

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Landschaft der Forschungsinfrastrukturen

E-ELT – das größte Auge der Menschheit

E-ELT – das größte Auge der Menschheit

Bis zum Jahr 2024 entsteht in der chilenischen Atacama-Wüste das größte optische Teleskop der Welt: Das European Extremely Large Telescope, E-ELT. Dieses „extrem große Teleskop“ wird einen Hauptspiegel besitzen, dessen Fläche mit einem Durchmesser von 39 Metern 15-mal größer ist als bei heutigen Großteleskopen. Es kann damit mehr Licht sammeln als jedes Instrument bisher und wird dabei helfen, fremde Planeten zu entdecken und die Geschichte des Universums so genau wie nie zuvor zu beschreiben.

Mit ihren Teleskopen auf La Silla, dem Cerro Paranal und der Chajnantor-Hochebene ist die Europäische Südsternwarte ESO (European Southern Observatory) seit über fünfzig Jahren eine der leistungsfähigsten astronomischen Beobachtungseinrichtungen der Welt. In den nächsten Jahren werden die vier Acht-Meter-Spiegel des Very Large Telescope (VLT, „sehr großes Teleskop“) auf dem Paranal um einen Giganten auf dem Nachbarberg Cerro Armazones ergänzt: das European Extremely Large Telescope (E-ELT, „europäisches extrem großes Teleskop“). Wie der Name bereits vermuten lässt, sind die geplanten Leistungsdaten des E-ELT beachtlich: Mit 39 Metern Durchmesser kann es etwa 15-mal so viel Licht aufsammeln wie die zurzeit größten Spiegelteleskope der Zehn-Meter-Klasse. Gleichzeitig wird die Bildschärfe des E-ELT 16-mal besser sein als die des Hubble-Weltraumteleskops. Nur so können beispielsweise die Atmosphären von erdähnlichen Planeten um andere Sterne untersucht und der zeitliche Verlauf der Expansion des Universums direkt vermessen werden.



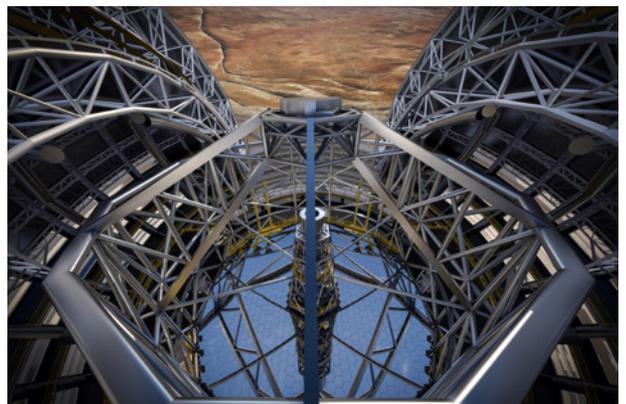
Das European Extremely Large Telescope, kurz E-ELT, wird das größte jemals gebaute optische Teleskop. Sein Hauptspiegel hat einen Durchmesser von 39 Metern und besteht aus 798 einzelnen Spiegeln. Im Jahr 2024 soll das Teleskop fertig sein und dann in Realität so gigantisch erscheinen wie in dieser computergenerierten Darstellung. (Bild: ESO/L. Calçada/ACE Consortium)

Spiegel für Spiegel

Der Hauptspiegel wird im Endausbau aus 798 einzelnen sechseckigen Spiegeln mit 1,45 Metern Durchmesser bestehen, die jeweils nur fünf Zentimeter dick sind. Diese knapp 800 Spiegel sind dabei in sechs baugleiche Segmente aufgeteilt. Zusammen ergeben sie einen Spiegel mit einer Lichtsammel­fläche von etwas über 1000 Quadratmetern – nur wenig kleiner als ein olympisches Schwimmbecken. Die Spiegel ruhen auf aktiven Halterungen. Ohne aktive Elemente würde sich der riesige Spiegel unter seinem eigenen Gewicht verformen, je nachdem, wie das Teleskop geneigt wird. Das Licht wird über mehrere weitere Spiegel zu den Detektoren des E-ELT umgelenkt. Der Sekundärspiegel mit rund vier Metern Durchmesser ist dabei der größte Einzelspiegel des Teleskops.

Aktive und Adaptive Optik

Die Bildqualität eines Teleskops wird im Wesentlichen durch drei Faktoren bestimmt: Die Größe, die optische Qualität und die Erdatmosphäre. Ein ideales Teleskop mit 39 Metern Durchmesser wäre rechnerisch zehnmal



Der Hauptspiegel des E-ELT wird aus 798 sechseckigen Spiegeln zusammengesetzt. Jeder einzelne hat einen Durchmesser von 1,4 Metern und ist nur fünf Zentimeter dick. Die Segmente werden jeweils von Auflagepunkten getragen. Diese verformen die Spiegel so, dass mechanische Verformungen durch Kippwinkel und Temperatur kompensiert werden. Der Sekundärspiegel hat einen Durchmesser von vier Metern. In der Gittersäule in der Mitte befinden sich drei weitere Spiegel. Einer davon gleicht mit knapp 6000 Stel­lelementen Bildverzerrungen aus, die durch die atmosphärische Unruhe entstehen. (Bild: ESO/L. Calçada/ACE Consortium)

so scharf wie eines mit 3,9 Metern oder fünfmal so scharf wie die Acht-Meter-Spiegel des VLT.

Allerdings sind reale Teleskopspiegel immer ein wenig ungenau. Durch die verschiedenen Kippwinkel des Teleskops oder durch Temperaturschwankungen verformt sich die ganze Konstruktion. Dies wird mit der „aktiven Optik“ des E-ELT durch regelbare Lagerungen ausgeglichen, die unter jedem der 798 Sechseckspiegel des Hauptspiegels platziert sind. Mit diesen wird die Form des Hauptspiegels fortwährend auf die Idealform eines Parabolspiegels gebracht.

Einen weiteren wichtigen Einfluss auf die Bildschärfe hat die Erdatmosphäre. Das Sternenlicht wird durch unterschiedliche turbulente Luftmassen so abgelenkt, dass ein Stern immer zu einem Scheibchen von bestenfalls etwas weniger als einer Bogensekunde verwischt (das entspricht $1/3600$ eines Winkelgrades). Das Hubble-Weltraumteleskop, das oberhalb der Atmosphäre seine Bahnen zieht, lieferte daher lange Zeit die schärfsten Bilder aus dem Kosmos, obwohl sein Hauptspiegel nur 2,5 Meter misst.

Erst mit der Entwicklung der „adaptiven Optik“ gelingt es seit wenigen Jahren, die Effekte der Atmosphäre auszugleichen. Das Grundkonzept dabei: Mit Hilfe eines Lasers wird in die hohe Atmosphäre ein künstlicher Stern ganz in die Nähe des zu beobachtenden Objekts projiziert. Schnelle Kameras überwachen das Bild dieses „Leitsterns“ und berechnen, wie ein Kor-



Das Spiegelsystem des E-ELT kann Störungen des Lichts durch die Luftunruhe der Atmosphäre ausgleichen. Damit dies funktioniert, werden mit Laserlicht bis zu sechs „künstliche Sterne“ in die hohe Atmosphäre projiziert. Der Strahlengang wird dann so verzerrt, dass das Bild dieser Sterne genau punktförmig ist. Dazu verformen rund 6000 bewegliche Elemente einen Planspiegel im Strahlengang des Teleskops bis zu 1000-mal pro Sekunde. Diese „adaptive Optik“ wird auch schon am VLT und anderen Teleskopen erfolgreich eingesetzt – allerdings bisher nicht bei einem so riesigen Teleskop wie dem E-ELT. (Bild: ESO/L. Calçada)

rekturspiegel im Strahlengang des Teleskops verformt werden muss, damit der Stern genau punktförmig erscheint. Diese Methode wird schon bei den Teleskopen des VLT eingesetzt.

Dabei wird nicht der 39-Meter-Hauptspiegel des E-ELT mit der Geschwindigkeit der atmosphärischen Turbulenz verformt, sondern ein spezieller Spiegel, der vierte im Strahlengang. Er ist grundsätzlich eben, wird aber von fast 6000 in ihrer Länge veränderlichen Halterungen getragen, die rund 1000-mal pro Sekunde an die atmosphärischen Bedingungen angepasst werden. Diese aktiven Elemente verformen den Spiegel so, dass die „Lasersterne“ ideale Punkte ergeben. Das gesamte Teleskop erreicht dadurch tatsächlich die sogenannte beugungsbegrenzte Auflösung von wenigen Tausendstel Bogensekunden.

Effizienter Dauerbetrieb

Die frei bewegliche Teleskopstruktur des E-ELT wird in einer halbkugelförmigen Kuppel ihren Platz finden. Der Blick zum Himmel öffnet sich durch zwei seitlich verschiebbare Tore. Der dadurch freigegebene Spalt wird je nach Wetter mit einem Windschutz teilweise verschlossen. Um Temperaturunterschiede so klein wie möglich zu halten, wird die Kuppel gekühlt, wenn die Sonne sie zu sehr erwärmt. Große Lüftungsklappen sorgen während der Nacht dafür, dass überall innerhalb der Kuppel die gleiche Temperatur herrscht wie außerhalb. So kann schon kurz nach Sonnenuntergang mit den Beobachtungen begonnen werden und



Um die ebene Fläche von 300 x 150 Metern auf dem Cerro Armazones zu erstellen, auf der das E-ELT errichtet wird, mussten insgesamt 220 000 Kubikmeter Gestein abgetragen werden. Inzwischen sind das Plateau und die Zufahrtsstraße fertig, wie diese Luftaufnahme aus dem November 2015 zeigt. (Bild: ESO/G. Hüdepohl, atacamaphoto.com)

damit das Instrument effizient eingesetzt werden. Um eine konstante optische Qualität des Hauptspiegels zu gewährleisten, werden die 798 Spiegelsegmente regelmäßig der Reihe nach gereinigt und neu mit der reflektierenden Metallschicht bedampft. Dazu ist der Hauptspiegel in sechs identische Sektoren aufgeteilt, die einzeln aus der Kuppel entfernt werden können. Pro Tag müssen ein bis zwei der Spiegelsegmente überarbeitet werden.

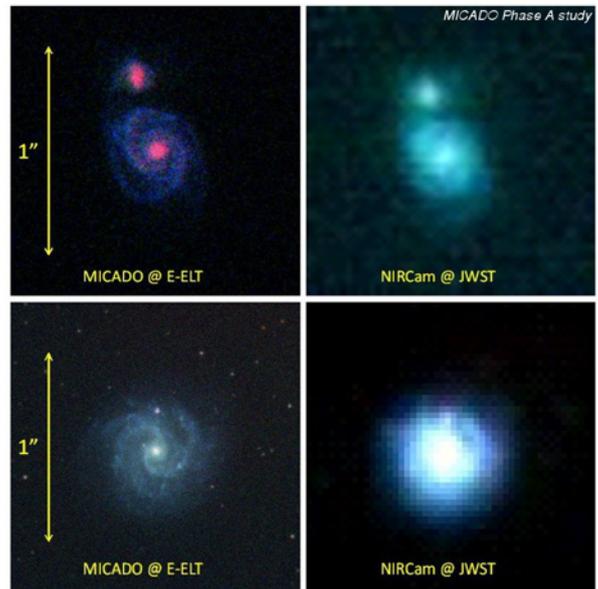
Fremde Planeten entdecken und untersuchen

Eines der wissenschaftlichen Hauptziele des E-ELT ist die genaue Untersuchung von erdähnlichen Planeten in unserer galaktischen Nachbarschaft. In den letzten Jahren ist die Anzahl bekannter Planeten um andere Sterne auf über 3500 gestiegen. Bisher konnten jedoch hauptsächlich Gasriesen – vergleichbar mit Jupiter oder Saturn in unserem Sonnensystem – entdeckt werden. Mit der Genauigkeit des E-ELT wird es möglich werden, ein komplettes Inventar der Planeten um unsere Nachbarsterne zu erstellen. Dabei sollen dann auch kleinere Gesteinsplaneten gefunden werden.

Stärker noch als die Suche nach neuen Exoplaneten wird die genaue Untersuchung dieser fremden Welten durch das E-ELT vorangebracht werden. Genauere Hinweise darauf, ob diese fremden Welten möglicherweise auch außerirdisches Leben beherbergen können, liefert nämlich das schwache Licht ihrer Atmosphäre. Solche Beobachtungen können mit dem E-ELT für eini-



Im Sommer 2016 wurde der Planet Proxima Centauri b entdeckt. Er ist einer der erdähnlichsten Planeten überhaupt und liegt in der Reichweite, mit der das E-ELT seine genauen Eigenschaften zukünftig präzise bestimmen kann, etwa ob er eine Atmosphäre besitzt oder Wasser auf seiner Oberfläche vorkommt. In dieser künstlerischen Darstellung sind alle drei Sterne des Alpha-Centauri-Dreifachsystems zu erkennen: Proxima Centauri groß am Horizont, rechts oberhalb das Doppelsystem Alpha Centauri AB. (Bild: ESO/M. Kornmesser)



Vergleich zweier zukünftiger Superteleskope: Die linken beiden Bilder zeigen, wie mit der MICADO-Kamera am E-ELT weit entfernte Galaxien aussehen werden. Rechts sind die gleichen Galaxien mit den simulierten Eigenschaften des James Webb Space Telescope (JWST) – des nächsten großen Weltraumteleskops – zu sehen. Das JWST soll im Oktober 2018 gestartet werden und besitzt einen Spiegel mit 6,5 Metern Durchmesser. Es ist Nachfolger des Hubble-Weltraumteleskops mit 2,5 Metern Spiegeldurchmesser. Die Bildauflösung des E-ELT wird signifikant besser sein als die des JWST. (Bild: MICADO Konsortium)

ge der sonnennächsten Exoplaneten durchgeführt werden. Auch direkte Aufnahmen von Planeten werden möglich sein.

Die Entstehung der Galaxien beobachten und Grundfragen des Kosmos beantworten. Eine weitere Frage, die Astronomen mit dem E-ELT signifikant besser werden beantworten können, ist die der Entstehung von Sternen und Galaxien kurz nach dem Anfang des Universums. Weit entfernte Galaxien, die aufgrund der Lichtlaufzeit gleichzeitig einen Blick in die Vergangenheit ermöglichen, können mit dem E-ELT so detailliert wie noch nie zuvor abgebildet werden.

Der Kosmos expandiert mit einer Geschwindigkeit, die stetig zunimmt. Was genau diese Beschleunigung verursacht, hat zwar einen Namen – „Dunkle Energie“. Doch noch ist unbekannt, was genau ihre Natur ist. Beobachtungen des E-ELT werden möglicherweise die Antwort dazu liefern. Auch die Fragen, ob Naturkonstanten wirklich konstant sind oder sich im Laufe der Geschichte des Kosmos verändert haben, können durch Beobachtung ferner Galaxien beantwortet werden.

Synergie und wissenschaftliche Exzellenz

Nach seiner Fertigstellung wird das E-ELT nicht etwa die bestehenden großen Teleskope wie das benachbarte VLT ersetzen. Das E-ELT wird ausschließlich für die zahlreichen Aufgaben eingesetzt werden, für die seine Größe zwingend erforderlich ist, etwa bei der Untersuchung von Exoplaneten oder bestimmten kosmologischen Fragestellungen.

Das E-ELT wird für etwa zwei Drittel der rund 2500 in Deutschland arbeitenden Astronominen und Astronomen relevant sein. Bereits heute befassen sich Arbeitsgruppen an mehreren Universitäten, Max-Planck-Instituten und dem Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam (AIP) mit der Entwicklung von Instrumenten wie Kameras und Spektrografen für das E-ELT. So werden mit Mitteln der Verbundforschung des Bundesforschungsministeriums wichtige Arbeiten für eines der sechs geplanten Hauptinstrumente, „MICADO“, durchgeführt. MICADO wird als „First-Light-Instrument“ pünktlich zur Inbetriebnahme des E-ELT im Jahr 2024 als hochauflösende Infrarotkamera für die Wissenschaft zur Verfügung stehen.

Gefördert werden darüber hinaus Vorarbeiten für die Instrumente „MOS“ und „HIRES“, die einige Jahre nach Betriebsbeginn des E-ELT die wissenschaftliche Leistungsfähigkeit des Teleskops wesentlich erweitern werden.

Mit dem E-ELT beteiligt sich Deutschland zukunftsweisend an der Weiterentwicklung der europäischen Astronomie. E-ELT befindet sich seit Jahren als wichtigster Baustein auf den internationalen Roadmaps von ESFRI (European Strategy Forum on Research Infrastructures) und ASTRONET, dem europäischen Netzwerk für Astronomie, und wird auch von der deutschen Roadmap für Forschungsinfrastrukturen priorisiert. Von der Bau-summe, die über 10 Jahre verteilt 1104 Millionen Euro (Preisbasis 2014) betragen soll, trägt Deutschland circa 230 Millionen Euro. Dazu kommen Mittel aus der Verbundforschung zur Entwicklung der Instrumentierung des E-ELT.



E-ELT

Forschungsinfrastruktur der
naturwissenschaftlichen
Grundlagenforschung



GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Steckbrief E-ELT

Typ:	Spiegelteleskop
Technologie:	beweglicher Multi-Segment-Spiegel mit aktiver und adaptiver Optik
Standort:	Cerro Armazones in der Atacama-Wüste, Chile, 20 Kilometer vom Very Large Telescope (VLT) entfernt
Betreiber:	European Southern Observatory (ESO)
Baukosten:	1104 Millionen € (Preisbasis 2014)
Deutscher Beitrag:	ca. 230 Millionen €
Baubeginn:	2014
Inbetriebnahme:	„First Light“ geplant für 2024
Hauptspiegel:	39 Meter Durchmesser, zusammengesetzt aus 798 sechseckigen Segmenten
Wellenlängenbereich:	Ultraviolett bis nahes Infrarot
Auflösung:	Millibogensekunden
Instrumentierung:	sechs Instrumente der ersten Generation, darunter unter deutscher Federführung die First-Light-Kamera MICADO
Beteiligte Länder:	Mitgliedsländer der ESO: Belgien, Brasilien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Italien, Niederlande, Österreich, Polen, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, Tschechische Republik, Vereinigtes Königreich

Impressum

Dieser Artikel ist Teil der Webseite „Landschaft der Forschungsinfrastrukturen“ (www.fis-landschaft.de), die der Projektträger DESY im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gestaltet und umsetzt. Auf der Webseite werden Großforschungsanlagen der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung aus aller Welt vorgestellt, an denen sich Deutschland derzeit wissenschaftlich und finanziell beteiligt – vom Radioteleskop ALMA bis zum Röntgenlaser European XFEL.

Herausgeber:
Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY
Abteilung Projektträger DESY
Notkestraße 85
22607 Hamburg
pt@desy.de
<https://pt.desy.de>

Stand:
Januar 2017

Redaktion:
Dr. Claudia Schneider

Design und Layout:
Britta von Heintze

Bildnachweis (Titelbild, Weltkarte):
ESO/L. Calçada, Britta von Heintze