

## ■ SOFIA hebt wieder ab

Nach der Generalüberholung und Querelen über die Finanzierung steht für das fliegende Infrarotobservatorium nun wieder die Wissenschaft im Vordergrund.

Nach einem turbulenten Jahr haben die Verantwortlichen für das „Stratosphären-Observatorium für Infrarot-Astronomie“ (SOFIA) wieder allen Grund zur Freude: Ende November wurde eine aufwändige Flugzeuginspektion der umgebauten Boeing 747-SP bei Lufthansa Technik in Hamburg abgeschlossen. Nur wenige Tage davor dokumentierte eine Veröffentlichung in „Nature“ die besonderen Beobachtungsmöglichkeiten dieser fliegenden Sternwarte.<sup>§)</sup> Und zwischendrin feierte das Deutsche SOFIA-Institut in Stuttgart seinen zehnten Geburtstag.

Das einzigartige Observatorium erlaubt es, Strahlung im fernen und mittleren Infrarot (FIR bzw. MIR) zu beobachten. Bei diesen Wellenlängen sind interstellare Molekül- und Staubwolken sichtbar, in denen neue Sterne entstehen – ein Prozess, der im Detail noch nicht verstanden ist. Da die Atmosphäre diese Strahlung absorbiert, lässt sie sich nur von Flugzeugen oder Satelliten aus nachweisen. In der Außenhaut der 37 Jahre alten Boeing 747-SP befindet sich daher ein Rolltor, das während des Flugs in 12 bis 14 Kilometer Höhe den freien Blick eines 2,7-Meter-Teleskops auf den Nachthimmel ermöglicht.

Die NASA und das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) betreiben das Observatorium gemeinsam und teilen sich die Betriebskosten von rund 100 Millionen Euro pro Jahr im Verhältnis 80 zu 20. Auf dem europaweit größten Luft- und Raumfahrtcampus der Universität Stuttgart befindet sich das Deutsche SOFIA-Institut (DSI), das im Auftrag des DLR u. a. die Betriebsbereitschaft des in Deutschland gebauten Teleskops sicherstellt und für die Verteilung des deutschen Anteils an der Beobachtungszeit verantwortlich ist. Dazu hat das DSI inzwischen rund 30 Mitarbeiter, von denen zwei Drittel in Kalifornien am Hei-



Am 14. Dezember hob SOFIA in Hamburg ab für den Heimflug nach Kalifornien.

matort von SOFIA arbeiten. „Der Betrieb einer so großen Flugzeugsternwarte war für alle Beteiligten Neuland“, sagte DSI-Direktor Alfred Krabbe bei der Jubiläumsveranstaltung mit Blick auf die vielen Verzögerungen seit Projektbeginn in den 1990er-Jahren.

Neben technischen Problemen, insbesondere mit dem Rolltor, stand SOFIA auch wiederholt aus finanziellen Gründen vor dem Aus. Zuletzt wollte die NASA im Frühjahr 2014 das Budget drastisch zusammenstreichen und das Flugzeug einmotten.<sup>†)</sup> Diese Pläne sind nach Protesten in Deutschland und den USA inzwischen vom Tisch. Eddi Zavala, NASA-Projektleiter für SOFIA, betonte in Stuttgart, dass die Verantwortlichen „ihre Hausaufgaben gemacht“ hätten.

Nach dem Erstflug mit offenem Tor 2009 und wissenschaftlichen Flügen ab 2011 stand für SOFIA im vergangenen Jahr die aufwändigste aller regelmäßig vorgeschriebenen Inspektionen an. Für diesen D-Check haben Techniker und Ingenieure in über 60 000 Arbeitsstunden seit Ende Juni das Flugzeug auf Herz und Nieren geprüft und in diesem Rahmen u. a. die Triebwerke mitsamt Aufhängung und die Fahrwerke abgebaut und überholt oder ersetzt. Die Kosten von rund 12,5 Millionen Euro hat das DLR übernommen, das die Gelegenheit auch nutzte, um Wartungsarbeiten am Teleskop selbst durchzuführen.

Als ein Beispiel der bisherigen Ergebnisse präsentierte Jürgen Stutzki von der Universität Köln bei der Jubiläumsveranstaltung die Beobachtung einer Sternentstehungsregion im Sternbild Schlangenträger.<sup>§)</sup> Dabei gelang es mit SOFIA erstmals, eine Spektrallinie von para- $\text{H}_2\text{D}^+$  im FIR aufzulösen.<sup>‡)</sup> „Das ist eine Trophäe, hinter der alle her waren“, freute sich Stutzki. Kombiniert mit Beobachtungen der entsprechenden Spektrallinie in ortho- $\text{H}_2\text{D}^+$  bei Millimeter-Wellenlängen, die am APEX-Teleskop in Chile durchgeführt wurden, zeigte sich, dass diese Sternentstehungsregion mindestens eine Million Jahre alt ist – im Widerspruch zu Theorien, die eine viel schnellere Sternentstehung vorhersagen.

Ab Januar soll SOFIA nun wieder im Dienst der Wissenschaft

§) S. Brünken et al., Nature 516, 219 (2014)

†) Physik Journal, April 2014, S. 7

‡) Im ortho-Zustand sind die beiden Wasserstoff-Kernspins parallel, im para-Zustand antiparallel.



Im Rahmen der Inspektion wurde die komplette Kabineneinrichtung der Boeing 747-SP demontiert. Im Hintergrund ist das Teleskop zu erkennen (blau).

starten. Die Zahl der Flüge pro Jahr soll von zunächst 80 sukzessive auf 150 steigen. „Heute ist unser wichtigstes Ziel, die Zahl und Qualität der wissenschaftlichen Ergebnisse zu maximieren. Dazu wollen wir SOFIA so professionell und effizient wie eine Fluglinie betreiben“, sagte Alfred Krabbe. Für die nächsten 15 Jahre ist kein anderes Observatorium für den

FIR-Bereich in Sicht, bis zum Start des James Webb Space Telescope in einigen Jahren wird SOFIA auch im MIR-Bereich konkurrenzlos sein. Gegenüber einem Weltraumteleskop hat SOFIA zudem den großen Vorteil, dass die an das Teleskop angeschlossenen Instrumente wie die deutschen Spektrometer GREAT und FIFI-LS immer auf dem neuesten technischen Stand sein können.

In fünf Jahren soll das gesamte Projekt wissenschaftlich evaluiert werden, bevor eine Entscheidung zur Zukunft fällt. Bis dahin ist die Finanzierung des deutschen Anteils gesichert. Da das NASA-Budget aber jedes Jahr neu verhandelt wird, sind weitere Überraschungen nicht ausgeschlossen.

Stefan Jorda

## ■ Upgrade in der Pampa

**Das Pierre-Auger-Observatorium in Argentinien soll erweitert werden, um die Quellen der höchstenergetischen kosmischen Teilchen zu identifizieren.**

Seit über zehn Jahren weist das Pierre-Auger-Observatorium in der argentinischen Pampa die energiereichsten Teilchen nach, die wir kennen. Bis zu 100 Exa-Elektronenvolt (EeV) kann ihre Energie betragen – 100 Millionen Mal höher als die Strahlenergie des Large Hadron Collider am CERN. Welche kosmischen Objekte und physikalischen Prozesse können solche Energien erzeugen? Diese Frage steht im Mittelpunkt des Forschungsprogramms des weltweit größten Observatoriums, dessen 1660 Bodendetektoren sich auf 3000 Quadratkilometer verteilen.<sup>#)</sup> Die bisherigen Daten zeigen allerdings, dass eine Antwort nur mit aufgerüsteten Detektoren möglich sein wird. Die Kollaboration hat sich daher kürzlich auf ein Konzept geeinigt, das ab dem Sommer realisiert werden soll.

Die kosmischen Teilchen selbst erreichen nicht die Erdoberfläche, durch Stöße in der Atmosphäre erzeugen sie aber eine Lawine von Sekundärteilchen, die wie ein viele Kilometer großer Pfannkuchen auf die Erde und das Detektorfeld rast. Aus den Detektorsignalen lassen sich Einfallrichtung und Energie des primären Teilchens recht sicher bestimmen – nicht aber dessen Masse, die essenziell ist für die Interpretation der Daten: Diese deuten darauf hin, dass die energiereichsten Teilchen überwiegend schwere Atomkerne wie Kohlenstoff, Stickstoff und vielleicht sogar



Pierre-Auger-Observatorium

Vier Quadratmeter große Szintillationsdetektoren sollen die mit je 12 000 Litern Wasser gefüllten Cherenkov-Detektoren des Observatoriums ergänzen.

Eisen sind und nicht die ansonsten viel häufiger vorkommenden Protonen. Da schwere Kerne aber auf dem Weg zu uns durch galaktische und intergalaktische Magnetfelder stärker abgelenkt werden, verlieren sie die Richtungsinformation über ihre Quellen. Daher ist eine Himmelskarte der Protonen allein notwendig, um die Quellen identifizieren zu können. Eine Zuordnung der Luftschauer zu Protonen bzw. schwereren Kernen ist auch wichtig, um die beobachtete starke Abnahme des Teilchenflusses bei Energien jenseits von rund 60 EeV korrekt zu interpretieren: Sehen wir hier die Grenzenergie der kosmischen Beschleuniger oder eine Energieschwelle (GZK-Cutoff), die durch Streuprozesse „unterwegs“ mit der Mikrowellen-Hintergrundstrahlung zustande kommt?

Die Luftschauer enthalten immer Elektronen und Myonen, bei

schweren Primärteilchen kommen aber viel mehr Myonen am Boden an als bei Protonenschauern. Daher sollen die Bodendetektoren nun so umgebaut werden, dass sie besser zwischen Elektronen und Myonen unterscheiden können. Im November hat die Kollaboration entschieden, jeden Bodendetektor mit einem darüber montierten Szintillationsdetektor zu ergänzen: Elektronen und Myonen erzeugen verschiedene Signale in den beiden Detektoren und lassen sich so trennen. Die Kosten für den Umbau betragen etwa 12 Millionen Euro und damit rund ein Viertel der ursprünglichen Baukosten. Karl-Heinz Kampert, Sprecher der Kollaboration und Physikprofessor in Wuppertal, ist zuversichtlich, dass die 18 Partnerländer dieses Geld bewilligen werden, einige Zusagen liegen bereits vor. „Verschiedene Begutachtungen unterstützen das Upgrade uneingeschränkt, die Notwendigkeit dafür ist sonnenklar“, sagt er.

Die formale Zustimmung der Geldgeber wird für Mai erwartet, dann würde der Bau der Zusatzdetektoren beginnen und ab Jahresende die etwa zwei Jahre dauernde Montage. Die Datennahme bis 2023 soll dann zeigen, ob sich die mysteriösen Quellen der höchstenergetischen Teilchen im Universum endlich zweifelsfrei identifizieren lassen.

Stefan Jorda

#) Physik Journal, März 2014, S. 29