

ESO

Europäische
Südsterne

Den Kosmos entdecken



Inhalt

Über die ESO	3
Die ESO und die Astronomie	4
Unsere Welt verstehen	7
Kosmische Geheimnisse lüften	8
<i>Menschen bei der ESO: Christophe Dumas</i>	8
Auf der Suche nach anderen Welten	9
Sehr alte Sterne	9
<i>Menschen bei der ESO: Lucie Jilková</i>	10
Das Schwarze Loch im Zentrum unserer Milchstraße	10
Gammastrahlenausbrüche	12
Die 10 wichtigsten ESO-Entdeckungen	13
Die europäische Astronomie fördern	14
Paranal	16
<i>Menschen bei der ESO: Karla Aubel</i>	17
Viele Augen, eine Vision	18
Bewegliche Teleskope	19
Teleskope für Himmelsdurchmusterungen	21
La Silla	22
<i>Menschen bei der ESO: Françoise Delplancke</i>	25
Wegweisende neue Technologien	25
VLT-Bildergalerie	26
Die Erforschung des kalten Universums – ALMA	28
<i>Menschen bei der ESO: Stefano Stanghellini</i>	29
Ein globales Unterfangen	32
APEX	33
<i>Menschen bei der ESO: Petra Nass</i>	34
Höchste Effizienz – Das Datenfluss-System	34
Das wissenschaftliche Datenarchiv	35
Das digitale Universum	35
Zukünftige Projekte – das E-ELT	36
<i>Menschen bei der ESO: Marc Sarazin</i>	36
Partnerschaften bilden	40
EIROforum	41
ESO und die Allgemeinheit	42
Technologietransfer	43
Bildungs- und Öffentlichkeitsarbeit	44
Arbeiten bei der ESO	46
<i>Menschen bei der ESO: Jean-Michel Bonneau</i>	46
Die ESO ist ...	47

Über die ESO

Die Europäische Südsternwarte, auf Englisch European Southern Observatory (abgekürzt ESO), ist das wissenschaftlich erfolgreichste Observatorium der Welt. Seit ihrer Gründung im Jahre 1962 stellt die ESO Astronomen und Astrophysikern Forschungseinrichtungen zur Verfügung, die dem neuesten Stand der Technik entsprechen. An der ESO sind Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Großbritannien, Italien, die Niederlande, Österreich, Portugal, Spanien, Schweden, die Schweiz und die Tschechische Republik beteiligt. Weitere Länder haben Interesse an einer ESO-Mitgliedschaft bekundet.

Der Hauptsitz der ESO mit den wichtigsten wissenschaftlichen und technischen Abteilungen und der Verwaltung der Organisation befindet sich in Garching in der Nähe von München. In Chile betreibt die ESO an drei Beobachtungsstandorten in der chilenischen Atacama-Wüste Observatorien von Weltrang (und im Stadtteil Vitacura in der Hauptstadt Santiago außerdem eine Geschäftsstelle). Auf La Silla, 600 Kilometer nördlich von Santiago auf einer Höhe von 2400 Metern über dem Meeresspiegel, sind mehrere mittelgroße Teleskope der ESO stationiert.

Das zweite Observatorium, das Very Large Telescope (kurz VLT) steht auf dem 2600 Meter hohen Berg Paranal südlich der Stadt Antofagasta. Dort befinden sich auch das VLT-Interferometer und die zwei auf Himmelsdurchmusterungen spezialisierten Teleskope VST und VISTA. Der dritte ESO-Standort ist der Llano de Chajnantor in der Nähe der Ortschaft San Pedro de Atacama: Auf dieser 5000 Meter über dem Meeresspiegel gelegenen Hochebene arbeitet nicht nur das neue Submillimeter-Teleskop APEX; dort wird derzeit auch in Zusammenarbeit mit Nordamerika, Ostasien und Chile das Verbundteleskop ALMA errichtet, ein riesiges Feld von Submillimeter-Antennen, deren Schüsseln jeweils 12 Meter Durchmesser haben.

Aktuell arbeitet die ESO an Designstudien für ein extrem großes Teleskop, das E-ELT, das für Beobachtungen im sichtbaren Licht und im nahen Infrarot genutzt werden soll.

Die jährlichen Beitragszahlungen der ESO-Mitgliedsstaaten belaufen sich auf rund 135 Millionen Euro. Die Organisation beschäftigt etwa 700 Mitarbeiter.

„Bei der internationalen Zusammenarbeit erreicht die ESO ein einzigartiges Niveau – jeder trägt das bei, was er am besten kann, unabhängig von Nationalität oder institutioneller Zugehörigkeit. An diesem Geist der Exzellenz kann sich ganz Europa ein Beispiel nehmen.“

Maria van der Hoeven,
niederländische Ministerin für
Bildung, Kultur und Wissenschaft

Die ESO und die Astronomie

Der Anblick des Sternenbandes der Milchstraße, das sich in einer klaren, dunklen Nacht deutlich sichtbar über den Himmel zieht, dürfte unsere Vorfahren ebenso fasziniert haben wie uns heutige Menschen. Astronomie ist eine der ältesten Wissenschaften überhaupt – und gleichzeitig eine der modernsten: Astronomen nutzen fortschrittlichste Technologie, um immer tiefer und mit immer größerer Detailschärfe ins Weltall zu blicken. Dank neuer Beobachtungstechniken lassen sich Planeten nachweisen, die ferne

Sterne umkreisen, und es wird möglich, Objekte am Rande des beobachtbaren Universums genauer zu untersuchen. Selbst die Antwort auf eine der fundamentalsten Fragen scheint in Reichweite gerückt: Sind wir allein im Universum?

Die ESO ist die führende übernationale Forschungs- und Entwicklungsorganisation im Bereich der Astronomie. Sie ermöglicht astronomische Spitzenforschung, indem sie leistungsfähige bodengebundene Teleskope entwirft, konstruiert und betreibt.

Die ESO betreibt an zwei Standorten in der chilenischen Atacamawüste das La Silla-Paranal-Observatorium: Auf La Silla sind mehrere Teleskope mit Spiegeldurchmessern von bis zu 3,6 Metern in Betrieb. Das Flaggschiff der ESO ist allerdings das Very Large Telescope (VLT) auf dem Berg Paranal, dessen Konstruktion, Betriebsweise und instrumentelle Ausstattung in der bodengebundenen optischen und Infrarotastronomie neue Maßstäbe gesetzt haben. Mit dem so genannten VLT-Interferometer (VLTI) werden die Möglichkeiten dieser einzigartigen Einrichtung noch erweitert. Ergänzt wird die wissenschaftliche Leistungsfähigkeit

des Paranal-Observatoriums durch die Teleskope VST und VISTA, die für Himmelsdurchmusterungen im sichtbaren Licht und im nahen Infrarot ausgelegt sind.

Jedes Jahr gehen bei der ESO rund 2000 Anträge auf Beobachtungszeit ein. Die ESO-Teleskope sind damit regelmäßig um einen Faktor vier bis sechs überbucht. Allein im Jahre 2009 erschienen um die 700 wissenschaftliche Fachveröffentlichungen, die ESO-Daten verwenden (gezählt wurden nur Zeitschriften mit Peer-Review). Damit ist die ESO das wissenschaftlich produktivste astronomische Observatorium.

Bei der ESO laufen auch die Fäden der europäischen Beteiligung am Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) zusammen, einem interkontinentalen Gemeinschaftsprojekt in Partnerschaft mit Nordamerika, Ostasien und Chile. Dieses einzigartige Observatorium befindet sich derzeit auf der Hochebene von Chajnantor in den chilenischen Anden im Bau. ALMA soll ab 2011 den wissenschaftlichen Beobachtungsbetrieb aufnehmen und verspricht unser Bild vom Kosmos ebenso grundlegend zu verändern wie das Hubble-Weltraumteleskop.

Der nächste Schritt nach dem VLT ist der Bau eines extrem großen Teleskops für das sichtbare und infrarote Licht, des E-ELT. Es soll einen Hauptspiegel mit 42 Metern Durchmesser haben und wird das größte Teleskop der Welt für sichtbares und für Infrarotlicht werden. Dafür hat die ESO ein völlig neues Konzept entwickelt und ist gerade dabei, zusammen mit der astronomischen Nutzergemeinschaft die detaillierten Konstruktionspläne zu erarbeiten. Das E-ELT soll die ersten Bilder von erdähnlichen Planeten um andere Sternen liefern – ein wahrhaft bedeutsamer Meilenstein.



Tim de Z

Tim de Zeeuw
Generaldirektor der ESO



Unsere Welt verstehen

Astronomen befassen sich mit grundlegenden Fragen, die unseren Verstand und unsere Vorstellungskraft herausfordern: Wie sind die Planeten entstanden? Wie entwickelte sich das Leben auf der Erde, und ist Leben im Universum allgegenwärtig? Wie haben sich die Galaxien gebildet? Was sind dunkle Materie und dunkle Energie?

Astronomie ist eine moderne Hightech-Wissenschaft, die unsere kosmische Heimat, das Weltall, erforscht, und die vielfältigen Prozesse zu erklären versucht, die sich in seinen unermesslichen Weiten abspielen. Sie widmet sich unseren frühesten Ursprüngen ebenso wie der fernsten Zukunft unseres Sonnensystems, der Milchstraße und des gesamten Universums.

Astronomie ist eine Wissenschaft der Extreme: Sie befasst sich mit den größten Entfernungen, den längsten Zeiten, den schwersten Objekten, den höchsten Temperaturen, den stärksten elektrischen und magnetischen Feldern, den höchsten und niedrigsten Dichten und den extremsten Energien, die der Wissenschaft bekannt sind.

Astronomie ist eine beobachtende Wissenschaft: Mit Ausnahme einiger Himmelskörper im Sonnensystem haben wir keinen direkten Zugang zu den Objekten, die wir untersuchen. Zur Interpretation ihrer Beobachtungen bedient sich die Astronomie der Physik: Wir deuten die beobachteten Phänomene, indem wir die uns bekannten Naturgesetze anwenden.

Die astronomische Forschung bedient sich einiger der ausgeklügeltsten Instrumente und Methoden, die menschlicher Erfindungsreichtum hervorgebracht hat – Spitzentechnologie spielt bei der Erkundung des Weltalls eine Schlüsselrolle.

Astronomie ist wesentlicher Bestandteil unserer Kultur und deutlicher Ausdruck unserer angeborenen Neugier und unseres Strebens, die Welt, die uns umgibt, besser zu verstehen. Nachdem wir die Erdoberfläche weitestgehend erforscht haben, bietet uns die Astronomie eine moderne Variante der „Terra Incognita“ – die unermesslichen Räume, die unseren Heimatplaneten umgeben.

Astronomie zeigt uns, wie besonders unser Heimatplanet im kosmischen Vergleich ist – und welche außergewöhnlichen Zufälle wir es verdanken, dass Leben auf der Erde überhaupt möglich ist. Sie bietet eine einzigartige Perspektive auf das fragile „Raumschiff Erde“, unsere kosmische Heimat in einem weitgehend lebensfeindlichen Weltall.

Astronomie steckt den Rahmen für zukünftige Expeditionen ins All und langfristig für eine mögliche Besiedlung des Weltalls durch die Menschheit ab. Heutige astronomische Beobachtungen leisten Vorarbeit für die Aufgaben künftiger Generationen.

Wer ferne Galaxien beobachtet, schaut damit zwangsläufig weit in die Vergangenheit zurück – unter Umständen fast bis zum Anfang des Universums, zum Anbeginn der Zeit. Bei diesem Blick in die Vergangenheit bietet sich den Astronomen ein Panorama der Entwicklung unseres Kosmos, das Informationen über die Entstehung von Galaxien, von Sternen und von Planeten – einschließlich unserer Erde – liefert. Die Astronomie umfasst die Suche nach unseren kosmischen Ursprüngen und die Erforschung unfassbarer Naturgewalten – und stellt sicherlich den ehrgeizigsten Versuch der Menschheit dar, die Welt, in der wir leben, zu verstehen.

Kosmische Geheimnisse lüften



Menschen bei der ESO: Christophe Dumas, Astronom und Leiter des wissenschaftlichen Beobachtungsbetriebs der Paranal-Teleskope

„Nach meinem Abschluss als Elektrotechniker an der französischen Ingenieurhochschule Supélec habe ich mich entschlossen, meinem eigentlichen Interesse nachzugehen und Astronom zu werden. Bevor ich zur ESO kam, habe ich auf Hawaii in Astrophysik promoviert und in Kalifornien am Jet Propulsion Laboratory der NASA gearbeitet. Mein wissenschaftliches Interesse gilt den Kleinkörpern in unserem Sonnensystem: Asteroiden, Kometen und transneptunischen Objekten. Diese Relikte aus der Frühzeit des Sonnensystems helfen uns zu verstehen, wie große Gasriesen und erdähnliche Planeten entstehen, woher das Wasser auf der Erde stammt und wie ein Planet beschaffen sein muss, damit auf ihm Leben, wie wir es kennen, existieren kann. Ich kam über die Adaptive Optik zur Suche nach extrasolaren Planeten, und ich bin froh, dass ich ein Mitglied des Teams sein durfte, das – mit dem VLT – das erste Bild eines Exoplaneten aufgenommen hat. Tatsächlich habe ich selbst während der bewussten Aufnahme am Teleskop gesessen, und ich bin sehr stolz darauf, dass dieses Bild nun in so vielen wissenschaftlichen Zeitschriften und Büchern zu finden ist. Mithilfe des Laser-Referenzsterns ist die Technik der Adaptiven Optik inzwischen noch leistungsfähiger. Bald wird am VLT ein neues Instrument für die Suche nach extrasolaren Planeten in Betrieb gehen: SPHERE ist auf diesem Gebiet ein wichtiger Schritt vorwärts. Für mich ist das ultimative Ziel aber, mit dem E-ELT einen erdähnlichen Planeten um einen sonnenähnlichen Stern direkt abzubilden.“

Auf der Suche nach anderen Welten

Die hochmodernen Teleskope der ESO haben der Astronomie schon zu so manchem Durchbruch verholfen. Von der Erforschung unseres eigenen Sonnensystems bis hin zu Untersuchungen der entlegensten Bereiche des Universums schaffen die ESO-Observatorien die Voraussetzungen für astronomische Spitzenforschung, deren Ergebnisse jedes Jahr in einer großen Anzahl von Fachveröffentlichungen dokumentiert werden. Auf den folgenden Seiten lassen wir einige Höhepunkte dieser Forschung Revue passieren.

Gibt es Leben anderswo im Universum? Mit der Entdeckung von Planeten, die ferne Sterne umkreisen, ist die Astronomie der Antwort auf diese zentrale Menschheitsfrage einen entscheidenden Schritt näher gekommen. Die Observatorien der ESO stellen ein einzigartiges Arsenal an Instrumenten bereit, um solche so genannten Exoplaneten aufzufinden und ihre Eigenschaften und Charakteristika zu erforschen.

Mit dem Very Large Telescope ist es Astronomen erstmals gelungen, das schwache Leuchten eines Planeten außerhalb unseres Sonnensystems im Bild festzuhalten. Die neu entdeckte Welt ist ein Riesenplanet, etwa fünfmal so massereich wie der Jupiter. Mit dieser Beobachtung kommen wir einem der wichtigsten Ziele der modernen Astrophysik einen großen Schritt näher, nämlich der Charakterisierung der physikalischen Struktur und der chemischen Zusammensetzung von solchen Gasriesen – ein Untersuchungsprogramm, das die Astronomen später dann auch erdähnlichen Planeten angedeihen lassen wollen.

Eines der Teleskope auf La Silla ist Teil eines erdumspannenden Netzwerks von Teleskopen, das mithilfe des so genannten Mikro-Gravitationslinseneffekts einen neuen Exoplaneten entdeckt hat, der nur etwa fünfmal soviel Masse besitzt wie unsere Erde. Er umkreist seinen Stern einmal in rund zehn Jahren und hat mit großer Wahrscheinlichkeit eine felsige oder eisige Oberfläche.

Mit HARPS, dem High Accuracy Radial velocity Planet Searcher, haben Astronomen nicht weniger als vier Planeten ent-



deckt, die ihren Stern in geringem Abstand umkreisen und deren Massen kleiner sind als die des Neptun. Einer der Planeten hat die doppelte Erdmasse und ist der kleinste bislang entdeckte Exoplanet. Ein weiterer weist die siebenfache Masse der Erde auf und befindet sich in der so genannten habitablen Zone: derjenigen Region in der Nachbarschaft des Sterns, innerhalb derer Leben so wie wir es kennen möglich ist. Der Planet umkreist seinen Stern in 66 Tagen, und die Astronomen vermuten, dass es sich bei diesem Planeten um eine Wasserwelt handelt, deren Oberfläche von Ozeanen eingehüllt ist. Diese Entdeckung ist ein äußerst wichtiges Teilergebnis der Suche nach Planeten, auf denen Leben existieren könnte.

„Mit den meisten heute verfügbaren Spektrografen hätten sich die extrem schwachen, von HARPS entdeckten Signale gar nicht von gewöhnlichem Untergrundrauschen unterscheiden lassen.“

Michel Mayor, Observatoire de Geneve, Mitentdecker des ersten Exoplaneten

„Die Spektren, die wir von diesem relativ schwach leuchtenden Stern erhalten haben, sind hervorragend – eine solche Datenqualität war bis vor kurzem nur bei Sternen möglich, die mit bloßem Auge sichtbar sind. Die Uranlinie lässt sich darin mit sehr großer Genauigkeit vermessen, obwohl sie nur sehr schwach ist.“

Roger Cayrel, Observatorium Paris

Sehr alte Sterne

Mehrere Gruppen von Astronomen haben das Very Large Telescope für einzigartige Messungen benutzt, die eine unabhängige Abschätzung des Alters des Universums ermöglichen: Sie haben zum ersten Mal den Gehalt an radioaktivem Uran-238 für einen Stern gemessen, der entstanden ist, als unsere Heimatgalaxie, die Milchstraße, selbst noch im Entstehen begriffen war.

Ähnlich wie mit der Radiokarbonmethode in der Archäologie – angewandt freilich auf ungleich längere Zeiträume – lässt sich mithilfe dieser „Uranuhr“ das Alter des Sterns bestimmen. Die Messung ergab ein Alter von 13,2 Milliarden Jahren, und wir haben es damit mit dem ältesten den Astronomen bekannten Stern zu tun. Doch selbstverständlich kann dieser Stern nicht älter sein als das Universum als Ganzes, und so liefert die Messung auch eine Untergrenze für das Alter unseres Kosmos. Laut der modernen kosmologischen Modelle ist unser Universum 13,7 Milliarden Jahre alt. Das ist mit der neu abgeleiteten Untergrenze gut verträglich, zeigt aber auch, dass sich dieser Stern, und mit ihm unsere Milchstraße, bereits kurz nach dem Urknall gebildet haben muss.

Für ein weiteres Ergebnis, das ein Schlaglicht auf die früheste Entwicklungsphase unserer Heimatgalaxie wirft, mussten die Astronomen bis an die Grenzen der verfügbaren Technologie gehen: Sie bestimmten zum ersten Mal überhaupt den Gehalt des Elements Beryllium für zwei Sterne in einem Kugelsternhaufen. Solch eine Messung liefert wichtige Informationen über die Zeit zwischen der Entstehung der allerersten Sterne in der Milchstraße und der Entstehung der Sterne in dem beobachteten Sternhaufen. Die Forscher fanden heraus, dass sich die erste Sternengeneration in der Milchstraße bereits kurz nach dem Ende des etwa 200 Millionen Jahre andauernden „dunklen Zeitalters“ gebildet haben muss, das direkt auf den Urknall folgte.

Das Schwarze Loch im Zentrum unserer Milchstraße



Menschen bei der ESO: Lucie Jílková, Studentin bei der ESO in Vitacura

„Das erste Jahr meiner Doktorarbeit habe ich an der Masaryk-Universität in Brno in der Tschechischen Republik absolviert. Dorthin werde ich auch zurückkehren, um meine Studien zu beenden – nach den zwei Jahren, die ich hier bei der ESO in Chile verbringe. Ich war bislang eher Theoretikerin als Beobachterin, bin aber gespannt, ob sich mein Schwerpunkt durch meinen ESO-Aufenthalt verschiebt. Jedenfalls habe ich mich für das Stipendium hier in Santiago entschieden, um alles über beobachtende Astronomie zu lernen. In meiner Doktorarbeit geht es um Details der Struktur und der Bewegung von Objekten in unserer Nachbarschaft, innerhalb der Milchstraße. Dafür untersuche ich die Bahnbewegung junger offener Sternhaufen und möchte unter anderem das Instrument FLAMES am VLT für meine Beobachtungen nutzen. Die Daten aufzunehmen und zu analysieren wird für mich eine große Herausforderung sein, und ich freue mich auf diese neue Arbeit. Ich genieße die einzigartige Arbeitserfahrung und die internationale Zusammenarbeit hier bei der ESO. Es ist wunderbar, hier in Chile studieren zu können – einem aufregenden Land mit einer atemberaubenden Berglandschaft, so ganz anders als mein Heimatland im Herzen Europas.“





Was befindet sich im Zentrum unserer Heimatgalaxie, der Milchstraße? Die Astronomen haben schon lange vermutet, dass sich dort ein Schwarzes Loch verbirgt. Doch erst kürzlich, mit der Auswertung von Beobachtungen, die über einen Zeitraum von 16 Jahren mit ESO-Teleskopen auf La Silla und dem Paranal durchgeführt wurden, verdichtete sich diese Vermutung zur Gewissheit.

Die Sterne im Zentrum der Milchstraße liegen so dicht beieinander, dass spezielle Abbildungstechniken wie die Adaptive Optik (siehe S. 25) erforderlich waren, um das Auflösungsvermögen des VLT zu steigern. Damit gelang es, einzelne Sterne auf ihren Umlaufbahnen um das galaktische Zentrum mit nie zuvor erreichter Präzision zu verfolgen. Aus Bahnformen und Umlaufzeiten ergibt sich, dass die betreffenden Sterne in der Tat ein supermassereiches Schwarzes Loch umkreisen, das knapp drei Millionen Mal soviel Masse besitzt wie unsere Sonne.

Die Beobachtungen mit dem VLT zeigen außerdem regelmäßige Infrarotblitze in der Zentralregion nahe dem Schwarzen Loch. Die genaue Ursache dieses Phänomens ist noch unbekannt, doch es dürfte mit der schnellen Rotation des Schwarzen Loches zusammenhängen. Was immer dort im Einzelnen passieren mag – das Leben des Schwarzen Lochs im Zentrum unserer Milchstraße ist keineswegs friedlich und ruhig!

Astronomen benutzen das VLT auch, um in die Zentren anderer Galaxien zu blicken, in denen sich ebenfalls deutliche Hinweise auf supermassereiche Schwarze Löcher finden. In der aktiven Galaxie NGC 1097 konnten sie mit bisher unerreichter Schärfe ein komplexes Netzwerk von Filamenten beobachten, das spiralförmig auf das Zentrum der Galaxie zuführt. Dies ist vielleicht die erste detaillierte Beobachtung der Flussprozesse, über die Materie aus entfernten Regionen der Galaxie zum Zentrum hingeführt wird, um dann im galaktischen Kern zu enden.



Die Zentralregion der aktiven Galaxie NGC 1097.

Die Zentralregion unserer Heimatgalaxie, der Milchstraße.

„Wir benötigten noch schärfere Bilder, um entscheiden zu können, ob sich dort anstatt eines Schwarzen Loches vielleicht ein andersartiges Objekt befinden könnte, und wir verliessen uns darauf, dass das VLT der ESO uns solche Bilder liefern würde. Nun ist die Untersuchung Schwarzer Löcher endgültig zu einer beobachtenden Wissenschaft geworden!“

Reinhard Genzel, Direktor am Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik

Gammastrahlenausbrüche

Bei Gammastrahlenausbrüchen (nach dem englischen *Gamma Ray Bursts* üblicherweise als „GRBs“ abgekürzt) treffen binnen eines kurzen Zeitraums – zwischen einer Sekunde und mehreren Minuten – große Mengen hochenergetischer Gammastrahlen auf die Erde, die aus einer winzigen Himmelsregion zu kommen scheinen. Aus den Beobachtungen folgt, dass die Quelle dieser Strahlung von der Erde extrem weit entfernt ist, am Rande des beobachtbaren Universums.

Das VLT hat das Nachleuchten eines Gammastrahlenausbruchs beobachtet, der weiter entfernt ist als alle anderen zuvor nachgewiesenen derartigen Ereignisse. Das Licht dieses Ausbruchs war 13 Milliarden Jahre unterwegs, bevor es die Erde erreichte (entsprechend einer so genannten Rotverschiebung von 8,2). Es zeigt uns das Universum so, wie es aussah, als es rund 600 Millionen Jahre alt war, also weniger als fünf Prozent seines jetzigen Alters hatte. Was immer dort

im einzelnen geschah: In wenigen Sekunden muss das Objekt, das den Gammastrahlenausbruch erzeugte, 300 Millionen Mal mehr Energie freigesetzt haben als es unsere Sonne während ihrer gesamten Lebenszeit von mehr als 10 Milliarden Jahren tun wird. Damit sind GRBs die gewaltigsten Explosionen im Universum überhaupt.

Wissenschaftler versuchen seit langem, eine Erklärung für diese Explosionen zu finden. Beobachtungen zeigen, dass es zwei Arten von GRBs gibt – solche von kurzer Dauer (weniger als ein paar Sekunden) und solche von längerer Dauer –, und es wird vermutet, dass sie durch zwei verschiedene Arten kosmischer Ereignisse verursacht werden.

Im Jahre 2003 gelang es, GRBs längerer Dauer mit so genannten Hypernovae in Verbindung zu bringen – Explosionen, mit denen sehr schwere Sterne ihr Leben beenden. Bei der Beweisführung spielten

Beobachtungen mit ESO-Teleskopen eine wichtige Rolle: Der „Nachhall“ eines GRB wurde dazu einen ganzen Monat lang verfolgt, und die Forscher konnten zeigen, dass sein Spektrum und die Art, wie die Helligkeit mit der Zeit abklingt, große Ähnlichkeiten mit den Beobachtungsdaten der (häufigeren) Supernovae hat, bei denen es sich um Sternexplosionen am Ende des Lebens von nicht ganz so massereichen Sternen handelt.

2005 wurde an ESO-Teleskopen zum ersten Mal das sichtbare Licht nach einem der kurzen GRBs beobachtet. Nach drei Wochen Beobachtungszeit kamen die Astronomen zu dem Schluss, dass GRBs dieser Art im Gegensatz zu den GRBs längerer Dauer nicht durch Hypernovae verursacht werden können. Stattdessen wird vermutet, dass sie durch die Verschmelzungen von Neutronensternen oder Schwarzen Löchern verursacht werden.



Die 10 wichtigsten ESO-Entdeckungen

1 Die Beschleunigung der kosmischen Expansion

Basierend auf Beobachtungen explodierender Sterne mit den Teleskopen auf La Silla haben zwei unabhängige Forschergruppen herausgefunden, dass sich die Ausdehnung des Universums immer weiter beschleunigt.

2 Das erste Bild eines extrasolaren Planeten

Das VLT hat das erste Bild eines Planeten außerhalb unseres Sonnensystems aufgenommen. Der Planet hat die fünffache Masse des Jupiters und umkreist in einem Abstand, der 55 mal dem Abstand Erde–Sonne entspricht, einen so genannten Braunen Zwerg – ein Objekt, das es nicht geschafft hat, zu einem Stern zu werden.

3 Sterne auf ihrer Umlaufbahn um das Schwarze Loch im Zentrum der Milchstraße

In einer 16 Jahre währenden Studie wurden mehrere der wichtigsten Teleskope der ESO eingesetzt, um ein detailliertes Bild der Umgebung des Schwarzen Lochs zu zeichnen, das sich im Herzen unserer Galaxis verbirgt.

4 Der Zusammenhang zwischen Gammastrahlenausbrüchen und Supernovae

Teleskope der ESO haben gezeigt, dass Gammastrahlenausbrüche längerer Dauer mit Supernova-Explosionen zusammenhängen, die das Leben massereicher Sterne beenden.

5 Die Bewegung von Sternen in der Milchstraße

In einem auf 15 Jahre angelegten Forschungsprogramm mit mehr als 1000 Beobachtungsnächten auf La Silla haben Astronomen die Bewegung von mehr als 14 000 sonnenähnlichen Sternen in der unmittelbaren Umgebung der Sonne verfolgt. Dabei haben sie festgestellt, dass es in unserer Heimatgalaxie turbulenter und chaotischer zugeht als bisher gedacht.

6 Der älteste bekannte Stern in unserer Milchstraße

Mit dem VLT der ESO haben Astronomen das Alter des ältesten Sterns bestimmt, den man in unserer Milchstraße kennt. Dieser Stern ist vor 13,2 Milliarden Jahren während der frühesten Phase der Sternentstehung im Universum entstanden.

7 Der Zusammenhang zwischen verschmelzenden Neutronensternen und Gammastrahlenausbrüchen

Ein Teleskop auf La Silla konnte erstmals das sichtbare Licht eines kurzen Gammastrahlenausbruchs einfangen und zeigen, dass diese Art von Ereignis wahrscheinlich durch das gewaltsame Verschmelzen zweier Neutronensterne hervorgerufen wird.

8 Eine unabhängige Messung der Temperatur des Kosmos

Das VLT hat Kohlenmonoxid-Moleküle in einer fast 11 Milliarden Lichtjahre entfernten Galaxie nachweisen können – eine Messung, an der sich die Astronomen während der vorangegangenen 25 Jahre vergeblich versucht hatten. Mit dieser Beobachtung war es möglich, hochpräzise die Temperatur des Kosmos in zu bestimmen.

9 Der Nachweis des am weitesten entfernten Objektes

Das VLT hat das Spektrum des ältesten, am weitesten entfernten uns bekannten Objekts im Universum aufgenommen. Sein Licht stammt aus einer Zeit nur etwa 600 Millionen Jahre nach dem Urknall.

10 Die Entdeckung des leichtesten Exoplaneten

Mithilfe des HARPS-Spektrografen haben Astronomen ein Planetensystem entdeckt, zu dem unter anderem der bislang leichteste bekannte Exoplanet gehört. Der Planet besitzt nur doppelt soviel Masse wie die Erde. Außerdem gelang die Entdeckung eines Planeten, der sich in der habitablen Zone um seinen Stern befindet, innerhalb derer Wasser in flüssiger Form – zum Beispiel als Ozean – vorkommen kann.

Die europäische Astronomie fördern





Gemäß ihrem Gründungsauftrag stellt die ESO den europäischen Astronomen zeitgemäße Beobachtungseinrichtungen zur Verfügung und unterstützt und organisiert die wissenschaftliche Zusammenarbeit. Konkret betreibt die ESO an drei Standorten auf der Südhalbkugel – La Silla, Paranal und Chajnantor im Norden Chiles – unter optimalen Beobachtungsbedingungen einige der weltweit größten und fortschrittlichsten Teleskope. Im Bereich technologische Entwicklung sowie mit Konferenzen und Bildungsprojekten spielt die ESO eine maßgebliche Rolle bei den Bemühungen, einen europäischen Forschungsraum (European Research Area) für die Themengebiete Astronomie und Astrophysik zu schaffen.

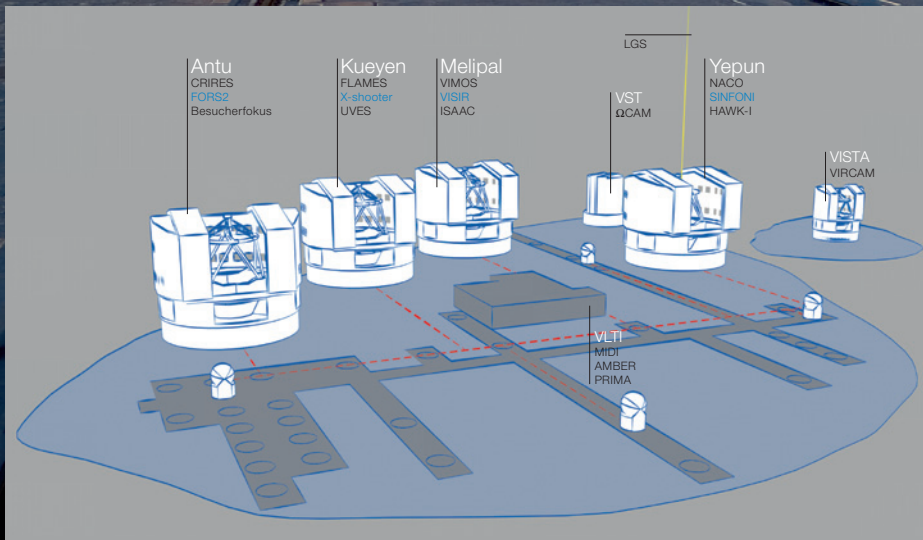
„Dies ist ein Triumph des menschlichen Erfindungsgeists. Es ist ein außergewöhnlicher Beitrag zur Entfaltung unseres Wissens, und als Forschungskommissar bin ich stolz darauf, dass es eine europäische Leistung ist.“

Philippe Busquin, EU-Kommissar für Forschung (2000–2005)

Paranal

Das Very Large Telescope (VLT) ist das Flaggschiff der europäischen Astronomie zu Beginn des dritten Jahrtausends.

Das VLT ist das fortschrittlichste optische Instrument der Welt und besteht aus vier Unit Telescopes (UTs) oder „Hauptteleskopen“ mit Spiegeldurchmessern von 8,2 Metern und vier auf Schienen beweglichen 1,8 Meter Auxiliary Telescopes (ATs) oder „Hilfsteleskopen“, die mit den Hauptteleskopen oder untereinander zu einem so genannten Interferometer kombiniert werden können.



Instrumente am Very Large Telescope.

Die Hauptteleskope werden in der Regel als Einzelteleskope genutzt. Jedes davon kann bei einer Belichtungszeit von einer Stunde Bilder von Himmelsobjekten dreißigster Größenklasse aufnehmen – das sind Objekte, die vier Milliarden mal schwächer leuchten als alles, was das menschliche Auge ohne Hilfsmittel gerade noch wahrnehmen kann.

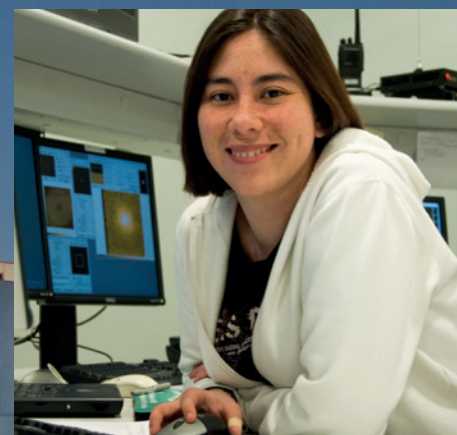
Das VLT-Instrumentierungsprogramm ist das ehrgeizigste, das je für ein einzelnes Observatorium in Angriff genommen worden ist. Am VLT kommen sowohl elektronische Kameras mit großem Gesichtsfeld zum Einsatz wie auch Kameras und Spektrografen, bei denen atmosphärische Störungen (das Funkeln der Sterne) durch so genannte Adaptive Optik ausgeglichen werden. Hinzu kommen Spektrografen mit hoher Auflösung und solche, die gleichzeitig das Spektrum mehrerer Objekte aufnehmen können. Die vorhandenen Instrumente decken dabei einen Bereich des elektromagnetischen

Spektrums ab, der vom Ultravioletten (ab einer Wellenlänge von 300 Nanometern) bis in den mittleren Infrarotbereich (bis zu einer Wellenlänge von 24 μm) reicht.

Die 8,2-Meter-Hauptteleskope sind in kompakten Gebäuden untergebracht, die synchron mit dem Teleskop mitgedreht werden. Die Gebäude sind so ausgelegt, dass Störungen des Beobachtungsbetriebs so weit wie möglich vermieden werden. So führt beispielsweise die sorgfältige Regulierung der Innentemperatur der Gebäude dazu, dass Luftverwirbelungen über den Teleskopspiegeln vermieden werden, wie sie durch Temperaturunterschiede zwischen der Teleskopanlage einerseits und der Nachtluft andererseits entstehen.

Das erste der Hauptteleskope – es trägt den Namen Antu – nahm am 1. April 1999 den wissenschaftlichen Beobachtungsbetrieb auf. Seit einigen Jahren sind alle vier Hauptteleskope und die

vier Hilfsteleskope in Betrieb. Bis heute konnten mithilfe des VLT eine Vielzahl wichtiger astronomischer Beobachtungsergebnisse gewonnen werden. Das VLT ist die effektivste bodengebundene Einzeleinrichtung in der gesamten Astronomie: Im Schnitt wird pro Tag mehr als ein referierter Fachartikel veröffentlicht, der auf Beobachtungsergebnissen des VLT basiert.



Menschen bei der ESO: Karla Aubel, Telescope Operator auf dem Paranal

„Ich bin 2001 zur ESO gekommen, als ich noch an der Abschlussarbeit für mein Physikingenieurs-Studium geschrieben habe. Zuerst habe ich auf La Silla gearbeitet, wobei ich meine Abschlussarbeit zu beenden. 2005 bin ich dann zum VLT gewechselt. Schon von klein auf war ich wissbegierig und wollte auf alles eine Antwort finden. Da habe ich mir gedacht, Physik sei genau das Richtige für mich. Bei meiner Arbeit muss ich die ganze Nacht hellwach sein, um das VLT zu steuern, die beste Abbildungsqualität sicherzustellen und dafür zu sorgen, dass das Teleskop seine Zielobjekte am Nachthimmel so genau wie möglich verfolgt. Das ist mein Beitrag zu den Bemühungen der Astronomen, die Rätsel des Universums zu lösen – und im Winter, mit Nachtschichten von 14 Stunden Dauer, kann das ein harter Job sein! Aber der Job macht mir Spaß, und immer, wenn ich in der Presse einen Bericht über eine Entdeckung mit dem VLT lese, muss ich daran denken, dass auch ich etwas dazu beigetragen habe. Es ist ein gutes Gefühl, wenn einem klar wird, dass man Teil einer wichtigen Sache ist.“

Viele Augen, eine Vision

Die Einzelteleskope des VLT können paarweise oder zu dritt zu einem gigantischen Interferometer zusammenschaltet werden, dem VLT-Interferometer (VLTI). Mit dem VLTI lassen sich am Himmel 25 Mal feinere Details auseinanderhalten als mit jedem einzelnen der Hauptteleskope. So gelingen Beobachtungen von Himmelsobjekten mit einer bisher unerreichten Detailschärfe. Abbildungen von Strukturen auf Sternoberflächen und sogar die Untersuchung der Umgebung eines Schwarzen Loches werden möglich.

Die Lichtstrahlen werden im VLTI durch ein komplexes System von Spiegeln in unterirdischen Tunneln zusammengeführt. Dafür muss das Licht so geleitet werden, dass sich die Weglängen der einzelnen Lichtanteile auf 100 Metern um nicht mehr als einen Tausendstel Millimeter unterscheiden.

Doch die Präzision lohnt sich: Mit dem VLTI lassen sich Aufnahmen mit einer Winkelauflösung von tausendstel Bogensekunden erstellen. So gelang auch eine der schärfsten jemals erzeugten Abbil-

dungen eines Sternes, die eine Auflösung von vier tausendstel Bogensekunden aufweist. Das entspricht der Fähigkeit, vom Erdboden aus den Kopf einer Schraube an der Internationalen Raumstation zu sehen, die sich auf ihrer Umlaufbahn immerhin 400 Kilometer über der Erdoberfläche befindet.

Instrumente für das VLTI

- VINCI: Instrument für die Inbetriebnahme des VLT-Interferometers
- AMBER: Instrument für photometrische und spektroskopische Studien im nahen Infrarot
- MIDI: Instrument für Photometrie und Spektroskopie im mittleren Infrarot
- PRIMA: Instrument für phasenstabilisierte Abbildung und Mikrobogensekunden-Astrometrie, besonders geeignet für die Beobachtung lichtschwacher Quellen und für die Suche nach Exoplaneten

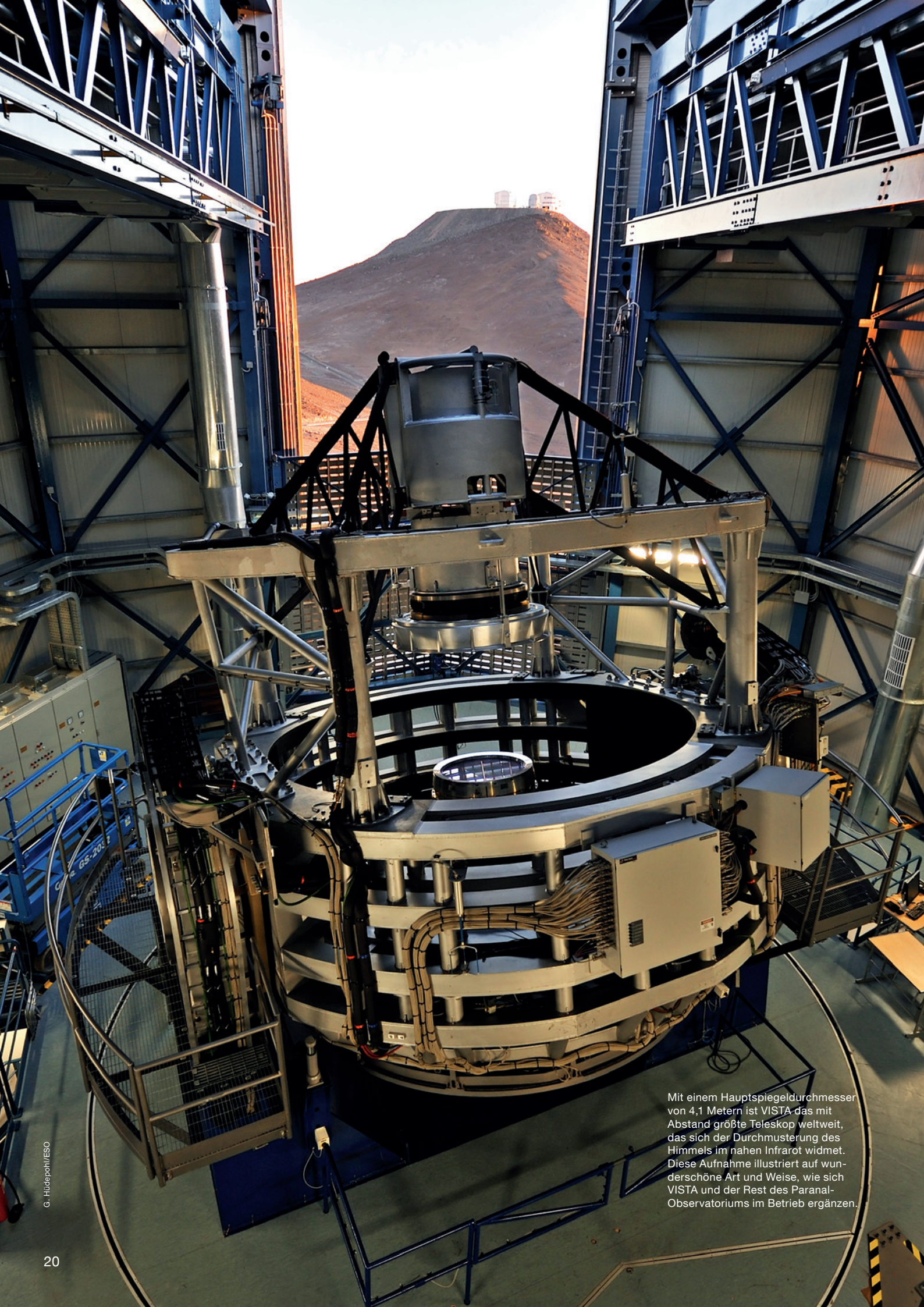
Bewegliche Teleskope

Die vier 8,2-Meter-Hauptteleskope sind zwar als Teil des VLT-Interferometers einsetzbar, werden aber in der Regel als Einzelteleskope genutzt und stehen daher nur eine begrenzte Anzahl von Nächten für interferometrische Beobachtungen zur Verfügung.

Dank vier kleinerer Hilfsteleskope (Auxiliary Telescopes, ATs), die speziell für den Interferometerbetrieb vorgesehen sind, kann das VLTI trotzdem jede Nacht genutzt werden. Die Hilfsteleskope können auf Schienen an eine Reihe verschiedener, exakt definierter Positionen verscho-

ben werden, von denen aus das Licht der Teleskope zum Interferometrie-Labor geleitet werden kann.

Verglichen mit gewöhnlichen Teleskopen sind die ATs recht ungewöhnlich aufgebaut: Jedes Teleskop ist komplett autark. Im Inneren der kompakten Schutzkuppel befinden sich alle nötige Elektronik, das Lüftungssystem, die benötigte Hydraulik und die Kühlanlagen. Zu jedem der Hilfsteleskope gehört ein Transporter, der das Teleskop von einer Position zur anderen verschieben kann.



Mit einem Hauptspiegeldurchmesser von 4,1 Metern ist VISTA das mit Abstand größte Teleskop weltweit, das sich der Durchmusterung des Himmels im nahen Infrarot widmet. Diese Aufnahme illustriert auf wunderschöne Art und Weise, wie sich VISTA und der Rest des Paranal-Observatoriums im Betrieb ergänzen.

Teleskope für Himmelsdurchmusterungen

Zwei neue und leistungsfähige Teleskope – das Visible and Infrared Survey Telescope for Astronomy (VISTA) und das VLT Survey Telescope (VST) – nehmen derzeit am Paranal-Observatorium der ESO in Nordchile ihre Arbeit auf. Sie gehören zu den weltweit leistungsfähigsten Durchmusterungsteleskopen und werden das wissenschaftliche Entdeckungspotenzial des Paranal erheblich steigern.

Viele der interessantesten astronomischen Objekte – von den astronomisch gesehen winzigen, aber potenziell gefährlichen erdnahen Asteroiden bis zu den entferntesten Quasaren – sind im Weltall sehr selten: Die Suche nach ihnen ist die sprichwörtliche Suche nach der Nadel im Heuhaufen. Die größten Teleskope, wie zum Beispiel das Very Large Telescope (VLT) der ESO, aber auch das NASA/ESA-Weltraumteleskop Hubble (HST), haben zu jeder Zeit nur einen winzigen Ausschnitt des Nachthimmels im Blick. VISTA und VST hingegen sind für die schnelle und lichtstarke Beobachtung großer Himmelsareale optimiert. Innerhalb von fünf Jahren werden die beiden

Teleskope insgesamt neun sorgfältig geplante Durchmusterungen durchführen und dabei umfassende Archive von Bildern und Objektkatalogen aufbauen, deren Auswertung die Astronomen noch für die kommenden Jahrzehnte beschäftigt wird.

Neben den wissenschaftlichen Ergebnissen der Durchmusterungen selbst arbeiten VST und VISTA den anderen Teleskopen zu: Interessante, bei den Himmelsdurchmusterungen entdeckte Objekte können anschließend Gegenstand detaillierter Studien am benachbarten VLT und an anderen Teleskopen am Boden und im Weltraum werden. VISTA und VST befinden sich in Kuppelbauten in der näheren Umgebung des VLT und profitieren sowohl von denselben hervorragenden Beobachtungsbedingungen als auch von den gleichen effizienten Betriebsabläufen.

Mit einem Hauptspiegeldurchmesser von 4,1 Metern ist VISTA weltweit das mit Abstand größte Teleskop für Himmelsdurchmusterungen im Nahinfraroten.

Herzstück von VISTA ist eine drei Tonnen schwere Kamera mit 16 für Infrarotlicht empfindlichen Detektoren mit insgesamt 67 Millionen Pixeln – ein größeres Blickfeld als bei allen anderen astronomisch genutzten Infrarotkameras.

Beim VST handelt es sich um ein modernes 2,6 Meter-Teleskop, das mit OmegaCAM ausgestattet ist, einer riesigen CCD-Kamera mit 268 Megapixeln und einem Gesichtsfeld, das vier Mal so groß ist wie die Fläche des Vollmondes am Himmel. Das VST führt Durchmusterungen im sichtbaren Spektralbereich durch und ergänzt so VISTAs Infrarotbeobachtungen.

Das VST ist ein gemeinsames Projekt der ESO und des Astronomischen Observatoriums Capodimonte (OAC) in Neapel, eines Forschungszentrums des italienischen Nationalinstituts für Astrophysik (INAF). Der Beginn der Beobachtungen mit dem VST auf dem Paranal ist für 2011 vorgesehen.



La Silla



Das HARPS-Instrument.





Das La Silla-Observatorium, 600 Kilometer nördlich von Santiago de Chile auf einer Höhe von 2400 Metern über dem Meeresspiegel gelegen, wurde in den 1960er Jahren als erstes der ESO-Observatorien errichtet. Hier betreibt die ESO nach wie vor einige der produktivsten Teleskope der 4-Meter-Klasse.

Das New Technology Telescope (wörtlich etwa das „Teleskop mit neuartiger Technologie“) mit einem Spiegeldurchmesser von 3,5 Metern leitete eine neue Ära des Teleskopbaus ein. Es war weltweit das erste Teleskop mit aktiver Optik: Die Form seines Hauptspiegels wird fortwährend computergestützt kontrolliert und korrigiert. Heute findet diese bei der ESO entwickelte Technik beim VLT und den meisten anderen

Großteleskopen auf der Welt Anwendung.

Das 3,6-Meter-Teleskop auf La Silla ist seit 1977 in Betrieb. Es wurde seither mehrmals gründlich überholt und zählt nach wie vor zu den Spitzenteleskopen der 4-Meter-Klasse auf der südlichen Hemisphäre. Am 3,6-Meter-Teleskop ist derzeit das Instrument HARPS montiert, mit dem mehr Exoplaneten entdeckt werden konnten als mit irgendeinem anderen astronomischen Instrument. HARPS, der „High Accuracy Radial-velocity Planet Searcher“ (wörtlich der „hochgenaue Radialgeschwindigkeits-Planetenjäger“) ist ein hochpräziser Spektrograf.

Das 2,2-Meter-MPG/ESO-Teleskop wurde 1984 in Betrieb genommen und

ist eine Leihgabe der Max-Planck-Gesellschaft an die ESO. Sein Wide Field Imager, eine Kamera mit besonders großem Blickfeld und einem Detektor mit 67 Millionen Pixeln, hat eine Vielzahl von Bildern hervorgebracht, die nicht nur von wissenschaftlichem, sondern auch von ästhetischem Wert sind.

Die auf La Silla vorhandene Infrastruktur wird von einer Reihe von ESO-Mitgliedsstaaten für eigene Projekte genutzt, wie etwa das Schweizer Leonard-Euler-Teleskop (Spiegeldurchmesser 1,2 Meter) oder die Teleskope REM (Rapid Eye Mount) und TAROT, die für die Beobachtung von Gammaausbrüchen ausgelegt sind. Hinzu kommen Einrichtungen mit weiter gefassten Nutzerkreis, wie das dänische 1,5-Meter-Teleskop.



Wegweisende neue Technologien



Menschen bei ESO: Françoise Delplancke arbeitet als Physikerin an VLTI-Instrumenten

„Nach mehr als zwanzig Stunden Anreise von München aus hatte ich auf dem Paranal – mitten in der Atacama-Wüste – das Gefühl, ich sei auf dem Planeten Mars gelandet. Das Observatorium, das die ESO in dieser unwirtlichen Umgebung errichtet hat, ist eine komfortable Oase, die mit fortschrittlichster astronomischer Technik ausgestattet ist und von hochprofessionellen und freundlichen Menschen betrieben wird. Der Himmel hier ist so klar, dass man sogar mit dem bloßen Auge die bläulichen und rötlichen Farben einiger Sterne der Milchstraße erkennen kann. Davon träumt jeder Amateurastronom, der die lichtverschmutzten europäischen Städte gewohnt ist! In der Nacht kann man nach etwa einer Stunde im Freien sogar die umgebende Landschaft gut erkennen – nur vom Sternenlicht beleuchtet, ganz ohne Mondschein. Einmal hatte ich die seltene Gelegenheit, mit einem der 8-Meter-Teleskope auf dem Paranal direkt den Mond beobachten zu können. Es war, als flöge man in einem Raumschiff direkt über die Mondoberfläche.“

Das VLT war von Anfang an als wissenschaftliches Instrument der Extraklasse konzipiert, das gezielt neueste technische Entwicklungen ausnutzt.

Mit der Technik der Adaptiven Optik (AO) können die Instrumente am Teleskop Unschärfen korrigieren, die durch die Erdatmosphäre verursacht werden. So lassen sich Bilder produzieren, die so scharf sind, als wären sie vom Weltraum aus aufgenommen, und es können weit lichtschwächere Objekte beobachtet und feinere Details unterschieden werden. Mit AO können Teleskope die so genannte Beugungsgrenze erreichen – die theoretisch bestmögliche Auflösung für ein gegebenes Teleskop. Damit wäre ein VLT-Instrument in der Lage, aus mehr als zehn Kilometern Entfernung die Schlagzeile einer Zeitung zu lesen.

Adaptive Optik funktioniert nur, wenn sich ein heller Referenzstern findet, der am Himmel in nicht allzu großer Entfernung von dem angepeilten Beobachtungsobjekt steht. Allerdings ist die Anzahl geeigneter Referenzsterne begrenzt, und dementsprechend lassen sich nur einige Himmelsregionen mit Hilfe von AO beobachten. Um diese Beschränkung aufzuheben, wurde eines der 8-Meter Teleskope des VLT mit einem leistungsfähigen Laser ausgestattet, mit dem die Astronomen jederzeit einen „künstlichen Stern“ an die gewünschte Stelle des Himmels projizieren können.

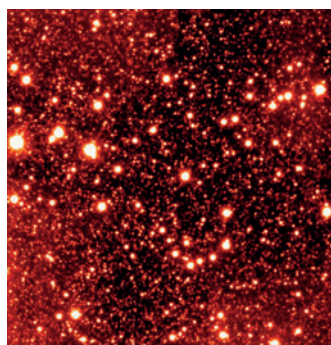
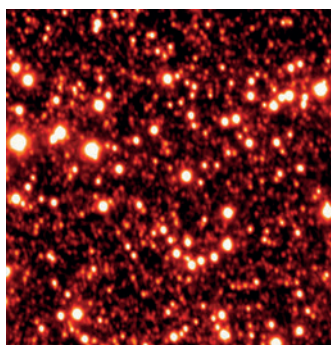
Um die Leistungsfähigkeit des VLT bei interferometrischen Beobachtungen zu steigern, wurde jedes der 8-Meter-Teleskope mit einer eigens für diesen Betriebsmodus konzipierten AO-Anlage (MACAO) ausgestattet, die das Licht weit entfernter Objekte zu den kleinstmöglichen Strahlenbündeln fokussiert.

Mit bis dato sieben AO-Systemen, einem Laser-Referenzstern und der Möglichkeit, zwei oder drei Teleskope für interferometrische Beobachtungen zusammenschalten, ist das VLT das fortschrittlichste bodengebundene Observatorium der Welt.

Derzeit entwickelt die ESO zusammen mit mehreren europäischen Instituten die nächste Generation von AO-Instrumenten für das VLT. Ein Beispiel ist das Instrument SPHERE: Es wird mit besonders leistungsfähiger, so genannter extremer Adaptiver Optik ausgestattet und verfolgt das ehrgeizige Ziel, Gasplaneten, die ferne Sterne umkreisen, direkt abzubilden und ihre Eigenschaften zu bestimmen. Die Beobachtung solcher Planeten mit Massen bis hinunter zu einer Jupitermasse ist ein wichtiger Schritt hin zu einem der spannendsten Ziele der modernen Astronomie: der Entdeckung und Untersuchung erdähnlicher Planeten, auf denen Leben existieren könnte. Dieses Ziel könnte mit dem in der Planungsphase befindlichen European Extremely Large Telescope erreicht werden.

Der Laser-Referenzstern am VLT

Ein Laser-Referenzstern wird am VLT derzeit für die Arbeit mit den AO-Instrumenten NACO und SINFONI eingesetzt. Dazu wird ein starker Laserstrahl in rund 90 Kilometern Höhe fokussiert. Dort enthält die Erdatmosphäre eine Natriumschicht, die der Laser zum Leuchten anregt. Die Adaptive Optik kann den so erzeugten Lichtpunkt als künstlichen Stern verwenden, um so fast überall am Himmel die atmosphärische Turbulenz zu messen und auszugleichen. Der VLT-Laser-Referenzstern ist ein Gemeinschaftsprojekt der ESO, des Max-Planck-Instituts für extraterrestrische Physik in Garching (MPE) und des Max-Planck-Instituts für Astronomie in Heidelberg (MPIA).



Vergleich zwischen einer Aufnahme, die ohne (links) und mit adaptiver Optik gemacht wurde (rechts).

VLT-Bildergalerie

Das VLT ist eine höchst leistungsfähige Forschungsmaschine, die wissenschaftliche Spitzenergebnisse produziert. Dabei entstehen auch beeindruckend schöne Abbildungen von Himmelsobjekten.

1 Die majestätische Spiralgalaxie NGC 7424

Die schöne, vielarmige Spiralgalaxie NGC 7424 im Sternbild Grus (der Kranich) ist rund 40 Millionen Lichtjahre entfernt, und wir sehen sie fast direkt von oben. Wie unsere Heimatgalaxie, die Milchstraße, hat diese Galaxie einen Durchmesser von rund 100 000 Lichtjahren.

2 Der Pferdekopfnebel

Der berühmte Pferdekopfnebel befindet sich rund 1400 Lichtjahre von der Erde entfernt im Orion-Molekülwolkenkomplex. Der dunkle Nebel ist eine mächtige Staubansammlung im südlichen Teil der dichten Staubwolke Lynds 1630 am Rande der HII-Region IC 434.

3 Die Sternkinderstube NGC 3603

Bei NGC 3603 handelt es sich um ein hochaktives Sternentstehungsgebiet in der Milchstraße. In den ausgedehnten Gas- und Staubwolken des Nebels werden ständig neue Sterne geboren.

4 Die Säulen der Schöpfung

Dieses Bildmosaik des Adlernebels (Messier 16) basiert auf 144 Einzelaufnahmen. In der Bildmitte das als „Säulen der Schöpfung“ bekannte Sternentstehungsgebiet.

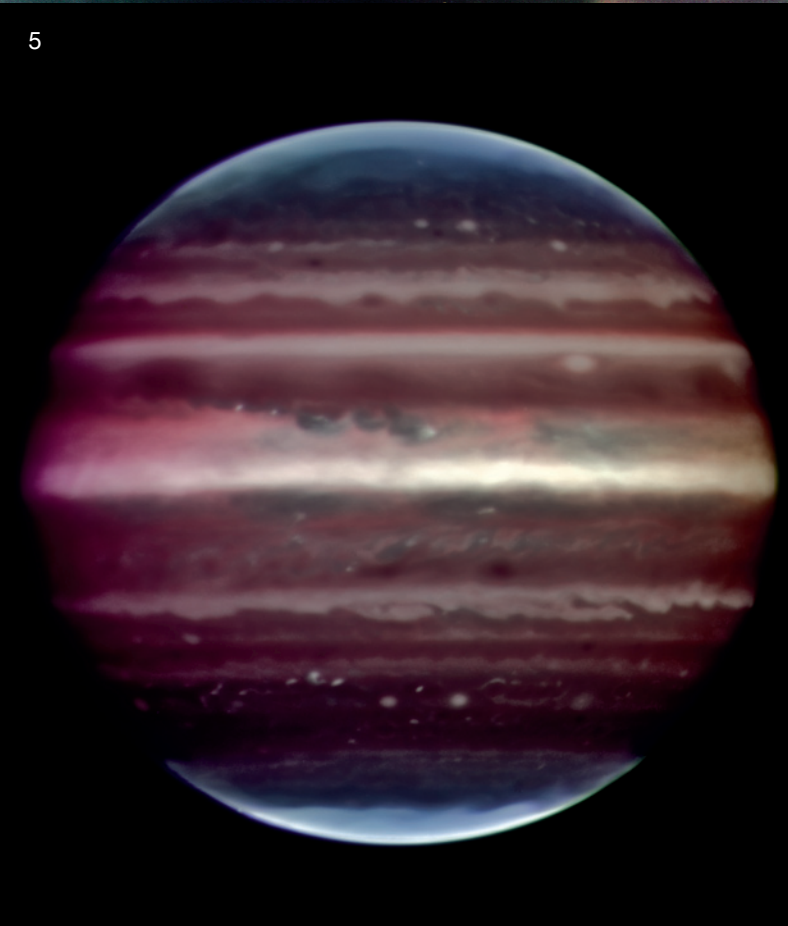
5 Der Planet Jupiter

Dieses Bild ist die detailschärfste je vom Erdboden aus gewonnene Gesamtaufnahme des Planeten Jupiter. Es wurde mit dem Multi-Conjugate Adaptive Optics Demonstrator (MAD) aufgenommen, einem Testinstrument für Adaptive Optik am VLT. Das außergewöhnliche Bild ist Teil einer Aufnahmereihe, die Veränderungen in den smogartigen Dunstschichten der Jupiteratmosphäre zeigt – vermutlich eine Folge planetenweiter Wetterturbulenzen, zu denen es ein Jahr zuvor gekommen war.

6 Die irreguläre Galaxie NGC 1427A

NGC 1427A ist ein typisches Beispiel für eine irreguläre Zwerggalaxie, eine Galaxienart, die meist als Begleiter großer elliptischer Galaxien oder Spiralgalaxien in Galaxienhaufen auftritt. NGC 1427A rast mit der unglaublichen Geschwindigkeit von zwei Millionen Kilometern pro Stunde durch einen Galaxienhaufen. Sie ist durch den Schwerkrafteinfluss der Galaxien, an denen sie vorbeiläuft, bereits stark deformiert und wird am Ende völlig auseinander gerissen werden.





Die Erforschung des kalten Universums – ALMA



Auf der Hochebene Chajnantor in der chilenischen Atacama-Wüste errichtet die ESO zusammen mit internationalen Partnern das Atacama Large Millimeter Array, kurz ALMA. Das neue Verbundteleskop soll das Licht einiger der kältesten Objekte im Universum auffangen. Die Wellenlänge der untersuchten Strahlung liegt bei etwa einem Millimeter, im Grenzbereich zwischen Infrarot- und Radiostrahlung. Das Licht wird dementsprechend Millimeter- bzw. Submillimeterstrahlung genannt.

Licht mit diesen Wellenlängen wird insbesondere von großen kühlen Wolken im interstellaren Raum abgestrahlt, deren Temperaturen lediglich einige Dutzend Grad über dem absoluten Nullpunkt liegen. Weitere Strahlungsquellen sind einige der ältesten und am weitesten entfernten Galaxien im Universum.

Mit Hilfe der Millimeterstrahlung können die Astronomen die chemischen und physikalischen Bedingungen in Molekülwolken untersuchen – den dichten Gas- und Staubregionen, in denen neue Sterne geboren werden. Diese Gebiete des Universums sind oftmals dunkel und undurchdringlich für sichtbares Licht. Im Millimeter- und Submillimeterbereich leuchten sie dagegen hell und geben den Blick auf ihr Inneres frei.

Die Millimeter- und Submillimeterstrahlung, die uns den Blick auf das immer noch rätselhafte kalte Universum ermöglicht, wird beim Durchgang durch die Erdatmosphäre durch den in der Atmosphäre enthaltenen Wasserdampf stark abgeschwächt. Teleskope für diese Art von Astronomie müssen daher an hochgelegenen, trockenen Standorten gebaut werden.

Das ist der Grund, warum ALMA – das größte astronomische Projekt überhaupt – in über 5000 Metern Höhe über dem Meeresspiegel auf der Hochebene Chajnantor errichtet wird, einem der weltweit höchstgelegenen Beobachtungsstandorte.

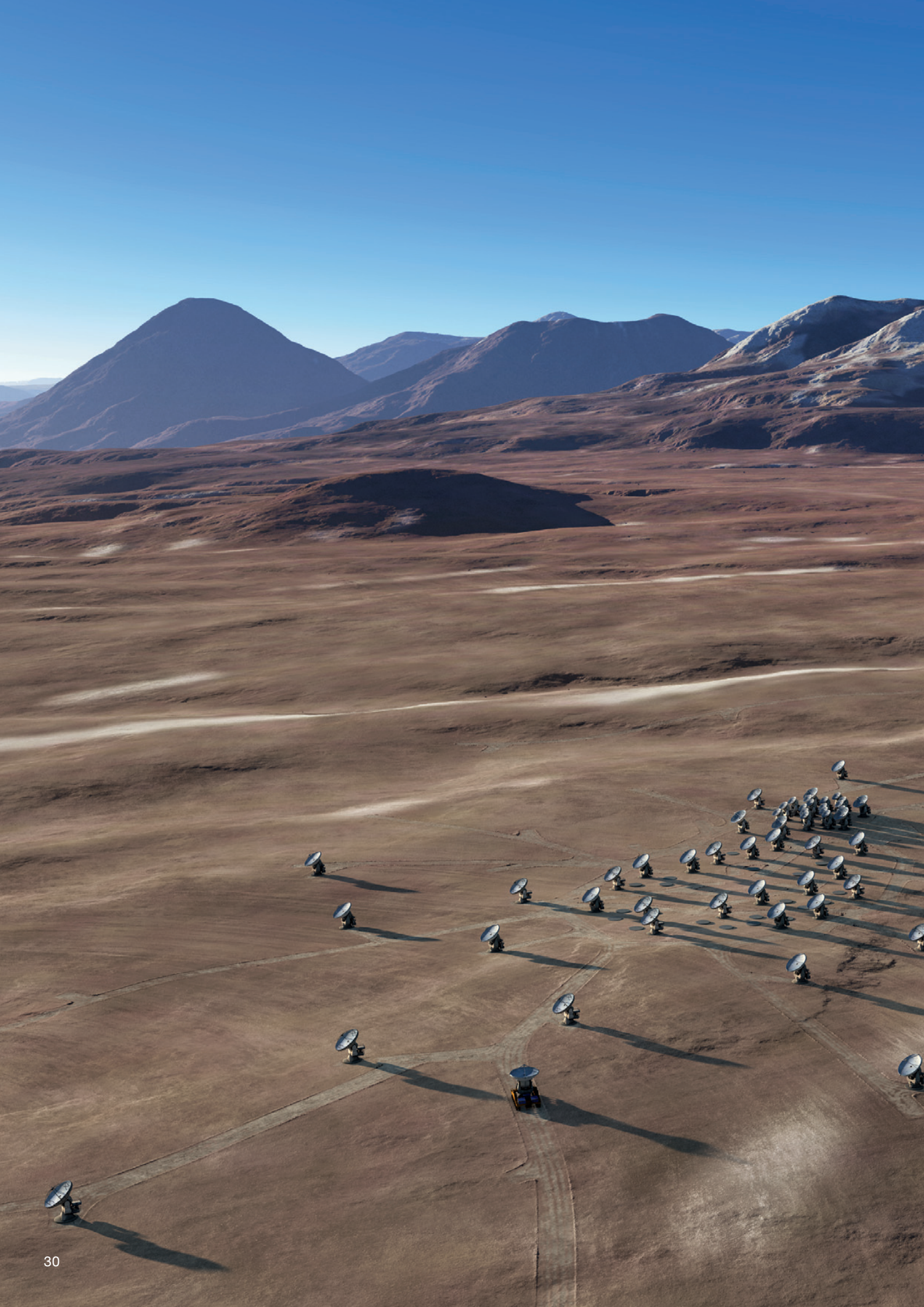
Der ALMA-Standort liegt rund 50 Kilometer östlich von San Pedro de Atacama im Norden Chiles in der Atacama-Wüste, einer der trockensten Gegenden der Erde. Astronomen finden hier weltweit unübertroffene Beobachtungsbedingungen vor, stehen aber gleichzeitig vor der Herausforderung, unter sehr schwierigen Bedingungen ein Observatorium zu betreiben, das neue Maßstäbe setzt. Chajnantor ist 750 Meter höher gelegen als die Observatorien auf dem Mauna Kea, und 2400 Meter höher als das VLT auf dem Paranal.

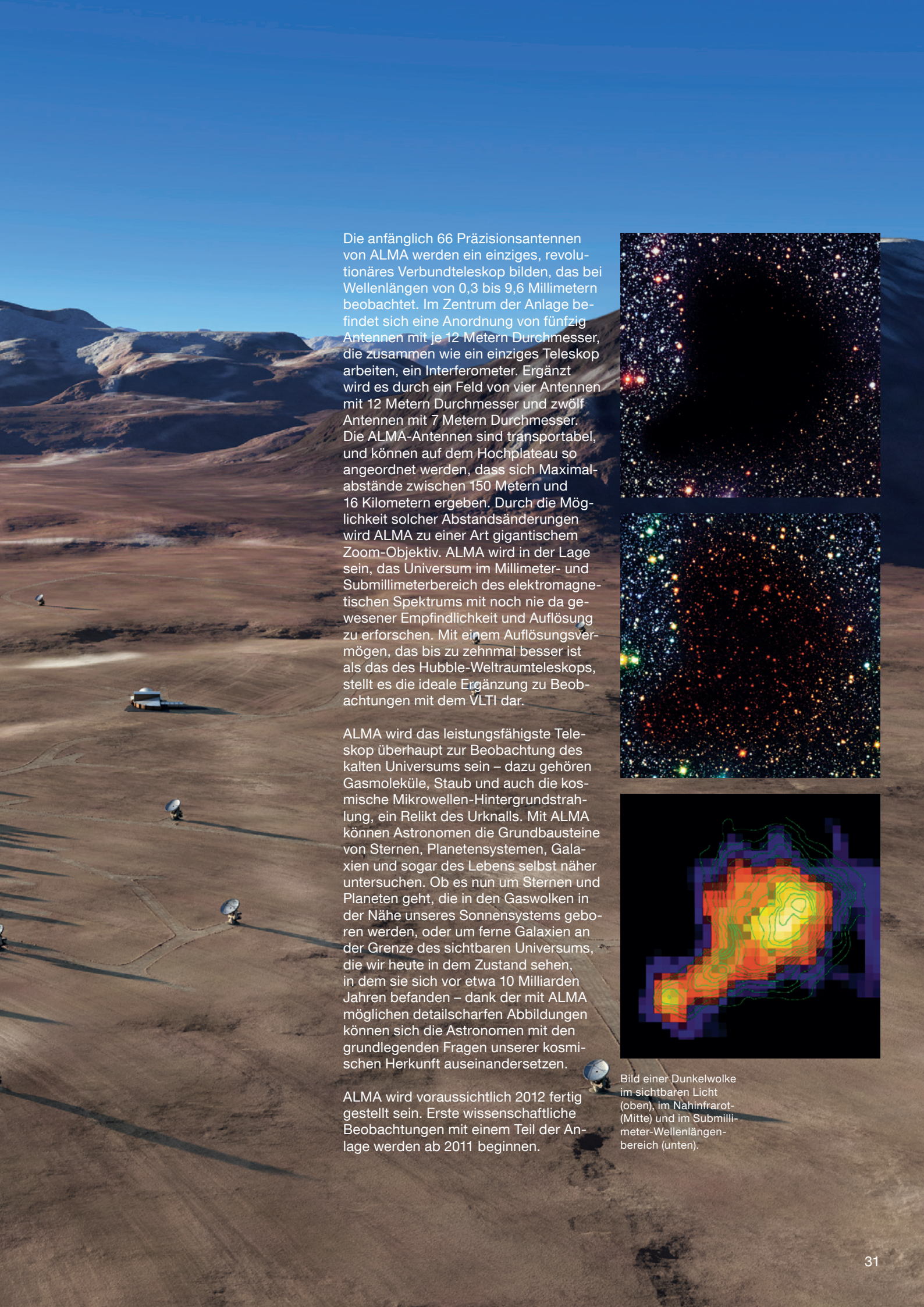


Menschen bei der ESO: Stefano Stanghellini, Manager des ALMA-Antennensystems

„Ich komme aus der Toskana, und in meiner Familie war es schon immer Tradition, ins Ausland zu gehen, um seine Karriereträume zu verwirklichen. Bevor ich zur ESO kam, war ich bei Westinghouse Nuclear International in Brüssel beschäftigt und bin dann nach Deutschland gegangen, um an Düsen-triebwerken zu arbeiten. Dann habe ich einen Artikel über das VLT gelesen, das als Herausforderung an Europas Ingenieure beschrieben wurde, und wusste, dass mein Platz bei der ESO war. Ich schätze mich sehr glücklich, während der unglaublich aufregenden und erfolgreichen Jahre, in denen das VLT entwickelt und konstruiert wurde, für die ESO gearbeitet zu haben. Der Teamgeist war erstaunlich – alle bei der ESO hatten das gleiche Ziel. Und wie stolz waren wir, als es 1998 „First Light“ am VLT gab, mit hervorragenden Ergebnissen: Wir hatten es geschafft!

Jetzt wollen wir mit ALMA genau so erfolgreich sein, und das in noch weit größerem Maßstab und mit Partnern aus aller Welt.“





Die anfänglich 66 Präzisionsantennen von ALMA werden ein einziges, revolutionäres Verbundteleskop bilden, das bei Wellenlängen von 0,3 bis 9,6 Millimetern beobachtet. Im Zentrum der Anlage befindet sich eine Anordnung von fünfzig Antennen mit je 12 Metern Durchmesser, die zusammen wie ein einziges Teleskop arbeiten, ein Interferometer. Ergänzt wird es durch ein Feld von vier Antennen mit 12 Metern Durchmesser und zwölf Antennen mit 7 Metern Durchmesser. Die ALMA-Antennen sind transportabel, und können auf dem Hochplateau so angeordnet werden, dass sich Maximalabstände zwischen 150 Metern und 16 Kilometern ergeben. Durch die Möglichkeit solcher Abstandsänderungen wird ALMA zu einer Art gigantischem Zoom-Objektiv. ALMA wird in der Lage sein, das Universum im Millimeter- und Submillimeterbereich des elektromagnetischen Spektrums mit noch nie da gewesener Empfindlichkeit und Auflösung zu erforschen. Mit einem Auflösungsvermögen, das bis zu zehnmals besser ist als das des Hubble-Weltraumteleskops, stellt es die ideale Ergänzung zu Beobachtungen mit dem VLTI dar.

ALMA wird das leistungsfähigste Teleskop überhaupt zur Beobachtung des kalten Universums sein – dazu gehören Gasmoleküle, Staub und auch die kosmische Mikrowellen-Hintergrundstrahlung, ein Relikt des Urknalls. Mit ALMA können Astronomen die Grundbausteine von Sternen, Planetensystemen, Galaxien und sogar des Lebens selbst näher untersuchen. Ob es nun um Sterne und Planeten geht, die in den Gaswolken in der Nähe unseres Sonnensystems geboren werden, oder um ferne Galaxien an der Grenze des sichtbaren Universums, die wir heute in dem Zustand sehen, in dem sie sich vor etwa 10 Milliarden Jahren befanden – dank der mit ALMA möglichen detailscharfen Abbildungen können sich die Astronomen mit den grundlegenden Fragen unserer kosmischen Herkunft auseinandersetzen.

ALMA wird voraussichtlich 2012 fertig gestellt sein. Erste wissenschaftliche Beobachtungen mit einem Teil der Anlage werden ab 2011 beginnen.

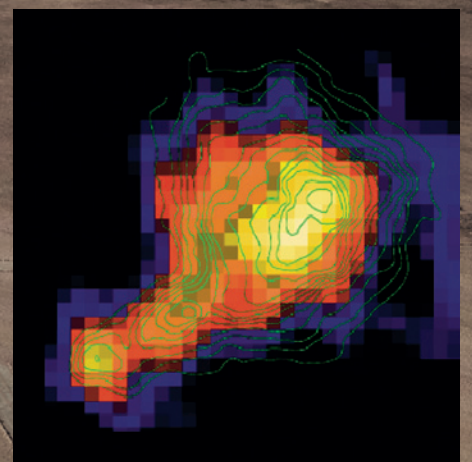


Bild einer Dunkelwolke im sichtbaren Licht (oben), im Nahinfrarot (Mitte) und im Submillimeter-Wellenlängenbereich (unten).

Ein globales Unterfangen

ALMA ist ein Projekt, das gemeinsam von Europa, Nordamerika und Ostasien in Zusammenarbeit mit der Republik Chile getragen wird. Von europäischer Seite aus wird ALMA über die ESO finanziert, in Nordamerika von der National Science Foundation der USA in Zusammenarbeit mit dem kanadischen National Research Council und dem National Science Council von Taiwan, und in Ostasien von den japanischen National Institutes of Natural Sciences in Kooperation mit der Academia Sinica in Taiwan. Bei Entwicklung, Aufbau und Betrieb ist die ESO federführend für den europäischen Beitrag, das National Astronomical Observatory of Japan für den japanischen und das National Radio Astronomy Observatory (das seinerseits von Associated Universities, Inc. betrieben wird) für den nordamerikanischen Beitrag. Das Joint ALMA Observatory übernimmt die übergreifende Projektleitung für den Aufbau, die Inbetriebnahme und den Beobachtungsbetrieb von ALMA.

„Das ALMA-Projekt ist eine kühne technische Herausforderung, da die Oberflächengenauigkeit der Antenne bei 25 Mikrometern und die der Nachführung bei 0,6 Bogensekunden liegen muss. Außerdem sollen die Antennen über eine Strecke von 10 Kilometern bewegt werden können und auch für die Beobachtung der Sonne geeignet sein. Wir möchten der ESO dafür danken, dass sie uns diese neue Herausforderung anvertraut hat.“

Pascale Sourisse, Präsident und Generaldirektor von Alcatel Alenia Space

APEX

Obwohl ALMA noch im Bau ist, werden heute schon astronomische Beobachtungen im Millimeter- und Submillimeterbereich auf Chajnantor durchgeführt, nämlich mit dem Atacama Pathfinder EXperiment (APEX). Dabei handelt es sich um ein Teleskop mit 12 Metern Durchmesser und neuester technischer Ausstattung, das auf einem Prototypen der ALMA-Antennen basiert und am ALMA-Standort betrieben wird. APEX ist das zurzeit größte Submillimeterteleskop auf der südlichen Erdhalbkugel, verfügt über eine modifizierte Optik und weist eine besonders genau gearbeitete Antennenoberfläche auf. Es ist für Beobachtungen im Wellenlängenbereich von 0,2 bis 1,5 Millimetern ausgelegt.

Die Astronomen benutzen APEX, um die Bedingungen innerhalb von Molekülwolken wie dem Orionnebel oder den „Säulen der Schöpfung“ im Adlernebel zu untersuchen. Dabei haben sie Kohlenmonoxid und komplexe organische Moleküle gefunden, ebenso wie erstmals auch geladene Moleküle, die das Element Fluor enthalten. Diese Entdeckungen erweitern unser Verständnis solcher Gaswolken, der Geburtsstätten neuer Sterne.

APEX ist ein Gemeinschaftsprojekt des Max-Planck-Instituts für Radioastronomie in Bonn (in Zusammenarbeit mit dem Astronomischen Institut der Ruhr-Universität Bochum), des Onsala Space Observatory und der ESO, die auch für den Betrieb von APEX verantwortlich zeichnet. Das Projekt tritt in die Fußstapfen des Swedish-ESO Submillimetre Telescope (SEST), das von 1987 bis 2003 auf La Silla von der ESO in Zusammenarbeit mit dem Onsala Space Observatory betrieben wurde. SEST arbeitete im Wellenlängenbereich von 0,8 bis 3 mm.



APEX-Beobachtungen des Sternentstehungsgebiets RCW 120.



Höchste Effizienz – Das Datenfluss-System



Menschen bei der ESO: Petra Nass,
User Support Department

„Als Support-Wissenschaftlerin in Garching bin ich die Schnittstelle zwischen den Astronomen, die Beobachtungszeit im so genannten Service-Modus beantragen, und dem Team von ESO-Astronomen in Chile, die die Beobachtungen unter optimalen Bedingungen durchführen sollen. Damit bieten wir, denke ich, eine ganz entscheidende Dienstleistung an. Während der Beobachtungen, die ich für meine eigene Doktorarbeit durchgeführt habe, saß ich alleine im Kontrollraum eines Teleskops auf einem Berg und hatte mehrere Bildschirme vor mir, die ich ständig im Auge behalten und deren Anzeigen ich überwachen und sofort verstehen musste. All das trägt zusätzlich zum Stress des allgegenwärtigen Hoffens und Bangens um die besten Beobachtungsbedingungen bei. Mit Beobachtungen im Service-Modus ist das nicht mehr der Fall. Hier bei der ESO nutze ich meine Erfahrung als Beobachter, um den Ablauf der Beobachtungen im Service-Modus immer weiter zu verbessern. Dadurch werden auch wissenschaftliche Studien möglich, die zuvor, im konventionellen Besucher-Modus, undenkbar gewesen wären. Das Prinzip wird stetig weiterentwickelt: ALMA wird komplett im Service-Modus betrieben werden, und wir denken bereits darüber nach, wie wir unsere Betriebsabläufe den Erfordernissen des künftigen E-ELT anpassen können.“

Die Betriebseffizienz der ESO-Teleskope übersteigt die aller anderen bodengebundenen Teleskope der Welt. Verantwortlich dafür sind eine einmalige Kombination neuer Betriebskonzepte, ein ausgeklügeltes Wartungsprogramm und ein komplexes, sorgfältig durchdachtes System für die Speicherung, Auswertung und die Bereitstellung der wissenschaftlichen und technischen Daten.

Bei „traditionellen“ bodengebundenen astronomischen Observatorien beantragen die Wissenschaftler Beobachtungszeit, reisen zu den Teleskopen und führen dort ihre Beobachtungen selbst aus. Anschließend kehren sie mit den Daten zu ihren Heimatinstitutionen zurück, um sie dort auszuwerten. Die Daten stehen oft nicht mehr für andere Nutzer zur Verfügung. Die Beobachtungszeit wird bei diesem System lange im Voraus festgelegt – aber veränderliche Wetterbedingungen können auch an den besten Standorten der Welt die Qualität der wissenschaftlichen Daten beeinträchtigen. In einer Zeit, in der die Komplexität der Teleskope und Instrumente immer weiter zunimmt und Observatorien in immer entlegeneren Gegenden errichtet werden, wird dieser Betriebsmodus immer ineffektiver.

Das ESO-Datenfluss-System (DFS) wurde konzipiert, um diese Probleme zu lösen. Es erlaubt einerseits die traditionelle Beobachtungsmethode, andererseits aber auch Beobachtungen im so genannten Service-Modus, bei dem die Daten auf Antrag der wissenschaftlichen Nutzer vom Personal des Observatoriums aufgenommen werden. Alle Daten werden im wissenschaftlichen Archiv der ESO gespeichert. Ein Jahr lang, sind sie nur den ursprünglichen Antragstellern zugänglich. Danach können alle anderen Forscher die Daten für eigene Untersuchungen nutzen.

Die ESO war der erste Betreiber bodengebundener Observatorien, der dieses Konzept konsequent eingeführt und mit Hilfe von Software-Tools zu einem effizienten Gesamtsystem ausgebaut hat und ist außerdem Vorreiter beim Aufbau und Betrieb eines umfangreichen wissenschaftlichen Datenarchivs, in dem nicht nur die Beobachtungen selbst, sondern auch ergänzende Informationen gespeichert werden.

Die Vorteile des Datenfluss-Systems liegen auf der Hand: Die Beobachtungen können im Heimatinstitut eines Forschers geplant und dann bei der ESO beantragt werden, ohne die Notwendigkeit einer Reise zum Observatorium. Das Fehlerisiko wird so minimiert und die Effizienz gesteigert. Die Nächte werden besser ausgenutzt, da Beobachtungen so ausgeführt werden können, dass die Wetterbedingungen für das jeweilige Projekt am günstigsten sind. Für sehr anspruchsvolle wissenschaftliche Programme wird es damit möglich, über längere Zeiträume hinweg die seltenen Phasen außergewöhnlich guter atmosphärischer Bedingungen zu nutzen. Diese Vorgehensweise hat außerdem zu einer beträchtlichen Kostensenkung geführt. Die Nutzer erhalten Daten, die bereits in einheitlicher Weise aufbereitet wurden, einem hohen, im Voraus definierten Qualitätsstandard genügen und die direkt der eigentlichen wissenschaftlichen Auswertung zugeführt werden können. Bei ihrer Arbeit werden die Nutzer von einem Team von ESO-Astronomen unterstützt, die Experten auf allen Gebieten des DFS-Betriebs sind.

Die DFS-Strategie hat zu einer wesentlichen Steigerung der wissenschaftlichen Produktivität der ESO-Nutzergemeinschaft geführt. Gemessen an der Zahl der Fachartikel, die in Zeitschriften mit Peer-Review-Verfahren veröffentlicht wurden, ist die ESO das weltweit führende Observatorium.

In Anerkennung ihrer hervorragenden Leistungen auf diesem Gebiet wurde die ESO mit dem in internationalen Fachkreisen weithin bekannten ComputerWorld Honors 21st Century Achievement Award ausgezeichnet.

„Die ESO hat den Betrieb bodengebundener Observatorien mit einem neuen End-to-End Datenfluss-System revolutioniert, das konzipiert wurde um die Übertragung und Verarbeitung astronomischer Beobachtungen und Daten über interkontinentale Entfernungen hinweg zu verbessern.“

Aus der Begründung für die Verleihung des ComputerWorld Honors 21st Century Achievement Award

Das wissenschaftliche Datenarchiv

Alle von den ESO-Teleskopen und vom Weltraumteleskop Hubble aufgenommenen Daten werden im wissenschaftlichen Datenarchiv der ESO gespeichert. Zurzeit sind dort etwa 65 000 Gigabyte (GB) an Daten hinterlegt, was dem Inhalt von rund 15 000 DVDs entspricht.

Mehr als 12 Terabyte (TB) an Daten werden jährlich durch etwa 10 000 Anfragen über das Internet abgerufen. Diese Zahlen werden sich drastisch erhöhen, sobald die beiden Durchmusterungsprojekte VISTA und VST den regulären Beobachtungsbetrieb aufgenommen haben. Allein diese beiden Teleskope werden jährlich rund 150 TB an Daten generieren. Aus diesem Grund hat die ESO bereits ein Archiv mit Petabyte-Kapazitäten eingerichtet (1 Petabyte entspricht 1000 TB, also einer Million GB).

Die ESO-Datenbankserver werden zwischen Deutschland und Chile abgeglichen. Was die technischen Anforderungen und die Komplexität angeht, entsprechen sie den Systemen, die bei Großunternehmen wie internationalen Banken im Einsatz sind.

Das digitale Universum

Archivdatenbanken wie das wissenschaftliche Datenarchiv der ESO sind die Grundlage für die Entwicklung eines astrophysikalischen Virtuellen Observatoriums. Die astronomische Forschung ist mehr und mehr darauf angewiesen, die mit heutigen und zukünftigen Instrumenten in einer Vielzahl verschiedener Wellenlängenbereiche gewonnenen Daten miteinander zu kombinieren, denn nur so lassen sich Antworten auf grundlegende Fragen nach dem Ursprung des Universums, der Entwicklung der Galaxien und der Entstehung von Sternen und Planeten finden. Doch dazu ist es zwingend notwendig, die über Jahre hinweg gesammelten Datenmengen in einer direkt verwertbaren Form zugänglich zu machen.

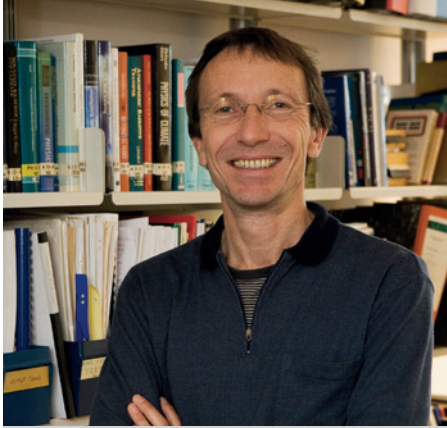
Hier setzt das Virtual Observatory an: eine konzertierte Anstrengung, Astronomen in vereinheitlichtem Format und von zentraler Stelle aus Zugriff auf möglichst viele der vorhandenen Daten zu verschaffen. Diese globale, von der wissenschaftlichen Gemeinschaft getragene Initiative wird unter der Schirmherrschaft der Internationalen Allianz Virtueller Observatorien

(International Virtual Observatory Alliance, IVOA) vorangetrieben.

Dass das Konzept aufgeht, zeigt die steigende Zahl von wissenschaftlichen Entdeckungen aus allen Teilen der modernen Astronomie, die erst durch die Arbeit mit dem VO möglich wurden – von der Sonnen- und Sternphysik über die extragalaktische Astronomie bis hin zur Kosmologie.

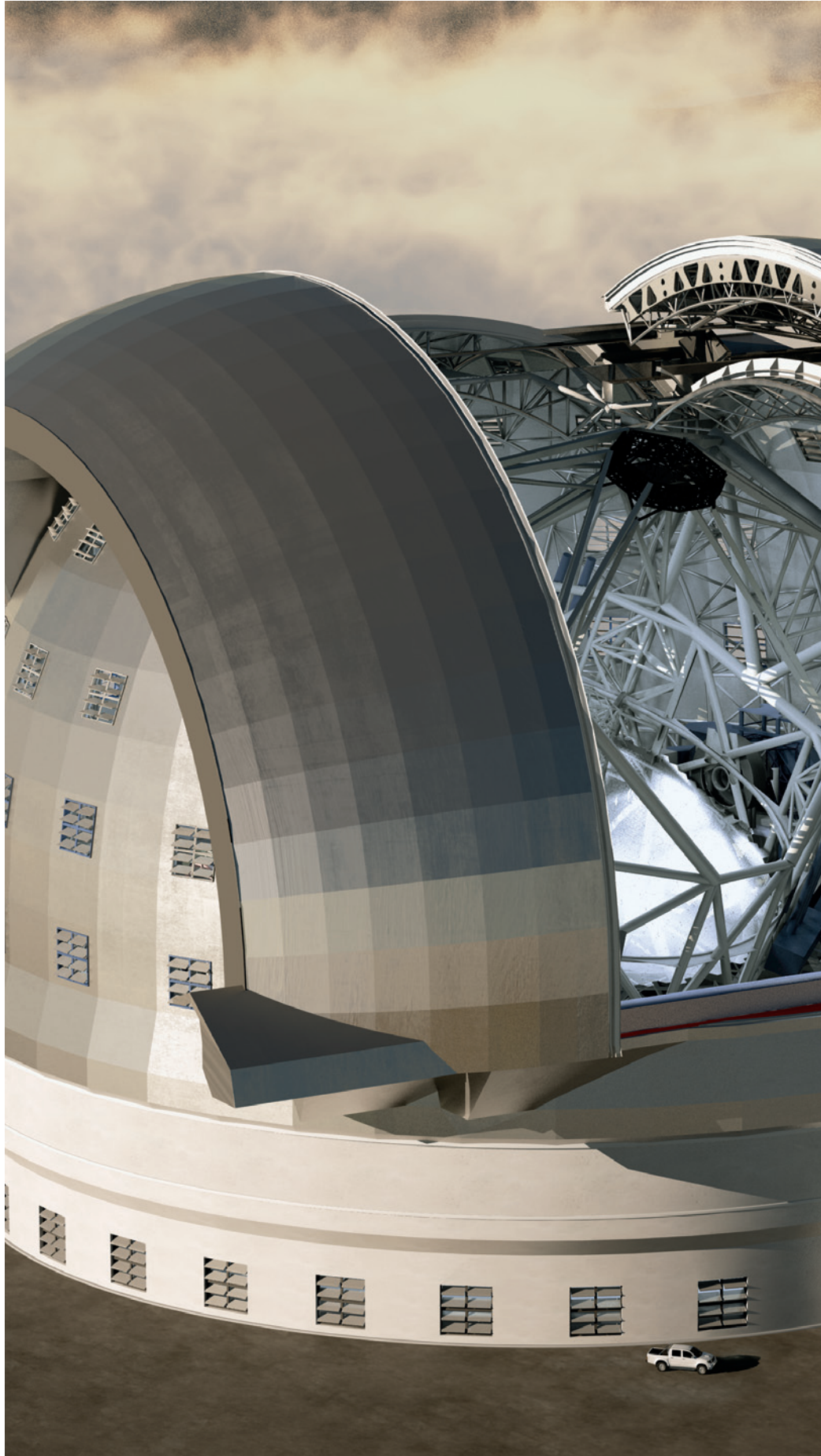


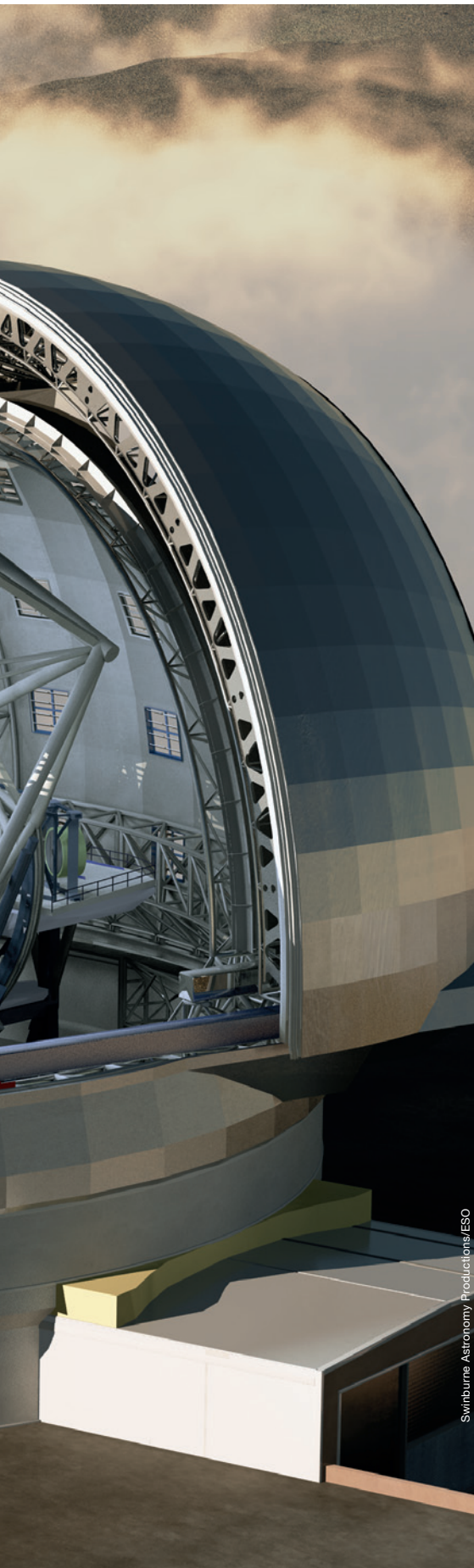
Zukünftige Projekte – das E-ELT



Menschen bei der ESO: Marc Sarazin, E-ELT-Standort-Sachverständiger

„Ich bin vor mehr als 20 Jahren als Ingenieur und Physiker zur ESO gekommen, um bei der Suche nach dem besten Standort für das damals noch in Planung befindliche Very Large Telescope mitzuhelfen. In der Astronomie hatte sich eine Revolution ereignet: In der Vergangenheit hatten wir das Potenzial guter Beobachtungsstandorte oft gar nicht vollständig ausnutzen können. Aber dank verbesserter Teleskoptechnik sah die Situation nun ganz anders aus. Versteht man, was in der Atmosphäre vor sich geht, dann kann man den besten Standort auswählen und später mit seinen Teleskopen die bestmögliche Wissenschaft betreiben. Es hat rund zehn Jahre gedauert, bis wir den idealen Standort für das VLT definiert und ausgewählt hatten – den Paranal. In neuerer Zeit haben wir daran gearbeitet, den besten Standort für das E-ELT zu finden – eine Suche, die jetzt gerade ihren Abschluss gefunden hat. Die ESO selbst hat dazu vier verschiedene Standorte näher untersucht. Wir haben aber auch Informationen mit unseren amerikanischen Kollegen ausgetauscht, die für ihr eigenes Großteleskop-Projekt vier andere Standorte untersucht hatten. Da die ferngesteuerte Messtechnik enorme Fortschritte gemacht hat, ist die Arbeit vor Ort seltener geworden. Mehr und mehr geht es bei unserer Arbeit darum, gewaltige Mengen an Daten auszuwerten, die uns unsere Messinstrumente automatisch übertragen. Wir sind zuversichtlich, dass wir so den bestmöglichen Ort für diese außergewöhnliche Einrichtung gefunden haben.“





Swinburne Astronomy Productions/ESO

Mit der heutigen Generation von Großteleskopen mit Spiegeldurchmessern zwischen 8 und 10 Metern – dazu gehört auch das VLT der ESO – können die Astronomen das Universum so gründlich erforschen wie nie zuvor. Doch aus den Antworten ergeben sich auch neue offene Fragen und Herausforderungen. Hier weiter zu kommen ist das Ziel einer neuen Generation von extrem großen Teleskopen (Extremely Large Telescopes oder ELTs), die derzeit in Planung ist. Mit Hauptspiegeldurchmessern von 30 Metern und mehr könnten solche Teleskope unser Verständnis des Universums in ähnlicher Weise revolutionieren wie einst das Teleskop Galileo Galileis.

Die Giganten der nächsten Generation werden voraussichtlich zwischen 2015 und 2020 den Beobachtungsbetrieb aufnehmen. Sie sollen einige der spannendsten wissenschaftlichen Herausforderungen ihrer Zeit angehen, etwa die Beobachtung des „Dunklen Zeitalters“ unseres Universums – also der ersten hunderte von Millionen Jahren nach dem Urknall – und den Nachweis erdähnlicher Planeten in den lebensfreundlichen Zonen um andere Sterne.

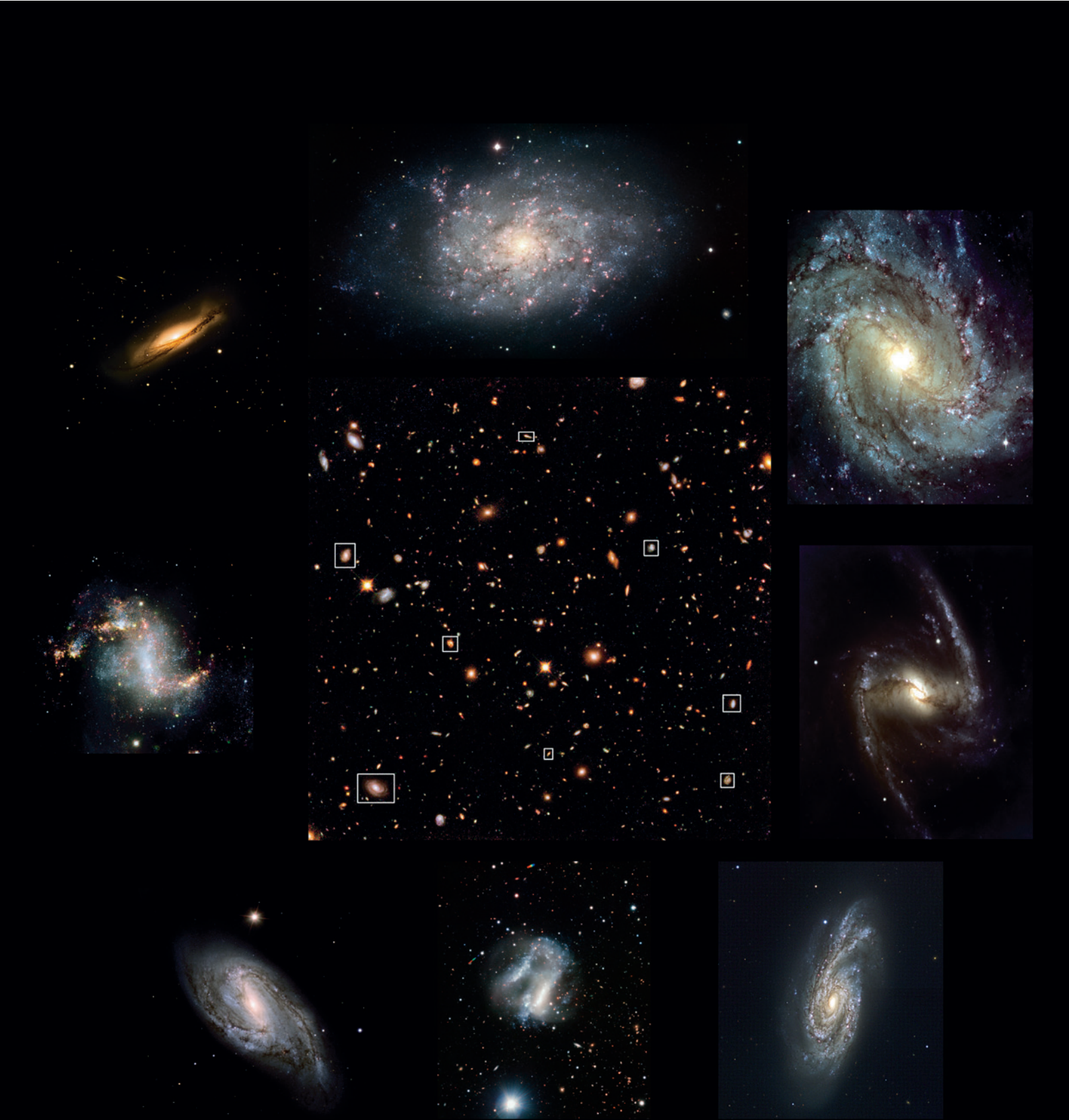
Die ESO kann auf einen beträchtlichen Erfahrungsschatz bei der Entwicklung, dem Bau sowie dem Betrieb großer astronomischer Teleskope an abgelegenen Standorten zurückgreifen. Seit mehreren Jahren arbeiten ESO-Wissenschaftler an Konzeptstudien für ein extrem großes, mit Adaptiver Optik versehenes Teleskop für sichtbares und Infrarotlicht. Auf dieser Grundlage wird derzeit ein extrem großes Teleskop für die europäischen Astronomen entwickelt: das E-ELT.

Das Referenzdesign des E-ELT, die Grundlage für alle nachfolgenden Entwicklungen, wurde Ende 2006 festgelegt. Nun hat die abschließende Designphase begonnen. Parallel dazu arbeitet ein Konsortium aus europäischen Instituten und Hochtechnologie-Unternehmen an der Entwicklung der für den Bau des Teleskops notwendigen neuen Technologien, wobei die ESO und die Europäische Kommission den Hauptteil der Kosten tragen. Um das Jahr 2018 herum soll das E-ELT in Betrieb gehen.

Mit einem Durchmesser von 42 Metern – beinahe die halbe Länge eines Fußballfelds – wird das E-ELT das weltweit größte Teleskop für sichtbares und nahinfrarotes Licht sein. Bei dieser Größe kann das Teleskop fünfzehn Mal mehr Licht sammeln als die größten heute in Betrieb befindlichen Teleskope. Das E-ELT verfügt über ein innovatives Design aus fünf Spiegeln und über eine höchst fortschrittliche Adaptive Optik, mit deren Hilfe sich die Störeinflüsse der turbulenten Erdatmosphäre zum großen Teil ausgleichen lassen. Das Teleskop wird in der Lage sein, 15 Mal schärfere Abbildungen zu liefern als das Weltraumteleskop Hubble.

„Extrem großen Teleskopen kommt weltweit eine der höchsten Prioritäten in der bodengebundenen Astronomie zu. Sie werden zu gewaltigen Fortschritten in der Astrophysik führen und unter anderem detaillierte Beobachtungen von Planeten um fremde Sterne, von den ersten Objekten im Universum und von supermassiven Schwarzen Löchern sowie Erkenntnisse zur Beschaffenheit und Verteilung der Dunklen Materie und der Dunklen Energie ermöglichen, die unseren Kosmos dominieren. Das European Extremely Large Telescope wird Europas Spitzenposition in der astrophysikalischen Forschung erhalten und stärken.“

The European Roadmap for Research Infrastructures, ESFRI Report 2006



Im Dezember 2004 definierte der ESO-Council, das oberste Gremium der ESO, als wichtigstes strategisches Ziel der Organisation „die Erhaltung der Führungsrolle und Exzellenz der europäischen Astronomie in der Ära der extrem großen Teleskope“. Der Council verband dies mit der Forderung, „der Bau eines ELT [müsse] in einem konkurrenzfähigen zeitlichen Rahmen mit rigoroser strategischer Planung“ angegangen werden.

Nachdem eine erste Studie für ein solches Riesenteleskop (das OWL-Projekt) im Oktober 2005 international begutachtet worden war, führte das ESO-Projektbüro im Jahre 2006 eine weitere Studie durch. Um zu gewährleisten, dass Leistung, Kosten, Zeitplan und Risiken sorgfältig und realistisch bewertet würden, waren an dieser Studie mehr als 100 Astronomen beteiligt. Im November 2006 fand in Marseille eine Konferenz statt, bei der mehr als 250 europäische Astronomen die Ergebnisse dieser zweiten Studie ausführlich diskutierten. Die Studie traf auf enthusiastische Zustimmung; dies war ausschlaggebend für die Entscheidung des ESO-Council, mit der wichtigen nächsten Phase zu beginnen, in der das Design des E-ELT im Detail ausgearbeitet werden soll. Dafür sind drei Jahre vorgesehen. Anschließend könnte mit dem Bau begonnen werden. Die Kosten für das E-ELT einschließlich der ersten Generation von Instrumenten werden auf rund 950 Millionen Euro geschätzt.

Ferne Galaxien werden wie in unmittelbare Nähe gerückt, und den Astronomen bietet sich ein ungetrübler Blick auf die Entstehung von Sternen in einer Ära, als das Universum nur einen Bruchteil so alt war wie heute.

Konstruktion, Bau und Betrieb eines Teleskops mit einem Spiegeldurchmesser zwischen 30 und 60 Metern stellen eine gewaltige Herausforderung dar. Überträgt man die Bauweise der heutigen 10-Meter-Spiegel auf Hauptspiegel mit 30 Metern Durchmesser oder mehr, lässt sich zwar hervorragende Abbildungsqualität über ein großes Gesichtsfeld hinweg erreichen. Die technische Durchführung birgt allerdings eine Reihe von Herausforderungen. Die ESO arbeitet mit mehr als 30 wissenschaftlichen Instituten und Hochtechnologie-Unternehmen in Europa zusammen, um die nötigen Schlüsseltechnologien zu entwickeln, mit deren Hilfe das E-ELT innerhalb der nächsten 5–10 Jahre zu erschwinglichen Kosten realisiert werden kann. Dabei ist zum einen die Kontrolle der hochpräzisen Optik bei einem Teleskop dieser gewaltigen Größe von besonderer Wichtigkeit, zum anderen die Entwicklung leistungsfähiger Instrumente, mit denen die Astronomen die ehrgeizigen wissenschaftlichen Ziele des E-ELT erreichen können.

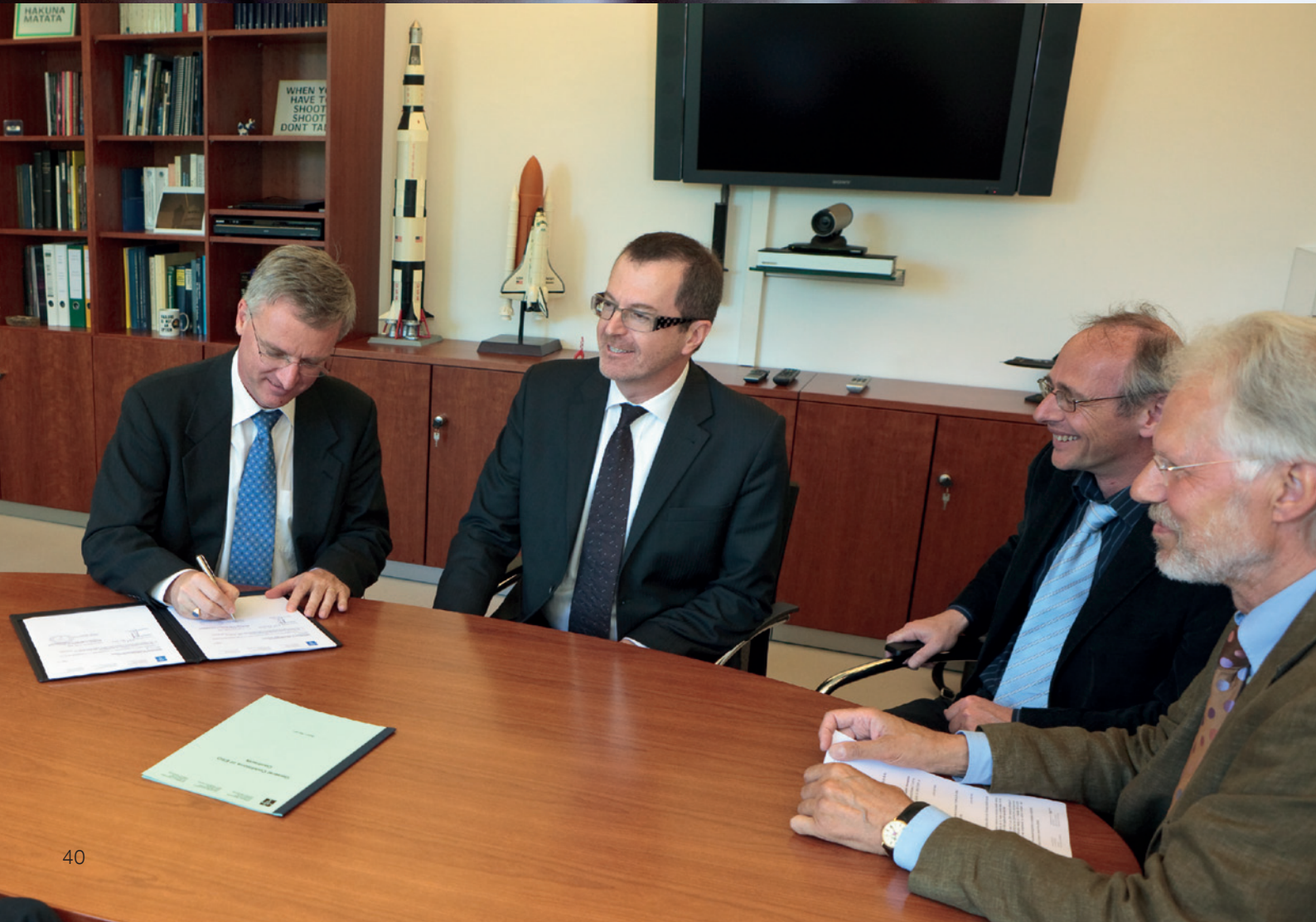
Die Forscher haben für das E-ELT einen Satz vielseitig einsetzbarer Instrumente entwickelt, abgestimmt auf die Anforderungen der vielfältigen wissenschaftlichen Fragen der Astronomie der nächsten Jahrzehnte. Mit Instrumenten, die einen großen Wellenlängenbereich vom sichtbaren Licht bis zum mittleren Infrarot abdecken und die einer großen Gruppe von Nutzern zugänglich sind, lassen sich die Möglichkeiten, die sich aus der Größe des Teleskops ergeben, voll und ganz

ausschöpfen. Eine besondere Herausforderung ergibt sich, da diese Instrumente ihr Potenzial nur entfalten können, wenn sie nahtlos in die Systeme der Aktiven und Adaptiven Optik des Teleskops integriert sind. Die ESO wird daher die Entwicklung der voraussichtlich fünf Instrumente der ersten Generation koordinieren. Die Entwicklung geeigneter Instrumente erfordert eine erhebliche Investition in qualifiziertes Personal, und die Koordination der Beiträge der vielen an der Kooperation beteiligten Institutionen stellt Management-Anforderungen der besonderen Art. Wie bereits die VLT-Instrumentierung wird auch dieses Unterfangen nur dann von Erfolg gekrönt sein, wenn es gelingt, intellektuelle Ressourcen aus ganz Europa zu nutzen.

Ein revolutionärer Entwurf

Die aktuellen Entwürfe zeigen das E-ELT als ein völlig neuartiges Teleskop mit einem Hauptspiegeldurchmesser von 42 Metern. Dieser Spiegel ist aus knapp 1000 Segmenten zusammengesetzt, jedes davon 1,45 Meter breit. Der Sekundärspiegel hat einen Durchmesser von 6 Metern. Um die durch atmosphärische Turbulenzen verursachte Unschärfe der Abbildung zu eliminieren, kommen spezielle adaptive Spiegel zum Einsatz: Ein Tertiärspiegel mit 4,2 Metern Durchmesser leitet das Licht weiter an das System der Adaptiven Optik. Dieses besteht wiederum aus zwei Spiegeln: einem Spiegel mit 2,5 Metern Durchmesser, der von 5000 oder mehr beweglichen so genannten Aktuatoren gestützt wird, die es erlauben, die Spiegelform tausend Mal pro Sekunde leicht zu verändern, und einem weiteren Spiegel (2,7 Meter im Durchmesser) für die abschließende Korrektur der Abbildung. Das Zusammenspiel der fünf Spiegel garantiert hervorragende Bildqualität ohne nennenswerte Abbildungsfehler im gesamten Gesichtsfeld.

Partnerschaften bilden



EIROforum

Die Förderung der Zusammenarbeit der Astronomen gehört zu den Hauptaufgaben der ESO, und die Organisation hat eine entscheidende Rolle bei der Schaffung eines europäischen Forschungsumfeldes für Astronomie und Astrophysik gespielt.

Tausende von Astronomen – nicht nur aus den ESO-Mitgliedsstaaten – nutzen jährlich für ihre Forschung Daten, die an ESO-Observatorien gewonnen wurden. Dabei finden sich die Astronomen für ihre Forschung oftmals über Landesgrenzen hinweg zu Projektgruppen zusammen. Die Ergebnisse ihrer Arbeit werden jedes Jahr in Form vieler hundert wissenschaftlicher Artikel veröffentlicht.

Die ESO bietet ein umfangreiches Programm für Fellows (junge Astronomen nach der Promotion) und Studenten, und trägt auf diese Weise wirksam zur Mobilität europäischer Wissenschaftler bei. Erfahrene Wissenschaftler aus den Mitgliedsstaaten und aus anderen Ländern arbeiten zeitweise als Gastwissenschaftler an den verschiedenen ESO-Standorten. Außerdem unterhält die ESO ein vielfältiges internationales Konferenzprogramm zu Themen aus der astronomischen Spitzenforschung und -technologie,

und sie leistet logistische Unterstützungsarbeit für die internationale Fachzeitschrift „Astronomy & Astrophysics“.

Um den Nutzern immer bessere astronomische Teleskope und Instrumente zur Verfügung stellen zu können, arbeitet die ESO eng mit einer großen Anzahl europäischer Hochtechnologie-Unternehmen zusammen. Tatsächlich spielt die europäische Industrie bei der Verwirklichung von ESO-Projekten eine entscheidende Rolle; ohne die aktive und enthusiastische Beteiligung von Industriepartnern aus allen Mitgliedsländern sowie aus Chile wären solche Projekte nicht möglich.

Nicht nur in der astronomischen Forschung, sondern auch in den Ingenieurwissenschaften unterhält die ESO enge Kontakte zu einer Vielzahl von universitären Forschergruppen innerhalb und außerhalb der Mitgliedsländer. Die Astronomen der Mitgliedsstaaten sind dabei unmittelbar an der Planung und Verwirklichung der wissenschaftlichen Instrumente für das VLT/VLTI, für ALMA und für andere bereits existierende oder geplante Teleskope beteiligt. Solche Entwicklungsarbeit bietet die Chance, nationale Exzellenzzentren aufzubauen, und zieht viele junge Wissenschaftler und Ingenieure an.

Die ESO ist Mitglied im EIROforum, einem europäischen Zusammenschluss von sieben zwischenstaatlichen Organisationen, die größere Forschungsanlagen betreiben. Sowohl direkt als auch über das EIROforum unterhält die ESO enge und fruchtbare Verbindungen zur Europäischen Kommission. Dies hat auf den Gebieten der technischen Entwicklung, der Ausbildung junger Wissenschaftler sowie der naturwissenschaftlichen Bildung an Europas Grund- und weiterführenden Schulen zu vielen gemeinschaftlich finanzierten und koordinierten Projekten geführt.

„Europa muss seine Kräfte vereinen, um die erforderliche kritische Masse an Ressourcen, und Sachverstand auf höchstem wissenschaftlichen Niveau aufzubringen. Ich begrüße das Bekenntnis von EIROforum zu unseren gemeinsamen Zielen.“

Janez Potočnik, Europäischer Kommissar für Wissenschaft und Forschung



Janez Potočnik, Europäischer Kommissar für Wissenschaft und Forschung, bei der Präsentation des EIROforum-Grundsatzpapiers zur Wissenschaftsstrategie.



Technologietransfer

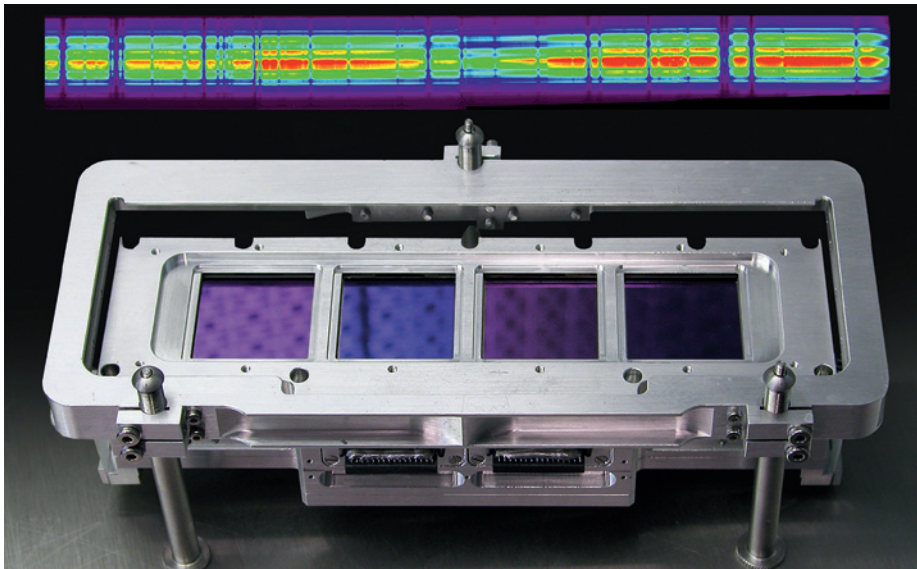
Über Jahrhunderte hinweg haben Astronomen immer wieder neue Technologien geschaffen, die später auch außerhalb der Astronomie Anwendungen gefunden haben.

Wissenschaftler und Ingenieure bei der ESO arbeiten aktiv mit ihren Kollegen aus der europäischen Industrie und aus anderen europäischen Forschungseinrichtungen zusammen, um Schlüsseltechnologien für die Zukunft zu entwickeln. Durch Technologietransfer erhöht sich der Wert der ESO-Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten (Research and Development,

R&D) für die Gesellschaft als Ganzes, und dies insbesondere in den ESO-Mitgliedsländern.

Das technische Spektrum ist dabei vielfältig: Bei einigen der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten geht es um neuartige optomechanische und optoelektronische Systeme, oder um extrem präzise Kontroll- und Steuerungssysteme für schwere Geräte. Andere Projekte beschäftigen sich mit der Hard- und Software komplexer Teleskope und Instrumente, mit fortgeschrittenen mathematischen Methoden der Bildanalyse und mit allgemeine-

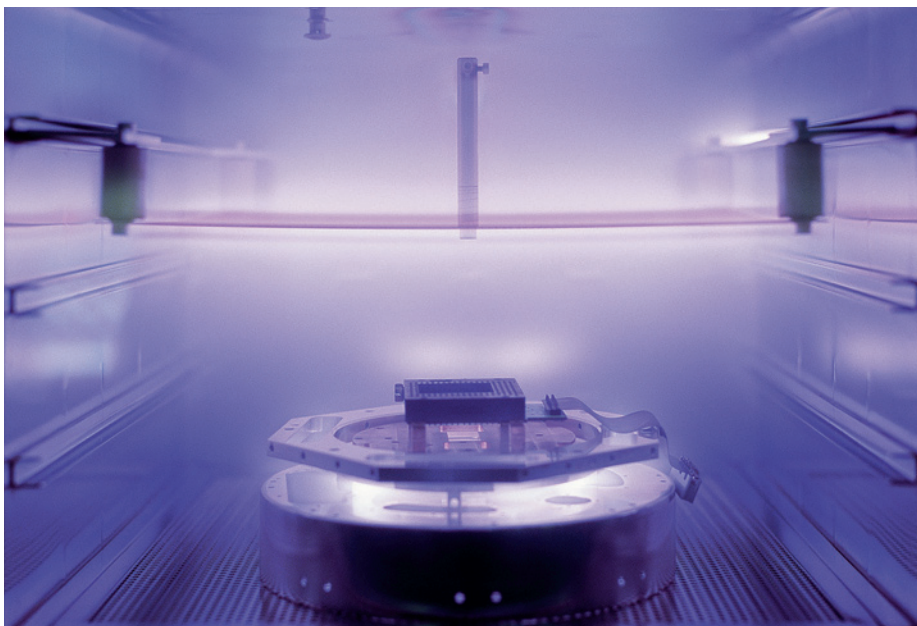
ren Fragen der optimalen Handhabung, Archivierung und Bereitstellung von riesigen Datenmengen. Die ESO hat die revolutionäre Technik der Aktiven Optik entwickelt und eine wichtige Rolle bei der Entwicklung der Adaptiven Optik für zivile Anwendungen gespielt. Systeme mit Adaptiver Optik sind nicht nur von größter Bedeutung für die nächste Generation von Teleskopen, sondern haben inzwischen auch andere Anwendungen gefunden: Die Technik der Wellenfrontmessung beispielsweise wird heutzutage bei Laser-OPs angewandt, um Sehfehler des menschlichen Auges zu korrigieren.



Technologie an vorderster Front von Forschung und Entwicklung

Bei der ESO wurde eine Vielzahl innovativer Technologien neu entwickelt, wesentlich weiterentwickelt oder neuartig kombiniert. Paradebeispiele sind:

- Aktive Optik
- Große metallische Spiegelträger
- Shack-Hartmann-Wellenfrontsensoren
- Echtzeitprozessoren
- Glasfaserlaser
- Zeitreferenzsysteme
- Datenarchivsysteme
- Virtuelle Observatorien
- Tiefgekühlte Auflager
- Temperaturstabilisierte Elektronikschränke



Während der letzten 20 Jahre hat die ESO beträchtliche praktische Erfahrung in der Konstruktion und Nutzung von Kryostaten für CCD-Detektoren gesammelt, die mit flüssigem Stickstoff gekühlt werden. Insbesondere hat die ESO ein Standard-Kryostatdesign entwickelt, das bei ESO-Projekten häufig zur Anwendung kommt, aber darüber hinaus viele weitere potenzielle Anwendungsmöglichkeiten besitzt. Um dieses Potenzial zu nutzen, traf die ESO 1999 ein Abkommen mit der französischen Firma SNLS, welche diese ESO-Kryostate nun als Lizenznehmer produziert und verkauft.

Bildungs- und Öffentlichkeitsarbeit



Astronomie stellt für die meisten Menschen eine ganz besondere Faszination dar – von der Beschäftigung mit den „großen Fragen“ zum „Leben, zum Universum und dem ganzen Rest“ bis hin zu den berauschend schönen Bildern, die sich aus den Beobachtungsdaten der modernen Teleskope gewinnen lassen. Die ESO betreibt seit Jahren aktiv Wissenschaftskommunikation, um die vielen mit ESO-Teleskopen gewonnenen Erkenntnisse mit der breiten Öffentlichkeit zu teilen – unter Einbeziehung multimedialer Präsentationsformen und, wann immer möglich, in allen in den ESO-Mitgliedsländern gesprochenen Hauptsprachen.

Als Teil ihrer Öffentlichkeitsarbeit beteiligt sich die ESO an großen Ausstellungen, gibt qualitativ hochwertige Pressemitteilungen, Broschüren und Bücher heraus, setzt wissenschaftliche Rohdaten in ansprechende Bilder um und produziert audiovisuelle Materialien und Webinhalte.

Mit ihrem interdisziplinären Charakter spielt die Astronomie auch eine wichtige Rolle für die naturwissenschaftliche Bildung. Die mit ESO-Teleskopen erzielten eindrucksvollen wissenschaftlichen Ergebnisse sind von unschätzbarem Wert für Lehrer naturwissenschaftlicher Fächer.

Die ESO war die treibende Kraft hinter bedeutenden Pilotprogrammen im Bereich der naturwissenschaftlichen Bildung, oftmals in Zusammenarbeit mit Partnern wie der Europäischen Kommission. Diese Anstrengungen werden im Rahmen gemeinsamer EIROforum-Aktivitäten fortgesetzt und mit Programmen für Schulkinder wie „Leben im Universum“ und „Scitech – couldn't be without it!“ weiter intensiviert. Hinzu kommen Programme wie „Physics on Stage“ und „Science on Stage“, die sich an europäische Lehrer naturwissenschaftlicher Fächer richten. Gemeinsam mit den Partnern im EIROforum gibt die ESO „Science

in School“ heraus, Europas erste internationale multidisziplinäre Zeitschrift für naturwissenschaftlichen Unterricht. Sie richtet außerdem eine jährlich stattfindende Fortbildung für Lehrer naturwissenschaftlicher Fächer aus.

Die ESO hat bei der Organisation der Aktivitäten zum Internationalen Jahr der Astronomie (International Year of Astronomy, IYA) 2009 eine Schlüsselrolle gespielt. Am IYA waren weltweit 148 Staaten beteiligt, die sich aus diesem Anlass zum größten wissenschaftlichen Netzwerk überhaupt zusammengefunden hatten. Mehr als 70 internationale Organisationen nahmen an Aktivitäten zum IYA2009 teil, die zusätzlich zu nationalen Ereignissen 13 länderübergreifende sogenannte Cornerstone- und 16 Spezialprojekte umfassten. Bei der ESO war das Generalsekretariat für die Aktivitäten des IYA2009 angesiedelt, und die Organisation hatte die Leitung mehrerer der Cornerstone-Projekte inne.



Arbeiten bei der ESO

Eine Tätigkeit bei der ESO bedeutet herausfordernde, aber auch hochmotivierende Aufgaben in einer internationalen und multikulturellen Umgebung und Arbeit an vorderster Front von Spitzentechnologie und wissenschaftlicher Forschung. Mit dieser Kombination wird die ESO zu einem wahrhaft inspirierenden Arbeitsplatz.



Menschen bei der ESO: Jean-Michel Bonneau, Leiter der ESO-Finanzabteilung

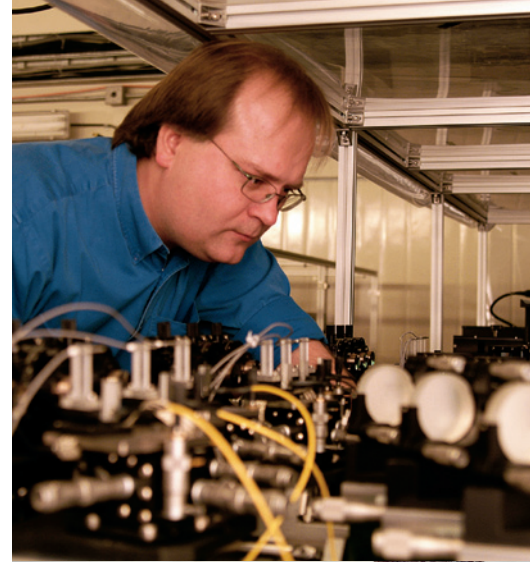
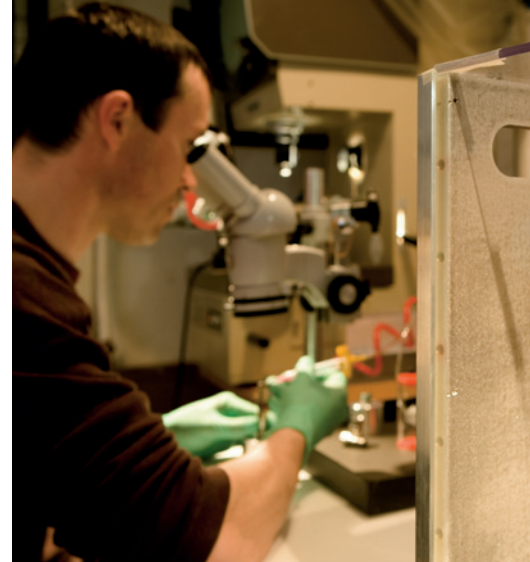
„Bevor ich 1996 zur ESO kam, hatte ich auf verschiedenen Gebieten als Rechnungsprüfer gearbeitet – von den Olympischen Winterspielen 1992 in Albertville bis zu einer Musikfirma in der Provence in Frankreich. Ich bin froh, dass ich zur ESO gestoßen bin – hier habe ich die Chance, mit einzigartigen astronomischen Projekten zu arbeiten, die ein Budget in der Größenordnung von einigen hundert Millionen Euro haben, und so etwas erfordert natürlich Personal, das auf Buchführung und Finanzangelegenheiten spezialisiert ist. Wir in der Finanzabteilung sorgen dafür, dass die Richtlinien und Bestimmungen eingehalten werden, die von den verschiedenen ESO-Gremien für die Nutzung der finanziellen Mittel aufgestellt wurden. Wir müssen immer im Auge behalten, dass erst die langfristige Finanzierung durch die Mitgliedsstaaten die Realisierung der außergewöhnlichen ESO-Einrichtungen ermöglicht hat, die der wissenschaftlichen Gemeinschaft nun zur Verfügung stehen.“

Die ESO-Mitarbeiter fallen in die Kategorien internationale Mitarbeiter, lokale Angestellte, Fellows, Studenten und assoziierte Mitarbeiter.

Die internationalen Angestellten kommen aus einem breiten Spektrum von Tätigkeitsfeldern – von Wissenschaftlern und Ingenieuren bis hin zu Technikern und Verwaltungsangestellten. Assoziiertes Personal arbeitet mit Kurzzeitverträgen bei der ESO, um konkrete Aufgaben in der wissenschaftlichen Forschung oder beim technischen und administrativen Support zu erfüllen.

Fellows sind promovierte Wissenschaftler. Für sie ist die ESO-Tätigkeit Teil der wissenschaftlichen Weiterbildung: Die ESO stellt diesen Wissenschaftlern für ihre astronomischen Beobachtungen Einrichtungen zur Verfügung, die dem neuesten Stand der Technik entsprechen und ermöglicht es ihnen, praktische Erfahrungen bei der aktiven Durchführung von Forschungsprogrammen zu sammeln.

Für Nachwuchswissenschaftler, die in Astronomie oder verwandten Disziplinen promovieren, werden Stipendien angeboten. Die Dauer eines solchen Programms beträgt ein bis zwei Jahre und hat das Ziel, die Promotionsstudiengänge der Universitäten in den ESO-Mitgliedsländern zu unterstützen. Arbeitsplätze für Fellows und Studenten stehen sowohl am Hauptsitz der ESO in Garching als auch in Chile zur Verfügung.





Die ESO ist ...

- das produktivste astronomische Observatorium der Welt;
- ein Treffpunkt für Wissenschaftler aus den ESO-Mitgliedsstaaten und ein Katalysator für innovative Ideen;
- eine lebendige Organisation mit großen Zukunftsprojekten für die nächste Generation von Wissenschaftlern;
- ein aktiver Partner der Industrie;
- ein aktiver Partner für die wissenschaftliche Öffentlichkeits- und Bildungsarbeit;
- ein kultureller und wissenschaftlicher Brückenbauer zwischen Europa und Chile;
- ein Musterbeispiel für erfolgreiche Zusammenarbeit in Europa.

Zusätzliche Informationen erhalten Sie bei

ESO
 Abteilung für Bildungs- und Öffentlichkeitsarbeit
 Karl-Schwarzschild-Straße 2
 85748 Garching bei München
 Germany
 Telefon +49 89 320 06-2 91

information@eso.org
 www.eso.org



www.eso.org