei der Landung sowie am Boden wird das Teleskop durch

ein Rolltor geschützt und vor dem Flug auf Betriebstemperatur gekühlt. Für den ersten Betriebszeitraum ist ein Satz von neun Instrumenten vorgesehen, wobei zwei Instrumente, die Spektrometer GREAT und FIFI LS, aus Deutschland kommen. Das Observatorium wurde im Jahre 2006 fertig gestellt, und der erste Flug – noch mit geschlossener Tür – fand im April 2007 statt. Derzeit befindet sich der Hauptspiegel des Teleskops im NASA Ames Research Center in Moffet Field, Kalifornien; er sollte im Juni 2008 seine endgültige Verspiegelung erhalten. Nach einer ausführlichen Testphase dürften die ersten wissenschaftlichen Messungen voraussichtlich ab 2009 beginnen.

Warum noch eine Flugzeugsternwarte?

Im Zeitalter von Weltraumteleskopen erscheint es zunächst unverständlich, warum ein Flugzeug ein sinnvoller Standort für ein Teleskop sein soll. Infrarotteleskope auf Satelliten haben gegenüber SOFIA den großen Vorteil, dass sie bei deutlich niedrigeren Temperaturen arbeiten, wodurch das thermische Hintergrundrauschen sehr gering ist und die Beobachtung sehr schwacher infraroter Quellen möglich

wird. Zudem werden sie von keinerlei Atmosphäre gestört. Dennoch hat eine Infrarot-Flugzeugsternwarte wie SOFIA ihre Berechtigung: So kann mit ihrem leistungsfähigen Teleskop beim Auftreten interessanter kosmischer Ereignisse (Supernovae, Novae, Planetoiden, interessante Kometen, etc.) jeder beliebige Punkt des Nachthimmels rasch beobachtet werden. Auch lassen sich während der auf 20 Jahre angelegten Lebensdauer von SOFIA immer wieder neue Mess- und Beobachtungsinstrumente anbringen und für den weiteren Einsatz auf Satelliten testen.

Weblinks zu diesem Thema finden Sie unter www.astronomie-heute.de/artikel/956692



CECILIA SCORZA DE APPL arbeitet in der Bildungs- und Öffentlichkeitsabteilung des Deutschen SOFIA Instituts (DSI) an der Universität Stuttgart, in der sie didaktische Materialien

zur Infrarotastronomie entwickelt und ein Netzwerk von Partnerschulen in Deutschland betreut. Zudem leitet sie die Astronomieschule e.V. an der Landessternwarte Heidelberg (ZAH) und ist Autorin im WiS!-Projekt.

»STERNE UND WELTRAUM« FÜR SCHULEN

Die Wilhelm und Else Heraeus Stiftung übernimmt erneut im Rahmen der Aktion »Wissenschaft in die Schulen!« für 100 Schulen die Kosten eines Online-Zugangs zum Archiv von »Sterne und Weltraum« für ein Jahr!

Wenn Sie Lehrer an einer Schule in der BRD sind und mit Ihrer Schule teilnehmen möchten, wenden Sie sich bitte innerhalb von vier Wochen nach Erscheinen dieser Anzeige an:

Wissenschaft in die Schulen!

Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH,

Postfach 10 48 40, 69038 Heidelberg, Deutschland

E-Mail: wis@wissenschaft-schulen.de

Voraussetzung für eine Teilnahme ist eine kurze Begründung der Bewerbung, die Angabe von Namen und Anschrift der Schule sowie Ansprechpartner inklusive E-Mail-Adresse.



»Wissenschaft in die Schulen!« bietet monatlich praxisnahes didaktisches Material zu ausgewählten naturwissenschaftlichen Themen und kann in den regulären Unterricht einbezogen werden. Für das Gebiet Physik ist dies dank einer Kooperation des Max-Planck-Instituts für Astronomie in Heidelberg, der Landesakademie für Fortbildung und Personalentwicklung an Schulen, Bad Wildbad, und der Klaus Tschira Stiftung gGmbH möglich. Das Material finden Sie unter www.wissenschaft-schulen.de

Die Wilhelm und Else Heraeus Stiftung ist eine gemeinnützige Stiftung des bürgerlichen Rechts. Ihr Zweck ist die Förderung von Forschung und Ausbildung in den Naturwissenschaften, insbesondere der Physik. Die Stiftung arbeitet eng mit der Deutschen Physikalischen Gesellschaft zusammen.

Eine Initiative von Spektrum der Wissenschaft mit den Schirmherren Max-Planck-Institut für Astronomie und Gesellschaft für Biochemie und Molekularbiologie e. V.

Naturwissenschaftliches Wissen aus erster Hand für Schulen und Schüler

