

# Observatorien in den Anden: Am klarsten Sternenhimmel der Welt

von KAI-OLIVER DETKEN, Grasberg

Im Rahmen einer Fachkonferenz in Santiago, die sich eigentlich mit den Themen Mobilfunknetze und Internet2-Themen beschäftigte, kam ich 2007 mit den Observatorien in Chile in Berührung. Da ich bereits Anfang der 90er Jahre großes Interesse an der Astronomie hatte, dieses Hobby aber aufgrund Familie und Beruf wieder einschlief, wurde mein Interesse wieder neu geweckt. Zudem wurde auch auf der Fachkonferenz klar, dass Themen wie Astronomie und Netztechnologien sich nicht gegenseitig ausschließen, sondern durchaus ergänzen, da heute riesige Datenmengen bei der Beobachtung und Auswertung von Deep-Sky-Objekten anfallen. Über die Observatorien in Chile, insbesondere über das Gemini-Projekt, möchte ich daher hier berichten.

**Observatorien in Chile** La Serena liegt etwa 470 km nördlich von Santiago, unweit der Stadt Coquimbo (siehe Karte in Abb. 1). Sie hat ca. 150.000 Einwohner und lebt unter anderem vom Tourismus, der den ungefähr 8 km langen Sandstrand direkt am Pazifik ausgiebig nutzt. Allerdings ist La Serena neben seinen Sandstränden und dem gutem Wein, der in den Weinanbaugebieten ringsherum durch die vorhandenen Stauseen angebaut werden kann, auch noch für eine andere Attraktion bekannt: seine Weltraumobservatorien. So findet man im nahe gelegenen Valle de Elqui den Standort gleich von mehreren international bedeutenden Observatorien. Hier, so sagen die dort arbeitenden Wissenschaftler, sei angeblich nachts der klarste Sternenhimmel der Welt zu beobachten. Das hat sich herumgesprochen, weshalb inzwischen in der Umgebung von La Serena die größten Teleskope der Welt beheimatet sind: die vier 8,2 m Very Large Telescope (VLT) der European Southern Observatory (ESO), die zwei 6,5 m Magellan-Teleskope beim Las Campanas Observatory und das 8,1 m Gemini Süd Teleskop auf dem Cerro Pachon. Vom letzteren habe ich einen bleibenden

Eindruck bekommen – doch zuerst möchte ich einen kleinen Überblick über die anderen Observatorien geben.

La Silla, nördlich von La Serena, liegt am Südrand der großen Atacamawüste. Bereits 1976 wurde hier von der ESO ein 200-Tonnen-Spiegelteleskop mit einem 1 m dicken Hauptspiegel in Hufeisenmontierung in Betrieb genommen. Noch heute gehört es zu den besten Teleskopen der Südhalbkugel und verfügt über einen hochauflösenden Spektrographen, der bei der Suche nach extrasolaren

Planeten sehr erfolgreich eingesetzt wird. In Chile wurde auch das 3,6 m New Technology Telescope (NTT) entwickelt, welches neue Ideen und Konzepte in der Bautechnik von Teleskopen testen sollte. Aus den Ergebnissen dieser Tests entstand schließlich das bekannte Very Large Telescope (VLT). Zum ersten Mal ging man hier von der schweren und unhandlichen äquatorialen Montierung zur azimutalen Montierung über, bei dem die Teleskopachse nicht mehr auf den Himmelspol zeigt, sondern sich das ganze Teleskop auf einer horizontal liegenden Plattform dreht und dabei nur in der Höhe geschwenkt wird. Die Beobachtungsinstrumente sitzen dabei nicht mehr unterhalb des Teleskops, sondern wurden an einem zentralen Durchgang in beiden Höhenachsen angeflanscht. Ein Rotationsadapter gleicht die bei einer nichtäquatorialen Montierung auftretende Bildfeldrotation aus. Dadurch ist man in der Lage viel schwerere Beobachtungsinstrumente am Teleskop anzubringen, als dies früher möglich war. Auch die aktive Optik für heutige Großteleskope wurde im NTT-Projekt

neu entwickelt. Beim NTT ruht ein 24 cm dicker Hauptspiegel auf 75 computergesteuerten Aktuatoren, die mit hoher Präzision dafür sorgen, dass der Spiegel in jeder Lage seine Idealform beibehält. Inzwischen ist diese Spiegelunterstützung in keinem modernen Großteleskop mehr wegzudenken. [2]



Abb. 1: Übersichtskarte von Chile [6]



Abb. 2: Teleskope in den Anden über der Wolkengrenze in Chile

Ein solch modernes Großteleskop ist das VLT. Es besteht aus vier 8,2 m Teleskopen, die unterirdisch mit Lichtleiterverzögerungsstrecken für interferometrische Messungen miteinander verbunden sind. Mit den Hauptteleskopen wiederum sind zusätzlich drei unterschiedlich positionierbare 1,8 m Interferometrie-Hilfsteleskope und zwei Vorbeobachtungsteleskope mit je 2,5 und 4 m Spiegeldurchmesser verbunden. Alleine für die vier Hauptteleskope benötigte man dabei eine Bauzeit von zwei Jahren (1998-2000). Die 8,2 m Zerodurspiegel sind durch die Vorarbeiten des NTT heute nur noch 18 cm dick und werden von 150 Aktuatoren mit hoher Präzision in der korrekten Form gehalten. Zusätzlich erlaubt eine Brennpunktlage von nur 1,8 m Spiegeldurchmesser über dem Hauptspiegel eine sehr kompakte Bauweise. Durch die Möglichkeit des Zusammenschaltens verschiedener Teleskope kann man die Auflösung eines 200 m Teleskops erreichen! Allerdings ist noch einiges in der Entwicklung und befindet sich noch im Teststadium. [7]

Im Projekt Atacama Large Millimeter Array (ALMA) probiert man einen etwas anderen Ansatz aus. [4] Hier ist ein aus 50 fahrbaren Einzelantennen mit je 12m Durchmesser bestehendes Interferometer für Millimeterwellen entwickelt worden, wie Abbildung 3 exemplarisch zeigt. Der Bau wurde im November 2003 beschlossen, um die Beobachtungsmöglichkeiten im Millimeterwellenbereich, dem neben Licht- und Radiowellen dritten „Fenster“ der Erdatmosphäre, entscheidend zu verbessern. ALMA ist eines der größten Projekte der bodengebundenen Astronomie und soll etwa 2011 vollständig in Betrieb gehen. Zu den Aufgaben des von Nordamerika, Japan und Europa gemeinsam finanzierten Instruments gehört es, die Entstehungsgebiete von Planeten und Sternen in kalten interstellaren Wolken und protoplanetaren Akkretionsscheiben zu erforschen.

Die Millimeterwellen sind besonders geeignet, ausgedehnte Gas- und Staubwolken zu durchdringen,

die die Stern- und Planeten-Entstehungsgebiete verhüllen. Infrarotgalaxien im frühen Universum und andere Galaxien sind weitere wichtige Ziele.

Da der irdische Wasserdampf diese Strahlen absorbiert, kann ALMA nur in einem sehr trockenen und hoch gelegenen Gebiet errichtet werden. Vorgesehen wurde hier das ausgedehnte Chajnantor-Hochplateau in der chilenischen Atacama-Wüste, das 5.000 Meter hoch gelegen ist. Durch Verschieben der Antennen kann die Größe von ALMA zwischen 150 m und 14 km verändert werden. Die Empfänger arbeiten in den Frequenzbändern zwischen 30 GHz und 950 GHz, die für die Erdatmosphäre durchlässig sind. Zunächst sollen vier Bänder von 84-116 GHz, 211-275 GHz, 275-373 GHz und 602-720 GHz in Betrieb gehen. [8]

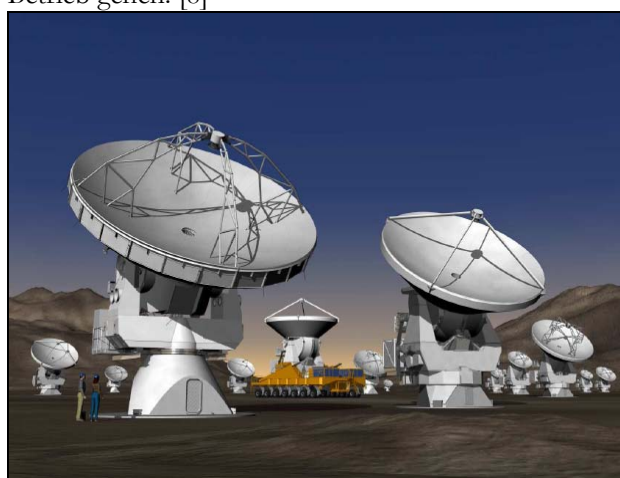


Abb. 3: Radioastronomie-Projekt ALMA (Atacama Large Millimeter Array) [4]

**Gemini Süd** Mit dieser astronomischen Vorgeschichte ist man natürlich nicht erstaunt, ein weiteres Teleskop auf dem 2.737 m hohem Cerro Pachon aufzufinden: das Gemini Süd Teleskop [5]. Es ist der Zwillingbruder des Gemini Nord Teleskops, welches auf dem Mauna Kea in Hawaii steht. Beide Teleskope sind miteinander über eine Hochgeschwindigkeitsstrecke verbunden und ermöglichen durch die Teilung Nord- und Südhalbkugel die Beobachtung des gesamten Sternenhimmels. Die Gemini-Teleskope sind dabei mit den beschriebenen 8.2 m VLT-Teleskopen vergleichbar. Sie sind 2002 fertig gestellt worden und werden von den USA, Großbritannien, Kanada, Australien, Argentinien, Brasilien und Chile genutzt. Sie besitzen jeweils einen kurzbrennweitigen Hauptspiegel, eine niedrige Bauhöhe, eine alt-azimutale Montierung mit Nasmyth-Foki und eine aktive Optik. Die Hauptspiegel wurden bei REOSC in Paris geschliffen. Auch das verbindet diese Teleskope mit dem VLT. Neben Gemini werden auf dem Cerro Pachon auch andere Teleskope wie z.B. das 4,1 m SOAR-Teleskop eingesetzt, was nur eine Spiegeldicke von 10 cm besitzt.

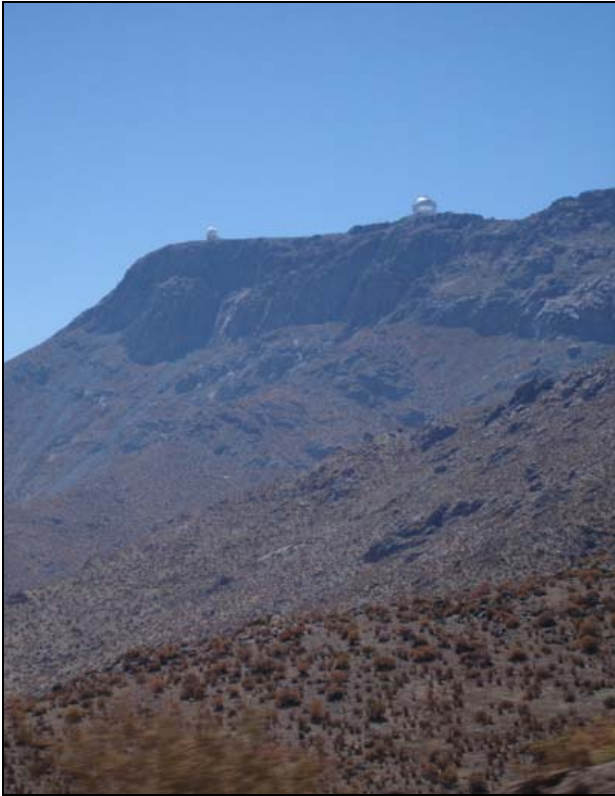


Abbildung 4: Aufstieg auf den Cerro Pachon

Bevor man allerdings diese Teleskope bewundern kann, steht ein beschwerlicher Aufstieg mit dem Auto bevor. Zuerst fährt man von La Serena zum Berg Cerro Pachon, bei dem im Basisgebäude die Personalien aufgenommen werden, da Unbefugten der Eintritt versagt ist. Dann erfolgt der Aufstieg vom Meeresspiegel auf 2.737 m (siehe Abbildung 4). Dies geht recht genügsam in langsamer Geschwindigkeit vonstatten, da die Straßen weder mit Asphalt ausgestattet sind, noch Leitplanken zum Abgrund hin kennen. Für Beobachtungstouren fahren die Wagen manchmal auch nachts auf den Cerro Pachon – ohne Ausleuchtung und Straßenbefestigungen sicher nicht ganz ungefährlich. Aufgrund der langen Wege arbeiten die Wissenschaftler auch nicht 8 Stunden pro Tag, sondern in Schichtbetrieben: 3 Tage arbeiten und 4 Tage frei. Da La Serena eher ein Ferienort ist und die Universitäten und Institute hauptsächlich in Santiago de Chile zu finden sind, wohnen die meisten Mitarbeiter auch nicht vor Ort, sondern nehmen Inlandsflüge wahr, um zu ihren Familien zu kommen. Vor Ort angekommen hat man uns erst einmal mit den kleineren Teleskopen vertraut gemacht. Diese konnten dann auch im Live-Betrieb erlebt werden wie Abbildung 5 zeigt – allerdings nur am Tag. So wurde kurzfristig die Kuppel auf gemacht, um uns die Mechanik und Arbeitsweise des Teleskops zu demonstrieren. Aufgrund der am Tag vorhandenen Wärme und Luftfeuchtigkeit durfte dies nicht lange erfolgen, da das Auskühlen bis zur nächsten Messung

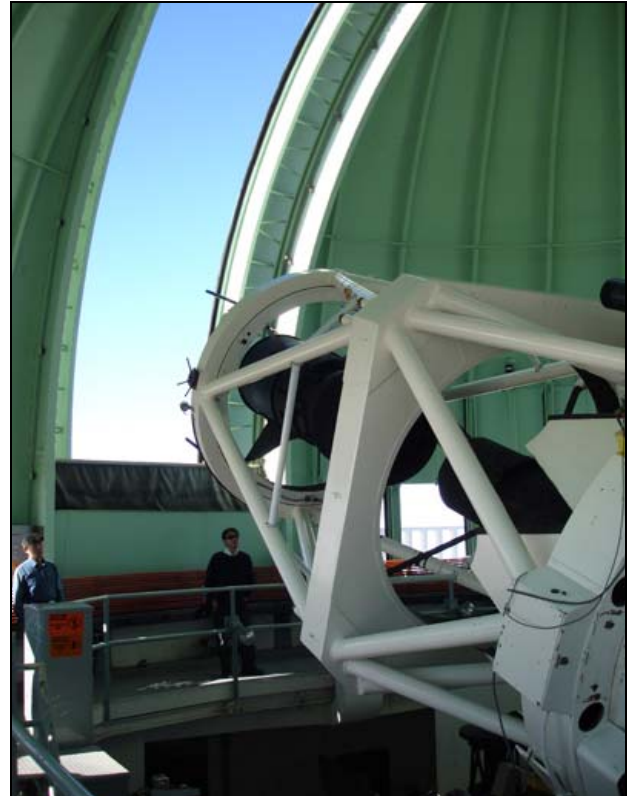


Abbildung 5: Mechanik eines kleineren Teleskops im Live-Betrieb

am Abend sonst gefährdet worden wäre. Alle Teleskope, ob groß oder klein, sind dabei komplett über längere Perioden von verschiedenen Forschungsinstituten weltweit so ausgebucht, dass man sich hier keine Nacht ohne Nutzung erlauben kann. Die kleineren Teleskope sind ebenfalls heiß begehrt, da man hier noch visuelle Erfahrungen bzw. Erlebnisse sammeln kann.

Bei der Besichtigung des Gemini-Süd-Teleskops wurde dann aber klar, welche Größe heutige Superteleskope wirklich einnehmen. Abbildung 6 zeigt die Ausmaße der Kuppel, die durch den unten stehenden Großraumbus verdeutlicht wird. Diese Kuppel wird natürlich am Tag nicht mal eben geöffnet – viel zu empfindlich sind die gesamte Elektronik und Messtechnik. Kühlaggregate halten das Teleskop kontinuierlich auf der gleichen Temperatur, um optimale Randbedingungen zu schaffen. Durch die hervorragende Sicht und 350 Beobachtungstage im Jahr, da die Wolken an den Anden meistens hängenbleiben, ist der Standort wie gemalt für Langzeitbeobachtungen. Dabei sind alle Ergebnisse frei zugänglich. Auf der Webseite <http://www.gemini.edu/images> (siehe Abbildung 7) sind die Aufnahmen der Gemini -Teleskope einsehbar. Hier kann man faszinierende Bilder von Sternentstehungsgebieten, Planetarischen Nebeln, fernen Galaxien und dem Zentrum unserer Milchstraße finden.





Abbildung 6: Gemini Süd Teleskop



Abbildung 7: Gemini-Homepage

Die Innenansicht von Gemini macht noch einmal die Größe klar. Auf ein einzelnes Bild war die Gesamtoptik mit dem Spiegel nicht abzubilden (Abbildung 8). Direkt schaut hier kein Mensch mehr in den Sternenhimmel. Alles wird auf Astroaufnahmen festgehalten, die es sogar laut Gemini-Wissenschaftlern mit dem Weltraumteleskop Hubble aufnehmen können. Keine anderen Teleskope können auf der Erde ähnliche Tiefenschärfe und geringes Rauschen anbieten.

Dies wird durch Einsatz eines Lasers ermöglicht, der in den klaren Sternenhimmel gestrahlt wird. Dabei muss darauf geachtet werden, dass man Flugzeuge nicht irritiert, weshalb der Einsatz nicht immer möglich ist. Durch den Laser werden die Luftunruhen innerhalb des Strahls gemessen und die Teleskopoptik darauf kontinuierlich ausgerichtet. So

bekommt man Bedingungen die durchaus Ähnlichkeiten mit einem Weltraumstandort aufweisen, wie man vor Ort im Kontrollzentrum (siehe Abbildung 9) mit erheblichem Stolz berichtete. Oberhalb des Bildes sind noch zwei Uhren zu erkennen, die die Zeiten beider Gemini-Teleskope (Chile und Hawaii) anzeigen.



Abbildung 8: Innansicht des Gemini-Teleskops



Abbildung 9: Erläuterungen aus dem Kontrollzentrum

Als Kamera kommt bei Gemini ebenfalls eine Neuheit zur Anwendung: es wird der Gemini Multi Object Spectrograph (GMOS) eingesetzt, der erst im Jahr 2003 in Betrieb genommen wurde. Das Instrument ist am unteren Ende des Teleskops angebracht und damit in der Lage mit seinem 28 Millionen Bildpixel großem Sensorfeld mehrere

hundert Spektren gleichzeitig aufzuzeichnen. GMOS lässt sich aber auch als normale Kamera verwenden. So sind durch die Kamera bereits Supernovas aufgezeichnet worden oder es lassen sich die Bewegungen von Galaxien dokumentieren.

**Datenmengen in astronomischen Netzen** Bei den heutigen Datenraten, die selbst heute im Hausanschlussbereich durch DSL-Leitungen möglich sind, fällt es schwer zu glauben, dass die Netze in Zukunft weitere Bandbreiten anbieten müssen. Dass dies aber der Fall sein muss, machte besonders die Astronomie in Chile deutlich. So hat z.B. das Projekt ALMA hohe Anforderungen an die genutzten IT-Systeme, da Unmengen an Daten anfallen, die zwischengespeichert und ausgewertet werden müssen. Die Datenmenge kommt zustande, da Aufnahmen von Bewegungsdaten vorgenommen werden müssen, die vom selben Himmelsausschnitt stammen, um Veränderungen sichtbar machen zu können (z.B. die Explosion einer Supernova). Heutige Astronomie-Kameras nehmen bereits 0,5 Gigapixel auf, um eine ausreichende Datentiefe zu erhalten. Dadurch werden ca. 1 Gigabyte pro Bild aufgenommen und bis zu 350 GByte Daten pro Nacht erzeugt. Im ALMA-Projekt hat man so ungefähr 1-5 Petabyte an Rohdaten in nur 5 Jahren erzeugt. Weltweit werden in dem Projekt einer Nacht 15-18 Terabyte erzeugt, da Kooperationen mit anderen Stationen in Europa, Japan und den USA bestehen. Diese Daten werden im U.S. Data Center zusammengeführt, wodurch eine Gesamtauswertung erfolgen kann. Diese Datenmengen sind dabei weiter steigerbar, da neue Kameramodelle sogar 3,5 Gigapixel aufnehmen können. [3]

Um die großen Datenmengen zu transportieren wurde früher normalerweise der Postweg gewählt. Dadurch kamen die Daten für die Korrelationsmessung erst eine Woche später an ihrem Bestimmungsort an. Heute werden diese Datenmengen über die vorhandenen Forschungsnetze transportiert. Zur Verbindung der Kontinente wird daher das Internet2-Netz verwendet, welches parallel zum Internet existiert, um neue Kapazitäten nutzen zu können.

Ein weiteres Projekt im Bereich Astronomie, welches auf Hochgeschwindigkeitsnetze angewiesen ist, ist das EXPRess-Projekt (Express Production Realtime e-VLBI Service) der Europäischen Union, welches weltweit operiert. [1] Es funktioniert auf dem Prinzip des Very Long Baseline Interferometry (VLBI) und kann Radioastronomie (Überwachung des Universums) und Geodäsie (Überwachung der Erde) zur Verfügung stellen. Die räumliche Auflösung eines Interferometers wird dabei bestimmt durch die Wellenlänge und die größte Entfernung zwischen den beteiligten Antennen. In normalen Radiointerferometern werden die Signale der

einzelnen Antennen z.B. über Lichtwellenleiter zusammengeführt und zur Interferenz gebracht. In der VLBI werden stattdessen die Signale der einzelnen Antennen zusammen mit sehr genauen Zeitreferenzen gespeichert und später rechnerisch korreliert. Dadurch ist es möglich Interferenzen über interkontinentale Entfernungen oder sogar mit Antennen im Weltraum (Weltraum-VLBI) zu erhalten. 19 Partner, 21 Teleskope und 6 Kontinente sind in das Projekt involviert. Großes Problem ist zum einen die Datenmenge (2 TByte pro Tag), die pro Station entsteht. Zum anderen können Datenleitungen auch nicht mal eben auf hohen Bergen wie den Anden mit hoher Qualität bereitgestellt werden, da man entlegene Gegenden anbinden muss. Auch die großen Entfernungen der einzelnen Stationen, die in unterschiedlichen Zeitzonen stehen, stellt ein Problem beim Synchronisieren der Daten dar. Diese Hindernisse will man in solchen weltweiten Forschungsprojekten gemeinsam in den Griff bekommen. [9]

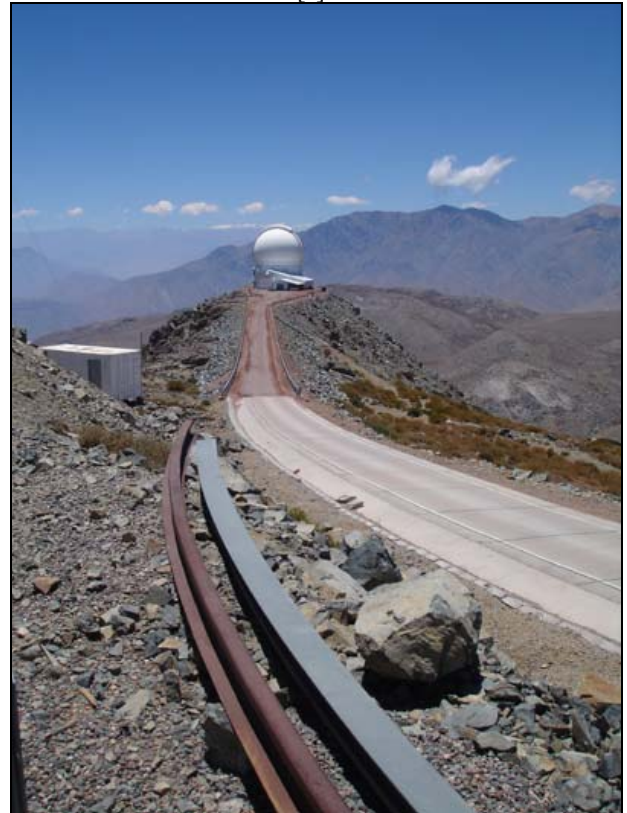


Abbildung 10: Datenanbindung von Observatorien ist oftmals schwierig

**Ausblick** Im Dezember 2006 beschloss die ESO eine Studie anzufertigen für den Bau des European Extremely Large Telescope (E-ELT). Dabei handelt es sich um ein Teleskop mit einem 42 Meter großen Hauptspiegel! Vorrangig soll das Teleskop, das 2016 fertig gestellt werden soll, für Beobachtungen im optischen und nahen infraroten Bereich ausgelegt werden. Die Leistung des neuen Teleskops wird

voraussichtlich um den Faktor 100 besser sein, als die bisheriger Großteleskope! Dabei stellt dieses Projekt nur ein Zwischenschritt zum ebenfalls geplanten Overwhelmingly Large Telescope (OWL) mit einem 100 Meter großen Hauptspiegel dar. Dies hält man für notwendig, da man einen Hauptspiegel dieser Größe innerhalb der nächsten 10 Jahre technisch nicht realisieren kann.

An diesen Zahlen kann man erkennen, dass die erdgebundene Beobachtung des Weltraums noch lange nicht am Ende ihrer Möglichkeiten angekommen ist. Zunehmend werden globale Projekte gestartet, die weltweit den Sternenhimmel absuchen. Dabei werden auch in Zukunft die besten Standorte auf der Nord- und Südhalbkugel gesucht, um optimale Sichtbedingungen zu erhalten. Chile wird dabei weiterhin eine bedeutende Rolle einnehmen – schließlich besitzt man hier den klarsten Sternenhimmel weltweit.

#### Literaturhinweise

- [1] Projekt EXPRéS. Im Internet unter: [www.expres-eu.org](http://www.expres-eu.org)
- [2] BIEFANG, Joachim. Chile – Reise zu den größten Sternwarten der Welt. Im Internet unter: [www.astronomie.de](http://www.astronomie.de)
- [3] DETKEN, Kai-Oliver. Netzwerk-Trends – Die nächste Netzgeneration; Handbuch der Telekommunikation. Deutscher Wirtschaftsdienst; 124. Ergänzungslieferung, April, Köln 2007
- [4] Projekt ALMA. Im Internet unter: [www.eso.org/projects/alma](http://www.eso.org/projects/alma)
- [5] Das Gemini Observatorium. Im Internet unter: [www.gemini.edu/images](http://www.gemini.edu/images)
- [6] Kartenmaterial Online: [www.online-reisefuehrer.com/suedamerika/chile/karte.htm](http://www.online-reisefuehrer.com/suedamerika/chile/karte.htm)
- [7] ZEKL, Hans. Very Large Telescope: Vier Teleskope sehen mehr als eins. Okt. 2002. Im Internet unter: [www.astronews.com](http://www.astronews.com).
- [8] TATEMATSU, Ken. ASTE and ALMA. Vortrag auf der Interworking 2006 in Santiago de Chile, Chile 2007
- [9] YUN, T. Charles. Introduction to EXPRéS – Beyond production e-VLBI services; Vortrag auf der Interworking 2006 in Santiago de Chile, Chile 2007
- [10] Projekt VLT. Im Internet unter: [www.eso.org/projects/vlt](http://www.eso.org/projects/vlt)

