

seinem Ballonflug und wurde so zum Vater der luftgestützten IR-Astronomie.

Ab nun überschlugen sich die Ereignisse. Ausschlaggebend war einmal mehr die Weiterentwicklung geeigneter Detektoren. Zwischen 1959 und 1961 baute Harold Johnson die ersten Photometer, mit denen NIR bis zum L-Band ($4\ \mu\text{m}$) beobachtet werden konnte. Mit seiner Arbeitsgruppe vermaß er tausende Sterne und führte eine Helligkeitsskala im IR ein. 1961 erfand Frank Low ein Germanium-Bolometer, das mehrere hundertmal empfindlicher als bisherige Detektoren und mit flüssigem Helium auf 4 Kelvin gekühlt erstmals in der Lage war, FIR Strahlung zu beobachten. 1963 wurde ein solches Bolometer per (unbemanntem) Ballon zur Beobachtung des Mars in die Stratosphäre geschickt. Ab 1966 verwendete das Goddard Institute of Space Sciences Ballons, um den Himmel bei $100\ \mu\text{m}$ zu durchmustern. Zahlreiche Länder schufen in den Folgejahren und Jahrzehnten eigene Ballon-gestützte IR-astronomische Forschungsprojekte. Als Beispiel sei hier das argentinische ALIR („Astronomía en el Lejano Infra Rojo“) Projekt genannt (Bild 3).

Dollfus hat 1959 über den Einsatz von Forschungsraketen für die IR-Astronomie spekuliert, allerdings die beschränkte Nutzlast und die Kürze der Beobachtungszeit als begrenzende Faktoren benannt [1]. Schon sechs Jahre nach seiner eigenen Pionierleistung wurde mit einer Aerobee 150 und ca. 100s Beobachtungszeit, bei einer maximalen Nutzlast von 68kg, die weltraumgestützte IR-Astronomie ins Leben gerufen [3]. Sie allerdings ist nicht Inhalt dieses Artikels.

Flugzeugsternwarten, Gegenwart und Ausblick

Nicht nur die Vibration, auch die Geschwindigkeit von Flugzeugen stellt ein Problem dar, wenn es darum geht, mitgeführte Teleskope längere Zeit auf ein Zielobjekt zu fixieren [1]. Diese und andere Probleme sind allerdings nicht prinzipieller, sondern technischer Natur. Wegbereiter zu ihrer Lösung war nach den ersten Versuchen von Blackwell und Dewhirst „Galileo“, eine 1967 zur NIR-Beobachtung der Venus eingesetzte Convair 990. Kurz darauf kam in einem Learjet 24 erstmals eine Technik zum Einsatz, mit welcher die thermische Strahlung der Atmosphäre und der mitgeführten Geräte von den Messwerten subtrahiert werden kann. Noch im gleichen Jahr wurden die ersten Spezifikationen für eine weit größere fliegende Sternwarte definiert. Ab 1969 wurde ein passendes Teleskop mit 91,5 cm Durchmesser entworfen und gebaut, 1970 eine Lockheed C-141A als Träger gekauft und modifiziert. Mitte 1973 begann das „Kuiper Airborne Observatory“ (KAO) in 14 km Höhe seine bis 1995 währende wissenschaftliche Laufbahn. Mit ihr ist eine neue Ära angebrochen. Projekte dieser Größenordnung sind nicht mehr das Produkt einzelner Personen oder kleiner Gruppen, sondern das Resultat langjähriger Planung unter Beteiligung großer, spezialisierter Teams. Ihr Betrieb ist komplex und erfordert ein hohes Maß an Koordination, Management und Geld. Das Ausmaß dieses Organisationsaufwandes, seine historische Genese, die betriebene Wissenschaft, die erforderliche Technik und natürlich die vielen Menschen, die hinter allem stecken - all dies wird ausführlich in [4] beschrieben. Aktuelles Ergebnis dieser Evolution ist SO-



Abb. 5: Japanisches Forschungsprojekt FITE. Gondel an Kran hängend. Gut zu erkennen die seitlich herausragenden Arme des Interferometers.

FIA, das Stratosphären Observatorium für Infrarot-Astronomie. Dies ist eine gemeinsam von den USA (80%) und Deutschland (20%) betriebene fliegende Sternwarte mit einem in einer Boeing 747SP eingebautem 2,5m Teleskop. Mit jährlich über 1000 Stunden wissenschaftlicher Beobachtungszeit dominiert SOFIA die Gegenwart der luftgestützten IR-Astronomie. Flugzeuge können weit schwerere Instrumente transportieren als Ballone. Personal an Bord kann bei technischen Problemen direkt eingreifen und seit KAO dürfen auch Gäste, insbesondere Lehrkräfte, regelmäßig mitfliegen. Wie bei Ballonen (und Raketen) und im Gegensatz zu Satellitenmissionen, können Geräte ausgetauscht, verbessert, repariert und Kühlmittel am Boden nachgefüllt werden, wodurch eine extrem lange Betriebszeit möglich wird.

Wenige Monate nach SOFIAs "first light" im Mai 2010 verstarb Dollfus, ein Jahr zuvor war Frank Low gestorben. Im vergangenen Jahr verlor die IR-Astronomie mindestens drei weitere ihrer hoch fliegenden Pioniere: Charles Townes, James Richard Houck und Hans-Peter Röser. Wie geht es weiter mit der luftgestützten IR-Astronomie? Für längere Zeit wird SOFIA wohl die Beobachtungen aus der niederen Stratosphäre beherrschen. Für Beobachtungen aus 40-50km Höhe allerdings sind Ballone erforderlich. Eine Arbeitsgruppe in Japan entwickelt zurzeit FITE, ein ballon-gestütztes Michelson-Sterninterferometer mit 8m Armlänge (Bild 5), das bei 150 μm eine Auflösung von 4 Bogensekunden erreichen soll. Der Start ist für April 2017 geplant. *

Der Spielraum für den Rumpfdurchmesser von Flugzeugen ist gering. Es kann darüber spekuliert werden, ob die Nutzung der Rumpflänge eines SOFIA-Nachfolgers zur Implementierung eines MIR-Sterninterferometers genutzt werden wird. Die hierfür zu lösenden Probleme wären jedenfalls gewaltig, insbesondere müsste das Flugzeug an mindestens zwei möglichst weit voneinander entfernten Stellen längs des Rumpfes geöffnet sein. ♦

[1] A. Dollfus, Observations astronomiques en ballon libre, *L'Astronomie* 73, 345 ; 411 ; 467 [1959].

[2] D. E. Blackwell, A study of the outer corona from a high altitude aircraft at the eclipse of 1954 June 30, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 115, 629 [1954].

[3] M. Harwitt et al., Results of the First Infrared Astronomical Rocket Flight, *Astron. J.* 71, 1026 [1966].

[4] http://history.arc.nasa.gov/hist_pdfs/nasasp2013-216025.pdf