

BESUCH DES GRÖSSTEN EUROPÄISCHEN SONNENTELESKOPS

Besichtigung von GREGOR auf Teneriffa

von DR. KAI-OLIVER DETKEN, *Grasberg*

Das Sonnenteleskop GREGOR ist Europas größtes Exemplar. Es steht auf dem Berg Izaña auf der Insel Teneriffa und wird vom Observatorio del Teide in einer Höhe von 2400 Metern betrieben. GREGOR wird hauptsächlich zur Untersuchung kleiner Strukturen auf der Sonne eingesetzt und wurde im Mai 2012 offiziell in Betrieb genommen. Es besitzt eine effektive Brennweite von 55,6 Metern und kann durch seine adaptive Optik eine Auflösung von ca. 0,1 Bogensekunden erreichen. Das heißt, man könnte mit ihm theoretisch eine Münze erkennen, die jemand in Barcelona in die Luft halten würde. Führungen können über den Anbieter Volcano Teide [1] auf Teneriffa gebucht werden. Wenn man die Insel besucht und sich für die Astronomie interessiert oder was die Wissenschaftler der Teide-Observatorien beobachten und untersuchen, sollte man eine Besichtigung in seine Reiseplanung mit aufnehmen.

Die Insel Teneriffa ist die größte Insel der Kanaren und gehört zu Spanien. Sie ist 83 Kilometer lang und 54 Kilometer breit und besitzt fast eine Millionen Einwohner. Hinzu kommen fünf Millionen Touristen, die die Insel jedes Jahr besuchen. Es sind also relativ viele Hotels vorhanden, die seit den 1950er Jahren gebaut wurden. Seit diesem Zeitpunkt konnte Teneriffa mit verschiedenen Fluggesellschaften angeflogen werden, im Gegensatz zu den anderen kanarischen Inseln, die erst später von der Touristikbranche entdeckt wurden. Während anfangs nur der Norden der Insel bei Puerto de la Cruz touristisch genutzt wurde, kam nach dem Bau des zweiten Flughafens Teneriffa Süd auch der Süden der Insel mit hinzu. Die vielen Hotels und

Städte verursachen heute eine ziemliche Lichtverschmutzung, die man auch nachts auf dem Teide beobachten kann, wenn die Wolkendecke von unten beschienen wird. Trotzdem besteht seit 1988 für die gesamte Insel eine Lichtverordnung der UNESCO, da das Observatorio del Teide nicht nur die Sonne beobachtet. Durch die Anzahl der Bewohner lässt sich diese aber nicht so konsequent umsetzen wie auf der Nachbarinsel La Palma, die einen noch wesentlich dunkleren Nachthimmel anbieten kann. Trotzdem wurde viel dafür durch verbesserte Straßenbeleuchtungen und Nachtflugverbote getan. Außerdem dürfen die Flugzeuge nicht über den Teide fliegen, obwohl dies oftmals die kürzere Strecke wäre.

Das Hauptwahrzeichen der Insel Teneriffa ist der Pico del Teide, der von jedem Punkt der Insel gut zu erkennen ist. Bereits beim Landeanflug zieht er die Aufmerksamkeit auf sich (siehe Abbildung 1). Und er ist mit 3.715 m Höhe sogar der höchste Berg des spanischen Staatsgebietes. 18.990 Hektar der Bergregion um ihn herum sind als Nationalpark ausgewiesen, der jedes Jahr von Millionen von Touristen besucht wird. Damit ist er einer der meistbesuchten Nationalparks weltweit. 2007 wurde das Gebiet des Nationalparks El Teide von der UNESCO zusätzlich in die Liste des Weltkulturerbes aufgenommen. Aufgrund der klaren Luft und der geringen Lichtverschmutzung beherbergt die Umgebung des Teide mehrere Teleskope des Observatorio del Teide für die astronomische Forschung (siehe Abbildung 2). Diese liegen ca. 13 km nordöstlich des Gipfels in rund 2.400 m Höhe. Der Nationalpark El Teide und seine Gipfel haben außerdem die Zertifizierung „Starlight“ als Reiseziel und Reservat von der UNESCO erhalten.

Flora und Fauna Teneriffa besitzt wie alle anderen kanarischen Inseln ein ganzjährig mildes Klima, aufgrund der Nordost-Passatwinde. Im Dezember lagen beispielsweise die Temperaturen um die 24 Grad bei schönem Wetter, können bei Regen aber auch auf 16 Grad fallen.

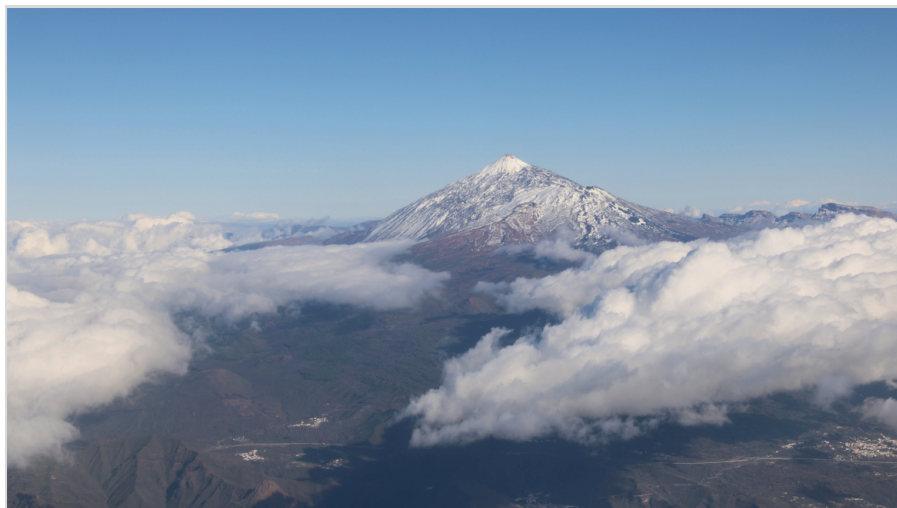


Abb. 1: Das Wahrzeichen von Teneriffa – der Pico del Teide – beim Anflug auf die Insel.
Alle Abbildungen vom Autor.

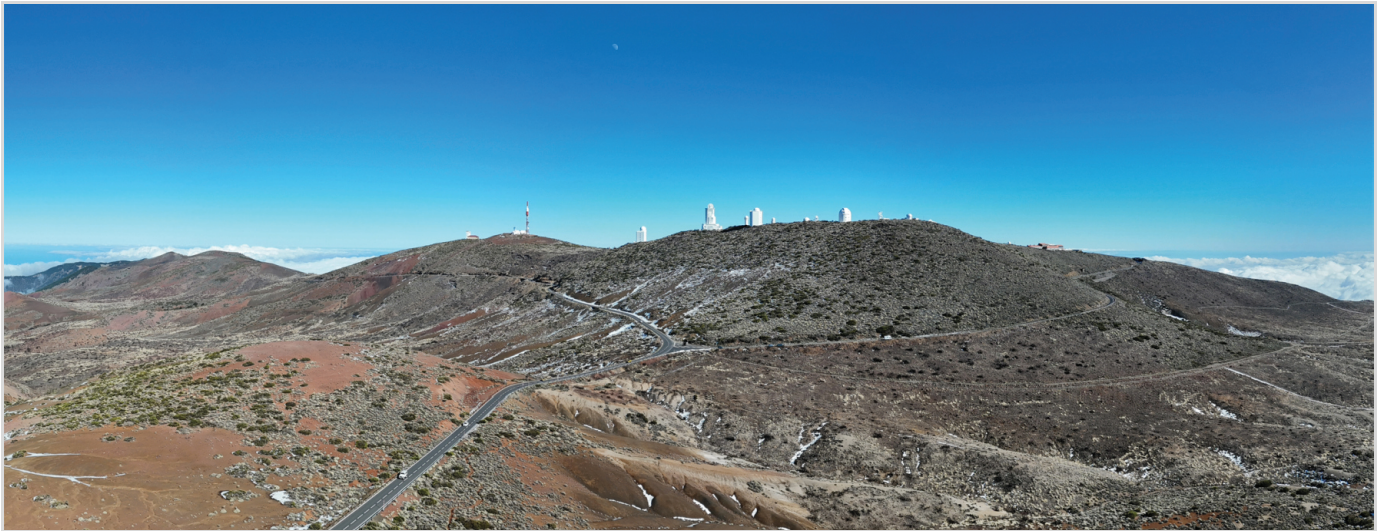


Abb. 2: Observatorio del Teide auf dem Berg Izaña im Nationalpark des Pico del Teide.

Tagsüber steigt Wasserdampf vom Meer auf und bildet in ca. 1000 bis 1500 Metern Wolken, die beim Kontakt mit den Lorbeer- und Kiefernwäldern einen feinen Nieselregen abgeben. Das bringt auf der Nordseite der Insel einen entscheidenden Vorteil für die Landwirtschaft, aber natürlich auch für die Vegetation, die zahlreiche Pflanzenarten aufweist, die oft nur auf den Kanaren zu sehen sind. Die kanarische Kiefer bildet große Wälder, während der kanarische Drachbaum der bekannteste Vertreter seiner Art ist und zur Familie der Spargelgewächse gehört. Das größte und älteste Exemplar von ihm ist bei Icod de los Vinos zu finden. Neben den einheimischen Pflanzen prägen auch viele Pflanzen aus der ganzen Welt die Insel, die Seefahrer in der Vergangenheit bei ihren Besuchen

einführten. Aus Amerika stammen beispielsweise verwilderte Kakteen sowie die riesigen Sträucher des Weihnachtssterns. Die Strelitzie (siehe Abbildung 3) ist besonders beliebt bei Touristen, kommt aber ursprünglich aus Südafrika. Auch sehr bekannt und beliebt ist die Aloe-Vera-Pflanze, die als Hautpflegeprodukt in Form von Cremes, Saft oder Gel auf den Kanaren angeboten wird. Ihre heilende Wirkung war schon den Ureinwohnern der Insel, den Guanchen, bekannt. Fast alle Pflanzenarten stehen heute unter strengem Artenschutz. Eine Ausfuhr von Pflanzen, Pflanzenteil oder Samen ist daher verboten.

Die Tierwelt auf Teneriffa, wie auch auf den anderen kanarischen Inseln ist hingegen sehr übersichtlich. Verwilderte Hauskatzen und eingeführte Wildkanin-

chen lassen sich nennen. Raubtiere oder giftige Schlangen hat es nie gegeben, was auch das Beobachten unter nächtlichem Himmel entspannter gestaltet, als in anderen Ländern. Die Vogelwelt ist hingegen reichlich vertreten, wodurch die Inseln auch ihren Namen erhalten haben. Denn die Wildform des Kanarienvogels oder der Kanarengirlitz sind hier vertreten. Eine weitere typische Art ist der Teydefink. Neben den Vögeln sind Kanaren-Eidechsen weit verbreitet. Sie können eine Länge von 44 Zentimetern erreichen. Sie sind oftmals sehr unterschiedlich gefärbt und gekennzeichnet (siehe Abbildung 4). Zusätzlich gibt es viele Schmetterlingsarten, wie der Kanaren-Weißling, der Kanarische Admiral und das Kanaren-Waldbrettspiel. Im Wasser um die Kanaren herum tummeln sich zudem Grindwale, die Delfine sehr ähnlich sehen und auch nicht viel größer werden, aber eben zur Familie der Wale gehören.

Besuch der Sonnentelkope Wenn man das Observatorio del Teide besichtigen möchte, sollte man sich beim Anbieter vor Ort Volcano Teide vor der Reise schon mal einen Besuchstermin sichern. Man kann zwar ohne Führung auch zu den Observatorien fahren, kommt dann aber nicht auf das Gelände. Über die Webseite des Anbieters ist eine Buchung



Abb. 3: Kanarische Strelitzie, die ihren Ursprung in Südafrika hat.



Abb. 4: Männliche Kanaren-Eidechse, die aus einer kanarentypischen Natursteinmauer lugt.

ohne Probleme möglich, so dass man mit einem Guide das Gelände betreten darf (siehe Abbildung 5). Als Sprache werden Spanisch, Englisch und Deutsch angeboten. Wir hatten eine nette Schweizerin als Begleitung, die uns als Gruppe mehrere Stunden dort herumführte. Dabei betritt man allerdings die Sonnenobservatorien nicht direkt, was wohl nur einmal im Jahr zur Sommersonnenwende zum „Tag der offenen Tür“ gestattet wird. Aber man läuft auf dem Gelände herum und darf sogar durch extra aufgebaute Sonnentelkope die Sonne selbst beobachten (siehe Abbildung 8). Beispielhaft wurde auch ein kleineres Observatorium besichtigt, um dort die Arbeiten vor Ort zu erklären. Im Dezember war es sehr ruhig vor Ort, da sich alle im Weihnachtsurlaub befanden. Aber das machte die Besichtigung nicht weniger interessant.

Folgende Sonnentelkope und Sonnenlaboratorium lassen sich vom Observatorio del Teide nennen:

a. Vakuumturmteloskop (VTT) [2]: wird hauptsächlich zum Studium der Atmosphäre der Sonne eingesetzt. Der Durchmesser des Hauptspiegels beträgt 70 cm.

b. THEMIS [3]: wurde zum Studium der Magnetfelder der Sonne gebaut. Das

Projekt basiert auf einer Zusammenarbeit von Frankreich und Italien.

c. GREGOR [4]: ein Sonnenteloskop mit 1,5-Meter-Hauptspiegel, das in Kooperation von KIS, MPS und AIP im Jahr 2012 entstanden ist.

d. Chromospheric Telescope (ChroTel): robotisches Teleskop mit 10 cm Öffnung zur Beobachtung der ganzen Sonnenscheibe, installiert am VTT.

Das Vakuum-Turm-Teleskop (VTT) steht im Besitz des Kiepenheuer-Instituts für Solarphysik (KIS) in Freiburg (Deutschland) und wurde Ende der 1980er Jahre auf Teneriffa errichtet (siehe Abbildung 6). Mit ihm ist es möglich,

die Dynamik, Struktur und chemische Zusammensetzung der Atmosphäre der Sonne zu untersuchen, sowie Erkenntnisse über die Granulierung der Sonne zu gewinnen. Für diese Art von Beobachtungen, die eine hohe räumliche Auflösung verlangen, verfügt es über einen „Solarkorrelator“. Dieses Instrument ist das einzige seiner Art und wurde vom Institut für Astrophysik der Kanarischen Inseln entwickelt. Das robotische Teleskop ChroTel ist zusätzlich am VTT installiert worden, um den Überblick über die gesamte Sonnenscheibe als Vergleich zu bekommen. Als Vakuumteleskop besitzt es im Inneren keine Luft, damit der Brennpunkt im Vakuum liegt. So können Bildunruhen durch Aufheizung vermeiden und durch eindringende Wärmestrahlung keine Luftturbulenzen erzeugt werden. Konzipiert wurden das VTT und seine Postfokus-Instrumente in den 1970er-Jahren, als der photographische Film noch das Aufzeichnungs- und Archivierungsmedium der Wahl war. Daher waren drei Dunkelkammern integriert. Das VTT ist mit einem Primarspiegel von 70 cm Durchmesser und einem vertikalen Spektrographen von 15 m Länge ausgerüstet. Mit dem fest eingebauten Teleskop wird das Sonnenlicht über zwei bewegliche Coelostaten-Spiegel empfangen, die einen Durchmesser von 80 cm haben. Das Teleskop des VTT besteht



Abb. 5: Auf dem Gelände des Observatorio del Teide.

dabei aus einem sphärischen Spiegel einer Brennweite von 46 m und einem ebenen Umlenkspiegel auf einer Spindel in einem 30 m hohen vertikal ausgerichteten Vakuumtank. Die Eintrittsöffnung des Tanks am oberen Ende wird von einem Glasfenster mit 75 cm Durchmesser und 7 cm Dicke verschlossen. Der Hauptspiegel befindet sich am unteren Ende des Tanks auf der Höhe des zweiten Obergeschosses des Gebäudes. Das von ihm reflektierte, gebündelte Licht wird am oberen Ende des Tanks von dem Umlenkspiegel wieder nach unten gelenkt, wo es durch ein weiteres Fenster mit 20 cm Durchmesser kurz vor der Brennebene den Tank verlässt. Der Hauptspiegel ist um wenige Grad nach Westen verkippt, dadurch ist die Abschattung des einfallenden Bündels durch den Umlenkspiegel minimal. Der Umlenkspiegel kann auf seiner Spindel vertikal verfahren werden, um die axiale Position der Brennebene im Labor einzustellen. Während des Betriebs ist der Tank evakuiert auf weniger als 1 Torr, um ein Aufheizen der Luft im Teleskop durch die Sonnenstrahlung und die damit verbundenen Turbulenzen (internes Seeing) zu verhindern. Der Vorteil eines Coelostaten-Systems ist, dass die Orientierung des Sonnenbildes im Labor konstant bleibt. Im Strahlengang ist eine adaptive Optik zur Korrektur der durch Seeing verursachten Bildverschlechterung integriert.

THEMIS ist ein Heliograph-Teleskop, das zur Erforschung des Magnetismus und der Instabilitäten auf der Sonne vom Observatorium Meudon-Paris entwickelt wurde. Es besitzt einen Durchmesser von 90 cm und ermöglicht es, die Intensität und Ausrichtung des Magnetfeldes der Sonne zu untersuchen. Eine der Charakteristiken von THEMIS ist seine Fähigkeit, simultan auf verschiedenen Banden zu operieren. Darüber hinaus ist es mit THEMIS möglich, experimentelle Daten über die Atmosphäre der Sonne in



Abb. 6: Die beiden großen Sonnentelkope GREGOR und VTT (von links nach rechts).

drei Dimensionen zu erhalten. Heute wird THEMIS in Zusammenarbeit zwischen Italien und Frankreich betrieben. Höhepunkt ist natürlich das Sonnentelkop GREGOR, das als Nachfolger des VTT gebaut wurde (siehe Abbildung 6 und 7). Mit einer Apertur von 1,5 m ist es bisher das größte Sonnentelkop Europas. Es liefert hochaufgelöste Bilder sowie spektro-polarimetrische Messungen kleinräumiger Magnetfelder in der solaren Photosphäre und Chromosphäre. Da es mehrere Spektralbereiche gleichzeitig beobachten kann, können Spektrallinien aus unterschiedlichen Höhen der Sonnenatmosphäre gleichzeitig erfasst werden. Dies ermöglicht eine detaillierte Untersuchung der magnetischen Kopplung zwischen dem Sonneninneren und der äußeren Atmosphäre, insbesondere der Korona. Das Sonnentelkop GREGOR wird von einem deutschen Konsortium, bestehend aus dem Institut für Sonnenphysik (KIS), dem Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam (AIP) und der Max-Planck-Gesellschaft, vertreten durch das Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung (MPS) in Göttingen, betrieben. Die wissenschaftlichen Instrumente werden sowohl von den Konsortiumspartnern, als auch von dem Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) entwickelt und betrieben.

GREGOR ist auf einer Altazimut-Mon-

terung installiert, die eine präzise Nachführung der Sonne über den Himmel ermöglicht. Das Teleskop verwendet eine Doppel-Gregory-Konfiguration (daher auch sein Name) mit zwei Brennpunkten und drei abbildenden Spiegeln im axial-symmetrischen Teil der Teleskopstruktur. Ein vierter Spiegel lenkt den Strahl aus der Höhenachse heraus und leitet ihn über eine Reihe flacher Spiegel in den Instrumentenraum. Am ersten Brennpunkt (hinter dem Hauptspiegel mit einer Brennweite von 2,5 m) wird ein Bild der gesamten Sonnenscheibe erzeugt. Der Rest des Sonnenlichts wird zurück in den Himmel reflektiert, um Streulicht in den nachfolgenden optischen Komponenten zu vermeiden. Der elliptische Sekundärspiegel erzeugt das Bild am zweiten Brennpunkt, der sich innerhalb des axialsymmetrischen Teils des Teleskops befindet. Dort ist eine polarisationsoptische

Kalibrationseinheit installiert, die zur Modellierung der instrumentellen Polarisation des Teleskops dient und es ermöglicht, die tatsächlichen polarimetrischen Signale der Sonne korrekt zu bestimmen. Diese Kalibrationseinheit kann wahlweise in den Strahlen ein- und ausgefahren werden. Ein Bild-Derotator ist ebenfalls enthalten, mit dem die Bildrotation relativ zum Spalt eines Spektrographen kompensiert werden kann. Ein kleiner Teil des sichtbaren



Abb. 7: Sonnenteleskop GREGOR – Europas größtes Sonnenteleskop.

Lichts wird dem Wellenfrontsensor zugeführt, um eine Echtzeitkorrektur der atmosphärischen Verzerrungen zu ermöglichen.

Angestrichen sind alle Sonnentelkope mit blendend weißer Farbe, die einfallende Sonnenwärmestrahlung reflektieren und eine Überhitzung der Anlagen verhindern soll. Das VTT sieht von außen dabei etwas in die Jahre gekommen aus, weil die Farbe langsam abblättert. Auf der Leistungsfähigkeit des Teleskops hat dies allerdings keinen Einfluss. Je höher der jeweilige Sonnenturm ist, desto besser. Denn nur auf diese Weise lässt sich der von der Sonne erwärmte Erdboden, über dem turbulente Luftschichten entstehen können, auf Distanz halten.

Zum Observatorio del Teide gehört auch ein Besucherzentrum, das in einer leerstehenden Kuppel untergebracht und mit einigen Ausstellungsobjekten ausgestattet wurde, die der Verbreitung der wissenschaftlichen Erkenntnisse dienen. Es bietet 40 Personen Platz und wird benutzt, um den Besuchern zu erklären, woraus ein Observatorium besteht, wie Teleskope funktionieren und welche Bedeutung die Astronomie für die Menschen besitzt. Auch wurden hier hochauflösende Bilder der Sonne vorgeführt. Spannender war es allerdings für die meisten Besucher die Sonne live mit eigenen Augen beobachten zu können. Dafür war auf dem Au-

ßengelände ein LUNT LS130MT für die H-Alpha-Beobachtung und ein TS PHOTOLINE 130 mm-f7-Triplett-APO mit Baader-Herschelkeil für die Weißlichtbeobachtung aufgebaut. Beide besitzen eine Brennweite von 910 mm, weshalb die Sonne in gleicher Größe abgebildet wurde. Interessanterweise besitze ich selbst beide Geräte, wenn auch das kleinere LUNT LS60MT mit 420 mm Brennweite, so dass ich das Beobachtungserlebnis kommentieren und für die anderen Beobachter die Fokussierung anpassen konnte. Denn offiziell durfte man die Geräte nicht anfassen. Und da momentan die Sonne sehr aktiv ist, machte auch die Beobachtung vor Ort richtig viel Spaß. Die Sonnenflecken waren dabei mit dem TS PHOTOLINE besser beob-

achtbar, während die Protuberanzen ausschließlich mit dem LUNT sichtbar waren. Das Titelblatt der aktuellen HiPo zeigt ein Beispiel, was im H-Alpha-Bereich auf der Sonne zu sehen ist und das mit einem LUNT-Teleskop aufgenommen wurde. Abbildung 9 zeigt hingegen die Sonne im Weißlicht, wie ich sie vor Ort mit meinem Teleobjektiv gesehen und aufgenommen habe. Dabei ließen sich einige Fleckengruppen erkennen, was den Blick auf die Sonne noch einmal interessanter gestaltete.

Nachtteleskope von Observatorio del Teide

Neben den Sonnentelkopen sind aber auch Nacht- und Radioteleskope auf dem Berg Izaña in Benutzung, obwohl die wissenschaftliche Untersuchung der Sonne der Hauptschwerpunkt ist:

a. Telescopio Carlos Sanchez (TCS) [5]: besitzt einen 1,52-Meter-Hauptspiegel. Es wurde 1972 von Großbritannien aufgebaut und ist seit 1982 im IAC beheimatet. Das TCS ist für Infrarotbeobachtungen optimiert.

b. Mons-Teleskop [6]: hat einen Reflektor mit einem Durchmesser 50-Zentimeter, der 1972 von der Universität Mons (Belgien) für nächtliche Beobachtungen in der Ausbildung gebaut wurde.

c. IAC-80-Teleskop [7]: besitzt einen 80-Zentimeter-Hauptspiegel und ist für



Abb. 8: Gemeinsames Beobachten der Sonne in H-Alpha und Weißlicht.

Beobachtungen im optischen Bereich ausgelegt. Es wurde vollständig vom IAC konzeptioniert und gebaut und war das erste seiner Art, das in Spanien entwickelt wurde.

d. Optical Ground Station (OGS) [8]: besitzt einen 1-Meter-Hauptspiegel und wird von der ESA seit 1998 zur Satellitenkommunikation mit Laser, für optische Bahnbestimmung und Identifikation von Objekten und Weltraummüll in Erdumlaufbahnen und zur Bahnverfolgung von erdnahen Asteroiden.

e. Laser-Ranging-Station Izaña 1 (IZN-1) [9]: ist in der Lage Trümmer per Laser in großer Entfernung zu erfassen und ihre Position und Bahndaten bis auf wenige Zentimeter genau zu bestimmen.

f. STellar Astrophysics & Research on Exoplanets (STARE) [10]: besitzt einen 9,9-Zentimeter-Schmidtspiegel und sucht seit 2001 Exoplaneten. STARE ist Mitglied des Trans-Atlantic Exoplanet Survey (TrES) Netzwerks. Dies besteht aus diversen kleinen Teleskopen, das bereits erfolgreich den Exoplaneten TrES-1 entdeckt hat.

g. Bradford Robotic Telescope (BRS) [11]: vollautomatisches Remote-Teleskop, das vollautomatisch Beobachtungsaufträge abarbeitet und von jedem genutzt werden kann. Als Hauptteleskop kommt ein Schmidt-Cassegrain Celestron C14 zum Einsatz.

h. STELLare Aktivität (STELLA) [12]: ist ein robotisches Doppelteleskop mit zwei 1,2-Meter-Hauptspiegeln vom Astrophysikalisches Institut Potsdam (AIP), die 2006 in Betrieb genommen wurden. STELLA ist ein langfristig angelegtes Projekt, das Spuren von Sternaktivität auf kühlen Sternen über einen langen Zeitraum überwachen soll.

i. SLOOH [13]: ist ein Remote-Teleskop von Slooh aus den USA für Amateurastronomen, das 2004 in Betrieb genommen wurde. Es ermöglicht dabei eine Live-Betrachtung durch ein Teleskop über das Internet und besitzt auf die da-



Abb. 9: Sonnenfleckengruppen der Sonne im Weißlicht.

für notwendige Software auch ein Patent. Weitere Remote-Teleskope werden in Chile und Australien betrieben.

j. Asteroid Terrestrial-impact Last Alert System (ATLAS) [14]: ist ein automatisches astronomisches Frühwarnsystem für Asteroiden und deren mögliche Einschläge. Es wurde vom Institut für Astronomie der Universität Hawaii gegründet und 2025 in Betrieb genommen.

k. Very Small Array (VSA) [15]: ist ein Radiointerferometer, das speziell zur Untersuchung der kosmischen Hintergrundstrahlung entwickelt wurde. Das Array bestand aus 14 Horn-Reflektor-Antennenelementen, die auf einer neigbaren Plattform montiert waren und im Frequenzbereich von 26-36 GHz arbeiteten. Es entstand in Zusammenarbeit zwischen der Universität Cambridge, der Universität Manchester und dem Instituto de Astrofísica de Canarias (Teneriffa). Der wissenschaftliche Betrieb wurde im Jahr 2008 eingestellt.

Das Telescopio Carlos Sanchez (TCS) befindet sich im Teide-Observatorium des Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC). Es verfügt über einen Hauptspiegel mit einem Durchmesser von 1,52 Metern und ist hauptsächlich für Nacht-

beobachtungen im Infrarotbereich ausgelegt. Sein Entwurf und Bau wurde von Prof. J. Ring (ICSTM) in Zusammenarbeit mit anderen Gruppen aus Großbritannien und dem IAC geleitet, 1971 in Betrieb genommen und 1972 in Dienst gestellt. Nach zweijähriger Suche nach dem besten Standort zwischen Teneriffa, La Palma und der Sierra Nevada wurde das TCS schließlich auf Teneriffa installiert. Das Gesamtbudget für das Teleskop betrug nur 70.000 Euro. Überraschenderweise ist das TCS-Teleskop heute eines der größten Teleskope der Welt für die Infrarotastronomie.

Die Optical Ground Station (OGS) auf Teneriffa, Spanien (IAU-Code J04), ist eine Bodenstation der ESA zur Laserkommunikation mit Satelliten und ein optisches Teleskop (siehe Abbildung 10). Sie ist ebenfalls in das IAC-Institut integriert und nutzt die guten Wetter- und Sichtbedingungen an diesem Standort über der Wolkendecke in Äquatornähe. Das 1-Meter-Teleskop von Zeiss hat eine Brennweite von 13,3 Metern und ein weites Sichtfeld, das größer als der Durchmesser des Vollmondes ist. Der 16-Megapixel-Sensor ist mit flüssigem Stickstoff gekühlt und das Teleskop hat eine englische Montierung. Das Teleskop wurde vor dem Zusammenbruch der Sowjetunion bei Zeiss Jena in Auftrag gege-



Abb. 10: Optical Ground Station (OGS) zur Beobachtung von Weltraumschrott und erdnahen Asteroiden.

ben und fertiggestellt, konnte dann aber nicht mehr an den russischen Auftraggeber ausgeliefert werden und sollte deswegen verschrottet werden. Das DLR sicherte sich vorerst das Eigentum am Teleskop, der Steuerelektronik und der Kuppel und suchte anschließend einen passenden Ort, um dieses Teleskop aufzubauen und betreiben zu können. Die Wahl fiel dann auf das Observatorio del Teide auf Teneriffa, da die Äquatornähe vorteilhaft für die Beobachtung von Satelliten in geostationären Umlaufbahnen ist. Das IAC erlaubte der ESA, dort das Teleskop aufzubauen und die Infrastruktur zu nutzen, im Austausch für 25 % der Beobachtungszeit. 1994 wurde mit dem Bau begonnen und vom spanischen König Juan Carlos 1996 eingeweiht. First Light war aber erst im Jahr 1997, da die eigentliche Nutzung für den ursprünglich geplanten Zweck der Laserkommunikation sich verzögerte. Am 15. November 2001 wurde zum ersten Mal das Signal vom Kommunikationssatellit Artemis aufgefangen und kurze Zeit später eine Datenverbindung aufgebaut. Das Teleskop kann außerdem per Laserlicht einen künstlichen Leitstern im Natrium-Band in der Mesosphäre projizieren und damit die übrigen Teleskope mit adaptiver Optik unterstützen. Im Jahr 2019 wurde die Station selbst mit einer adaptiven Optik ausgebaut und 2021 mit dem Satelliten

Alphasat I-XL getestet und abgenommen. Die Station dient zur Erprobung von Laserkommunikation, für optisches Tracking und Bahnbestimmung von Satelliten und Weltraumschrott und zur Beobachtung von erdnahen Asteroiden und ist damit ein Teil des Space-Safety-Programms der ESA. Im Zeitraum von zehn Nächten rund um Neumond überwacht das Teleskop den ganzen sichtbaren Himmel im optischen Bereich auf kleine Teile von Weltraumschrott und vier weitere Tage im Monat dienen der Verfolgung von erdnahen Asteroiden. Auf diese Weise gehen die gefundenen Objekte nicht verloren, und ihre Bahndaten können mit neuen Beobachtungen aktualisiert werden. In der übrigen Zeit ist es ein automatisiertes Teleskop im Wissenschaftsbetrieb.

Ergänzt wird die Optical Ground Station (OGS) durch die Laser-Ranging-Station Izaña 1 (IZN-1). Es wurde im Frühjahr 2022 errichtet und steht in unmittelbarer Nachbarschaft zum OGS. Die Station wurde vom deutschen Unternehmen DiGOS im Auftrag der ESA eingerichtet und betrieben und ist Teil des ESA Space-Safety-Programms. Die Station wurde 2021 vorläufig mit einem Laser von 150 mW ausgerüstet, der nur für das Ranging von Satelliten mit Retroreflektoren geeignet ist, soll aber mit einem 50 Watt Infrarotlaser ausgebaut werden, der

dann Ranging von älteren Satelliten ohne Retroreflektoren oder von Trümmerteilen ermöglicht. Das Verfahren nennt sich Satellite Laser Ranging (SLR), das wie folgt funktioniert: um Entfernungen mit Lasern zu messen, werden kurze Lichtpulse durch ein Teleskop zu einem Satelliten ausgesendet. Dort wird das Licht über Reflektoren (Tripelprismen) wieder in das Teleskop zurückgeleitet, wo der Puls detektiert wird. Dabei wird die Pulslaufzeit gemessen. Die Lichtgeschwindigkeit ist bekannt, weshalb man aus der Zeit, die zwischen Senden und Empfangen des Laserpulses vergeht, die Strecke berechnet werden, die das Licht zurückgelegt hat. Daraus kann wiederum der Abstand zum Satelliten abgeleitet werden. Mit diesen Messungen von verschiedenen global verteilten Stationen können Satellitenbahnen, die Erdrotation, die Koordinaten der Beobachtungstationen und das Massenzentrum der Erde sehr genau bestimmt werden. Ein Sicherheitssystem verhindert, dass der Laserstrahl in die Nähe eines Flugzeugs gerichtet wird oder in das Gesichtsfeld eines benachbarten Teleskops gelangt. Die Station wird komplett ferngesteuert betrieben, kann auch für Laserkommunikation eingesetzt werden und mithilfe von Filtern auch bei Tag betrieben werden.

Das Observatorium STELLare Aktivität (STELLA) vom Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam (AIP) besteht hingegen aus zwei robotischen 1,2-Meter-Teleskopen. Die Instrumente bestehen aus dem hochauflösenden Spektrographen STELLA Échelle Spektrograph (SES) und der Weitfeld-Kamera Wide Field STELLA Imaging Photometer (WiFSIP). SES ist ein moderner Weißlicht-Pupillen-Spektrograph mit einer spektralen Auflösung von 55.000 und einem festen Wellenlängenbereich von 390 bis 870 nm. Das Instrument befindet sich in einer thermisch isolierten Box in einem temperaturstabilisierten Raum. Eine 24 m lange Glasfaser mit 50 µm



Abb. 11: Panoramabild des Pico del Teide mit dem Nationalpark.

Kerndurchmesser führt das Licht vom Teleskop zum Spektrographen. Das WIFSIPi-Instrument ist die großformatige CCD-Kamera und Photometer. Es bietet ein Gesichtsfeld von 22 x 22 Bogenminuten bei einem Abbildungsmaßstab von 0,32 Bogensekunden/Pixel. Der Detektor besitzt eine Größe von 4096 x 4096 Pixeln, mit einer Pixelgröße von 15 μm und einer Quanteneffizienz > 90 %, das vom Imaging Technology Laboratory (ITL) von der University von Arizona produziert wurde. Durch SES und WIFSIPi lassen sich daher gleichzeitig Spektrografie und Photometrie durchführen, um eine stellare Tomografie anfertigen zu können. Die Teleskope wurden 2006 eingeweiht und befinden sich seitdem in vollem robotischen Betrieb. Die Kernaufgabe von STELLA ist die Untersuchung der magnetischen Aktivitäten auf kühlen Sternen, einschließlich der Analyse von Sternflecken, Magnetfeldern und Rotationsperioden. Außerdem ist STELLA darauf spezialisiert, Planeten außerhalb unseres Sonnensystems zu entdecken, wenn diese vor ihren Sonnen vorbeiziehen (Transitbeobachtung). STELLA sammelt kontinuierlich Daten über aktive Sterne, was für das Verständnis der Sternentwicklung entscheidend ist.

Das Asteroid Terrestrial-impact Last Alert System (ATLAS) ist ein international etabliertes Frühwarnsystem zur Entdeckung erdnaheer Asteroiden und wird von der University of Hawaii betrieben sowie von der NASA gefördert. Dieses Netzwerk dient dazu, potenziell gefährli-

che Objekte frühzeitig zu identifizieren und trägt somit wesentlich zur globalen Sicherheit bei. Es wurde von Baader Planetarium umgesetzt und besteht aus vier Celestron RASA 11-Zoll-Teleskopen auf einer sonderangefertigten L-550-Montierung von PlaneWave. Davon gibt es vier Stück, so dass 16 Teleskope gleichzeitig zum Einsatz kommen. Jedes C11-Teleskop ist mit einer UFC-Filterschublade und UV-/IR-Filtern ausgerüstet. Dadurch lässt sich eine effiziente Kartierung des Himmels umsetzen.

Abschließend konnte noch einmal exemplarisch ein Blick in eine Sternwartenkuppel für ein Nachtteleskop geworfen werden. Diese bestand aus einem großen Reflektor-Teleskop und drei gekühlten Kameras, die im Parallelbetrieb eingesetzt werden. So lassen sich RGB-Aufnahmen gleichzeitig erstellen, genauso wie Schmalbandaufnahmen in H-alpha, [OIII] und [SII]. Das Teleskop wird dabei komplett remote betrieben. Allerdings war der Spiegel mit einer Schutzplatte versehen, die ihn vor Staub und Schmutz schützen soll. Diese muss ein Techniker abnehmen, bevor abends das Teleskop seinen Betrieb aufnehmen kann. Es geht in diesem

Fall also dann doch nicht ganz ohne Personal vor Ort.

Zusammenfassung Das Observatorio del Teide gehört zum Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) und bildet zusammen mit dem Roque-de-los-Muchachos-Observatorium auf La Palma das European Northern Observatory. Im Jahr 1964 wurde es gegründet. Durch die fortschreitende Besiedlung Teneriffas, die durch den zunehmenden Tourismus verursacht wurde, litten allerdings im Laufe der Zeit die anfänglich hervorragenden Bedingungen für die nächtliche Himmelforschung. Aus diesem Grund hat sich das Teide-Observatorium auf die Sonnenbeobachtung spezialisiert, die 24 Stunden täglich im kooperativen Verbund mit anderen Observatorien betrieben wird. Das größte Sonnenteleskop



Abb. 12: Typische automatisierte Sternwarte auf dem Gelände des Observatorio del Teide.



Abb. 13: Abschließender Blick vom Observatorio del Teide auf die gegenüberliegende Insel Gran Canaria.

Europas GREGOR ist eines davon, welches allerdings ab 2029 Konkurrenz durch das geplante European Solar Telescope (EST) bekommt. Dieses wird auf La Palma gebaut und einen 4,2-Meter-Spiegel besitzen. Da es vornehmlich die magnetische Kopplung der Sonnenatmosphäre untersuchen wird, kann es allerdings als Ergänzung zu GREGOR angesehen werden. Daher hat auch der Parallelbetrieb so vieler Teleskope durchaus seine Berechtigung.

Literaturhinweise

- [1] Reiseveranstalter Volcano Teide auf Teneriffa: <https://www.volcanoteide.com/de>
- [2] Vakuum-Turm-Teleskop (VTT): <https://www.leibniz-kis.de/de/observatorien/vakuum-turmteleskop/>
- [3] THEMIS Solar Telescope: <https://www.themis.iac.es>
- [4] Sonnenteleskop Gregor: <https://www.leibniz-kis.de/de/observatorien/gregor/>
- [5] Telescope Carlos Sánchez (TCS): <https://www.iac.es/en/observatorios-de-canarias/telescopes-and-experiments/telescopio-carlos-sanchez>
- [6] MONS-Teleskop: <https://www.iac.es/en/observatorios-de-canarias/telescopes-and-experiments/mons>
- [7] IAC80-Teleskop: <https://www.iac.es/en/observatorios-de-canarias/telescopes-and-experiments/iac80-telescope>
- [8] Optical Ground Station (OGS): <https://www.iac.es/en/projects/optical-ground-station-ogs>
- [9] Izaña-1 – ESA Laser Ranging Station (ELRS): <https://digos.eu/izana-1/>
- [10] STARE-Projekt: <https://www.hao.ucar.edu/research/stare/>
- [11] Bradford Robotic Telescope: <https://www.telescope.org>
- [12] Robotisches Observatorium STELLA: <https://www.stella.aip.de>
- [13] Remote-Teleskop Slooh: <https://www.slooh.com>
- [14] Asteroid Terrestrial-impact Last Alert System (ATLAS): <https://atlas.fallingstar.com>
- [15] Very Small Array (VSA): <https://www.iac.es/en/projects/vsa-extension>