

Geheimnisvolles Universum
Europas Astronomen
entschleiern das Weltall



DIRK H. LORENZEN

Geheimnisvolles Universum –
Europas Astronomen entschleiern das Weltall



Dirk H. Lorenzen

Geheimnisvolles Universum

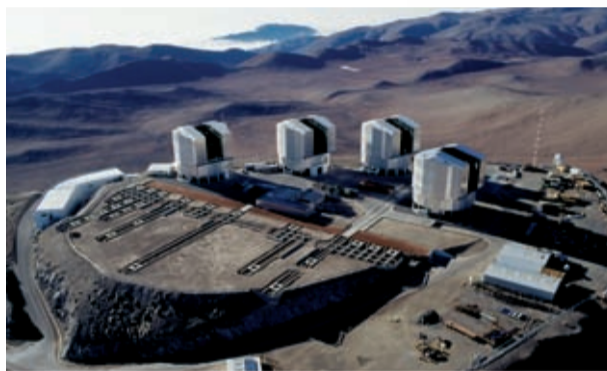
Europas Astronomen
entschleiern das Weltall



KOSMOS



ALMA, 2002



Paranal, 1999

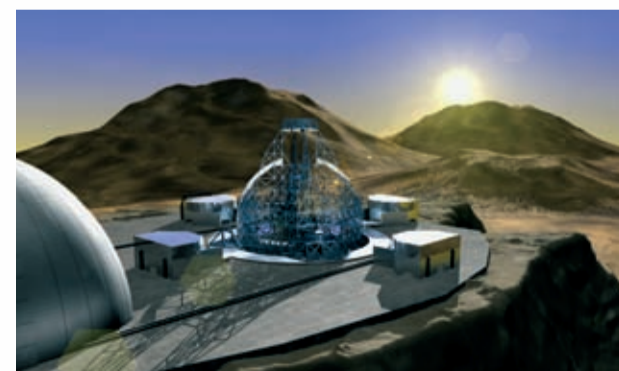


La Silla, 1991



Tololo, 1961

Seite 2:
 Eine kosmische Tarantel aus Gas, Staub und zahllosen jungen
 Sternen. Der Tarantel-Nebel am Rande der Großen Magellanschen
 Wolke ist eines der größten bekannten Sternentstehungsgebiete.
 Er ist so hell, dass er selbst in 170 000 Lichtjahren Entfernung
 noch mit bloßem Auge zu erkennen ist. Diese Weitwinkelaufnahme
 gelang Anfang 2002 mit dem 2,2-Meter-Teleskop auf La Silla.
 Siehe auch Seite 171.



OWL, ca. 2015

Inhaltsverzeichnis

Grußwort von Catherine Cesarsky	6
Vorbemerkung	7
Teleskope, Daten, Theorien – die Astronomie am Beginn einer neuen Ära	8
Europa greift nach den Sternen – ein Besuch auf der besten Sternwarte der Welt	18
Um sieben Uhr ist Sonnenuntergang – der Count-down läuft	38
Dreizehn Stunden Paran-All – eine Beobachtungsnacht am VLT	50
Weißt du, wie viel Planeten steh'n? Auf der Suche nach den Geschwistern der Erde	62
Wie entstehen Sterne? Von kalten Gaswolken und heißen Kugeln	76
Der alte Staub und das All – was Meteoriten über erloschene Sterne verraten	84
Getrennt beobachten, vereint entdecken – das VLT-Interferometer	92
Besser als Hubble – wie adaptive Optik die Atmosphäre ausschaltet	100
Und es ward Quasar – wie dem Universum ein Licht aufging	106
Woraus besteht die Welt? Tycho Brahe und ein Universum voller Rätsel	118
Ferne Supernovae Ia – Sternexplosionen, die die Welt bewegen	134
Mit Stock auf den Stein – wie Europas Astronomen nach Chile kamen	142
Die »Stock Reports« – wie stehen die kosmischen Aktien in Chile?	160
Happy Birthday, ESO! Meilensteine der ersten 40 (oder 50?) Jahre	196
Wenig Wissen, viel Rätsel – die Astronomie in einem goldenen Zeitalter	202

Grußwort



1962–2002 – vier Jahrzehnte, die Europa ebenso wie die europäische Astronomie verändert haben. Eine ganze Generation von Wissenschaftlern, eine wundervolle Zeit, in der wir viele unserer Träume, Hoffnungen und Ziele verwirklicht haben.

Unsere alte Wissenschaft war stets durch eine breite internationale Zusammenarbeit gekennzeichnet. Aber erst in den frühen fünfziger Jahren haben unsere berühmten Vorgänger, allen voran Jan Hendrik Oort und Walter Baade, den beschwerlichen politischen Prozess angestoßen, der schließlich die Europäische Südsternwarte ESO hervorgerufen hat. Mit großartigem Weitblick und festem Willen haben sie den Weg bereitet für einige der weltweit besten Teleskope und Instrumente, für die stabile und dauerhafte Basis einer glänzenden Zukunft der Astronomie und Astrophysik in Europa.

Vom Bau ihrer ersten Sternwarte auf La Silla bis zum bedeutungsvollen Very Large Telescope auf Paranal, mit wunderbaren Perspektiven im globalen ALMA-Projekt und einem Super-Riesenteleskop (OWL) am Horizont ist ESO zu einem wichtigen Spieler auf der weltweiten Bühne geworden. Als treibende Kraft für Spitzenforschung ist ESO nun die führende Service-Organisation im Bereich der Astronomie auf diesem Kontinent. Tausende von Wissenschaftlern profitieren von den kostbaren Daten, die mit Teleskopen an den ESO-Standorten gewonnen werden. Ständig werden neue, leistungsstarke Instrumente in enger Zusammenarbeit mit Forschungsinstituten und der High-tech-Industrie entwickelt. Innovative Ideen, wie die »Virtuellen Observatorien« mit ihren viele Terabytes umfassenden Datenarchiven, tragen mit zum Erfolg der europäischen Astronomie und Astrophysik bei.

Ein idealer Zeitpunkt innezuhalten und zu sehen, wie weit wir sind. Wie haben wir das erreicht, und wie wird moderne Astronomie gemacht? Wo stehen wir heute, und was wird die Zukunft bringen? Kein Zweifel – die Astronomie steht vor einer großen Zukunft! Mehr als je zuvor birgt diese alte Wissenschaft ein enormes Potenzial für aufregende Entdeckungen, die die Öffentlichkeit faszinieren. Die Astronomie wird auch künftig die cleversten Geister kommender Generationen anziehen.

Es ist spannend, an der Spitze der Forschung zu arbeiten und teilzuhaben am ständigen Fortschritt menschlicher Erkenntnis über den weiten Weltraum, in dem wir leben. Und es ist eine Freude, die aufregenden Entdeckungen mit anderen Menschen zu teilen und sie erfahren zu lassen, worum es bei moderner Wissenschaft geht!

Wir danken Dirk Lorenzen, daß er dieses umfassende und attraktive Buch zusammengestellt hat, voll von Beobachtungen und interessanten Perspektiven eines mit dem Gebiet bestens vertrauten Wissenschaftsautors. Er hat über die Faszination unserer Wissenschaft für eine breite Öffentlichkeit geschrieben und doch mit so viel Sachverstand, dass es Amateure und professionelle Astronomen gleichermaßen schätzen werden.

Genießen Sie dieses Buch, aber vergessen Sie nie, dass Fortschritt in der Wissenschaft ein harter und komplexer Prozess ist. Nichts ist einfach – was wie ein Geistesblitz aussieht, ist oft das Resultat langwieriger Bemühungen zahlreicher engagierter Wissenschaftler. Wir können nicht versprechen, den ersten fernen Planeten mit außerirdischem Leben zu finden, aber wir werden bald die technischen Möglichkeiten haben, danach zu suchen. Wir können nicht versprechen, dass wir verstehen werden, woraus die enorme Menge von Dunkler Materie und Dunkler Energie im Universum besteht, aber wir werden es versuchen. Wir können nicht versprechen, das letzte Geheimnis der Welt, in der wir leben, zu lüften, aber wir werden in unseren Anstrengungen nicht nachlassen, mehr über das grandiose Universum und unsere Position darin zu erfahren.

Catherine Cesarsky, ESO-Generaldirektorin

Vorbemerkung

Cerro Paranal, ein Abend im März 2002. Von der »Plattform« aus – vor der grandiosen Kulisse der vier VLT-Teleskope – bestaunen wir den Sonnenuntergang. Die Luftmassen über dem Pazifik sind an jenem Abend so komplex geschichtet, dass plötzlich zwei Bilder der Sonne übereinander zu sehen sind. Zwei glutrote Bälle versinken synchron in den Wolkenmassen. Dann flammt für zwei, drei Sekunden der Rest des oberen Bildes knallgrün auf – der berühmte »Grüne Strahl« der Sonne. Ein ganz seltenes Schauspiel – fast schon ein Zeichen des Himmels ...

Der Himmel – das Universum – ist also voller naher und ferner Geheimnisse. Zu entschleiern gibt es im Kosmos mehr als genug. Astronomen vom alten Kontinent Europa betreiben auf Paranal derzeit die leistungsstärkste »Entschleierungsanlage«, sprich: die beste Sternwarte der Welt. Doch gerade die Astronomen, die nun wirklich allumfassender arbeiten als alle anderen, sollten nicht in Kleinstaaterei verfallen – es ist der beobachteten Galaxie in zehn Milliarden Lichtjahren Entfernung reichlich schnuppe, ob das Teleskop, in das ihr Licht fällt, nun von europäischen Astronomen betrieben wird oder von Astronomen, die ein paar tausend Kilometer weiter westlich/östlich/südlich wohnen. Die Namenspatronin unseres Kontinents geht, laut Brockhaus, auf eine vor-griechische Erdgöttin zurück. Insofern sind ohnehin alle Astronomen irgendwie auch Europas Astronomen – egal, ob sie in Potsdam oder Princeton arbeiten, in Basel oder Concepción, in Paris oder Chicago, in Durham oder Mérida.

Die Europäische Südsternwarte ESO war souverän genug, einen unabhängigen Wissenschaftsjournalisten zu bitten, ein Buch über moderne Astronomie zu schreiben – und damit zwangsläufig vor allem über ESO. Und sie hat es nicht nötig, »Konkurrenz-Astronomie« auszuschließen. So ist dieses Buch zwar irgendwie ein »ESO-Buch«, zugleich aber ein Buch über die spannendsten Fragen der Astronomie, ob sie nun von ESO-Astronomen bearbeitet werden oder nicht. Mir sind viele wissenschaftliche und nicht-wissenschaftliche Einrichtungen bekannt, die diese Souveränität nicht besitzen.

Mein besonderer Dank gilt allen an astronomischer Forschung beteiligten Menschen, denen ich direkt bei einem Interview oder Beobachtungsaufenthalt oder indirekt durch das Hören eines Vortrags oder das Lesen eines Artikels begegnet bin. Viele werden sich auf die eine oder andere Weise auf den folgenden Seiten wiederfinden.

So wie Astronomen nichts wären ohne die Ingenieure und Optiker, die ihnen die Teleskope und Analyse-Instrumente zur Verfügung stellen, so wären Buchautoren nichts ohne Lektor und Hersteller. Daher danke ich meinem Lektor, Dr. Harro Schweizer, ganz herzlich für die – wie immer – äußerst vertrauensvolle Zusammenarbeit, ohne die dieses Projekt nicht zu realisieren gewesen wäre, und Olaf Prill und seiner Produktionsfirma Prill Partners Producing für das professionelle wie angenehme Teamwork. Elisabeth Völk, Uta Grothkopf, Richard West, Claus Madsen, Hännes Heyer, Herbert Zodet, Ed Janssen und Kurt Kjær (alle ESO), Sven Melchert (Kosmos Verlag) und vor allem die »Funktionsleserin« waren ebenfalls entscheidend am Zustandekommen dieses Buches beteiligt. Ihnen – und allen hier Vergessenen ... – vielen Dank.

»Please dim Headlights« mahnt ein Schild an der Straße zum Cerro Paranal. Also: Lichter aus und ab ins Universum! Gut, die Leselampe darf anbleiben, aber nur die ...

Dirk H. Lorenzen
Hamburg, im August 2002



Teleskope, Daten, Theorien – die Astronomie am Beginn einer neuen Ära



Seite 8/9:
Die Milchstraße im
Bereich der Sternbilder
Skorpion und Schütze.
In Richtung des galak-
tischen Zentrums sind
viele Sternhaufen und
Nebel zu erkennen.

STEHT DIE ASTRONOMIE – die älteste Wissenschaft der Welt – vor einer neuen Zeitenwende? Erleben wir gerade einen dramatischen Umbruch in unserem Verständnis vom Universum? Was werden wir in einigen Jahren über unsere Stellung im Kosmos wissen? Fast täglich (oder besser: nächtlich ...) gelangen neue überraschende Beobachtungen in den Tiefen des Kosmos. Die Menge der Nacht für Nacht gewonnenen neuen Daten aus dem Universum hat längst buchstäblich astronomische Ausmaße angenommen. Immer raffinierter konstruierte Teleskope und Messinstrumente entlocken dem Licht, das fast eine Ewigkeit zu uns unterwegs war, immer mehr Informationen über die Phänomene am Rande des Kosmos. Seit kurzem sind Beobachtungen möglich, von denen noch vor fünfzehn oder zwanzig Jahren niemand zu träumen gewagt hätte.

Was die neuen Teleskope vom All zeigen, fasziniert alle Astronomen – die Beobachter sind entzückt, die Theoretiker zum Teil frustriert. Die neuen Daten haben manch lieb gewonnenes Modell zum Einsturz gebracht – bessere Theorien sind oftmals noch nicht in Sicht. Die kosmische Gemengelage – genauer: unsere Kenntnis von ihr – ist derzeit etwas unübersichtlich. Denn die beobachtende Astronomie macht gerade einen Riesensprung nach vorn. Aber unser Verständnis von den Vorgängen im All hinkt – logischerweise – etwas hinterher. Im Kosmos gibt es viel zu sehen und zu bestaunen – und noch mehr zu erklären und zu verstehen ... Doch wer verstehen will, muss beobachten.

DIE LETZTE COPERNI- CANISCHE REVOLUTION?

DIE BEOBACHTUNGEN DER VERGANGENEN JAHRE haben es wahrlich in sich: Die Astronomen registrieren Planeten, die um fremde Sterne kreisen. Erleben wir jetzt den – vielleicht letzten – Teil der Copernicanischen Revolution? Erweist sich jetzt, dass unsere Erde tatsächlich kosmische Dutzendware ist, dass wir an einem völlig normalen, geradezu provozierend durchschnittlichen Ort im All leben? In den kommenden Jahren wird die Erforschung fremder Planeten, so genannter extrasolarer Planeten, dank neuer Beobachtungsprogramme enorme Fortschritte machen. Halten wir bald das erste *direkte* Foto eines fremden Planeten in den Händen?

So elektrisierend die Erforschung fremder Planeten auch ist – dass die Erde eben nicht ein kosmischer Sonderling ist, war sicher zu erwarten. Allerdings musste/muss auch dieser Nachweis erst erbracht werden. Aber viel gravierender, ja, im wahrsten Sinne des Wortes weltbewegend, ist die Entdeckung, dass sich das Universum offenbar immer schneller ausdehnt. Der Kosmos expandiert als Folge des Urknalls – doch scheint die Materie mit ihrer gegenseitigen Anziehung die Flucht der Galaxien keineswegs zu bremsen. Im Gegenteil: Die Beobachtungen ferner Sternexplosionen, so genannter Supernovae, lassen derzeit nur den Schluss zu, dass der Kosmos immer schneller wird. Das Wissenschaftsmagazin *Science* hat diese Entdeckung im Jahre 1998 zum »Durchbruch des Jahres« erklärt.

DAS ALL DÜST IM SAUSESCHRITT

DIE BEOBACHTER SIND ÜBERRASCHT – und die Theoretiker einigermaßen verzweifelt. Denn es geht nicht nur um das kosmische Tempo. Viel elementarer ist die Frage, *was* das All immer schneller auseinander treibt? Beobachtungen der Supernovae und der ältesten Strahlung im Kosmos überhaupt, der so genannten 3-Kelvin-Hintergrundstrahlung, die sich nur 400 000 Jahre nach dem Urknall auf den Weg gemacht hat und noch heute als diffuses Glimmen zu erkennen ist, zeigen den Astronomen, was sie alles nicht wissen.

Denn die Daten sind nur zu verstehen, wenn etwa 25 Prozent des Kosmos aus Dunkler Materie bestehen – aus Materie, die zwar anziehend wirkt, aber nicht direkt leuchtet oder sonst mit Strahlung wechselwirkt. Bis heute ist nicht klar, woraus diese Dunkle

Himmel und Hölle – Paranal und Llullaillaco.
Das Very Large Telescope blickt nach oben,
der 6739 Meter hohe Vulkan brodeln von unten.
Diese spektakuläre Aufnahme der beiden
190 Kilometer voneinander entfernten Berge
gelang ESO-Ingenieur und Hobby-Flieger
Gerhard Hüdepohl Anfang 2002 bei einer
Inspektion seines Arbeitsplatzes aus der Luft.





Materie besteht – sicher ist nur, dass es nicht »normale« Materie sein kann wie die, aus der wir Menschen und alle Dinge um uns herum bestehen, also Bücher, Teleskope, Sternwarten, Berge etc.

Noch rätselhafter sind die 70 Prozent »Dunkle Energie«, die im Kosmos vorkommen müssen. Diese Dunkle Energie scheint *die* Supermacht im All zu sein – sie treibt das Universum immer schneller auseinander. Die Dunkle Energie kann man sich als Materie mit abstoßendem Charakter vorstellen. Mathematisch beschreiben kann man diese Komponente des Alls ganz gut – was aber physikalisch dahinter steckt, davon haben die Physiker und Astronomen bis heute keinen Schimmer.

NOCH EINMAL: Nach heutigem Wissensstand der Astronomen bestehen nur fünf Prozent des Universums aus der uns so vertrauten Materie – von diesen fünf Prozent sind wiederum nur Bruchteile in den Teleskopen wirklich zu sehen. 95 Prozent des Alls sind gänzlich unbekannt – man weiß lediglich, dass davon etwa 25 Prozent Dunkle Materie mit anziehender Kraft sein müssen und etwa 70 Prozent abstoßende Dunkle Energie. Die Astronomen sehen, dass sie fast nichts sehen ... Und die Menschheit muss erkennen, dass selbst unsere Materie im Kosmos fast vernachlässigbar ist.

Da mag man jetzt einwerfen, dass es wohl arg vermessen ist, wenn die Astronomen trotzdem so tun, als könnten sie die Vorgänge im All verfolgen und verstehen. Doch die Lage ist in der Tat nicht ganz so hoffnungslos, wie sie auf den ersten Blick erscheinen mag. Denn was auch immer Dunkle Energie und Dunkle Materie mit dem All anstellen: Es wirkt sich auch auf die sichtbare Materie aus – und das ist die Chance der Astronomen. Nur wer die Himmelsobjekte genau beobachtet, hat die Chance zu erkennen, welches Spiel im All gespielt wird. Hat womöglich schon bald jemand die zündende Idee, die alle heute noch verwirrenden Fakten ganz natürlich zusammenfügt, so wie Copernicus und Kepler vor einem halben Jahrtausend?

Die Entdeckung des beschleunigt expandierenden Universums ist ohne Zweifel der größte Umbruch in der Astronomie seit fast einem Jahrhundert, seit Ende der zwanziger Jahre, als Edwin Hubble die Rotverschiebung der Galaxien entdeckte, was wir als Expansion des Kosmos deuten. Völlig zu Recht freut sich die Europäische Südsternwarte ESO (European Southern Observatory) auf eine neue Ära der Entdeckungen. Und diese Ära fängt gerade erst an.

DASS DIE ASTRONOMIE TATSÄCHLICH in der spannendsten Phase seit langer Zeit ist, verdankt sie zu einem Großteil eben jener Europäischen Südsternwarte. Die ESO ist ein Verbund aus mittlerweile zehn europäischen Staaten. Die Gründung erfolgte bereits 1962 – damals hatten sich die Astronomen Europas das Ziel gesetzt, international konkurrenzfähige Observatorien zu betreiben und dabei den »blinden Fleck« des Südhimmels zu schließen. Der südliche Sternenhimmel war von europäischen und nordamerikanischen Astronomen bis dahin eher stiefmütterlich behandelt worden, obwohl dort einzigartige Objekte zu beobachten sind. Das Hauptquartier der ESO liegt in Garching bei München, die beiden Sternwarten liegen in Chile: auf den Bergen La Silla (in Betrieb seit 1968) und Paranal (in Betrieb seit 1998).

Mit der Sternwarte auf Paranal – die ohne die auf La Silla gewonnenen Erfahrungen und Expertisen unmöglich gewesen wäre – haben sich Europas Astronomen weltweit an führende Position gesetzt. Auf Paranal stehen die vier Großteleskope des »Very Large Telescope« (VLT) – mit Spiegeln von jeweils 8,2 Metern Durchmesser. Vier Spiegel von je 53 Quadratmetern Fläche registrieren das minimale Funzeln der Himmelskörper.

**DAS WELTALL IST
VOLLER RÄTSEL**

**PARANAL: DIE
BESTE STERN-
WARTE DER WELT**

Im Trifid-Nebel im Sternbild Schütze entstehen gerade viele Sterne. Wie die Sternentstehung im Detail abläuft, ist eines der großen Rätsel der Astronomie.

Dazu kommen fünf kleinere Teleskope, die das VLT unterstützen – von denen jedes für sich schon eine respektable Größe hat (von 1,8 bis 4 Meter Spiegel-Durchmesser).

**VIER MAL ACHT
GLEICH
SECHZEHN ...**

DAS VLT IST NICHT DAS EINZIGE INSTRUMENT dieser Größe – die beiden Keck-Teleskope auf Hawaii, die beiden Gemini-Teleskope auf Hawaii und in Chile, das japanische Subaru-Teleskop auf Hawaii, bald auch die beiden stets zusammengeschalteten Teleskope des Large Binocular Telescope in Arizona und – mit gewissen Abstrichen – auch das Hobby-Eberly-Teleskop in Texas und sein geplantes Pendant in Südafrika, sie alle gehören zur Klasse der 8- bis 10-Meter-Teleskope.

Aber das VLT war geradezu ein Geniestreich. In den achtziger Jahren diskutierten Europas Astronomen, ein 16-Meter-Teleskop zu bauen. Ein Spiegel von 16 Metern Durchmesser ist technisch fast unmöglich – jedenfalls als monolithischer Spiegel, der also aus einem Stück besteht. Schon heute bestehen die Spiegel der 10-Meter-Keck-Teleskope aus jeweils 36 Segmenten – doch hat dieses Vorgehen auch gewisse technische Schwächen. Somit wollten die Europäer statt eines 16-Meter-Teleskops vier 8-Meter-Teleskope bauen. Vier 8-Meter-Spiegel haben genau die gleiche Lichtsammel­fläche wie ein 16-Meter-Spiegel. Das klingt nach einem Rechenfehler, ist aber keiner: Man muss die Flächen addieren – und die Flächen gehen mit dem Quadrat des halben Durchmessers (Radius). Also: Acht zum Quadrat ist gleich vier mal vier zum Quadrat. Rechnen Sie es nach!

**DAS VLT HAT
EINEN NACH-
TEIL: SEINEN
NAMEN ...**

GANZ ZU ANFANG DACHTE MAN daran, das Licht der vier Teleskope immer zu kombinieren. Das macht man heute nicht bzw. nur für ganz spezielle Beobachtungen (so genannte Interferometrie). Fast immer reicht ein 8-Meter-Teleskop für die gestellten Aufgaben völlig aus. Vor diesem Hintergrund versteht man den etwas irreführenden Namen: »Very Large Telescope« (Singular). Aber das VLT ist nicht ein Teleskop, es besteht aus vier Großteleskopen. Very Large Telescopes (Plural) wäre besser oder vielleicht Very Large Observatory – aber das Kind heißt nun einmal Very Large Telescope, VLT. Das mag irreführend sein, ist aber ein Luxus-»Problem«: Hier gibt es einen ungeschickten Namen für ein grandioses Teleskop – mäßige Teleskope mit grandiosen Namen gibt es sehr viel häufiger.

So haben Europas Astronomen heute gleich vier der weltbesten Teleskope – vier Teleskope mit insgesamt fünfzehn Zusatzgeräten, die mit beispielloser Effizienz in den Himmel blicken. Das legendäre 5-Meter-Teleskop von Mount Palomar war ein halbes Jahrhundert lang das größte oder zweitgrößte Teleskop der Welt – seit 1994 wurde es schnell nach unten durchgereicht und ist heute fast in Vergessenheit geraten.

Seit Beginn der neunziger Jahre beherrschen die Ingenieure die Technik der »dünnen« Spiegel. Jahrzehntlang waren Spiegel schwer und dick – nur so ließ sich gewährleisten, dass die Spiegel auch immer ganz gut in Form waren und nicht durchhingen oder sich anders verformten. Dieser sehr massiven Bauweise waren aber Grenzen gesetzt – denn das ganze Teleskop samt schwerem Spiegel musste schließlich noch präzise ausgerichtet werden. Heute sind Spiegel unglaublich dünn und leicht – die 8,2-Meter-Spiegel des VLT sind jeweils 17 Zentimeter dünn und wiegen nur 23 Tonnen, für ein Großteleskop ein Fliegengewicht.

**NEUE SPIEGEL
FÜR DAS ALL**

DIE NEUE TELESKOP-TECHNOLOGIE der dünnen Spiegel ließ plötzlich traumhaft große Spiegel zu und beschert so der Astronomie einen enormen Sprung nach vorn – wie weit nach vorn, lässt sich heute noch nicht absehen. Aber viele Lichtteilchen, also Photonen,

Das VLT-Teleskop Antu (UT1) greift nach dem Himmelsjäger Orion. Von der Südhalbkugel aus betrachtet steht Orion »auf dem Kopf«. Sirius, der hellste Fixstern am Himmel, leuchtet rechts oben.





Ein etwa vollmondgroßer Ausschnitt der Kleinen Magellanschen Wolke (siehe Seite 55). Die Gasmassen des Nebels NGC 346 leuchten bläulich; unten der Kugelsternhaufen NGC 330.

die in den kommenden Jahren noch auf die Spiegel treffen und von ihnen in die teilweise fast genial konstruierten Mess- und Analysegeräte reflektiert werden, werden Überraschendes aus den Tiefen des Alls zu berichten haben. Das ist ja das Grandiose an der Astronomie: Diese Informationen sind als steter Strom von Lichtteilchen ständig zu uns unterwegs – jetzt endlich haben die Astronomen das Instrumentarium, diese Informationen zu erfassen und so das Universum etwas besser zu verstehen.

So paradox es klingen mag: Was wirklich in der Frühphase des Kosmos – kurz nach dem Urknall – passiert ist, wie Sterne und Galaxien vor zehn Milliarden Jahren ausgesehen haben, wie sich der Kosmos vor fünf Milliarden Jahren ausgedehnt hat, was für Planeten um andere Planeten kreisen etc. – all diese Informationen treffen ununterbrochen auf die Erde. Lichtteilchen, die diese Informationen mit sich tragen, erreichen uns ständig, ob sie nun einige Jahre unterwegs waren (wie bei den nahen Sternen) oder viele Milliarden Jahre. Es geht nur darum, wie gut die Teleskope und Messinstrumente der Astronomen sind, diese Informationen auch aus dem schwachen kosmischen Lichtermeer herauszufiltern.

NACH EINEM KALAUER heißen Sternwarten ja Sternwarten, nicht weil da die Astronomen die Sterne warten, sondern weil da Astronomen sitzen und warten, dass im Kosmos etwas passiert. Jedoch – genau das Gegenteil ist richtig: Die Sterne warten darauf, dass sich die Astronomen in den Sternwarten endlich bequemem, die stets frei Haus gelieferten Daten zur Kenntnis zu nehmen, und daraus wissenschaftliche Schlüsse ziehen. Jetzt, mit dem VLT und den anderen Großteleskopen, vor allem aber mit den neuen Messinstrumenten, die das Licht aus dem Kosmos analysieren und ihm so seine Geheimnisse entreißen, geht den Astronomen viel weniger durch die Lappen als bisher. Dank des Lichts aus dem Kosmos geht den Astronomen manches Licht über den Kosmos auf.

Auch dem VLT entgeht noch viel mehr, als es tatsächlich messen kann – es bleibt also auch für künftige Generationen von Teleskopen und Astronomen noch genug zu tun. Es wäre ja entsetzlich, wenn plötzlich alle Fragen gelöst wären: Die Astronomen hätten mit einem Mal nichts mehr zu tun – und mit ihnen die Journalisten, die über Astronomie berichten ... Aber keine Sorge – es gelingt zwar mittlerweile, so schwache Objekte wie nie zuvor zu beobachten. Doch trotzdem bleibt das meiste vom All weiter unbeobachtbar. Was werden die Astronomen in Zukunft mit ihren Teleskopen leisten können?

Also, machen wir uns auf in die Tiefen des Kosmos. Blicken wir zurück in die Geschichte des Universums und sehen, wie unsere eigene Vergangenheit aussah. Erkennen wir, wie die Welt um uns herum aussieht, woraus sie besteht, wie sie zu dem wurde, was sie heute ist, und wie sich der Kosmos in Zukunft entwickeln wird. Die besten Teleskope der Welt warten auf uns – mit ihnen als Werkzeug, als Superauge, als Zeitmaschine spüren wir den ganz großen Fragen nach. Lassen Sie sich ein auf das geheimnisvolle Universum – und erleben Sie mit, wie die Astronomen weltweit den kosmischen Schleier immer mehr lüften. Denn für das Universum gilt ebenso wie für die Wissenschaft über das Universum: Es ist immer alles in Bewegung, neuerdings sogar immer schneller in Bewegung – im Universum wie in der Astronomie.

**STERNWARTEN,
AUF DIE DIE
STERNE WARTEN**



Europa greift nach den Sternen – ein Besuch auf der besten Sternwarte der Welt



Seite 18/19:
Das Very Large Telescope am Beginn einer langen Beobachtungsnacht. Antu (UT1), Melipal (UT3) und Yepun (UT4) sind bereits geöffnet, Kueyen (UT2) wird in dieser Nacht gewartet. Durch die vielen offenen Tore und Lüftungsklappen stehen die Teleskope nachts de facto im Freien – so haben die Teleskope stets die gleiche Temperatur wie die Umgebung, was die Luftunruhe minimiert.

SANTIAGO DE CHILE, Flughafen, Inlandsterminal, ein Mittwochmorgen im März 2002. Die Frühmaschine nach Antofagasta und Calama rollt von der Gangway los – im »Paranal Shuttle« sitzen einige Mitarbeiter der Europäischen Südsternwarte und Astronomen, die ein paar Nächte mit dem VLT beobachten wollen. Wenig später startet die Maschine in die »falsche« Richtung, nach Süden. Das Flugzeug steigt aus der typischen Smog-schicht, die fast immer über dem Talkessel von Santiago liegt. Unten ziehen karge Hügelketten vorbei. Schneebedeckte Gipfel der hier bis zu 6000 Meter aufsteigenden Anden bilden die eindrucksvolle Kulisse, vor der sich das Zentrum von Santiago im Dunst abzeichnet. In einer scharfen Rechtskurve dreht die Maschine nach Norden – und dann geht es immer geradeaus, Richtung Antofagasta.

Der Flug verläuft ziemlich präzise entlang der Küstenlinie – die Fenster auf der rechten Seite geben den Blick frei auf die weltweit größte Ansammlung von Sternwarten. Nach einer knappen Flugstunde kommt Tololo in Sicht. Weit unten auf den Bergen sind die Teleskop-Gebäude des CTIO (Cerro Tololo Interamerican Observatory) als kleine helle Punkte zu erkennen, ebenso die Gebäude auf den benachbarten Bergen Cerro Morado und Cerro Pachón. Die Parade der Sternwarten geht noch weiter. Bald nachdem das Elqui-Tal mit dem Küstenstädtchen La Serena überflogen ist, glitzern die Kuppeln von La Silla auf einem der Anden-Hauptkette vorgelagerten Berg. Nur wenig weiter im Norden fallen die Teleskope von Las Campanas (Carnegie Institution) auf. Aus 10 000 Metern Höhe lässt sich nur erahnen, wie groß die Sternwarten dort unten sind. Dem flüchtigen Beobachter mögen die Sternwartenberge in der Umgebung von La Serena sogar ganz entgehen.

Knapp zwanzig Minuten nach La Silla geht die Maschine in den Sinkflug über. Die Berge erscheinen immer größer und rücken in dieser Gegend auch näher an die Küste heran. Jetzt ist klar zu erkennen, dass hier – im Norden Chiles – wirklich Wüste ist. Kein Baum, kein Haus, ab und zu mal eine sich auf dem Wüstenboden hell abzeichnende Piste, vielleicht mal die Abraumhalde einer Mine – mehr ist nicht zu entdecken. Das Meer unter der Maschine ist von einer dichten Schicht weißer Wolken bedeckt, die beharrlich an die unmittelbar an der Küste bis auf 2000 Meter aufsteigenden Berge stoßen.

Dann flammen plötzlich grelle Reflexe auf einem Berg nahe der Küste auf. Das Sonnenlicht spiegelt sich an den Teleskop-Gebäuden auf Paranal – das »Very Large Telescope« (VLT) strahlt wie ein Leuchtfeuer in der Wüste. Nur wenig weiter hinter dem Berg ist das Basislager zu erkennen – die flache Kuppel des in den Hang gebauten Wohnkomplexes sieht aus wie ein gelandetes Ufo. Die silbrig glänzenden Gebäude auf dem Gipfel von Paranal stehen seltsam unwirklich inmitten der Wüstenlandschaft. Die Reflexe an den Teleskop-Gebäuden sind minutenlang zu sehen. Dann sind die vier Teleskope fast schon majestätisch am Fenster vorbeigezogen – einen Moment lang hat der Beobachter den Eindruck, als drehten sich die Gebäude mit und zwinkerten dem Betrachter zu ...

**ERST FLUG,
DANN ZWEI
STUNDEN PISTE**

SO BEGINNT FÜR DIE MEISTEN BESUCHER die Anreise zum Berg Paranal. Kurz nachdem die Parade der Sternwarten abgenommen ist – mit dem VLT als finalem Höhepunkt –, landet die Maschine in Antofagasta, 120 Kilometer nördlich von Paranal. Es ist der nächstgelegene Verkehrsflughafen. Nach dem ersten Inaugenscheinnehmen aus der Luft erfolgt nun der sehr viel bodenständigere Rest der Anreise. In einem Minibus geht es vom Flughafen zunächst zum ESO-Büro in der Innenstadt von Antofagasta, schließlich entlang der mondänen Strandpromenade am Pazifik und dann links ab auf die Zufahrt zur Panamericana. Der legendäre »Panamerican Highway« führt auf sei-

ESA-Astronaut Claude Nicollier hat bei einer Reparaturmission zum Hubble-Weltraumteleskop die Region der irdischen Kollegen fotografiert: Von links unten nach rechts oben erstreckt sich die wolkenfreie Atacama. Über dem kalten Humboldt-

Strom des Pazifik liegen dichte Wolken, ebenso hinter dem Hauptkamm der Anden. Antofagasta liegt knapp rechts vom »Amboss«, Paranal nahe der Küste etwa ein Drittel der Strecke bis zum rechten Bildrand.





Im Komplex RCW 108 regen junge, heiße Sterne die bei ihrer Entstehung übrig gebliebenen Gasmassen zum Leuchten an. Dichte Staubwolken, in denen noch immer Sterne entstehen, zeichnen sich dunkel ab. Siehe auch Seite 79.



nem Weg von Alaska nach Feuerland auch durch die Atacama-Wüste – und ist somit der Zubringer in das El Dorado der Astronomen.

Die Panamericana ist asphaltiert – aber bald biegt der Wagen rechts ab auf eine Piste, die regelmäßig mit Meerwasser besprüht wird, weil das Salz die Sand- und Geröllmassen fast betonhart zusammenklebt. Trotzdem schütteln die Schlaglöcher den Bus ordentlich durch. Die Sonne brennt gnadenlos vom tiefblauen Himmel, die Landschaft erinnert an Aufnahmen vom Planeten Mars: ockerfarbene, sanft geschwungene Berge hinter Sanddünen, kein Strauch, kein Halm, nur regellos herumliegende Gesteinsbrocken – Wüste, so weit das Auge reicht. Es ist gewiss kein gastlicher Ort zum Leben – aber es ist der beste Ort, um Astronomie zu betreiben. Nirgendwo sonst auf der Erde ist die Luft ruhiger, nirgends ist es klarer und trockener als hier – die Atacama ist das astronomische Paradies auf Erden.

Nach etwa zwei Stunden Fahrt erreicht der Wagen wieder eine asphaltierte Straße, die steil bergan führt. Dann geht es über eine letzte Kuppe, und urplötzlich thront vor dem Besucher Cerro Paranal. Wunderbar gleichmäßig erheben sich die Flanken des Berges aus der Wüstenlandschaft. Auf dem eingeebneten, etwa drei Kilometer Luftlinie entfernten Plateau am Gipfel des 2650 Meter hohen Berges stehen unübersehbar die vier Teleskope des VLT – die gewaltigen Schutzbauten der Teleskope bilden eine markante Silhouette auf der flachen Bergspitze. Der Wagen fährt über die Kuppe und wieder etwas hinunter ins Basiccamp auf 2500 Metern Höhe. Dort befinden sich die Werkstätten und Wohnräume für das auf dem Berg weilende Personal und für die Gäste.

DIE NEUE RESIDENCIA IST DAS HERZ des Basiccamps – das große Wohngebäude für Personal und Gäste ist in den Berghang hinein gebaut. Von der Hauptkreuzung, die man nach der Eingangskontrolle zum VLT-Gelände erreicht, führt eine flache Rampe hinunter zur Eingangstür. Doch es ist keineswegs ein Gang in den Keller – hinter der Tür befindet sich der Besucher schlagartig in einer anderen Welt: Eben noch von Staub und Dreck der Wüste umgeben, steht man inmitten von Palmen, Farnen und Bananen, die an den großen Hang gepflanzt sind, an dessen oberem Ende die Eingangstür liegt. Am unteren Hangende, mehr als vier Stockwerke tiefer, liegt der Swimmingpool. Durch

Gesamtansicht des Paranal-Observatoriums: Vorne das Basiccamp mit der in den Berghang gebauten Residencia, hinten die Plattform mit den bisher vier Teleskopen und dem Kontrollgebäude. Das während der Bauzeit errichtete Containercamp, rechts im Bild, wird bald wieder abgebaut. Die helle runde Scheibe in der rechten unteren Ecke ist ein originalgetreues Betonmodell der VLT-Spiegel, mit dem sämtliche Transport- und Einbauschritte getestet wurden.

**TROPISCHE OASE
IN DER WÜSTE**



Cerro Paranal, 1991, noch fast unberührt (oben), 1994 waren die Spitze eingeebnet und die Teleskop-Fundamente ausgeschachtet.

**DIE ERSTEN
ZEHN JAHRE:
CONTAINER STATT
RESIDENCIA**



Anfang 1996 wurde der erste Teleskopdom errichtet.

die fast 35 Meter große flache Glaskuppel flutet das Tageslicht in die Halle. Die Luft ist angenehm feucht, Wasser plätschert in den Pool – fast meint man, das Schreien von Affen oder Kreischen von Papageien zu hören (die große tropische Eingangshalle hat bei vielen schon den Spitznamen Affenhaus weg). Größer könnte der Kontrast kaum sein – eben noch in der Wüste, jetzt in einem Stück Tropen.

Nach einer »Schrecksekunde« folgt der Besucher dem Weg, der geschwungen an der runden Wand der Halle entlang hinunter ins »zweite Untergeschoss« führt. Dort befindet sich die Rezeption der Residencia, ebenso wie Küche und Speiseraum. Sitzgruppen laden zum Verweilen in der feuchten Luft ein, zwei Etagen tiefer zieht eine einsame Schwimmerin ihre Bahnen im Swimmingpool. Die nackten Betonwände und -böden sind in rostroter Farbe gestrichen. Die großen Fenster geben den Blick hinaus in die Wüste frei – auf eine Weise, als seien es Bilder an der Wand, denn in dieser Umgebung wirkt die Wüste unendlich weit entfernt.

Was auf den ersten Blick wie verschwenderischer Luxus erscheinen mag, ist für die dauerhaft auf Paranal arbeitenden Menschen fast lebensnotwendig. Die durchschnittliche Luftfeuchte liegt auf Paranal bei unter zehn Prozent – man käme mit dem Eincremen der Haut und Befeuchten der Schleimhäute nicht mehr hinterher, gäbe es nicht auch »feuchte« Räume zur Erholung. Die Residencia, in der auch viele Büros und die gesamten Wohnräume für Personal und Gäste liegen, hat weniger als zwei Prozent der Gesamtkosten des VLT-Projekts verbraucht – gute Wissenschaft kann nur von Leuten erbracht werden, die sich auf Dauer an diesem isolierten Ort wohlfühlen. Also ist es sogar im Sinne des Gesamtprojekts, für das Personal ein behagliches Wohnquartier zu haben. Dabei ist die Residencia eigentlich zu klein – denn die auf dem Berg ständig arbeitenden ESO-Leute haben kein privates Zimmer, das wirklich nur sie nutzen. Wer Freiwoche hat, muss das Zimmer so weit räumen, dass andere ESO-Beschäftigte oder Besucher dort wohnen können.

EINER DERJENIGEN, DIE REGELMÄSSIG nach Paranal kommen, um von dort hinaus ins All zu gucken, ist Bruno Leibundgut. Der junge Schweizer Astronom ist bei ESO als »Head of the Office for Science« mitverantwortlich dafür, dass ESO weltweit wettbewerbsfähige Sternwarten betreibt, um echte Spitzenforschung durchzuführen. Bruno Leibundgut erwartet den Besucher in der großen Eingangshalle und schlägt einen Spaziergang über das Gelände vor. Über die lange Rampe geht es wieder nach draußen und weiter auf eine kleine Anhöhe nahe der Eingangskontrolle, wo das – viel zu selten geöffnete – Visitor Center von Paranal steht (selbst in der Atacama gibt es viele interessierte Besucher – da sollte sich die beste Sternwarte der Welt mehr leisten als ein Besucherzentrum mit den Öffnungszeiten eines dörflichen Heimatmuseums). Beim Gang hinauf erinnert sich Bruno Leibundgut – in 2500 Metern Höhe durchaus etwas kurzatmig – an seinen ersten Besuch 1996 auf Paranal:

Da war hier noch gar nichts. Es war gerade das Fundament für das erste Teleskop gegossen. Ich durfte das eigentlich gar nicht sehen als Astronom, ich war überhaupt ein Störfaktor damals. Sehr spannend war, dass man damals noch die Armierungseisen des Fundamentrings hat sehen können. Dann hat man ein halbes Jahr gewartet, bis sich der Beton gesetzt hat, und dann hat man den Schluss darauf gesetzt. Für mich als Astronom war das extrem spannend, mal so etwas zu sehen; das erfährt man sonst ja nie. Das Kontrollgebäude hat im Rohgerüst gestanden, nur Gerüst, keine Wände, kein Dach. Es gab ein Container-Camp – es waren nur sehr wenige ESO-Mitarbeiter hier, alles Ingenieure und Bauleute. Da bin ich als Astronom komisch angesehen worden.

Normalerweise machen die Wolken einen noch größeren Bogen um das VLT als diese Wolke im März 2002 (zum Ende des bolivianischen Winters). Auf Paranal sind im Schnitt mehr als dreihundert Nächte im Jahr perfekt klar.



Mittlerweile sind Astronomen natürlich gern gesehen auf dem Berg. Leibundgut war seitdem gut ein Dutzend mal auf Paranal – 1998 beim wissenschaftlichen Check des VLT (in der so genannten Science Verification Phase prüften die Astronomen, ob das Teleskop auch hält, was es versprochen hat) sogar neunzehn Tage ununterbrochen.

Da ist man nach der Beobachtung morgens um sieben oder um acht ins Bett gegangen. Um zehn ist einer auf dem Dach vom Container herumgerannt, um das Telefon zu installieren und solche Dinge. Damals war das eben noch das reine Abenteuer – und jetzt ist es eine echte Sternwarte, ganz normal, aber besser als viele andere.

Ohne ihn stünde auf Paranal kein Teleskop: Massimo Tarenghi, Projektleiter des Very Large Telescope, im März 1999 auf seiner Baustelle.

EIN KLEINER WEG führt um das Besucherzentrum herum zu einem Aussichtspunkt, der einen wunderbaren Ausblick auf das Basiscamp und den dahinter empor steigenden Cerro Paranal bietet:

Der erste Eindruck vom Berg, den man von hier hat, ist, dass man diese vier Kuppeln sieht. Es sind ja gar keine Kuppeln mehr, es sind fast Skulpturen, die da oben stehen.

Paranal ragt in den tiefblauen Himmel über der Atacama. Links und rechts sanft geschwungene Wüstentäler, in der Mitte erhebt sich der Berg mit den vier silbrigen Gebäuden auf dem Gipfelplateau.

Die Bergspitze ist weggesprengt worden – die obersten dreißig Meter. Man sieht die Schutthalde. Der Schutt ist in unserer Richtung abgelagert worden. Das ist inzwischen auch alles gesichert und mit irgendwas übersprüht worden, so dass der Wind nicht die Staubpartikel aufwirbelt und sie in den Bereich der Teleskope hinaufträgt. Der Schutt ist extra auf der windabgewandten Seite abgelagert worden. Der Wind kommt typischerweise von Norden, also von rechts, auf den Berg zu. Die vier Teleskope stehen so da, dass jedes einzeln dem Wind direkt ausgesetzt ist, dass also nicht eines im Windschatten des anderen steht, weil das natürlich Effekte auf die Bildqualität hat.

Ebenfalls im Windschatten des Berges – bezogen auf die Hauptwindrichtung – liegt das Kontrollgebäude, von dem eine Ecke hervorlugt. Das Kontrollgebäude ist völlig von den Teleskopen getrennt – von dort aus werden die Teleskope gleichsam ferngesteuert. Den Berg hoch schlängelt sich die Verbindungsstraße, die auf vier Kilometern Länge vom Basiscamp zur Plattform führt. Kurz gesagt: Unten wird gewohnt, oben gearbeitet

»SKULPTUREN«
STATT KUPPELN

– wobei unten auch viel zu arbeiten ist. Die Straße macht am linken Berghang einen großen Bogen. Dort steht die Satellitenantenne, über die die Daten nach und von Garching laufen. Der Satellit ist irgendwo zwischen Brasilien und Westafrika positioniert – daher steht die Antenne auf Paranal relativ flach. Vom Camp aus bahnt sich zudem ein schmaler Pfad den Weg hinauf zur Plattform. Der »Star Walk« lädt zu einem schönen, knapp einstündigen Spaziergang durch die Wüste ein.

Hat ein Schweizer Astronom eine besondere Affinität zu Bergen? Leibundgut lacht:

Ja, schon. In der Wüste sieht man dem Berg hier oben nicht an, dass er 2600 Meter hoch ist. Man bedenke, dass zwölf Kilometer hinter dem Berg der Pazifische Ozean ist, dass also die 2600 Meter auf relativ kurzer Distanz da hochkommen. Zum anderen sind wir als Europäer gewöhnt, Berge zu sehen mit Gras und mit Bäumen. Die Bäume haben den Effekt, dass sie Hügel verflachen, sanft machen, während hier in der Wüste nur Stein und Fels ist – das macht die Berge extrem stark, extrem prägnant.

ZUM GLÜCK NIEMALS MEERBLICK

DAS MEER IST – FAST MÖCHTE MAN sagen, wie üblich – nicht zu sehen. Die Wolken hängen über dem Pazifik und die Inversionsschicht hält die Wolkendecke über dem Meer. Kein Grund zur Trauer ob der verpassten Aussicht – genau deswegen ist Paranal so ein guter Standort. Wasser – Süßwasser – braucht Paranal natürlich trotzdem. Einen Brunnen mitten in der Wüste zu bauen, ist nicht sehr aussichtsreich. So wird das Wasser Tag für Tag von etlichen Tankwagen aus Antofagasta herangefahren. Auf halber Höhe zwischen Camp und Plattform sind die Wassertanks im Berg vergraben – die Tankwagen fahren dort hin und laden ihre Last ab. Für den Wasserdruck sorgt dann die Gravitation.

Strom liefern Dieselgeneratoren, die am Rande des Basiscamps ununterbrochen arbeiten – sie wirken irgendwie fehl am Platz. Wenn man Sonnenenergie nicht einmal mitten in der trockensten Wüste der Welt nutzt – wo denn dann? Im Camp gibt es zudem einen Hubschrauberlandeplatz, der – so hoffen alle – nie für Rettungseinsätze gebraucht wird. Trotzdem muss dieser Platz aus Sicherheitsgründen vorhanden sein. Es besteht die Abmachung, dass in Notfällen das chilenische Militär Hilfe bringt oder Verletzte holt. Sicherheit ist auf einem Berg – zwei Fahrstunden vom nächsten Krankenhaus entfernt – äußerst wichtig. Beim Bau eines Teleskops auf Hawaii waren vor einigen Jahren drei Menschen verbrannt. Der Schock über dieses Unglück wirkte auch auf Paranal nach. Die Sicherheitsvorkehrungen wurden nochmals verschärft.

Was manchen Besuchern vielleicht übertrieben erscheint, ist berechtigte Vorsicht. So darf zwischen Sonnenuntergang und Sonnenaufgang niemand zu Fuß auf der Straße zur Plattform laufen – aus Angst, die im Dunkeln natürlich nur spärlich beleuchteten Autos (niemand baut eine Sternwarte an einen perfekt klaren und dunklen Standort, um dann mit Fernlicht um die Teleskope zu kurven) könnten einen Fußgänger überfahren. Wer das Camp abseits der Wege verlassen will, muss sich auch am Tage abmelden und ein Funkgerät mitführen.

Zerrungen oder Bänderrisse kann es auf Paranal trotzdem geben – ein Fußballfeld und ein Sportplatz, auf dem man Handball, Volleyball und Tennis spielen kann, werden gern genutzt. Der sportliche Ausgleich beugt dem »Lagerkoller« in der Wüste vor.

Das ist wichtig. Die Isolation hier ist so groß, da kann man nicht für ein Bier in die Kneipe um die Ecke gehen. Man muss den Leuten auch abends etwas bieten – Kino, Fitnessraum und so weiter. Wenn ich als Astronom für zwei, drei Nächte hierherkomme, brauche ich das natürlich nicht. Aber wenn man hier arbeitet und immer für eine Woche da ist, dann muss man den Leuten Gelegenheit geben, sich zu zerstreuen. Es gibt Leute, die mit dem Fahrrad hin- und herfahren, um sich fit zu halten.

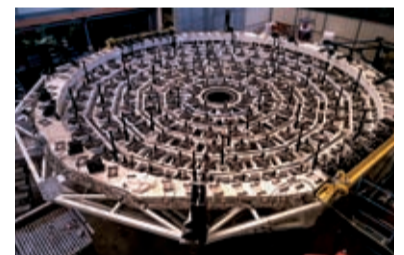
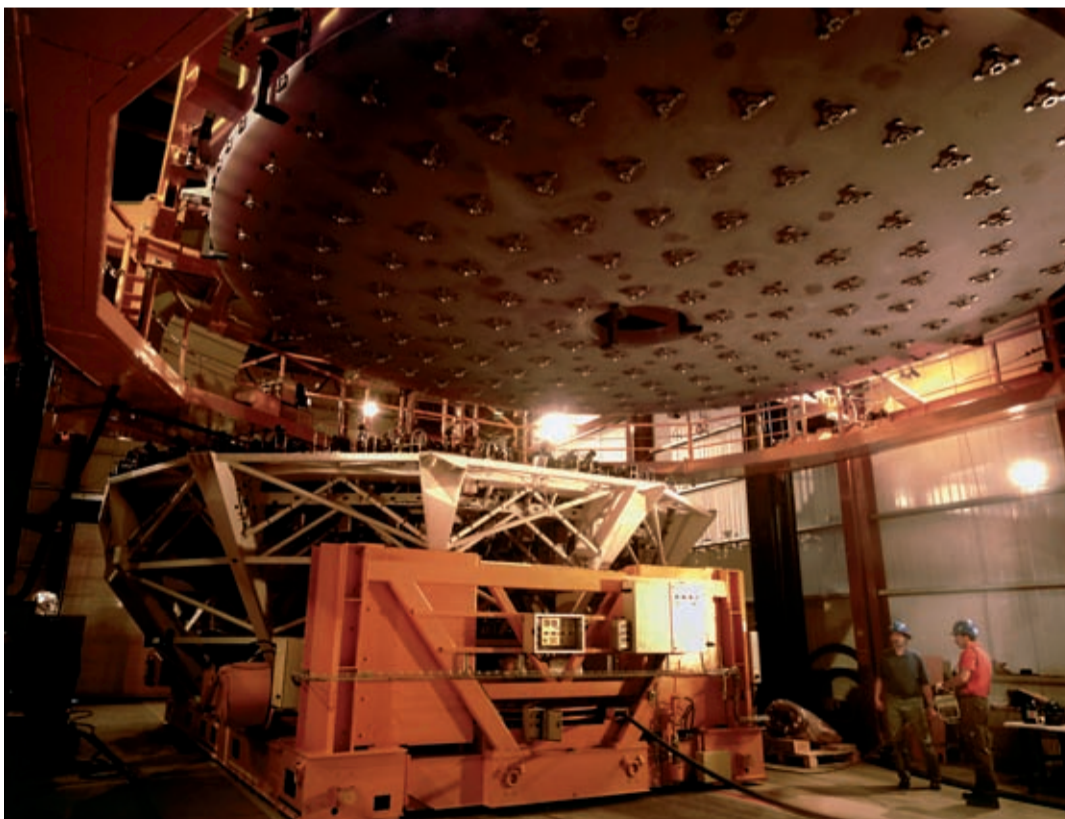
Für die Teams, die die Teleskope und Instrumente betreuen, und für die Beobachter, die Paranal besuchen, steht eine ganze Reihe weißer Kleinwagen bereit. Leibundgut sucht sich den Wagen mit »seiner« Nummer – und rüttelt fassungslos an der Tür: »Abgeschlossen – das mache ich nie!« Manche sind eben sehr vorsichtig – aber ein Diebstahl mitten in der Wüste ist wohl eher unwahrscheinlich. Zumal ein potenzieller Dieb bis zum Erreichen der nächsten erträglichen Straße schon recht duldsam sein müsste.

Über die Bergstraße geht es hinauf Richtung Plattform. Vom Meer ist – wie gehabt – nichts zu sehen. Aber in der Gegenrichtung reicht der Blick immer weiter in die Wüste – im Nordosten fällt in einer Bergkette der markante Armazones auf. Entfernungen lassen sich in der kargen Wüste kaum schätzen. Schon mancher Astronom hat sich bei einer Tour »mal eben schnell auf die nächste Kuppe« arg verkalkuliert und ist kaum rechtzeitig zum Beobachten wieder zurück gewesen. Für die zwölf Kilometer Luftlinie zum Meer – der Weg führt auf und ab durch etliche Täler – muss man hin und zurück drei Tage kalkulieren.

OBEN AUF PARANAL VERZWEIGT die Bergstraße. Nach links geht es zum Kontrollgebäude – geradeaus zur Plattform. Zwischen Sonnenuntergang und Sonnenaufgang ist jeglicher Autoverkehr auf der Plattform strengstens untersagt. Wer dann noch oben parkt, muss den Wagen stehen lassen. Die ganze Bergspitze ist übrigens eingezäunt, Anlass für manchen Spott unter den Astronomen – denn in dieser knochentrockenen Wüste (anders als auf La Silla) gibt es keine Tiere, die man damit abhalten müsste. Oder wollte da etwa jemand die Atacama vor den Astronomen schützen?

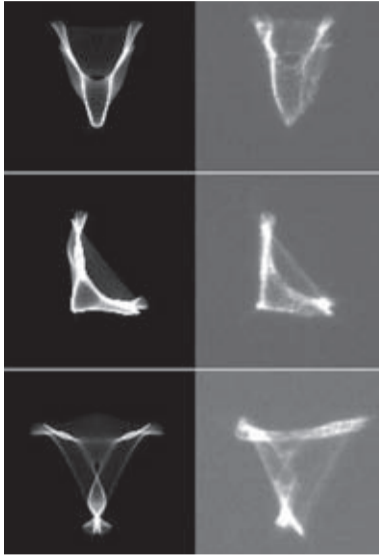
In einer ansteigenden Linkskurve führt die Straße auf die Plattform mitten zwischen die vier Teleskop-Gebäude. Die Teleskope stehen nicht etwa mitten auf dem Berg: Sie drängen sich fast an den Rand der Plattform, während die eine Hälfte der Plattform

**DIE TELESKOPE
SIND SCHEINBAR
REGELLOS VERTEILT**



Die Spiegelzelle des VLT ist eine Art Fakirkissen. 150 Stellmotoren (so genannte Aktuatoren) stoßen den Spiegel immer in die perfekte Form.

Ein VLT-Spiegel mit 8,2 Metern Durchmesser ist angehoben und wird gleich auf die Spiegelzelle (per Hubwagen) gesetzt. Unter dem Spiegel fallen die aufgeklebten Halterungen für die Aktuatoren auf.



Aktive Optik paradox: Das VLT schreibt seinen Namen, indem der Spiegel so raffiniert verformt wird, dass aus einem punktförmigen Stern Buchstaben werden. Links die Simulation, rechts die tatsächliche Beobachtung. Man sieht: Das VLT-Team beherrscht sein Teleskop perfekt.

noch fast völlig leer ist. Eine irgendwie regelmäßige Anordnung ist nicht zu erkennen – doch das hat seinen Grund.

Die Idee ist, dass man für die Interferometrie die Teleskope verbinden will. Da braucht man optimale Basislinien. Die Teleskope in einer Linie hinzustellen, wäre das schlechteste, was man tun kann. Dieses ungleichmäßige Viereck ist am besten für die Interferometrie. Da hinten hat man die Möglichkeit, die Hilfsteleskope, die noch kommen werden, auf verschiedenen Positionen auf der Plattform aufzustellen – eben auch wichtig für die Interferometrie.

Mit Betonplatten abgedeckte, rechtwinklig zueinander verlaufende Tunnel, die durch ein paar große Klappen in den Betonplatten zu erreichen sind, und herumliegende Eisenbahnschienen zeigen, dass hier noch gearbeitet wird. Bis Ende 2003 werden hier die drei »Hilfsteleskope« mit jeweils 1,8 Metern Spiegel-Durchmesser aufgestellt. »Hilfsteleskop« ist ein fast unverschämter Name – vor dreißig Jahren wäre allein so etwas als Großteleskop durchgegangen. Die Teleskope lassen sich auf Schienen bewegen, um so bei interferometrischen Beobachtungen eine optimale Anordnung der Geräte zu haben.

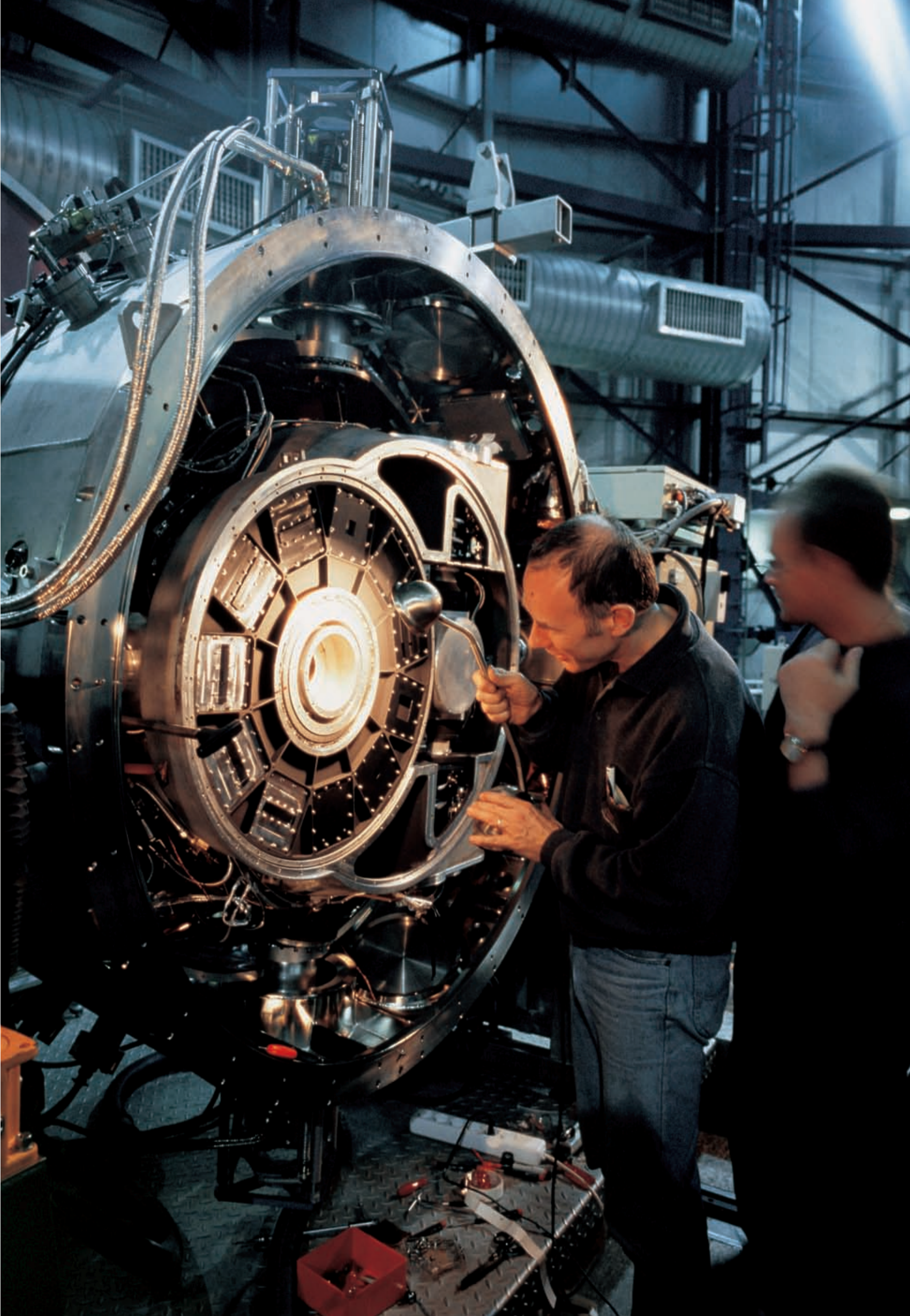
Die vier Teleskop-Gebäude sind Kolosse von gut dreißig Metern Höhe. Der untere Teil der Gebäude besteht aus weiß gestrichenem Beton. Türen und alle anderen Metallteile sind dunkelblau gestrichen, im Paranal-Jargon spricht man von »ESO-Blau«. Darüber schließt sich die drehende Struktur an – silbrig glänzendes Isolationsmaterial reflektiert das Sonnenlicht, um eine zu starke Aufheizung der Teleskope tagsüber zu verhindern. Die Teleskop-Gebäude sind sehr gut isoliert – der Innenraum wird tagsüber auf die zu erwartende Nachttemperatur gekühlt. Charakteristisch ist die eckige Spaltstruktur am Teleskop-Gebäude. Abends öffnen sich diese Tore und geben dem Teleskop den Blick ins All frei. Teleskop und Schutzgebäude sind baulich völlig voneinander getrennt. Das Teleskop steht auf einem eigenen Fundament und merkt von den Bewegungen des Gebäudes (wie Öffnen und Drehen) nichts – auch das kein Luxus, sondern zwingend notwendig, um wirklich scharfe Bilder zu bekommen. Der beste Spiegel nützt nichts, wenn das Teleskop zittert, weil sich Vibrationen vom Gebäude auf das Teleskop übertragen.

Die »Plattform«, wie der Bereich mit den Teleskopen auf Paranal kurz heißt, bietet eine skurrile Kulisse: Vier dreißig Meter hohe Gebäude, die – wie sagte doch Bruno Leibundgut? – fast schon Skulpturen sind, die eine Seite der Gebäude reflektiert grell die stechende Sonne, die andere liegt in einem durch den Kontrast noch dunkler wirkenden Schatten, ein Gebäude ragt vor dem Betrachter bis in den stahlblauen Himmel, die anderen drei drängeln sich neben einem – und als akustische Untermalung heult der Wind um die Skulpturen und zerrt an Jacke und Haaren.

SPITZEN- TELE- SKOPE WERDEN GEKÜHLT

FÜR DEN ASTRONOMEN HÖCHSTE ZEIT, sich die Teleskope aus der Nähe anzusehen. Die Code-Karte piepst dreimal im Lesegerät, die schwere blaue Eisentür ist entriegelt. Im kleinen Eingangsbereich ist es schlagartig still – kein Laut dringt von außen herein. Rechts geht eine Treppe in einem schmalen Gang nach oben, die nach einer 180-Grad-Kehre gleichsam im zweiten Stock vor einer wieder per Karte gesicherten Tür endet. Hinter der Tür liegt das Allerheiligste, oder genauer: eines der vier Allerheiligsten – ein Teleskop des Paranal-Observatoriums. In der Teleskop-Halle ist es mit der Ruhe wieder vorbei: Tagsüber rauscht hier permanent die Lüftung – Spitzenteleskope werden stets auf Nacht-, also Arbeitstemperatur gekühlt. Man ist immer versucht, von Kuppel zu sprechen, aber klassische halbkugelförmige Kuppeln werden bei modernen Teleskopen schon lange nicht mehr genutzt – und selbst aus unserem Alltag sind sie verschwun-

Im März 2002 wurde das Instrument ISAAC (Infrared Spectrometer and Array Camera) von den Ingenieuren Jean Louis Lizon und Isar Brynnel am Teleskop Antu gewartet. Die stets gekühlte Infrarotkamera blickt selbst durch dichte Staubwolken hindurch.



den. Alltag? Ja, bis Ende 2001 hatte jeder fast täglich eine Sternwartenkuppel in der Hand – die Kuppel der ehrwürdigen Göttinger Sternwarte neben dem rechten Auge von Carl Friedrich Gauß auf dem 10-Mark-Schein. Kein Grund, nostalgisch zu werden: Die gut zu belüftenden Schutzbauten von heute ermöglichen sehr viel besseres Beobachten. Man täte den VLT-Teleskopen keinen Gefallen, steckte man sie in »echte« Kuppeln.

Das Teleskop ist eine ganz offene Struktur. Es gibt keinen Tubus, also kein Rohr, durch das das Licht auf den Spiegel fällt. Die VLT-Teleskope sind offene Gitterkonstruktionen: Zum einen sind die Teleskope so besser durchlüftet. Zum anderen würde ein kompletter Teleskop-Tubus mit seiner unvermeidlichen Abwärme Infrarot-Beobachtungen unmöglich machen, also Beobachtungen, bei denen das Teleskop nicht mehr das mit bloßem Auge sichtbare Licht nutzt, sondern die langwelligere Wärmestrahlung der Himmelsobjekte. Die Betonung liegt auf *langwellig* – *langweiliger* ist der Infrarotbereich keineswegs. Im Gegenteil: Die Wärmestrahlung dringt auch noch aus dichten Staubwolken nach außen – »normale« Beobachtungen zeigen da nichts mehr, aber Infrarot-Augen wie das VLT sehen tief in die Wolken hinein.

**AKTIVE OPTIK
HÄLT DEN
SPIEGEL IN
TOPFORM**

AM UNTEREN ENDE DES TELESKOPS fällt die hell gestrichene Spiegelzelle auf. Diese dichte Gitterstruktur hält die 150 Stempel (Fachbezeichnung: Aktuatoren), die den Spiegel immer in die perfekte Form stoßen. Diese »aktive Optik« korrigiert die Spiegelform bei Bedarf fast im Sekundentakt. Der 23 Tonnen schwere (bei dem gewaltigen Durchmesser muss man eigentlich von einem 23 Tonnen leichten Spiegel sprechen) Spiegel mit einem Durchmesser von 8,2 Metern liegt auf den Stempeln der Spiegelzelle auf – und wird lediglich am Rand von ein paar Klammern gehalten.

Über dem Spiegel erstreckt sich die sehr offene Konstruktion aus dicken Stahlrohren. Am oberen Ende schließt der »Top-Ring« die Teleskop-Struktur ab. In seiner Mitte ist auch der zweite Spiegel (aus dem Metall Beryllium, Durchmesser 1,1 Meter) befestigt, der das einfallende Sternlicht reflektiert. Das Licht aus den Tiefen des Kosmos fällt – zum Teil nach Milliarden von Jahren Reisezeit – zunächst auf den 8,2-Meter-Spiegel, wird reflektiert und gebündelt und trifft auf den zweiten Spiegel im Top-Ring. Dieser Spiegel bündelt seinerseits das Licht und wirft es in Richtung des Hauptspiegels zurück. Das Licht wird dann entweder von einem kleinen Umlenkspiegel, der knapp über dem Hauptspiegel sitzt, nach links oder rechts aus dem Teleskop herausgeleitet oder fällt – falls dieser Umlenkspiegel hoch geklappt ist – durch das zentrale Loch im Hauptspiegel auf eine Kamera, die unter dem Spiegel direkt an der Spiegelzelle befestigt ist.

Das Teleskop-Gerüst wird links und rechts von zwei großen, gut zehn Meter aufragenden blau gestrichenen Montierungen gehalten. Hier befinden sich auch die beiden Plattformen der so genannten Nasmyth-Brennpunkte (benannt nach dem genutzten optischen System). Diese Beobachtungsplattformen nehmen die großen Messinstrumente der Teleskope auf. An jedem Teleskop können also zugleich zwei größere Instrumente montiert sein – zu beobachten ist natürlich zu jeder Zeit immer nur mit einem, je nach Orientierung des Umlenkspiegels. Zudem kann unter dem Teleskop direkt an der Spiegelzelle eine Kamera wie FORS montiert sein.

Der große Vorteil dieses Systems der Nasmyth-Brennpunkte auf den Plattformen neben der Teleskop-Montierung ist, dass die Messgeräte ortsfest aufgebaut sind. Das Teleskop bewegt sich – die Messgeräte aber bewegen sich auf der Plattform immer mit, stets fest mit der Montierung verbunden. Die Montierung bewegt sich nur mit, wenn das gesamte Teleskop um die senkrechte Achse rotiert (also gewissermaßen von links nach rechts schwenkt). Die horizontale Achse, um die das Teleskop dreht, um seine Neigung zu ver-

Der 13 mal 28 Meter große VLT-Kontrollraum ist in sechs Steuerbereiche unterteilt – auch am Tage herrscht dort Betrieb. Von diesen beiden Konsolen werden die Teleskope Antu (UT₁, rechts) und Kueyen (UT₂, links) gesteuert.



ändern (also gewissermaßen, um nach oben und unten zu schwenken), läuft genau durch die beiden Nasmyth-Brennpunkte. Somit ist der Strahlengang des Teleskops so konstruiert, dass das Licht immer in die Geräte auf den Plattformen gelangt, egal wohin das Teleskop gerade blickt. Geräte, die direkt am Teleskop befestigt sind, verursachen viel größere Probleme, da dann das Teleskop für eine korrekte Nachführung auf die Erdrotation immer wieder neu ausgewuchtet werden muss, weil die Geräte mit ihrer Masse auch an der Struktur des Teleskops selbst hängen.

TAGSÜBER BEFINDET SICH DAS TELESKOP in der Ruheposition und starrt senkrecht nach oben – aber nicht an den Himmel, sondern an die Decke der Teleskop-Halle. Bruno Leibundgut geht unter dem Teleskop entlang – die Spiegelzelle ist dann zum Greifen nah – und steigt eine steile Gittertreppe hinauf. Die Plattformen an den beiden Nasmyth-Brennpunkten befinden sich gewissermaßen im zweiten Stock der Teleskop-Halle. Oben auf der Plattform ist VIMOS installiert, ein neuer Spektrograph, der von vielen Objekten gleichzeitig Spektren aufnehmen kann. Von außen sind nur schwarze Kästen und ein Gewirr von Kabeln zu erkennen. Geht man um das Gerät herum auf die andere Seite der Plattform, liegt eine der genauesten optischen Flächen der Welt vor dem Betrachter:

Hier haben wir einen direkten Blick auf den offenen Spiegel. Der Spiegel sitzt ja offen auf der Spiegelzelle, und da sehen wir jetzt direkt hin. Das ist die offene Bauweise des VLT. Somit kann die Luft sehr frei über den Spiegel hinwegfließen. Wenn der Spiegel wärmer ist als die Umgebung, dann erzeugt er Luftturbulenzen. Diese Luftunruhe macht das Bild schlecht. Wenn der Spiegel komplett offen liegt, wird diese heiße Luft direkt weggetragen und die Bildqualität wird besser – das ist großartig.

**FREIER BLICK AUF
DEN PERFEKTEN
SPIEGEL**



Unfassbar. Der 8,2 Meter große und nahezu perfekt geschliffene Keramik-Block (die Spiegel sind aus der glasähnlichen Keramik Zerodur) von 17 Zentimetern Dicke liegt, seltsam verletzlich wirkend, einfach so auf der Spiegelzelle. Kein Behälter, keine Klappe schützt ihn. Doch nachts spielen dieser Spiegel und seine drei baugleichen Kollegen derart ihre ganze Stärke aus. Bei vielen anderen Teleskopen befinden sich die Spiegel in Schutzbehältern – entsprechend leiden diese Teleskope unter dem gefürchteten »Spiegel-Seeing«, also einer gleichsam hausgemachten Bildunruhe. Die andere Art hausgemachte Bildunruhe ist das »Dome-Seeing«, das durch unzureichenden Luftaustausch von Teleskop-Gebäude und Außenwelt zu Stande kommt. Spiegel-Seeing kann es bei der offenen Bauart des VLT gar nicht geben – »Dome-Seeing« ist wegen der guten Durchlüftung der Teleskop-Hallen minimiert.

Die Spiegel wurden von Schott in Mainz hergestellt und von REOSC in Saint Pierre du Perray bei Paris geschliffen. Sie gehören zu den besten optischen Oberflächen der Welt. Dazu ein Modell: Stellen wir uns vor, wir vergrößern die Spiegel auf die Größe des Bodensees. Wirft man an einem perfekt windstillen Tag einen Kieselstein ins Wasser, so sind die »Wasserringe« auf der Seeoberfläche eine größere Unebenheit als die größten Ungenauigkeiten in den auf die Ausmaße des Bodensees vergrößerten VLT-Spiegeln.

PARANAL WIRKT GERADEZU PERFEKT, das Observatorium ist ein großer Wurf, der Berg ist in wenigen Jahren voll bebaut – ein langsames organisches Wachsen über Jahrzehnte ist hier nicht möglich. Ist das VLT gleichsam eine Sternwarte aus der Retorte? Bruno Leibundgut weist das schmunzelnd zurück:

Retorte ist ein bisschen zu stark. Wir haben ja La Silla – wir haben also auch schon vorher eine Sternwarte betrieben. Es ist richtig, dass Paranal ganz von Grund auf neu gebaut wurde. Aber natürlich haben wir die ganzen Erfahrungen von La Silla und auch von anderen Sternwarten übernommen und weitergeführt.

Insofern ist auch Paranal gewachsen – zumindest die dort verwendete Technologie. Aber die Geschichte von Paranal hat auf La Silla und einigen anderen Sternwarten begonnen. So hat ESO bei der Entwicklung der »dünnen Spiegel« Pionierarbeit auf La Silla geleistet. 1990 ging dort mit dem »New Technology Telescope« der erste dünne Spiegel der Welt in Betrieb (Durchmesser 3,58 Meter). Allerdings schneiden ESO und andere Großsternwarten derzeit einen Teil ihrer Wurzeln ab. Alte Teleskope unter zwei Metern Öffnung gelten als zu klein und werden stillgelegt oder an andere Träger übergeben. Ein Vorgehen, das nicht wenige kritisch verfolgen. Zum einen ist für viele Projekte ein »Riesenteleskop« von acht Metern Öffnung gar nicht nötig – zum anderen stellt sich die Frage, wo der astronomische Nachwuchs Erfahrung sammeln soll? Werden Diplomanden Beobachtungszeit am VLT bekommen?

Auf Paranal wurde sehr frühzeitig über Dinge nachgedacht, die sich jetzt als sehr vorteilhaft herausstellen. So sind alle Teleskope durch einen Tunnel zugänglich. Der Tunnel ist gleich bei den Sprengarbeiten Mitte der neunziger Jahre mit herausgearbeitet worden, ebenso wie die Fundamente der vier Teleskope – die Teleskope stehen wirklich direkt auf dem Berg und nicht auf irgendwelchem Schutt oder aufgeschüttetem Material.

Um- und Weitsicht des VLT-Projekts sind in der Tat erstaunlich. Zwar hatte sich ESO schon bei der Gründung vor vierzig Jahren auf die Fahnen geschrieben, weltweit ganz vorn mit dabei zu sein. In den siebziger Jahren kam die Klasse der 4-Meter-Teleskope auf (zu der auch das 3,6-Meter-Teleskop auf La Silla gehört). ESO wagte einen Riesensprung nach vorn – und machte sich daran, ein 16-Meter-Teleskop zu bauen. Technologisch ist so etwas sehr schwierig – also wollte man statt dessen vier 8-Meter-Teleskope

**PARANALS
GESCHICHTE
IST LA SILLA**

Die aus den Gasmassen des Nebels NGC 6334 im Sternbild Skorpion entstandenen Sterne regen vor allem Wasserstoff (rot) zum Leuchten an. Zudem ist die Rötung durch Staub zwischen uns und dem Nebel sehr stark. So erscheinen hier selbst die jungen, an sich blauen Sterne rötlich. Der Nebel ist knapp 6000 Lichtjahre entfernt, die dunklen Staubwolken im Vordergrund nur 3500 Lichtjahre.

bauen, was im Endeffekt das Gleiche bedeutet, aber technisch sehr viel einfacher ist (auch wenn es noch immer schwierig genug war). ESO hat da enormen Mut bewiesen – denn das VLT-Projekt hat schon allein finanziell die Ausmaße von gut sechs ESO-Jahresbudgets. Nicht wenige Beobachter hatten erwartet, dass die »kompliziert strukturierte« ESO ein solches Projekt niemals zum Erfolg bringen könnte.

Der Bau von vier 8-Meter-Teleskopen war ein absoluter Geniestreich. Denn so kann auf Paranal heute viermal mehr Wissenschaft betrieben werden als mit einem 16-Meter-Teleskop. Für die meisten Projekte reicht ein 8-Meter-Teleskop völlig aus – statt alle vier Teleskope zu benutzen, könnte man einfach auch viermal so lange belichten. Auch dann hätte man praktisch die Leistung eines 16-Meter-Spiegels erreicht – abgesehen von der Auflösung, was aber angesichts von Basislinien bis zu 200 Metern Länge beim VLT-Interferometer ohnehin kaum noch eine Rolle spielt.

**VIER TELE-
SKOPE – NOCH
VIEL BESSER
ALS GEPLANT**

ES IST FAST IRONIE DER GESCHICHTE, dass das einfache Zusammenfügen des Lichts der vier Teleskope derzeit gar nicht mehr geplant ist. Zwar liegen im Berg die Tunnel, um das Licht in den so genannten inkohärenten Focus zu leiten, aber ein wissenschaftliches Gerät, das dort arbeitet, hat das VLT nicht – und so ein Gerät ist auch nicht geplant. Um keine Verwirrung aufkommen zu lassen: Dies betrifft nur das einfache Addieren des Lichts. Die Interferometrie, bei der das Licht kohärent überlagert wird (dabei wird immer das Licht genau derselben in die Teleskope treffenden Lichtwelle kombiniert), ist höchst sinnvoll – und für diese Art der »Gemeinschaftsnutzung« der Teleskope gibt es auch alle Vorkehrungen. Allerdings: Wer für Interferometrie alle vier Großteleskope gleichzeitig nutzen will, muss einen Beobachtungsantrag schreiben, der viermal besser ist als ein Antrag für *ein* Teleskop.

Ein weiterer Vorteil der vier Teleskope: Auf Paranal werden in einigen Jahren fünfzehn Instrumente dauerhaft zur Verfügung stehen. Während die Astronomen ein Instrument an eines der Teleskope anbauen und ausgiebige Tests machen, können die anderen drei Teleskope natürlich weiter forschen. Einzelne Teleskope wie Subaru oder Gemini liegen während des Instrumenteneinbaus still – nicht so das VLT.

Ganz fertig ist das VLT noch nicht – und wirklich »fertig« kann so ein komplexes Projekt auch niemals sein. Allerdings fallen die Baustellen auf und an dem Berg kaum noch auf. In einer Ecke der Plattform entsteht gerade das VST – das VLT Survey Telescope, ein 2,4-Meter-Teleskop mit großem Blickfeld, das für das VLT praktisch die Übersicht am Himmel behält. Bald folgt dann noch VISTA, ein 4-Meter-Infrarot-Teleskop, das ebenfalls ein großes Blickfeld haben wird. VISTA hat auf Paranal bereits keinen Platz mehr und entsteht auf einem Nebengipfel unterhalb der eigentlichen Plattform.

**PARANAL: GUT
GEBAUT UND
GUT BETRIEBEN**

SO EIN OBSERVATORIUM ZU BAUEN, ist schon schwierig genug und erfordert vollen Einsatz. So ein Observatorium effizient zu betreiben, ist aber mindestens genauso schwierig, erklärt Bruno Leibundgut.

Wir haben jetzt das Glück und hatten dafür auch die Arbeit, dass wir ein Beobachtungssystem haben, das mit der Proposal-Eingabe, Datenbehandlung und Beobachtung hier extrem effizient ist. Da haben wir bei der ESO etwas gemacht, was vorher noch nie jemand gemacht hat. Man kann sagen, dass Satelliten-Projekte das etwa so gemacht haben. Das Hubble Space Telescope hat das sehr ähnlich gemacht, und wir haben uns daran etwas orientiert. Für bodengebundene Astronomie haben wir, glaube ich, das effizienteste System weltweit erzeugt.

Die Teleskope arbeiten stets kleine Computerprogramme ab, in denen die Beobachter oder die ESO-Mitarbeiter vor Ort festlegen, welches Objekt das Teleskop in welcher Kon-

Die erste ESO-Sternwarte La Silla, rund hundert Kilometer nordwestlich von La Serena. Am Berghang befinden sich die Wohn- und Arbeitsgebäude. Die 15 Teleskope verteilen sich in der Gipfelregion über knapp zwei Kilometer. Das 3,6-Meter-Teleskop steht auf dem höchsten Punkt, das silbrig glänzende NTT (»Prototyp« für das VLT) steht knapp rechts unterhalb.





figuration ansieht. Das Teleskop wird nicht mehr »von Hand« bedient – die Prozesse laufen alle in kleinen, automatisch überwachten Einheiten ab.

Die Teleskope in »Serienproduktion« auf den Berg zu stellen, hatte einen weiteren Vorteil: Was die ESO-Crew beim ersten Teleskop gelernt hatte, konnte sie beim zweiten gleich umsetzen. Man muss verstehen, wie sich das Instrument verhält, wie es zu steuern ist etc. Erst dann lässt sich das ganze System wirklich beherrschen und gezielt nutzen. Diese »Commissioning Phase« hat beim ersten der vier VLT-Teleskope noch fast ein Jahr gedauert – beim vierten nur noch einige Wochen, weil man von den anderen Teleskopen schon viel gelernt hatte. Insofern ist das Aufstellen von vier Teleskopen statt eines Teleskops nicht etwa viermal so teuer und ist nicht mit vierfachem, sondern weit geringerem Aufwand verbunden. So freut sich Bruno Leibundgut heute über vier großartige Teleskope.

Das zweite Teleskop, UT2 oder Kueyen, macht vor allem optische Spektroskopie. UT4 oder Yepun ist vor allem für Infrarot, auch UT1 oder Antu wird infrarot-spezifisch. Die Teleskope sind also nicht identisch. Auch die Hauptspiegel sind in ihrer Genauigkeit unterschiedlich. Die Firma hatte beim Bauen auch noch gelernt. Die Teleskope haben fast ihr eigenes Verhalten – das merkt man schon.

Nach dem ersten Rundgang durch das Teleskop geht es nun in den Kontrollraum – also gewissermaßen in die Leitzentrale des VLT. Von der Plattform führt eine kleine Brücke und eine schmale Treppe hinunter zum Hintereingang des an den Berghang gebauten Kontrollgebäudes. Die Brücke war erst nachträglich gebaut worden – laut ursprünglicher Planung sollte der Zugang zu den Teleskopen allein durch das verzweigte Tunnelsystem im Berg erfolgen. Aber hier hatten die Planer den Faktor Mensch unterschätzt. Natürlich wollen viele Beobachter und Mitarbeiter mal schnell einen Blick an den Himmel werfen oder von den Gebäuden zügig zurückgehen. Immer nur durch Tunnel zu laufen, ist da keine Lösung. Zumal der Hintereingang mit der im Freien liegenden Treppe jetzt die »Raucherecke« des Kontrollgebäudes ist ...

DIE METALLTREPPE KLAPPERT, wieder piepst das Sicherheitssystem dreimal und lässt den Besucher passieren. Ein vierzig Meter langer Gang führt an einer kleinen Küche, dem Büro des Paranal-Direktors und den Büros der »Operation Astronomers« vorbei, also den Astronomen, die zum Stammpersonal gehören und im wöchentlichen Schichtwechsel das VLT betreuen. Der Gang mündet schließlich in den großen Kontrollraum. Tagsüber fällt das Sonnenlicht durch die großen Fenster in den Kontrollraum – nachts sorgen Rollläden dafür, dass kein Licht nach außen dringt.

Die Tagescrew führt routiniert die Kontroll- und Eichmessungen der einzelnen Geräte durch – ohne diese Daten wären die nächtlichen Beobachtungen nicht korrekt zu bearbeiten. Eine Konsole dient Besuchern zum Einarbeiten und zur ersten Datensichtung.

Nach dem Einarbeiten am Nachmittag bleibt den »Visiting Astronomers« genügend Zeit, noch einmal hinunter ins Camp zu fahren. In der Residencia befindet sich der großzügig gestaltete Speiseraum. Das Büfett mit dem Abendessen beginnt etwa eineinhalb Stunden vor Sonnenuntergang – so früh sitzen allerdings meist nur die beim Essen, die dann wirklich zum Beobachten müssen. Das übrige Personal und auch die Astronomen und Ingenieure der Tagschicht finden sich erst zum Essen ein, wenn oben auf dem Berg die Nacht-Astronomen bereits schwitzen ... Doch so weit ist es noch nicht – denn noch steht die Sonne hoch am Himmel und die Tagescrew macht die Teleskope für die Nachtschicht startklar.

**BEOBACHTEN
HEUTE: KONTROLL-
ZENTRUM STATT
OKULAR**

N119 in der Großen Magellanschen Wolke sieht aus wie eine Spiralgalaxie, ist aber ein großer (400 mal 600 Lichtjahre) leuchtender Nebel. Die eigenartige Form ist noch unverständlich – möglicherweise dreht sich der gesamte Nebel, oder es kollidieren zwei getrennte Gaswolken.



Um sieben Uhr ist Sonnen-
untergang – der Count-down läuft



Seite 38/39:
Die »Plattform« auf Paranal mit den vier VLT-Teleskopen; rechts die Gänge für die drei Hilfsteleskope des VLT-Interferometers, ganz links die Baustelle des VLT Survey Telescope (VST). Das Kontrollgebäude befindet sich knapp unterhalb der Plattform.

CERRO PARANAL, Kontrollgebäude, knapp vierzig Minuten vor Sonnenuntergang. Gerhard Hüdepohl, Ingenieur am VLT, sitzt noch in seinem Büro direkt links neben dem Haupteingang. An der Wand hängen Luftaufnahmen vom VLT und der Umgebung von Paranal, die der Hobby-Flieger selbst aufgenommen hat. Akten und Fachbücher stapeln sich in den Regalen. Bei einem Becher Tee und einigen Keksen ist der Elektronik-Fachmann noch in das Handbuch eines Messgerätes vertieft. In dieser Woche ist Hüdepohl »UT-Manager« für das Unit Telescope 2, also für das zweite Großteleskop auf Paranal, das auch den Namen Kueyen trägt.

Die Idee des UT-Managers ist, dass man eine verantwortliche Person für das Teleskop hat. Der UT-Manager hat dafür zu sorgen, dass die Probleme gelöst werden, die eventuell in der Nacht aufgetreten sind, und koordiniert die Arbeiten, die tagsüber am Teleskop gemacht werden. Es ist ein Job, den man neben seiner normalen Arbeit macht.

Es ist zwanzig nach sechs, dann wollen wir mal. Hüdepohl legt das Handbuch beiseite, setzt den blauen Helm auf, greift zum Funkgerät und macht sich auf den Weg. Vom Kontrollgebäude geht es über die kleine Brücke auf die Plattform. Die vier Teleskope glühen noch im Schein der schon recht tief stehenden Sonne. Der gepflasterte Weg führt um Antu (UT1) herum – dahinter biegt Hüdepohl nach links ab zu »seinem« Teleskop.

DER MINI-KONTROLLRAUM AM TELESKOP

DIE TELESKOP-HALLE – ODER EINFACH DOM genannt – ist von den vielen Scheinwerfern an der Decke und den Wänden hell erleuchtet. Die Lüftung rauscht wie gewohnt. Zwei Techniker erledigen noch letzte Arbeiten und packen ihre Sachen zusammen. Hüdepohl geht halb um das Teleskop herum in eine kleine Kammer. In dem winzigen Raum stehen ein Computer und zwei Stühle. Das Öffnen der Teleskope am Abend und das Schließen am Morgen geschieht aus Sicherheitsgründen nicht ferngesteuert vom etwa hundert Meter entfernten Kontrollraum unterhalb der Teleskop-Plattform, sondern direkt aus den Teleskop-Hallen selbst. Die winzige Kammer mit der schmalen Tür ist sozusagen der »kleine Kontrollraum« in der Teleskop-Halle.

Als Erstes starte ich das Hydraulik-System. Denn das dauert ein bisschen, bis es den vollen Druck erreicht. Und in der Zwischenzeit kann man die Inspektion des Teleskops vornehmen, um sicherzustellen, dass nichts von irgendwelchen Arbeiten liegen geblieben ist und dass das Teleskop frei beweglich ist.

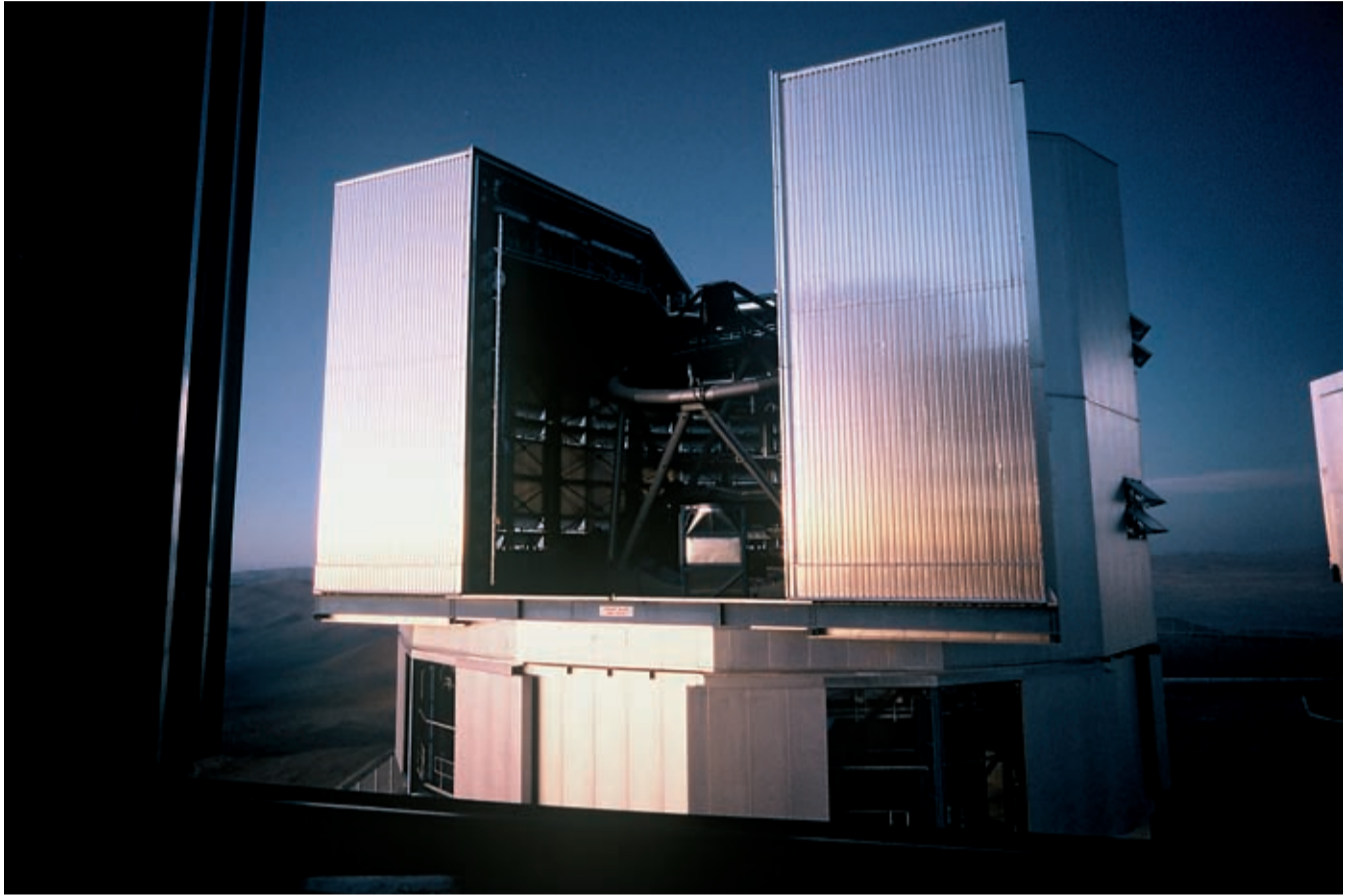
Hüdepohl steht auf und geht zurück in den Dom. Der Ingenieur überprüft aufmerksam alle Flächen rund um das Teleskop. Tagsüber werden viele Arbeiten am Teleskop selbst, an der Mechanik oder den Beobachtungsinstrumenten ausgeführt – nicht auszu-denken, wenn da mal jemand aus Versehen einen Hammer auf einem beweglichen Teil liegen oder eine Leiter im Schwenkbereich des Teleskops stehen ließe ... Deshalb ist der Kontroll-Rundgang vor dem Start so wichtig. Unten ist alles klar, Hüdepohl steigt jetzt die Treppe hoch in den zweiten Stock, wo ein schmaler Steg einmal rund um die Teleskop-Halle führt. Der Ingenieur passiert dabei auch die dröhnende Klimaanlage.

Die läuft den ganzen Tag, wird aber nachts ausgeschaltet. Sie hält tagsüber das Teleskop auf der zu erwartenden Nachttemperatur. Diese Temperatur wird morgens eingestellt. Es wird automatisch eine Durchschnittstemperatur der letzten drei Nächte bestimmt und dann wird noch der Trend mit eingerechnet – die Temperatur der Klimaanlage wird dann automatisch reguliert.

SPITZENBILDER – GUT GEKÜHLT UND STAUBFREI

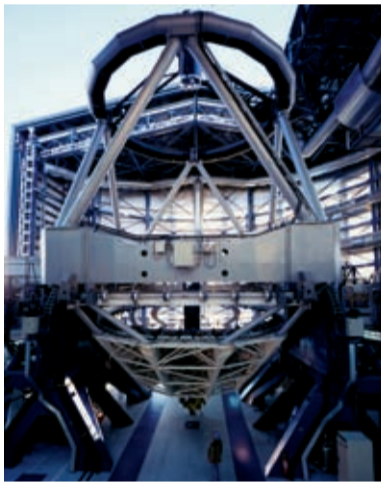
HAT DAS TELESKOP GENAU DIE TEMPERATUR der Umgebung, dann ist gesichert, dass es nicht zu thermischen Verformungen im Spiegel kommt, die selbst bei der Keramik Zerodur, aus der der Spiegel besteht, in gewissem Umfang auftreten. Zum anderen kön-

Blick durch das geöffnete Beobachtungstür von Kueyen (UT2) auf das gerade mit der Beobachtung beginnende Melipal (UT3).



Zur selben Zeit auf La Silla: Über dem 2,2-Meter-Teleskop der ESO und der Max-Planck-Gesellschaft geht das Sternbild Orion auf – im Hintergrund das NTT.

Teleskop Kueyen (UT2)
nach hinten geneigt ...



... und beim Blick nach oben. In der weißen Spiegelzelle befinden sich die 150 Stellmotoren, die den Spiegel tragen. Die gelb gestrichene Kamera ist FORS (Focal Optical Reducer and Spectrograph). Unter dem Teleskop steht ein ESO-Ingenieur.

nen sich dann keine Blasen warmer Luft bilden, die vom Spiegel oder aus der Teleskop-Halle aufsteigen. Die Kühlung am Tage sorgt also mit dafür, dass das Teleskop nachts optimal arbeitet und alle Vorteile seiner Optik und seines Standorts ausspielen kann. Merke: Nur »gekühlte Bilder« sind scharfe Bilder. Dafür geht ein beträchtlicher Teil des Stromverbrauchs auf Paranal zu Lasten der Kühlung.

Gerhard Hüdepohl setzt seinen Inspektionsgang fort. Als Nächstes legt er die Sicherheitsschalter um, die dafür sorgen, dass nicht aus Versehen tagsüber die großen Tore aufgehen. Jetzt sind die Tore frei geschaltet und können von der Kontrollkammer aus geöffnet werden – aber so weit ist es noch nicht.

Der Ingenieur läuft wieder die Treppen hinunter und öffnet eine Klappe im Boden der Teleskop-Halle. Über eine kleine Leiter verschwindet er im Keller und checkt das Hydraulik-System. Nach einer Minute taucht er wieder auf: »Jetzt ist so weit alles klar, dass wir das Teleskop starten können.«

Am Computer in der Kontrollkammer öffnet der Ingenieur die Start-up-Sequenz. Kritisch begutachtet er die Statusinformationen, die das System auf dem Schirm einblendet.

Es kann hin und wieder schon mal irgendwo kleinere Probleme geben, dann muss man wissen, was zu tun ist. Denn man hat nicht viel Zeit. Der Start-up dauert ungefähr eine halbe Stunde, und dann wird das Teleskop an die Astronomen übergeben. Es müssen natürlich auf jeden Fall Verzögerungen vermieden werden, damit keine Beobachtungszeit verloren geht.

Hüdepohl geht die Start-up-Checkliste durch und hakt die einzelnen Punkte ab. Zufrieden lehnt er sich zurück.

So, jetzt läuft im Prinzip alles automatisch. In dieser Zeit gehe ich noch einmal herum und sehe oben auf den Nasmyth-Plattformen nach. Da ist heute gearbeitet worden, und ich muss nachsehen, ob auch alles in Ordnung ist.

Zügig steigt er die Treppen nach oben und meint schmunzelnd:

Jetzt sind wir wieder zwei Stockwerke hoch gegangen, das war wieder eine sportliche Leistung. Man kommt hier schnell aus der Puste, wenn man zu schnell die Treppen rauf- und runterläuft. Wir sind immerhin auf 2600 Meter Höhe.

Hüdepohl sieht sich die Arbeiten auf der Plattform an. Ozpoz, ein australisches Instrument für das VLT, soll in den folgenden zwei Wochen installiert werden. Für das Gerät wurden zwei große Schienen auf der etwa sechs mal vier Meter großen Plattform montiert. Das Gerät selbst ist noch nicht da – daher ist die große Linse noch gut zu sehen, durch die das Sternlicht aus dem Teleskop in das Instrument gelangen wird.

Hier sieht man die große Korrektorlinse, die schon vor einigen Wochen montiert worden ist. Das ist eine optische Linse mit fast einem Meter Durchmesser – davon gibt es nicht viele in der Welt.

Ja, das VLT ist fast auch das größte Linsenteleskop der Welt – das größte, astronomisch genutzte Linsenfernrohr hat einen Durchmesser von 1,02 Metern und steht im Yerkes Observatory im US-Bundesstaat Wisconsin.

Der UT-Manager ist beruhigt – der Inbetriebnahme des Teleskops steht nichts mehr im Wege. Prompt ist ein lautes Zischen zu hören.

Während ich hier die Inspektion mache, läuft das automatische Programm ab. Und das hat jetzt das Inflatable Seal geöffnet, also die Pressluftdichtung, die den Dom tagsüber abdichtet, damit von außen kein Staub eindringt.

Die Spiegel werden also nicht nur gekühlt – sie werden auch möglichst staubfrei gehalten. Wer immer in die Teleskop-Halle geht, muss über Klebeflächen laufen, die den an den Schuhsohlen haftenden Staub binden.

Seid umschlungen, Photonen! Vom Gang auf halber Höhe des Doms hat man freien Blick auf den 8,2-Meter-Spiegel. Sternlicht, das auf den Hauptspiegel fällt, wird zum kleinen Spiegel im Topring (oberer Bildrand) und von dort zum gekippten Umlenkspiegel knapp über dem Hauptspiegel reflektiert.



Zurück in der Kontrollkammer, stellt Gerhard Hüdepohl ein, wie der kleine Umlenkspiegel direkt über dem Hauptspiegel ausgerichtet wird – also welches Instrument heute zum Einsatz kommt. Er gibt den von den »Visiting Astronomers« für heute ausgewählten Brennpunkt im Steuerprogramm ein.

Mittlerweile ist es etwa viertel vor sieben – die Checks sind erfolgt, das Öffnen des Teleskops steht unmittelbar bevor.

In Kürze wird das Temperatur-Kontrollsystem auf Nachtmodus geschaltet. Das heißt, dass wir gleich die Klimaanlage nicht mehr hören werden.

Das Rauschen verstummt schlagartig – es herrscht fast gespenstische Stille. Der geschlossene Teleskopdom hat eine merkwürdig gedämpfte Akustik. Die Spannung steigt noch weiter, als sich plötzlich das Teleskop in Bewegung setzt – völlig lautlos. Das senkrecht stehende Teleskop, eine Struktur von fast zwanzig Metern Höhe, dreht sich wie ein riesiges Karussell.

**400 TONNEN
ROTIEREN
GERÄUSCHLOS**

DAS TELESKOP IST GÄNZLICH VOM GEBÄUDE GETRENNT – der »Teller«, auf dem das Teleskop steht und der sich jetzt dreht, hat etwa achtzehn Meter Durchmesser. Im Boden des Domes bleiben rund herum an der Wand etwa fünf Meter unbewegt. Es läuft einem fast ein Schauer über den Rücken, wie das Teleskop geradezu hochnäsig rotiert – wenn man ganz genau hinhört, lässt sich ein minimales, unglaublich vornehm klingendes Summen vernehmen. Da ächzt und knirscht nichts.

Das Teleskop wird jetzt bei noch geschlossener Kuppel in eine Position gebracht, dass es von der Sonne abgewandt ist, wenn die Türen aufgehen. Denn wir öffnen kurz vor Sonnenuntergang, und es ist nicht besonders gut, wenn Sonnenlicht direkt auf das Teleskop oder gar auf den Spiegel fällt. Um das zu vermeiden, bringen wir das Teleskop jetzt in eine besondere Start-up-Position.

Dem UT-Manager, der mehrere Jahre seines Lebens unmittelbar auf Paranal verbracht hat, ist die Freude über die Faszination seines Besuchers anzumerken.

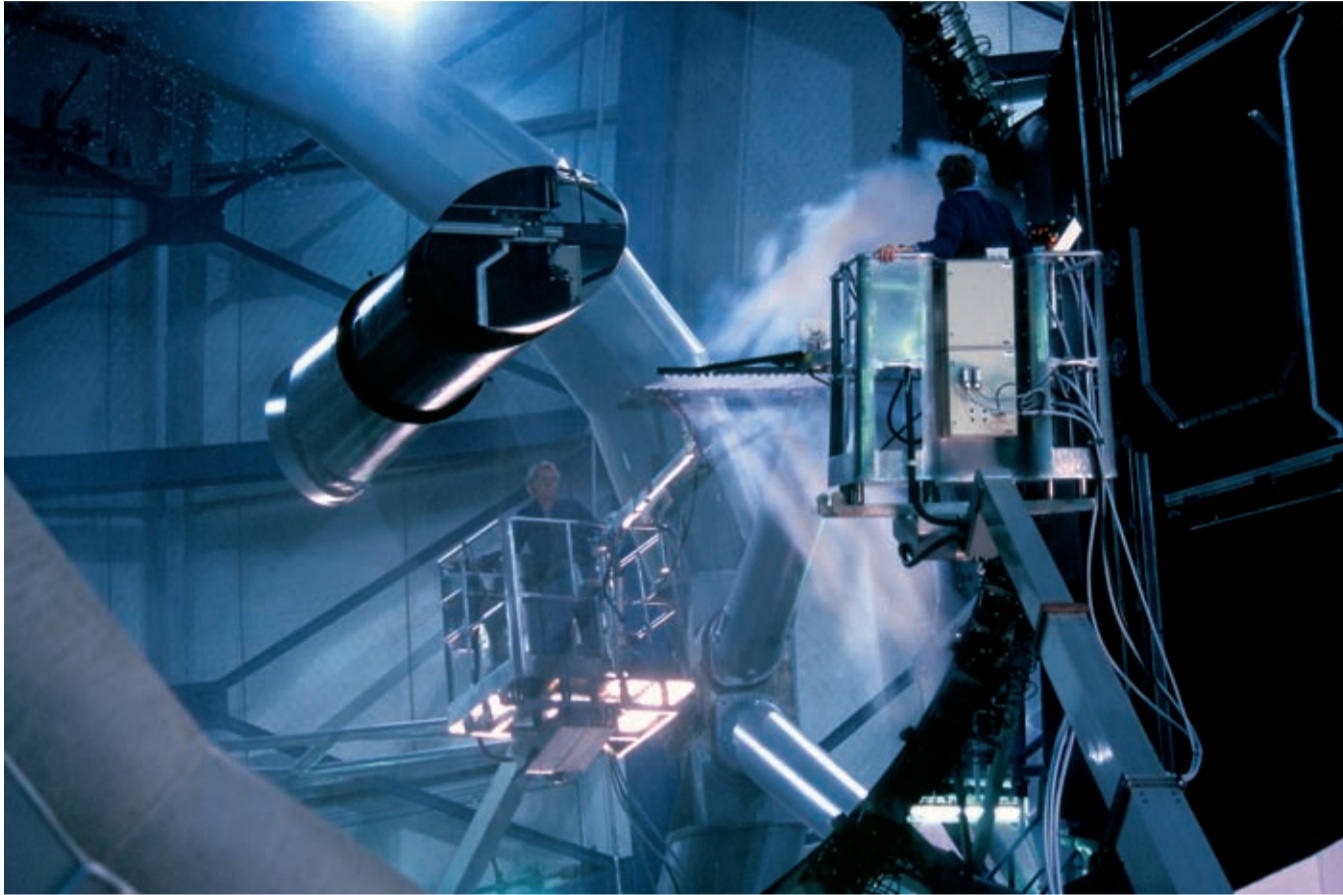
Ja, ja, die 400 Tonnen, die sich hier fast lautlos bewegen, das ist also auch für mich immer wieder eindrucksvoll, obwohl ich jetzt schon fünf Jahre hier bin.

Das Teleskop ist deshalb so leise, weil es sich völlig schwingungs- und vibrationsfrei bewegen muss – sonst wäre es nicht mit der benötigten Präzision auf die Himmelsobjekte auszurichten. Also muss die Reibung extrem niedrig sein. Das Teleskop ist so gut ausgewuchtet und die Reibung ist so gering, dass eine einzelne Person das gut 400 Tonnen schwere Teleskop ohne weiteres in Bewegung versetzen kann, wenn auch mit etwas Kraftanstrengung.

Dann setzt ein Rumpeln der erhabenen Stille ein Ende – vom Ingenieur nüchtern kommentiert: *Jetzt setzt sich die Kuppel in Bewegung. Die ist nicht ganz so lautlos wie das Teleskop, aber das ist auch nicht erforderlich.*

450 Tonnen Teleskop-Kuppel drehen sich so, dass die großen Tore von der Sonne weg zeigen. Die Öffnungsprozedur läuft nun völlig automatisch ab – und Gerhard Hüdepohl genießt dabei gerne die Aussicht vom oberen Rundgang. Beim Gang die Treppe hoch hat die Kuppel ihre Position erreicht und bleibt stehen. Jetzt bewegt sich wieder das Teleskop – es beginnt sich zu neigen.

Fast scheint es, als verneige sich das Teleskop vor »seinem« Manager. Das Teleskop gerät immer weiter aus der Senkrechten. Während sich das Teleskop neigt, zeigen sich im 8,2 Meter großen Spiegel immer andere Details der Kuppeldecke. Durch diese sich laufend verändernden Spiegelbilder hat der ganze Vorgang eine unglaubliche Dynamik – auch wenn das Neigen des Teleskops ganz langsam vor sich geht und mehrere Minu-



ten dauert. Gleichzeitig kommt der Top-Ring – die Struktur, die das Teleskop oben abschließt – immer tiefer. Eine höchst eindrucksvolle Situation: Das riesige Teleskop (allein der Spiegel hat 8,2 Meter Durchmesser) weist fast genau auf den Betrachter, der Blick ist frei auf den makellos glänzenden Spiegel – und der Top-Ring des Teleskops ist zum Greifen nah.

Das Teleskop verharrt, und mit einem gedämpften Rattern setzen sich die großen Tore in Bewegung. Die Tore laufen nach links und rechts auseinander, und dazwischen taucht die von der tief stehenden Sonne glutrot gefärbte Wüste auf. Ein leichter Lufthauch strömt in die Kuppel – ein wirklich atemberaubender Moment. Die Tore sind offen, und vor dem Betrachter »liegt« das Teleskop. Durch den großen Beobachtungsspalt, der vom Horizont bis über den Zenit hinausreicht, sind ein Nachbarteleskop und die weite Landschaft der Atacama zu sehen. Über all dem wölbt sich der wolkenlose stahlblaue Himmel.

GERHARD HÜDEPOHL GEHT EIN PAAR SCHRITTE, beugt sich nach unten und betätigt ein paar Schalter: Der Ingenieur macht die Lichter in der Kuppel aus.

Das Licht-Ausschalten geht auch bei einem Hightech-Teleskop immer noch über normale Lichtschalter und nicht über Computer.

Das Teleskop richtet sich allmählich wieder auf. Die geneigte Stellung beim Öffnen und Schließen der großen Tore ist eine reine Vorsichtsmaßnahme. Sollte beim Bewegen der Tore etwas herunterfallen (extrem unwahrscheinlich, aber vielleicht hat doch mal ein Vogel ein Steinchen oben abgelegt oder es hat sich im Winter unbemerkt Eis gebildet), so kann es nicht direkt auf den Spiegel fallen. Jetzt am Abend werden die Tore

Die VLT-Spiegel werden regelmäßig mit Kohlendioxid-Schnee vom Staub gereinigt.

**VOR DEM
BEOBACHTEN:
LICHT AUS!**

in der Außenposition verriegelt, als Schutzmaßnahme gegen Erdbeben. Die Atacama ist ein geologisch sehr aktives Gebiet, und somit müssen die Tore für den Fall des Falles gesichert werden, damit sie nicht aus den Angeln fallen und womöglich das Teleskop beschädigen. Der Schutz vor Erdbeben wird ohnehin groß geschrieben. Auf dem gesamten Gelände gibt es vier markierte Sicherheitszonen, in die sich die Beschäftigten bei bebender Erde retten sollen. Selbst die kostbaren Spiegel haben von einem Erdbeben nicht all zu viel zu befürchten.

Da gibt es eine ganz spezielle hydraulische Sicherheitsvorrichtung, die in der Spiegelzelle eingebaut ist. Im Falle eines Erdbebens wird der Spiegel hydraulisch geklammert und kann dann also innerhalb dieser hydraulischen Klammerung frei schwingen. Das ist ein echt aufwändiges System, allerdings lohnt sich das natürlich bei einem Spiegel von acht Metern Durchmesser, der immerhin zwei bis drei Jahre Produktionszeit erfordert und einen entsprechend hohen Wert darstellt.

Die durch ein Erdbeben ausgelösten Schwingungen werden in der Spiegelzelle selbst gemessen. Wenn ein starkes Beben – sehr leichte, praktisch unmerkliche gibt es in der Atacama nahezu täglich – eine bestimmte Zeit anhält, wird automatisch die Erdbebenvorrichtung ausgelöst. Das geht sekundenschnell. Nur das Zurücksetzen des Spiegels in den normalen Betrieb dauert dann zwei bis drei Stunden. Zum Glück musste diese Erdbebensicherung noch nie zum Einsatz kommen.

IM GEBÄUDE UND DOCH IM FREIEN

DIE LICHTER SIND AUS – das Teleskop befindet sich wieder in vertikaler Position. Zum großartigen Finale dröhnt und quietscht es noch einmal gewaltig.

Jetzt gehen hier ringsum die kleinen Tore und Fenster auf, um den Luftstrom durch die Kuppel zu erleichtern. Letztendlich steht das Teleskop praktisch im Freien. Das hat man früher bei den herkömmlichen Kuppeln nicht gemacht. Aber inzwischen macht man das, weil man dadurch die thermischen Turbulenzen innerhalb des Domes, also der Kuppel, vermeiden kann und damit die optische Qualität besser wird.

Noch einmal kribbelt es fast im Bauch. Das Teleskop steht direkt neben und damit praktisch über dem Betrachter. Die Lüftungsklappen und kleinen Seitentore gehen auf, und die letzten Sonnenstrahlen tauchen die ganze Szenerie in eine faszinierende Lichtstimmung. Dazu kommt die frische Brise, die jetzt ganz ordentlich durch den Dom pfeift. Die Seitentore sind wie riesige, vier mal sechs Meter große Fenster rings herum verteilt. Durch sie sind die im Sonnenlicht glitzernden Nachbarteleskope zu sehen. Auch die anderen drei Teleskope sind alle schon geöffnet und warten darauf, dass sich die Erde noch ein wenig weiter dreht, so dass die Sonne unter dem Horizont verschwindet und Platz für die Sterne macht. Nach Westen hin reicht der Blick über die Atacama bis hinunter an den Pazifik mit seinen dichten Wolken. Die orangefarbene Sonne setzt soeben auf der Wolkendecke auf.

Der Wind sorgt zwar für bessere Bildqualität – aber er hat auch einen Nachteil. In der Wüste trägt der Wind immer ein wenig Dreck mit herum, was für den Spiegel nicht ganz folgenlos bleibt.

Wir reinigen den Spiegel im Teleskop zwar regelmäßig mit Kohlendioxid-Schnee und bekommen so viel vom Staub wieder ab. Aber alle zwei Jahre ist es dann doch erforderlich, dass man den Spiegel komplett aus dem Teleskop ausbaut, die Aluminiumschicht entfernt, den Spiegel reinigt und neu aluminisiert. Das ist natürlich eine sehr aufwändige Arbeit, die etwa eine Woche dauert. Da ist das ganze Team von morgens bis abends im Einsatz.

Der Spiegel wird dann die knapp vier Kilometer hinunter ins Basiccamp transportiert, wo sich die »Mirror Coating Unit«, also die Verspiegelungsanlage befindet. Das ist

leichter gesagt als getan – der Spiegel muss dabei samt Zelle ausgebaut und auf Spezial-Transporter verladen werden. Dann geht es im Schleichtempo die Bergstraße hinunter – und das alles, ohne dass es mal kurz »Pling« macht und das VLT-Team zwei Spiegelteile hat ... Die Crew versteht ihr Handwerk, und es gehen für die Spiegelreinigung nur sehr wenige Nächte verloren.

Der Spiegel von Kueyen, der nur wenige Meter neben dem UT-Manager noch im letzten Tageslicht gut zu inspizieren ist, erscheint völlig sauber – und wird in dieser Nacht viele, viele Lichtteilchen aus den Tiefen des Kosmos in das verwendete Messinstrument leiten. Die Photonen, die auf so einen wunderbaren Spiegel fallen und dann ihre Information im Messgerät ablegen, haben unglaubliches Glück. Muss es nicht entsetzlich frustrierend sein, nach Milliarden von Jahren Reisezeit durch die schier unendliche Ödnis des Weltalls das VLT knapp zu verpassen und dreißig Meter daneben sinnlos in den Staub der Atacama zu fallen?

Was werden die Photonen in dieser Nacht den Astronomen Neues berichten? Spätestens bei Sonnenuntergang wird das Teleskop an die »Telescope Operators« im Kontrollgebäude übergeben, von wo aus der nächtliche Betrieb gesteuert wird. Nachts ist direkt am Teleskop niemand. Für Gerhard Hüdepohl heißt das aber nicht, dass er nachts garantiert »frei« hat und ungestört schlafen kann.

Für mich als UT-Manager ist eigentlich fast nie Schluss. Es kann also durchaus passieren, dass während des Abends oder während der Nacht Probleme auftauchen und dass ich dann angerufen werde. Wenn sich das Problem nicht per Telefon lösen lässt, dann muss man durchaus noch einmal hochkommen und muss ans Teleskop. Denn bei diesen Teleskopen zählt jede Minute.

Für den Ingenieur ist das komplexe System eine besondere Herausforderung. Niemand kann alle Details von Teleskop und Instrumenten kennen. Aber jeder hat sein Spezialgebiet und kennt von den anderen Bereichen zumindest einiges.

Man muss sich auch ein bisschen in Optik und anderen Bereichen, auch ein bisschen in Richtung Astronomie auskennen, um eventuell auch solche Probleme lösen zu können. Je weiter das Spektrum ist, desto besser ist es natürlich. Man bleibt nicht auf sein Fachgebiet begrenzt, wenn man das nicht will.

Ein Hightech-Observatorium ist für sich schon eine Herausforderung, aber an so einem abgelegenen Ort erst recht. Jede Schraube muss herangeschafft werden – alles



Jeder Spiegel wird mindestens alle zwei Jahre samt Spiegelzelle ausgebaut und hinunter ins Basiccamp gefahren. Frisch aluminisiert geht es dann zurück in das Teleskop.





»My telescope is my castle« – Gerhard Hüdepohl genießt nach getaner Arbeit als UT-Manager in der Dämmerung den Ausblick durch die zehn mal vier Meter große »Main Mirror Door«, durch die der Hauptspiegel samt Zelle passt.

erfordert umsichtige Planung. Aber vor allem die mentale Herausforderung an das Team ist nicht zu unterschätzen, um an so einem Ort Höchstleistungen zu erbringen. Offenbar schafft es das Paranal-Team immer wieder, sich ausgezeichnet zu motivieren.

AUCH HEUTE HAT ES WIEDER GEKLAPPT. Jedenfalls hat UT-Manager Gerhard Hüdepohl »sein« Teleskop pünktlich betriebsbereit an die Nightcrew übergeben. Jetzt merkt man dem Ingenieur doch an, dass sich die Spannung ein wenig löst. An einem der großen Seitentore lehnt er sich an das Geländer und lässt den Blick über die Plattform und die Nachbarteleskope schweifen.

Ich finde es nach wie vor eindrucksvoll. Das ist aber auch eine Voraussetzung, die man hier mitbringen muss. Paranal ist ja wirklich in der Mitte der angeblich trockensten Wüste der Erde, und wenn man an einem so entlegenen Ort arbeitet, dann muss man einige Begeisterung für das Projekt mitbringen und schon auch ein bisschen verrückt sein.

Ohne die Verrückten von Paranal und anderen Sternwarten wäre dieses Buch eine Broschüre – und Astronomie ziemlich langweilig.

Zeit zu gehen und das Teleskop für die Nacht in Ruhe zu lassen. Der UT-Manager ist sofort wieder voll konzentriert, blickt sich ein letztes Mal um – dann geht es durch das Treppenhaus hinunter auf die Plattform. Die Kuppel des ersten Teleskops, Antu, dreht sich surrend ein wenig nach rechts.

UT1 macht gerade den ersten Preset. Es ist zwar noch relativ hell, man sieht noch keinen Stern, aber um diese Zeit werden Kalibrationen am Himmel vorgenommen.

Beim Gang an den Teleskop-Gebäuden entlang zurück zum Kontrollgebäude zieht der routinierte Ingenieur dann alle Register.

Links müsste man eigentlich gleich den Mond sehen – ja, da ist er. Mondsichel.

Tatsächlich: Die schmale Mondsichel steht am Himmel, grinst einen geradezu triumphierend genau zwischen zwei Teleskop-Gebäuden an – als hätte Gerhard Hüdepohl sie da extra hin gehängt.

Aber was ist das? Dieser himmlische Spiegel ist ja völlig eingestaubt. Herr Hüdepohl, der Mond müsste dringend in die Coating Unit.

»VERRÜCKTE«
BRAUCHT DAS ALL

Die abnehmende Mondsichel war eines der ersten Objekte, das die neue Weitwinkelkamera am 2,2-Meter-Teleskop auf La Silla aufgenommen hat. Um nicht überzubelichten, hat ESO-Astronom Dietrich Baade bei Sonnenaufgang durch einen Nahinfrarot-Filter 0,1 Sekunde belichtet.



Dreizehn Stunden Paran-All – eine Beobachtungsnacht am VLT





Beobachten heute: Bildschirm statt Okular, klimatisierter Kontrollraum statt kalte Kuppel

Seite 50/51:
Das VLT guckt in den Mond... Als ausnahmsweise auf einer Instrumenten-Plattform kein Gerät montiert war, hatte die Paranal-Crew kurzerhand eine Mattscheibe in den Strahlengang gestellt und so den Mond betrachtet. Das Mondbild hat fast einen Meter Durchmesser.

GÄSTE WILLKOMMEN – ANFASSEN VERBOTEN

PARANAL, GUT ZWEI STUNDEN vor Sonnenuntergang. Bei den »Visiting Astronomers«, den zu Besuch auf dem Berg weilenden Astronomen, steigt die Spannung. Was gut ein Jahr zuvor mit dem Schreiben eines Proposal (also eines Vorschlags für eine Beobachtung) begonnen hat, soll heute Nacht den vorläufigen Höhepunkt erleben – dem Besucher steht heute Nacht eines der VLT-Teleskope zur Verfügung, heute Nacht guckt das VLT genau die Objekte an, die der »Visiting Astronomer« untersuchen will. Meist sind nicht an allen vier Teleskopen Astronomen zu Gast – bis zur Hälfte der Beobachtungszeit wird im »Service Mode« vergeben. Dann führt das VLT-Team vor Ort die Beobachtungen durch. Eine Beobachtung im »Visitor Mode« erfolgt typischerweise nach folgendem Fahrplan:

Vier Tage vor der Beobachtung verlässt der »Visiting Astronomer« Europa, drei Tage vorher trifft er in Chile ein. Zwei Tage vorher kommt er auf Paranal an, um schon einmal den Lebensrhythmus etwas mehr auf Nacht zu schalten und die Beobachtungen so weit wie möglich vorzubereiten.

Bruno Leibundgut, Schweizer Astronom und bei der ESO »Head of the Office for Science«, ist mindestens einmal jährlich zum Beobachten auf Paranal – wobei auch eine so herausgehobene Position nicht von der Verpflichtung befreit, gute Beobachtungsanträge zu schreiben. Auch als »Head of the Office for Science« kann man nicht einfach nach Gutdünken auf den Berg fahren und die Teleskope benutzen.

Leibundgut ist allerdings erfahren genug und betreibt so aktuelle Forschungsprojekte, dass er mit seinen Anträgen recht häufig Erfolg hat. Wenn er zum VLT reist, pflegt er einen fast ritualisierten Ablauf:

Ich komme hier an, richte mich in der Residencia ein, packe den Koffer aus und so weiter. Im Laufe des Nachmittags fahre ich dann zum Teleskop hoch. Im Wesentlichen, um mich zu vergewissern, dass das Instrument funktioniert und alles klar ist. Die Leute sind da, die Kalibrationen sind dann schon gemacht worden oder werden noch gemacht. Man trifft sich mit den Astronomen vor Ort, diskutiert mit ihnen, ob es Probleme gegeben hat, wie es mit dem Wetter aussieht und so weiter. Man guckt sich typischerweise noch Satellitenkarten an und was der Wetterbericht vorhersagt. Man informiert sich so umfassend wie möglich über die Situation, die hier vorherrscht. Hat es Probleme gegeben mit dem Instrument? Hatte man mal Probleme mit den Daten? Das wird alles diskutiert, so dass die »Support Astronomers«, die Unterstützer hier, genau wissen, was man will.

NIEMAND BEDIENT ALLEIN EIN 8-METER-TELESKOP. Salopp gesagt gilt auf Paranal: Gäste willkommen, Anfassen verboten. Kein womöglich durch die Zeitverschiebung noch übermüdeten Gast-Astronom darf hier an den entscheidenden Knöpfchen drücken. Die Steuerung des Teleskops liegt stets in den Händen des Stammpersonals auf Paranal. Es gibt »Telescope Operators«, die das Teleskop tatsächlich bedienen, und »Support Astronomers«, die den zu Besuch kommenden Astronomen helfen, ihre Beobachtungen so gut wie möglich durchzuführen.

Wer auch immer auf den Berg fährt – er findet zumeist ein bestens vorbereitetes Gerät vor. Entsprechend erwartet auch die ESO-Crew, dass die Beobachter gut präpariert sind.

Man muss sich auf jeden Fall vorbereiten, bevor man von Europa wegfährt. Man weiß ziemlich genau, was für Objekte man beobachten will. Man weiß, welches Instrument man benutzt. Die meisten Leute wissen genau, welche Objekte sie beobachten wollen, wie lange sie belichten und so weiter.

Jeder Beobachtungsschritt wird in ein spezielles Computerprogramm eingegeben – in den »Observing Blocks« ist genau festgelegt, welches Objekt mit welchem Instru-

ment, mit welchem Filter oder sonstigem Zusatzgerät, wie lange belichtet wird. In der Nacht werden dann die Observing Blocks der Reihe nach abgearbeitet, wobei darauf zu achten ist, dass die Objekte möglichst hoch am Himmel stehen und die »Fahrwege« des Teleskops so kurz wie möglich sind. Solange das Teleskop am Himmel hin und her fährt, beobachtet es nicht.

DIESE ARBEIT AM COMPUTERPROGRAMM erledigt der Astronom entweder schon zu Hause oder in den beiden ersten Nächten auf dem Berg. Ist am Nachmittag vor der Beobachtung alles geklärt, geht es zunächst wieder hinunter zur Residencia. Hungrig beobachtet es sich nicht so gut.

Dann bereitet man sich vor – auch mental, dass das eine längere Nacht wird. Das macht man im Laufe des Nachmittags. Man erkundigt sich, wann die Sonne untergeht und wann Abend gegessen wird. Das ist eine Zeitplanung, die kümmert einen sonst gar nicht. Wenn man zu Hause ist, weiß man, wann Abendessen ist. Aber das Abendessen hier richtet sich nach der Sonnenlage. Meist wird etwa eine Stunde vor Sonnenuntergang zu Abend gegessen. Zu Sonnenuntergang fährt man hoch, damit man dann wirklich auch gleich anfangen kann. Typischerweise fängt man eine halbe bis eine Dreiviertelstunde nach Sonnenuntergang mit dem Beobachten an.

Dann wird es meist doch recht hektisch: Oft stehen in der Dämmerung noch Eichaufnahmen an, die zeigen, wie der CCD-Chip des Teleskops (gleichsam ein elektronischer Film) und alle verwendeten Komponenten arbeiten. Ohne solche Aufnahmen wären die später in der Nacht gewonnenen Aufnahmen der Himmelsobjekte nicht korrekt auszuwerten. Ist es dann richtig dunkel geworden, läuft das geplante Programm ab. Bei Beobachtungen im Infrarotbereich können die Astronomen bereits ganz kurz nach Sonnenuntergang starten – für das bloße Auge ist der Himmel dann zwar noch hell, aber im Infrarotbereich doch schon dunkel genug.

Paranal liegt nur wenig südlich des Südlichen Wendekreises. Die jahreszeitlichen Schwankungen der Tageslänge sind daher recht gering – im Südwinter vergehen von Sonnenunter- bis -aufgang etwa dreizehneinhalb Stunden, im Sommer entsprechend etwa zehneinhalb. Diese Zeit will gut genutzt sein.

Bruno Leibundgut beobachtet meistens weit entfernte Sternexplosionen, so genannte Supernovae (siehe Seite 134 ff.). Deren Licht verrät viel über den Kosmos insgesamt, wie er sich bewegt und woraus er besteht. Mit dem VLT untersucht er Supernovae, die vor einigen Milliarden Jahren explodiert sind – viele davon sind bereits explodiert, bevor unsere Sonne mit den Planeten entstanden ist. Aber die von Leibundgut beobachteten Supernovae sind eben so weit entfernt, dass ihr Licht erst jetzt die Erde und das VLT erreicht.

WÄHREND DER NACHT herrscht im Kontrollraum konzentrierte Ruhe, leise Gespräche sind zu hören, ab und zu huscht ein Astronom nach draußen, um von der Brücke zur Plattform die Wetterlage zu überprüfen. Ein Satellitenbild ist gut, eigenes Absuchen des Himmels nach Wolken ist besser. Wobei die Bedingungen in der Atacama so gut sind, dass schon manch ein zu Besuch auf dem Berg weilender Astronom beim Anblick der Milchstraße eine Panikattacke bekommen hat, weil er dachte, eine Wolkenbank sei aufgezogen. In perfekt dunkler Nacht merkt man an der allgemeinen »Helligkeit« der Umgebung, ob das Zentrum der Milchstraße mit seinen hellen Sternansammlungen hoch am Himmel steht oder nicht. Auf den Bergen der Atacama steht man im Schein der Milchstraße.

**DIE NACHT
DER LANGEN
MESSUNGEN**

**WOLKEN? NEIN,
MILCHSTRASSE
IN DER ATACAMA**

Wolken sind auf Paranal zwar leider nicht ganz so sensationell, wie ursprünglich gedacht. Die Messreihen der ersten Jahre hatten mehr als 350 klare Nächte im Jahr angedeutet (wobei manche kalauerten, es seien »nicht viel mehr als 350 klare Nächte«). Diese Zahl wurde in den ersten Jahren des regulären VLT-Betriebes deutlich nicht erreicht. Allerdings schlug seit Mitte der neunziger Jahre das Wetter in Südamerika manche Kapriolen – El Niño lässt grüßen. Aber mehr als 300 klare Nächte machen Wolken dann trotz allem zu einer Seltenheit auf dem Berg – wobei die »schlechte« Jahreszeit im Norden Chiles etwa von Dezember bis März geht. Dann herrscht in der Atacama der so genannte »bolivianische Winter«, der aber immer noch als »deutscher Jahrhundertsommer« durchgehen würde. Im Übrigen gibt es auf der Erde keinen Ort, der wirklich immer klaren Himmel garantieren kann. Erdgebundene Astronomie muss das Wetterrisiko in Kauf nehmen – auch wenn es schon etwas absurd klingen mag, dass manche Beobachtung von Milliarden Lichtjahren entfernten Gas- und Staubwolken aus der Frühzeit des Kosmos an einer schnöden, irdischen Wasserdampfwolke einige hundert Meter über dem Teleskop scheitert. Physik ist beides.

Die einzelnen Steuerungskonsolen der Teleskope sind nur durch ein paar Stellwände abgeteilt – hin und wieder besprechen sich die Kollegen untereinander. In den vier mal sechs Meter großen Abteilen stehen gut ein Dutzend Computer. Einige Monitore zeigen die aktuellen Daten des Teleskops an, also wohin es gerade gerichtet ist, in welcher Konfiguration es arbeitet etc. Auf anderen Bildschirmen sind ähnliche Daten des gerade genutzten Instruments (Kamera, Spektrograph etc.) zu sehen. Ein Monitor liefert die stets aktualisierten Wetterdaten wie Windgeschwindigkeit, Temperatur, Taupunkt, Turbulenz und – ganz wichtig – wie tief die Sonne unter dem Horizont steht. Das System zeigt also automatisch den Beginn der Dämmerung und den Sonnenaufgang an – dafür muss man nicht nach draußen blicken. Zwar hat der Kontrollraum eine große Fensterfront mit spektakulärem Ausblick in die Atacama – aber nachts schirmen dichte Rollläden den Raum ab. Die großen Teleskope sind nur etwa 80 bis 200 Meter entfernt – da darf kein Kunstlicht nach außen dringen. Kurz nach Sonnenuntergang fährt der Sicherheitsingenieur alle Gebäude auf dem Berg und im Basiscamp ab und kontrolliert, dass auch wirklich alle Rollläden unten sind.

**BEOBSACHTEN,
BIS DIE SONNE
KOMMT**

DAMIT IST SICHERGESTELLT, dass die Bilder, die das Teleskop aufnimmt, wirklich nur himmlische Lichtstrahlen enthalten und nicht das Streulicht von Schreibtischlampen im Kontrollraum. Die aktuellen Bilder des Teleskops werden automatisch auf den Monitoren am Platz der Visiting Astronomers angezeigt. Die Besuchsastronomen bekommen so zumindest einen ersten Eindruck der gewonnenen Daten – eine umfassende Auswertung erfolgt dann erst zu Hause. Wenn besonders gute oder überraschende Daten auf den Monitoren auftauchen, ist auch schon mal ein etwas unterdrückter Jubelschrei im Kontrollraum zu hören. Die Daten werden bei der ESO automatisch archiviert – und jeder Besuchsastronom geht mit einigen DAT-Bändern oder CD-ROM-Scheiben nach Hause. Allein das Archivieren der Daten ist eine enorme Aufgabe – Nacht für Nacht kommen Gigabyte von neuen Daten ins Archiv.

Im Laufe der Nacht wird ein Objekt nach dem anderen abgearbeitet – Motto: Beobachten, bis die Sonne kommt. Je nach Programm kann das heißen, dass das Teleskop alle fünfzehn Minuten auf ein neues Objekt gerichtet wird oder fast die ganze Nacht an dieselbe Stelle am Himmel guckt. Selbst auf der Plattform, unmittelbar zwischen den Teleskopen, ist die Konzentration mit Händen zu fassen. Es dauert mehr als eine Viertelstunde, bis sich die Augen so gut an die schwarze Nacht gewöhnt haben,

Die Kleine Magellansche Wolke ist eine etwa 185 000 Lichtjahre entfernte Begleitgalaxie der Milchstraße. 47 Tucanae (oben) ist der hellste Kugelsternhaufen am Himmel und nur etwa 14 000 Lichtjahre entfernt. Siehe auch Seite 147.





dass die Teleskop-Gebäude mit allen Details zu erkennen sind. Der Hauptweg vom Kontrollgebäude über die Treppe und Brücke zur Plattform ist aus Sicherheitsgründen mit schwach nachleuchtenden Klebestreifen markiert, die einem – bei gut adaptierten Augen – den Weg weisen.

Durch die großen offenen Tore zeichnet sich die Gitterkonstruktion der Teleskope vor dem sternensüßigen Himmel ab. Meist weht ein leichter Wind – von UT₁, Antu, das mit der stets gekühlten Infrarotkamera ISAAC ausgerüstet ist, ist das fast ein wenig hektische, nie endende Zischen und Pfeifen eines Kühlventils weithin zu hören. Alle paar Minuten setzt sich eine der vier Beobachtungskuppeln rumpelnd in Bewegung, um dem Teleskop im Innern freien Blick auf ein neues Objekt zu schaffen. Sterne und Milchstraße sind sogar durch die Teleskop-Gebäude hindurch zu erspähen, da die geöffneten Lüftungsklappen und -tore buchstäblich Durchblick verschaffen – und natürlich Durchzug, um bei ausgeglichener Temperatur möglichst scharfe Himmelsaufnahmen zu ermöglichen.

IN PECHSCHWARZER, MONDLOSER NACHT zwischen den vier Teleskopen zu stehen, ein einziges Gewimmel von Sternen mit dem sich von Horizont zu Horizont spannenden glitzernden Band der Milchstraße über sich, das ist ein unvergessliches Erlebnis. Dreht sich dann eine der Teleskop-Kuppeln in eine neue Position und sieht man dann durch die geöffneten Beobachtungstore, wie sich das Teleskop auf ein neues Objekt ausrichtet, läuft einem fast ein Schauer über den Rücken. Jetzt gerade, in diesem Moment, treffen Lichtteilchen, die sich vor Hunderten, Tausenden, Millionen oder gar Milliarden von Jahren auf den Weg gemacht haben, auf einen Spiegel irgendwo in der Atacama – und erzählen uns vom Universum. Natürlich steht man auch zwanzig Meter neben dem VLT im Regen genau dieser Lichtteilchen, die uns aus den Tiefen des Alls erreichen. Aber Lichtteilchen, die nach der ewig langen Reise auf den Boden prallen oder ins Auge des Betrachters fallen, sind praktisch wertlos. Ja, auch ins Auge des Betrachters gelangen die schwachen Lichtstrahlen – allerdings sind die Stäbchen und Zäpfchen in unserer Netzhaut viel zu unempfindlich, um die schwachen Himmelsobjekte wirklich zu erkennen.

Da ist uns das VLT mit seinen Instrumenten weit voraus. Zum einen sammelt jedes der vier Teleskope alle Lichtteilchen, die auf den Spiegel mit 8,2 Metern Durchmesser fallen. Unsere Pupille hat bestenfalls einen Zentimeter Durchmesser. Die Lichtsammel­fläche eines VLT-Teleskops ist somit gut 650 000-mal größer als die des menschlichen Auges. Kein Wunder, dass das VLT so weit sieht – zumal heutige moderne Chips das einfallende Licht sehr effizient registrieren und das Licht bei einer Dauerbelichtung über längere Zeit einfach sammeln. Das Auge hingegen gibt seine Information sofort an das Gehirn weiter.

NACH GUT ELF STUNDEN konzentrierten Beobachtens geht die Nacht allmählich zu Ende. Zunächst hellt sich der Himmel über dem Osthorizont unmerklich auf. Das am Anfang noch sehr dunkle Blau, das das nächtliche Blauschwarz vertreibt, wird immer heller. Für die Astronomen Zeit, sich schnell noch die letzten Objekte vorzunehmen – denn die Erde dreht sich unerbittlich. Auch die schönste Nacht auf Paranal ist irgendwann zu Ende.

Das ist ein extrem gutes Gefühl, wenn die Nacht gut war. Dann ist man wirklich froh, dass alles gut geklappt hat, dass man wirklich gute Daten hat. Heutzutage ist man dann auch schon oft in Verbindung mit Mitarbeitern irgendwo auf der Welt, in Hawaii, Australien, Ame-

**MILLIARDEN
JAHRE ALTES
LICHT**

**JE NACH BEWÖL-
KUNG: FREUDE
ODER FRUST**

**Blick von Paranal nach Norden:
Arktur im Sternbild Bärenhüter, einer
der hellsten Sterne des Himmels,
steht über Antu (UT₁).**

rika oder Europa. Wenn wir zum Beispiel Supernovae klassifizieren, dann müssen die das sofort wissen. Wir hatten schon Fälle, wo wir noch am selben Morgen das Hubble-Weltraumteleskop informieren mussten, weil das weitere Beobachtungen machen sollte. Wenn das dann wirklich geklappt hat, dann ist man sehr aufgezogen – positiv aufgezogen.

Eine erfolgreiche Nacht, eine Nacht, in der alles zügig durchläuft, lässt schon wegen der Anspannung kaum Müdigkeit aufkommen. Doch der erfahrene Beobachter Leibundgut weiß, dass es auch andere Nächte gibt:

Wenn die Nacht nicht so gut war, kann man auch ziemlich frustriert sein. Dann kommt zur Müdigkeit noch die Frustration hinzu. Nach ein paar Jahren Beobachten weiß man, dass man das Wetter nicht kontrollieren kann. Auch die Instrumentierung ist heute so kompliziert, dass man das auch nicht immer kontrollieren kann. Also, da kann auch mal was schief gehen. Das ist – na, Schicksal ist vielleicht zu hoch gegriffen, aber das gehört genauso dazu – das ist eben Teil der Arbeit.

Nur noch die hellsten Sterne sind am Firmament auszumachen – und auch die verschwinden schnell. Schließlich ist es fast taghell. Die Teleskop-Gebäude werden spätestens jetzt von den Nachtassistenten geschlossen – und dann kommt der großartige Moment: Die obere Kante der orangeroten Sonne lugt zwischen zwei Andengipfeln über den Horizont. Die kleine Sonnenkappe wird schnell größer und rutscht dabei etwas nach links (schließlich sind wir auf der Südhalbkugel) – bis der gelbrote Ball der aufgegangenen Sonne die geschlossenen Teleskop-Gebäude im strahlenden Frühlicht badet.

Ich schaue mir wahnsinnig gerne noch den Sonnenaufgang an. Manchmal schaffe ich aber auch das nicht mehr, dann ist die Sonne schon zu hoch, wenn ich aus dem Kontrollgebäude komme und zum Schlafen gehe. Ich genieße diese Morgenstunde – das habe ich schon bei meinem allerersten Beobachtungsrund als Student gemacht. Damals hatte ich extra auf den Sonnenaufgang gewartet. Das ist schon ein erhebendes Gefühl.

STERNWARTEN SIND WIE KLOSTER

DANACH GEHT ES ZURÜCK in die Residencia – ein kurzes Frühstück, und dann versuchen die Beobachter zu schlafen. »Astronomers sleeping – quiet please!« soll für die nötige Ruhe sorgen. Doch etliche der Besucher sind zu aufgedreht, sind schon zu sehr mit der kommenden Nacht beschäftigt oder kommen mit der dünnen Luft in 2500 Metern Höhe nicht klar und schlafen daher eher schlecht. Für ein entspanntes Auschlafen über acht Stunden ist ohnehin keine Zeit.

Gegen halb drei am Nachmittag sind die meisten Beobachter schon wieder aufgestanden. Manche bringen sich mit eine paar Runden im Swimmingpool in Schwung. Abendessen (eigentlich Frühstück) gibt es gut eine Stunde vor Sonnenuntergang – und dann beginnt eine neue Arbeitsnacht. Typische Beobachtungsrund dauern zwei bis vier Nächte – für einige wenige große Programme kann es aber schon mal sieben und mehr Nächte am Stück geben. Doch irgendwann ist auch der längste Beobachtungsrund zu Ende.

Meistens ist man froh, dass es vorbei ist. In der Nacht liegt die volle Konzentration auf dem Beobachten. Man muss sicher sein, dass alles klappt, dass alle Kalibrationsdaten da sind und so weiter. Für mich reduziert sich so eine Beobachtungstour meistens auf Essen, Schlafen, Arbeiten – dann ist man schon sehr, sehr erschöpft, wenn es vorbei ist.

Damit hier kein falscher Eindruck entsteht: Zum Beobachten wird keiner gezwungen. Wem fünf Nächte Beobachten zu lang sind, braucht sich nicht um Teleskopzeit zu bewerben – oder sollte gleich Theoretiker werden. Aber nach fünf guten Nächten sind die meisten Astronomen einfach erschöpft – und zugleich hoch erfreut über die guten



Die Antennen-Galaxien gehörten in der Nacht des 26. Februar 2002 zu den ersten Objekten des neuen VLT-Instruments VIMOS (Visible Multi Object Spectrograph). Vor einigen Millionen Jahren sind diese beiden Galaxien »kollidiert«. Die blau-grünen Flecken sind unmittelbare Folge der kosmischen Remperei – dort entstehen fast explosionsartig neue Sterne.

Daten. Denn praktisch aller Fortschritt in der astronomischen Wissenschaft hat irgendwann mal mit einer klaren Nacht an einem Teleskop begonnen. Wer »nach den Sternen greifen« will, wer wirklich tief ins All blicken will, wer wirklich sehen will, was da draußen passiert, der muss auf Berge wie Paranal reisen.

Das ist für mich wirklich etwas vom Schönsten in der beobachtenden Astronomie. Diese Konzentration finde ich sonst nirgendwo. Ich habe Sternwarten auch schon mit Klöstern verglichen. Man richtet sein ganzes Leben nur auf eine bestimmte Sache ein – in diesem Fall eben nur für ein paar Tage. Alles andere wird sekundär. Ich meine, natürlich ist die Familie wichtig, aber die hängt an einem Telefon 14 000 Kilometer entfernt. Im Moment ist man dann wirklich nur für die Beobachtung da, dann macht man alles, damit diese Beobachtung auch wirklich funktioniert. Das sind einmalige Erlebnisse, für mich ist das hier sehr, sehr stark.

**ERST DAS PROPOSAL, DANN DAS PAPER –
SO KOMMEN ASTRONOMEN ÜBER DEN BERG**

AUF DIE GROSSEN STERNWARTEN darf nur, wer zuvor einen guten Antrag geschrieben, sich gewissermaßen um Beobachtungszeit beworben hat. Die Teleskope stehen schließlich nicht auf Paranal oder Hawaii herum und warten, dass sich mal ein Astronom dorthin verirrt. So gliedert sich jede astronomische Entdeckung in eine Reihe klar vorgegebener Phasen, erklärt Hans Zinnecker vom Astrophysikalischen Institut in Potsdam:

Zunächst braucht man eine gute Idee, was man beobachten will. Man muss dann auf maximal acht Seiten mit Bildern und Grafiken gut begründen, warum man diese Beobachtungen machen will. Das reicht man dann zum Beispiel bei der Zeitvergabestelle der Europäischen Südsternwarte in Garching ein.

Der Beobachtungsantrag – die Fachleute sprechen vom »Proposal« (also einem »Vorschlag« für eine Beobachtung) – wird vom OPC, dem »Observing Programme Committee«, begutachtet. Der Antragsteller muss zudem erklären, welches Gerät er benutzen möchte, ob die Beobachtungen eine dunkle mondlose Nacht erfordern oder auch bei einer hohen Mondphase durchzuführen sind. Zudem muss der Antragsteller erklären, ob er die Beobachtungen auf dem Berg selbst durchführen möchte (das ist der so genannte »Visitor Mode«, »Besucher-Modus«) oder ob die Sternwarten-Crew vor Ort die Beobachtungen durchführen soll (das ist der so genannte »Service Mode«, »Service-Modus«). Anträge stellen können

alle Astronomen aus einem ESO-Land oder Chile bzw. Astronomen-Gruppen, zu denen mindestens ein Astronom aus einem ESO-Land oder Chile gehört. Praktisch alle Anträge werden heute von Gruppen gestellt – Astronomie ist in vielem ein Mannschaftssport geworden.

Zweimal im Jahr, bei ESO Anfang April und Anfang Oktober, können die Astronomen Beobachtungszeit beantragen. Dann sichtet das OPC alle Vorschläge und bewertet sie. Die Zusammensetzung des OPC ändert sich in regelmäßigem Turnus, damit letztlich alle Bereiche der Astronomie die gleichen Chancen haben. Wie will man sachlich klar nachvollziehbar entscheiden, ob nun die Spektroskopie einer elf Milliarden Lichtjahre entfernten Galaxie wissenschaftlich sinnvoller ist als die Beobachtung eisiger Trans-Neptun-Objekte am Rande des Sonnensystems? Natürlich spielen da auch persönliche Vorlieben eine Rolle. Der regelmäßige Wechsel im OPC soll dafür sorgen, dass »Modeströmungen« keine zu große Rolle spielen. Am System des OPC mag vieles zu kritisieren sein (auch, dass völlig unkonventionelle Ideen bei der Begutachtung leicht als wissenschaftlich unseriös abgetan werden können) – ein besseres System zur Zeitvergabe ist aber noch keinem eingefallen. Das OPC hat zudem zu berücksichtigen, dass langfristig die Beobachtungszeit so auf die Astronomen der einzelnen ESO-Länder verteilt werden soll, dass der Anteil an Beobachtungszeit in etwa dem finanziellen Anteil des Landes an ESO entspricht.

Schließlich entscheidet das OPC – der Rechtsweg ist übrigens auch beim Anträge-Schreiben aus-




Im Chamaeleon IR Nebel sitzt ein junger Stern, der 14-mal mehr Strahlung abgibt als die Sonne. Den inneren Bereich des Nebels trennt eine dunkle Linie – eine Staubscheibe, auf die wir genau von der Kante blicken und die das Licht des Sterns im Zentrum

dämpft, so dass die Details der Staubscheibe nicht überstrahlt werden. Entstehen dort gerade Planeten? Oberhalb und unterhalb der Scheibe (im Bild links und rechts) zeigen sich komplexe Strukturen von ausgeströmtem Gas und Restmaterial der Wolke,

aus der der Stern entstanden ist. Die Gasmassen streuen das Licht des Sterns. Das Blickfeld hat einen Durchmesser von etwa drei Lichtmonaten. Vermutlich durchlief unser Sonnensystem vor fast fünf Milliarden Jahren eine ganz ähnliche Phase.

Den Beobachtungsantrag (Proposal) haben Hans Zinnecker und seine Kollegen im Herbst 1998 gestellt. Am 28. April 1999 wurden sechs junge Sterne (einer davon ist links unten abgebildet)

mit Antu (UT₁) und der Infrarotkamera ISAAC beobachtet. Der daraus resultierende wissenschaftliche Artikel erschien im Dezember 1999 in »Astronomy and Astrophysics«.



EUROPEAN SOUTHERN OBSERVATORY

Organisation Européenne pour des Recherches Astronomiques dans l'Hémisphère Austral
Europäische Organisation für astronomische Forschung in der südlichen Hemisphäre

VISITING ASTRONOMERS SECTION • Karl-Schwarzschild-Straße 2 • D-85748 Garching bei München • e-mail: visao@eso.org • Tel.: +44-86-32 00 62 23

APPLICATION FOR OBSERVING TIME

PERIOD: 63

To be submitted only to: proposal@eso.org
Important Notice:

By submitting this proposal, the PI takes full responsibility for the content of the proposal, in particular with regard to the names of COs and the agreement to act according to the ESO policy and regulations, should observing time be granted

1. Title	A VLT/ISAAC study of circumstellar disks and envelopes around YSOs	Panel: I-3						
2. Abstract	We propose deep, high spatial resolution JHKL imaging of a nearby southern IRAS sample of 30 very young stellar objects (YSOs), selected from previous integrated near-infrared photometry to be faint and highly reddened, therefore expected to be mostly nonstellar and nebulous. The main goal is to characterize and understand the morphology of the observed disk and envelope structures from the measured spatial surface brightness distribution. A few of these objects will turn out to have edge-on disks with dark dust lanes between extended scattering lobes. The VLT is needed to detect sub-arcsec structure in these nebulous young objects, including the wavelength-dependent sub-arcsec scale height of edge-on disks and hidden sub-arcsec infrared companions. In good seeing, ISAAC/VLT will deliver the most detailed YSO images ever seen, rivaling those of NICMOS/HST.							
3. Run	Telescope A	Instrument UT1	Instrument ISAAC	Time In	Month apr	Moon n	Seeing ≤ 0.6"	Obs. Mode v
4. Number of nights/hours	Telescope(s)		Amount of time					
a) initially requested for this project:	UT1		In					
b) already awarded to this project:								
c) required to complete this project:								
5. Special remarks	Images will be made public immediately after observations.							
6. Principal Investigator:	Hans Zinnecker (Astrophysik. Inst. Potsdam, D, hzinnecker@iap.de)							
CoI(s):	R. Köhler (Potsdam, D), M. McCaughrean (Potsdam, D), T. Stanke (Potsdam, D), B. Stecklum (Jena, D), W. Brandner (IPAC, USA), D. Padgett (IPAC, USA), K. Stapelfeldt (JPL, USA), H. Yorke (JPL, USA)							
7. Is this proposal linked to the PhD thesis preparation of one of the applicants?								

Astron. Astrophys. 352, L73-L78 (1999)

ASTRONOMY
AND
ASTROPHYSICS

Letter to the Editor

A search for young solar system analogues with the VLT*

Hans Zinnecker¹, Alfred Krabbe², Mark J. McCaughrean¹, Thomas Stanke¹, Bringfried Stecklum³, Wolfgang Brandner¹, Deborah L. Padgett⁴, Karl R. Stapelfeldt⁵, and Harold W. Yorke⁶

¹ Astrophysikalisches Institut Potsdam, An der Sternwarte 16, 14482 Potsdam, Germany
² German Aerospace Center, Institute of Space Sensors and Planetary Research, Rutherfordstrasse 2, 12489 Berlin, Germany
³ Thüringer Landessternwarte, Sternwarte 5, 07778 Tautenburg, Germany
⁴ University of Hawaii, Institute for Astronomy, 2680 Woodlawn Dr., Honolulu, HI 96822, USA
⁵ SIRTF/IPAC-Caltech, Mail Code 100-22, Pasadena, CA 91125, USA
⁶ Jet Propulsion Laboratory, Caltech, 4800 Oak Grove Drive, Mail Stop 169-506, Pasadena, CA 91109, USA

Received 10 September 1999 / Accepted 11 October 1999

Abstract. The VLT/UT1 telescope has been used with its facility near-IR camera ISAAC to obtain 1–2.5 μm wavelength images at 0.4 spatial resolution of six southern young low luminosity sources associated with extended reflection nebulosity. Two are in the Chamaeleon I dark cloud (Cha IR nebula, Cederblad 110IRS4), and the other four in the Gum Nebula (HH 46/47, CG 30, Re-4, Re-5). Complex structure is seen, including in most cases bipolar blue and red scattering lobes likely due to the illumination of outflow cavities by the central star(s), hidden by a flattened circumstellar disk or envelope. In one object (Re-4), a double jet appears to be emanating from the central source, suggestive of a binary system with nearly aligned disks. These images, when supplemented by polarimetry maps, will help determine the structure and geometry of the young stellar objects, and will also be compared to 3D radiative transfer models to match both the surface brightness distribution of the extended emission and the spectral energy distribution of the central source. Applied to a series of such objects, these analyses will lead to an improved evolutionary sequence for the formation of solar system analogues.

Key words: telescopes – stars: formation – stars: pre-main sequence – ISM: jets and outflows

1. Introduction

A major motivation for the study of low-mass star formation is to improve our understanding of the origin of the Sun and our solar system, and the nearby star-forming regions in the southern sky provide rich hunting grounds for the discovery of early solar system analogues. Accordingly, a survey was proposed to use the VLT and its near-IR camera ISAAC to image the surface

Send offprint requests to: Hans Zinnecker (hzinnecker@iap.de)

* Based on observations obtained at the European Southern Observatory, Paranal (ESO proposal 63.1-0691)

brightness distribution of selected young stellar objects (YSOs) at high spatial resolution. Selection criteria were designed to favour the discovery of nearly edge-on circumstellar disks accompanied by scattering lobes above and below the disk plane. Namely, the targets should be highly reddened with strong far-IR emission, should be associated with optical nebulosity, but should not have a bright near-IR point source, such that the central star would hopefully be hidden behind a near edge-on disk. In this paper, the initial results of this exploratory survey are reported, including six sources: two in the Chamaeleon I dark cloud (the Cha IR nebula and Cederblad 110IRS4), and four in the Gum Nebula (HH 46/47, CG 30, Re-4, and Re-5) at distances of ~150 pc and ~450 pc respectively. Similar sources were recently studied in Taurus by Padgett et al. (1999) using NICMOS on the HST.

2. Observations and data reduction

Near-IR (J, H, and K broad-band) images were taken on 28 April 1999 with the 8.2 m VLT/UT1 (Antu) at Cerro Paranal (Chile) in visitor mode, on a night of constant good seeing (0.5 and 0.4 in the V and K bands respectively). The short-wavelength channel of the facility near-IR camera ISAAC was used, its 1024×1024 pixel HgCdTe array covering a field-of-view of 2.5×2.5 at 0.4"/pixel. By taking the data in visitor mode, it was possible to examine the images in real-time, and to optimise the total integration times, which were typically on the order of 7 min in the J and H bands, and 3 min in the K band. Equal integration time images were made of nearby blank sky. For each object, five frames were obtained: a central one and four others dithered by ~10" each to the north, south, east, and west. The ESO pipeline reduction software was used to sky subtract, flat-field, and mosaic. Finally, the data were scaled logarithmically and combined with J as blue, H as green, and K as red, to obtain the true-colour composite images shown in Figs. 1 and 2. The typical fields-of-view shown are roughly 2'×2', cor-

geschlossen ... Bei der ESO muss allerdings die Generaldirektorin den Programmvorschlag noch absegnen. Dann ist die Beobachtungszeit für das ein halbes Jahr nach Antragschluss beginnende Halbjahr vergeben.

Einen Monat später wird man informiert, ob man Erfolg gehabt hat oder nicht. Die Auswahl ist sehr strikt. Oft kann nur einer von fünf Anträgen durchgehen. Man muss sich immer etwas so Gutes ausdenken, dass man einer von den Fünfen ist und nicht zu den vier anderen gehört. Dann hat man vielleicht drei, vier Nächte Beobachtungszeit, wie man sagt, gewonnen. Manchmal hat man auch acht Nächte, aber das gibt es nur an den kleineren Teleskopen. An den Großteleskopen kann es gar nur eine Nacht sein.

Die Kosten sind bei so einem »Gewinn« kein Problem: ESO bezahlt für Beobachter aus ESO-Mitgliedsländern die Reise – pro Beobachtungsprogramm darf ein Astronom anreisen. Ein Problem ist schon eher die Zeit: Aus einer Nacht Beobachtungszeit wird schnell eine einwöchige Reise. Erwischt der angereiste Forscher schlechtes Wetter, hat er Pech: Denn eine

Schlechtwetternacht wird nicht nachgeholt, sie kann gar nicht nachgeholt werden, da ja alle Nächte vergeben sind – entweder für Beobachter oder für die Teleskop-Crew, die die Nächte für technische Arbeiten und Tests am Teleskop nutzt. Ein Teleskop ist gewissermaßen immer ausgebucht. Zum Glück ist das Wetter fast immer gut – und so wird es Beobachtern wie Hans Zinnecker zurück am heimischen Institut nicht so schnell langweilig.

Drei Nächte Beobachtungszeit ergeben so viele Daten, dass man meist ein halbes Jahr damit beschäftigt ist, sie auszuwerten. Den ganzen Aufwand machen wir ja nur deswegen, weil wir die Wissenschaft der Astronomie voranbringen wollen. Die Daten werden ausgewertet, und die Ergebnisse stehen dann in einer Fachzeitschrift. Auf Grund des Erfolgs, wie viele Daten Sie in die Zeitschrift gebracht haben, wird dann Ihr weiterer Erfolg beurteilt, also ob Sie wieder Beobachtungszeit bekommen. Es reicht nicht, nur gute Ideen zu haben, sondern man muss auch mit den Daten etwas anfangen und sie veröffentlichen. Nur wenn beide Dinge zusammenkommen, kann man erfolgreich Astronom sein.



Weißt du, wie viel Planeten steh'n?
Auf der Suche nach den Geschwistern der Erde



Seite 62/63:
Das Schweizer 1,2-Meter-Euler-Teleskop ist das neueste Teleskop (erbaut 1998) auf La Silla. Es sucht vor allem nach Planeten, die um ferne Sterne kreisen. Hier ist es mit zwei heimischen Planeten im Sternbild Stier zu sehen: Saturn (oben) und Jupiter (unten). Rechts von Jupiter steht Aldebaran mit den Hyaden, links der auffällige Sternhaufen der Plejaden (auf dem Kopf, weil Südhalbkugel!).

EINZIG IST ALSO DER HIMMEL, der unermessliche Raum. ... In ihm sind zahlreiche Sterne, Gestirne, Weltkugeln, Sonnen und Erden sichtbar ... und müssen unzählige andre vernünftigerweise angenommen werden. ... Wir sehen nur die Sonnen, welche die größeren, ja die größten Körper sind, nicht aber deren Erdkörper oder Planeten, welche, da ihre Massen viel kleiner sind, für uns unsichtbar sind. ... Hiernach gibt es nicht eine einzige Welt, eine einzige Erde, eine einzige Sonne, sondern so viel Welten, als wir leuchtende Funken über uns sehen, die alle nicht mehr und nicht weniger in dem einen Himmel ... sind, als diese Welt, die wir bewohnen.

Eine prägnante Bilanz moderner astronomischer Forschung: Im unendlichen Kosmos gibt es unzählige Sterne und Planeten. Was wie die Zusammenfassung eines aktuellen Forschungsartikels klingt, stammt aus Giordano Brunos »Zwiegesprächen vom unendlichen All und den Welten« – erschienen im Jahr 1584.

Herbst 1995 – eine Tagung in Florenz: Michel Mayor, Direktor der Genfer Sternwarte, verkündet zusammen mit seinem Mitarbeiter Didier Queloz, den sonnenähnlichen Stern 51 Pegasi umkreise vermutlich ein Planet. Mayors Entdeckung ist eine Sensation – die Medien in aller Welt überschlagen sich mit wilden Spekulationen über fremdes Leben im Weltall. Wer heute den Geschwistern der Erde nachjagt, ist fast ein Star. Wer vor vier Jahrhunderten über andere Planeten im Universum nachdachte, wurde auf dem Scheiterhaufen der Inquisition ermordet – Giordano Bruno überlebte seine heute fast gespenstisch aktuell erscheinenden Äußerungen nur um sechzehn Jahre.

Dass Planeten im Weltall etwas ganz Normales sind, hatte man immer angenommen. Auch waren bereits 1992 Planeten in der Umlaufbahn um Pulsare entdeckt worden – diese Entdeckung hatte aber kaum für Aufsehen gesorgt, weil nach gängiger Vorstellung die Explosion, die aus einem Stern einen Pulsar werden lässt, sämtliches Leben auf möglichen Planeten um diesen Stern auslöscht. So begründete erst Mayors Entdeckung des ersten Planeten um einen sonnenähnlichen Stern einen ganz neuen Zweig der Astronomie – bis heute reißt die Kette der Planetenentdeckungen nicht ab.

Michel Mayor und seine Gruppe betreiben auf der Sternwarte La Silla das 1,2-Meter-Leonard-Euler-Teleskop (Euler war ein berühmter Schweizer Mathematiker und Astronom). Es ist speziell für die Suche nach Planeten ausgestattet. Aber auch viele andere Astronomen beteiligen sich an der Suche nach fremden Planeten. Ein intensives Suchprogramm nach den so genannten extrasolaren Planeten hat auch in Deutschland an der Thüringischen Landessternwarte in Tautenburg bei Jena begonnen.

PLANETENSUCHE IN THÜRINGEN

GUT ZWÖLF KILOMETER NORDÖSTLICH von Jena gelegen duckt sich die Kuppel des mit zwei Metern Durchmesser größten deutschen Teleskops in den Tautenburger Wald, eher untypisch für ein modernes Observatorium. Die 1961 noch als gesamtdeutsches Institut in Betrieb genommene Sternwarte liegt eben nicht auf einem einzelnen isolierten Berg wie die Spitzenteleskope in Chile oder Hawaii.

In jeder klaren Nacht spähen die Tautenburger in die Tiefen des Alls. Das Instrument, mit dem die Astronomen den Planeten auf die Spur kommen, befindet sich an einem zunächst sehr ungewöhnlich erscheinenden Ort: Über enge Treppen, durch verwinkelte Gänge und Luftschleusen geht es in den Keller des Teleskop-Gebäudes. Der Coudé-Raum, benannt nach dem optischen Aufbau des Teleskops, ist ständig auf zwanzig Grad Celsius temperiert – das empfindliche Gerät arbeitet nur bei konstanter Temperatur genau genug. Die Wände des mit allerlei technischem Gerät voll gestellten, etwa vier mal fünf Meter großen Raumes sind matt schwarz gestrichen – damit eventuell sich in den Raum verirrende Lichtstrahlen irdischen Ursprungs nicht die Messungen verfälschen.

Von der Decke ragt schräg ein gut achtzig Zentimeter dickes Eisenrohr herunter, durch das das Sternlicht in den Raum gelangt. Astronom Eike Günther weist auf einen nicht einmal Schuhkarton-großen Metallkasten am Ende des Rohres.

Das ist unser wichtigstes Bauteil, die Jodzelle. Mit ihr bringen wir ein zusätzliches Absorptionsspektrum auf das Sternspektrum auf. Mit Hilfe dieses zusätzlichen Absorptionsspektrums der Zelle können wir eine sehr genaue Wellenlängeneichung vornehmen, und die ist unbedingt notwendig für genaue Radialgeschwindigkeitsmessungen.

EIN PLANET IST SEHR LICHTSCHWACH und steht zudem noch in der Nähe eines hellen Sterns. Für heutige Teleskope verschwinden fremde Planeten unweigerlich im Strahlenkranz der Sterne. So messen die Astronomen bisher sehr indirekt: Zieht ein Planet um einen Stern, so bewegt sich auch der Stern ein wenig um den gemeinsamen Schwerpunkt. Um Planeten zu finden und zu erforschen, brauchen die Wissenschaftler einen äußerst präzisen Spektrographen – also ein Gerät, das das Licht eines Sterns in seine Farben zerlegt, wie bei einem Regenbogen. Im Spektrum sind dann einzelne Linien zu erkennen – charakteristische Stellen, an denen das Sternlicht schwächer ist als normal. Durch die unterschiedliche Bewegung des Sterns wackeln diese Linien im Spektrum leicht hin und her – über diesen verräterischen Effekt erwischen die Astronomen die Planeten.

Massereiche Planeten vom Schlage Jupiters lassen den Stern stärker schwanken als Leichtgewichte von der Sorte der Erde. Im Licht des Sterns sehen die Astronomen, ob und wie schnell sich der Stern genau auf uns zu oder von uns weg bewegt: Diese so genannte Radialgeschwindigkeit verrät es.

Zur Zeit erreichen wir so fünf Meter pro Sekunde. Wir machen aber laufend Verbesserungen an dem Instrument und hoffen auf drei Meter pro Sekunde herunterzukommen. Dies ist dann die typische Genauigkeit, wie man das auch bei anderen Experimenten erwartet.

Die Messinstrumente der Astronomen sind heute so genau, dass sie die Bewegung eines Sterns auf etwa drei Meter pro Sekunde genau messen können. Die Astronomen in Tautenburg sehen im Spektrum, ob ein Dutzende Lichtjahre entfernter Stern in dem Tempo auf sie zukommt, mit dem Jogger ihre Bahnen durch den umgebenden Wald ziehen ... HARPS, ein neues Instrument am 3,6-Meter-Teleskop auf der ESO-Sternwarte La Silla, wird ab 2003 sogar auf etwa einen Meter pro Sekunde genau beobachten können – ein Tempo von einem Meter pro Sekunde entspricht 3,6 km/h.

Auf diese indirekte Art hatte auch Michel Mayor seinen berühmten Planeten beim Stern 51 Pegasi entdeckt. Dieser Planet umkreist seinen Stern in nur vier Tagen, lässt also den Stern mit dieser Periode leicht hin- und herpendeln. Über den seitdem erreichten Erfolg freut sich der Direktor der Genfer Sternwarte.

Wir haben einen enormen Anstieg der Entdeckungen. Bis jetzt sind über hundert Planeten bekannt. Aber das sind nicht einfach nur mehr Daten, wir kommen wirklich voran und lernen immer mehr Dinge über die Planeten selbst. Mittlerweile kennen wir einige Systeme, die sogar mehrere Planeten haben. Allmählich geht es nicht mehr bloß ums Suchen, wir machen jetzt richtig Physik mit denen.

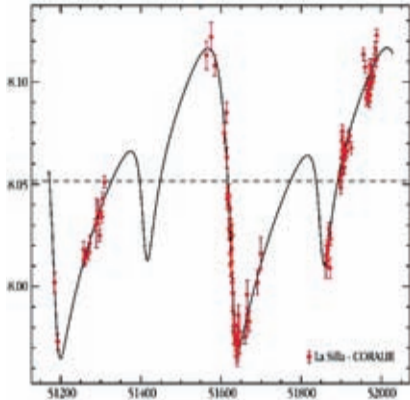
Zu den Sternen, die mindestens zwei Planeten haben, gehört HD82943, der etwas schwerer ist als die Sonne und etwas älter als sie. Aber HD82943 könnte vor einiger Zeit sogar ein paar Planeten mehr gehabt haben. Denn Beobachtungen von Garik Israelian, Forscher am Astrophysikalischen Institut der Kanarischen Inseln, belegen eine dramatische Vergangenheit des Sterns und seiner Planeten:

Wir haben das leichte Isotop Lithium-6 in diesem Stern beobachtet, das an sich nicht in

**PLANETEN ZEIGEN
SICH BISHER
NUR INDIREKT**

Der Stern 51 Pegasi – der erste sonnenähnliche Stern, bei dem Michel Mayor und Didier Queloz von der Genfer Sternwarte einen möglichen Planeten entdeckt haben.





Die Kurve zeigt, dass zwei Planeten den Stern HD 82943 umkreisen. Mit einer Periode von 221 bzw. 444 Tagen pendelt der Stern hin und her. Die Geschwindigkeit des Sterns genau auf uns zu bzw. von uns weg variiert um plus/minus 50 Meter pro Sekunde.

einem sonnenähnlichen Stern vorkommt. Solche Sterne zerstören das Lithium-6 bei ihrer Entstehung. Ist ein Stern von etwa der Masse der Sonne erst einmal einige Millionen Jahre alt, hat er kein Lithium-6 mehr. Trotzdem haben wir es bei diesem Stern gefunden – und die einzig mögliche Erklärung ist, dass das Lithium-6 von einem Planeten kommt, den der Stern in den letzten Milliarden Jahren verschlungen hat.

Lithium-6 ist besonders empfindlich und zerfällt bei Temperaturen von einigen Millionen Grad. Sterne von der Art der Sonne »kochen« bei ihrer Entstehung komplett auf – Lithium-6, das vielleicht am Anfang im Stern vorhanden war, geht dabei kaputt. Auch wenn das Gas in den äußeren Schichten eines Sterns stark brodelte – wie kochendes Wasser auf der Herdplatte – wird Lithium-6 zerstört.

HD82943 ist jetzt ruhig genug – das buchstäblich vom Himmel gefallene Lithium-6 bleibt in ihm praktisch ewig erhalten. Somit ist nur klar, dass es den Planetensturz gegeben hat. Das genaue Szenario bleibt ein Rätsel, bedauert Garik Israelian.

Leider kann man nicht herausbekommen, wann der Planet verschlungen worden ist. Theoretisch könnte das bereits zwanzig bis dreißig Millionen Jahre nach der Entstehung von Stern und Planet passiert sein. Dann ist die Scheibe, in der sich die Planeten bilden, noch voller Gas, das die Planeten abbremst und langsam in den Stern spiralen lässt. Später lässt dann die Anziehung der Planeten untereinander Planeten in den Stern stürzen oder hinaus ins All schleudern – das dauert viel länger, zum Teil über eine Milliarde Jahre. Ein Planet kann auf vielerlei Weise in einen Stern stürzen.

Um den Stern kreist noch heute ein Planet auf einer stark elliptischen Umlaufbahn. Das spricht für das zweite Szenario – da draußen gab es wohl vor einiger Zeit eine Art planetares Billardspiel, mit wirklich »finaletem« Ausgang für mindestens einen Beteiligten.

Astronomen wissen aber auch, dass viele Planeten in ganz jungen Jahren Richtung Stern wandern. Offenbar bremsen einige aber noch rechtzeitig – das sind die massereichen »Exoten«, die heute auf sehr engen Bahnen laufen. Die müssen vor langer Zeit auf den Stern zugewandert sein, weil sie nur viel weiter draußen entstanden sein können.

Die Daten vom gefräßigen Stern lieferte der UV-Spektrograph UVES am VLT in Chile. Mit UVES haben die Astronomen das Licht des Sterns in seine Farben zerlegt und so die chemischen Stoffe in diesem Stern mit einzigartiger Genauigkeit untersucht. Das Lithium-6 spricht dafür, dass ein oder mehrere Planeten, die zusammen die doppelte Jupitermasse hatten, in den Stern gestürzt sind. Jetzt wollen Garik Israelian und seine Kollegen weitere Sterne auf abgestürzte Planeten hin untersuchen – und so viel über die Entstehung und Entwicklung von Planetensystemen lernen.

DIE MASSE HÄNGT VOM BLICKWINKEL AB

DIE BEI DER PLANETENSUCHE am häufigsten verwendete Methode der Radialgeschwindigkeiten hat einen entscheidenden Haken: Die beobachtete Bewegung eines Sterns liefert stets nur eine *Untergrenze* für die Masse des Begleiters. Denn die Astronomen messen im Spektrum nur die Geschwindigkeit des Sterns exakt auf uns zu bzw. von uns weg. Eine Bewegung des Sterns nach links oder rechts ist im Spektrum nicht zu sehen. Blicken wir unter ziemlich flachem Winkel auf die Bahn des Begleiters, dann registrieren wir fast die komplette Bewegung des Sterns. Haben wir aber Pech und blicken fast senkrecht auf die Bahn, dann hat der Stern seine Hauptbewegung – für uns unbeobachtbar – nach links und rechts.

Heißt es, der Stern 51 Pegasi habe einen Planeten von einer halben Jupitermasse, dann stimmt das nur, wenn wir ziemlich genau von der Seite auf die Planetenbahn blicken. Gucken wir tatsächlich fast senkrecht auf seine Bahn, dann könnte der »Planet«

Der Orion-Nebel ist mit 1500 Lichtjahren Entfernung das uns nächste Sternentstehungsgebiet. In seinem Zentralbereich rund um den Trapez-Haufen zeigt diese Infrarotaufnahme (NTT, La Silla) etliche orangefarbene bzw. rote Punkte, vermutlich Braune Zwerge. Siehe auch Seite 80.



auch fünfzig oder mehr Jupitermassen haben – er wäre mithin ein Brauner Zwerg oder sogar ein ganz normaler kleiner Stern, auch wenn der beobachtete Stern mit der nur ganz geringen Bewegung auf uns zu einen Planeten vorgaukelt. Es hängt wortwörtlich vom Blickwinkel ab.

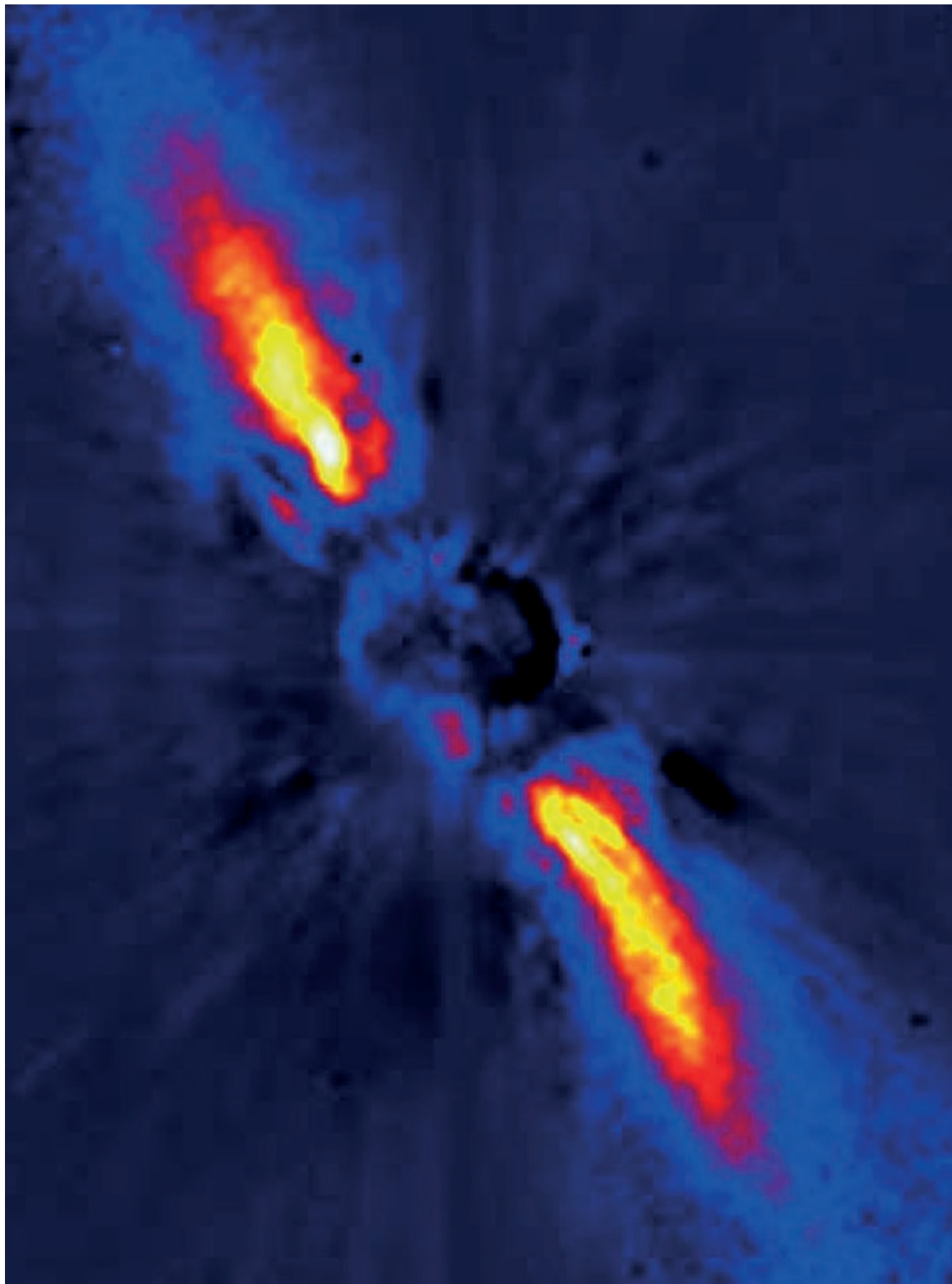
Unter den vielen Kandidaten sind bestimmt viele wahre Planeten – wir werden nur sehr selten zufällig fast senkrecht auf deren Bahn gucken. Nur sind niemals einem speziellen Stern ganz bestimmte Planeten zuzurechnen.

BIS HEUTE SIND DIE MEISTEN ENTDECKTEN PLANETEN sehr massereich und auf engen Bahnen um ihren Stern unterwegs – kein Wunder, schließlich ist die Radialgeschwindigkeitsmethode genau bei diesen »Exoten« am empfindlichsten.

**PLANETEN SIND
TÜCKISCH**

So suchen auch die Forscher an der Thüringischen Landessternwarte in jeder klaren Nacht die nahen Sterne am Himmel ab und nehmen Spektren auf. Mit Hilfe des gleichzeitig aufgenommenen Spektrums der Jodzelle lassen sich die einzelnen Linien in den Spektren perfekt vermessen. Nach mindestens drei Aufnahmen in unterschiedlichen Nächten könnten sich systematische Verschiebungen dieser Linien zeigen – dann würden die Astronomen sehr viel häufiger den Stern ins Visier nehmen, um den möglichen planetaren Begleiter dingfest zu machen.

Doch lohnt sich Profi-Astronomie in Deutschland überhaupt noch? Muss man für »richtiges« Beobachten nicht nach Chile reisen und die modernsten Teleskope an den



Den Stern Beta Pictoris (in der Mitte abgedeckt) umgibt eine dichte Staubscheibe, in der vermutlich gerade Planeten entstehen. Sah unsere Sonne vor gut 4,5 Milliarden Jahren ähnlich aus? (3,6-Meter-Teleskop, La Silla)

besten Standorten nutzen? Warum beobachtet das Team um Eike Günther ausgerechnet vom chronisch verregneten Deutschland aus?

Der Grund ist, dass es an einem großen Teleskop viele Beobachter gibt, die damit arbeiten wollen. Selbst so ein Planetensuchprogramm, wie es am Anglo-Australian-Teleskop in Australien läuft, bekommt nur um die zehn Nächte pro Jahr. In Tautenburg haben wir sozusagen das ganze Jahr über Beobachtungszeit. Das Problem ist natürlich, dass nur jede dritte Nachtstunde klar ist. Aber jede dritte Nachtstunde bedeutet immer noch, dass wir sehr, sehr viel klare Zeit hier haben. Wir können also Untersuchungen machen, für die wir einfach nur viel Beobachtungszeit brauchen. Das ist ideal für Planetensuche oder große Durchmusterungen am Himmel. Tausend Stunden an einer anderen Sternwarte zu bekommen, das wäre praktisch unmöglich.

Jedes Teleskop hat seine geeigneten Projekte – zumal es gerade bei der Spektroskopie letztlich nicht auf perfekte Sichtbedingungen ankommt. Es reicht völlig, wenn es mal klar ist und das Licht in den Empfänger fallen kann – wenn das Bild dann ein bisschen flimmert oder ab und zu mal eine Wolke vorbeihuscht, ist das sicher nicht ideal, aber auch nicht tragisch.

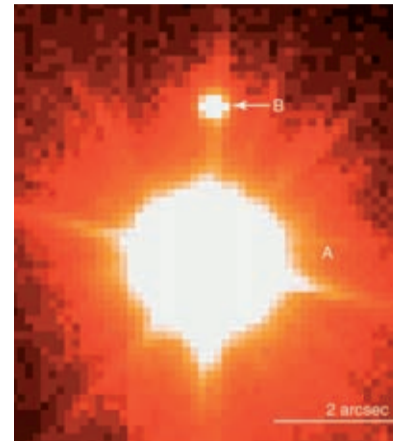
Neben der indirekten spektroskopischen Suchmethode nach Planeten widmen sich Eike Günther und die Tautenburger noch einem ganz anderen Ansatz – aber wieder geht es um ganz junge Sterne, also Sterne, die höchstens ein paar Millionen Jahre alt sind. Nach astronomischen Maßstäben sind die noch feucht hinter den Ohren.

Der Helligkeitsunterschied zwischen Jupiter und unserer Sonne beträgt aus großer Entfernung im Optischen ungefähr eins zu eine Milliarde. Das ist natürlich sehr viel, und es wäre sehr schwierig, einen Jupiter direkt neben der sehr hellen Sonne nachzuweisen. Im Infraroten ist es sehr, sehr viel einfacher, weil die Planeten sehr jung sind und noch kontrahieren. Deswegen sind sie relativ heiß und sehr hell im Infraroten. Dort beträgt der Kontrast nur ungefähr eins zu tausend. Wir könnten also einen Planeten mit einer Masse von nur einigen Jupitermassen in einem Abstand von ungefähr hundert Astronomischen Einheiten von einem Stern beobachten, sofern der Planet und der Stern relativ jung sind.

Eine Astronomische Einheit ist der Abstand Erde – Sonne. Klar, dass bei Direktaufnahmen der Planet möglichst weit von seinem Stern entfernt sein muss. Und selbst dann kann so eine Entdeckung, wenn überhaupt, nur unter den allerbesten Sichtbedingungen gelingen.

Dieses Projekt machen wir in La Silla mit dem New Technology Telescope. Mit diesem Teleskop machen wir erst einmal eine Aufnahme und suchen nach verdächtigen, ganz schwachen Lichtpunkten neben dem Stern. Haben wir solch einen Lichtpunkt gefunden, dann werden wir weitere Aufnahmen machen, um zu sehen, ob die Eigenbewegung dieses schwachen Lichtpunktes, dieses Planetenkandidaten, dieselbe ist wie die des Sterns. Wenn wir erst einmal so ein Objekt gefunden haben, dann nehmen wir von ihm Spektren mit dem Very Large Telescope auf. Damit könnten wir beweisen, ob es sich wirklich um einen Planeten handelt. Deswegen sind die Beobachtungen hier in Tautenburg sozusagen eine Ergänzung zu den Beobachtungen, die wir in La Silla machen. Dort suchen wir die Sterne nach Planeten in großem Abstand ab, hier untersuchen wir die Sterne auf Planeten in extrem kleinen Abständen.

SOLLTEN DIE EUROPÄISCHEN SPITZENTELESKOP in Chile Erfolg haben – und das hält Eike Günther innerhalb der kommenden fünf Jahre für möglich –, sähen die Astronomen erstmals einen Planeten sozusagen in seiner Geburtsstunde. Diese Objekte sind aber für die Arbeitsgruppe um Thomas Henning, früher in Jena und jetzt Direktor am Max-Planck-Institut für Astronomie in Heidelberg, schon steinalt.



Den Stern TWA-5 A umkreist ein Brauner Zwerg (TWA-5 B, oben). Braune Zwerge sind größer als Planeten, aber nicht groß genug, um »echte« Sterne zu werden. Diese Aufnahme von Kueyen (UT2) am 21. Februar 2000 war mit einer Auflösung von 0,18 Bogensekunden die bis dahin schärfste VLT-Aufnahme überhaupt.

**STERNE UND
PLANETEN
ENTSTEHEN
ZUSAMMEN**

Wir interessieren uns für die Frühphasen der Sterne, insbesondere dafür, wie aus den Scheibengebilden, in denen sich Gas- und Staubteilchen befinden, Planeten entstehen. Wie jeder weiß, ist es sicher besser, das Babystadium genauer anzuschauen, wenn man etwas über die Frühphase der Entwicklung eines Menschen wissen will, und nicht unbedingt die Phase, wenn er schon gealtert ist.

Seit einigen Jahren kennen die Astronomen sehr junge Sterne, die noch im Zentrum von Staubscheiben sitzen. Aus diesen Überbleibseln der Sternentstehung bilden sich nach gängiger Vorstellung die Planeten – und zwar fast als kosmische Sturzgeburt ...

Eine grobe Abschätzung besagt, dass die Entstehung eines Planetensystems etwa eine Million Jahre dauert, kosmisch gesehen ein sehr kurzer Zeitraum.

Doch sind die Gas- und Staubmassen um die Sterne nicht nur für die Planeten, sondern auch für die Sterne existenziell wichtig.

Die Gas- und Staubscheiben sind eigentlich Maschinen, die es erlauben, Masse auf einen Zentralkörper, also einen Stern zu bringen. Außerdem führen sie Drehimpulse, also Rotation von ihm weg. Ohne diese Maschinen würden Sterne gar nicht entstehen. Da sieht man schon, dass die Sternentstehung und die Planetensystem-Entstehung aus diesen Scheiben sehr stark miteinander zu tun haben.

Thomas Henning und seine Kollegen haben ehrgeizige Ziele – sie wollen bis ins Innere dieser Scheiben blicken. Ab etwa Ende 2003 wird das »Very Large Telescope« Interferometer so scharf ins All gucken wie ein Teleskop von 200 Metern Durchmesser: ein Adlerauge, wie es in der Welt kein zweites gibt.

Wir werden versuchen, damit nachzuweisen, ob es in solchen Scheiben um junge Sterne Lücken gibt. Denn diese Lücken werden durch Planeten gebildet und die könnte man durch Interferometrie nachweisen, obwohl das an der Grenze des Machbaren sein wird. Aber wir hoffen natürlich, dass wir das schaffen.

STERNFINSTER- NISSE DER BESONDEREN ART

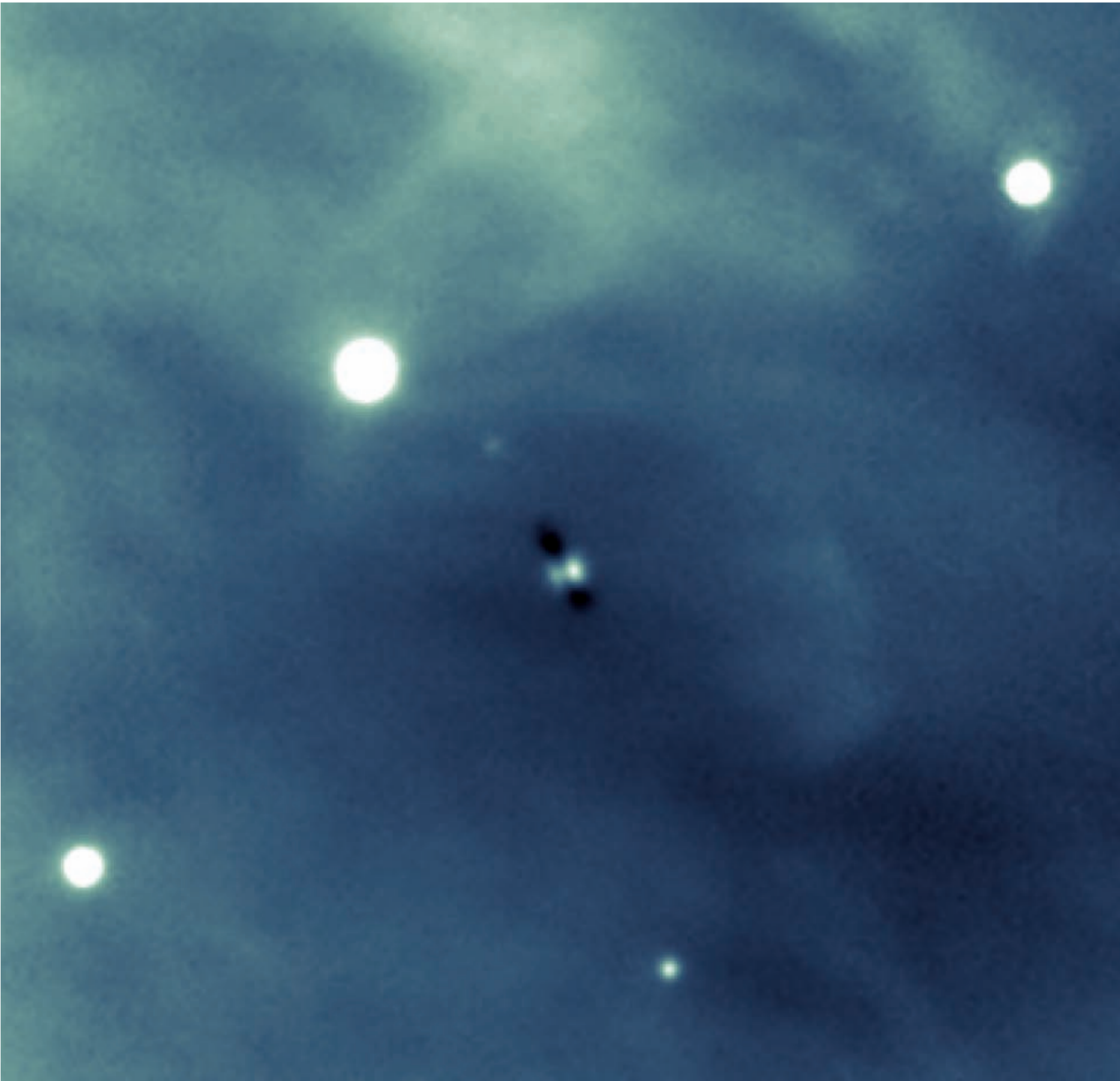
DABEI HABEN DIE ASTRONOMEN noch einen Trumpf im Ärmel. Kränkt die Radialgeschwindigkeitsmethode daran, nur sehr grobe Daten eines Planeten zu liefern – zum Beispiel nur die Mindestmasse –, so verwöhnt die Transitmethode die Astronomen geradezu. Bei ihr nutzen die Forscher, dass ein Planet von uns aus gesehen vor seinem Stern entlang zieht. Dabei deckt er einen Teil dessen Oberfläche ab und lässt so den Stern vorübergehend minimal schwächer leuchten.

Aber ist es nicht beliebig unwahrscheinlich, einen Stern zu erwischen, den ein großer Planet wie Jupiter auf einer engen Bahn umkreist, und dass wir den ausgerechnet genau von der Seite sehen? Eike Günther weiß einen Ausweg aus diesem Dilemma.

Glücklicherweise sind wir in der Astronomie in der Lage, sehr viele Sterne gleichzeitig zu beobachten. Bei dem Projekt hier beobachten wir mit einer einzigen Aufnahme etwa 30 000 Sterne gleichzeitig. Statistisch müsste einmal pro Nacht solch eine Verfinsternung bei irgendeinem dieser Sterne stattfinden. Wir müssen die Beobachtungen natürlich länger als eine Nacht durchführen, damit wir wirklich bestätigen können, dass bei einem einzelnen Stern periodisch eine Verfinsternung auftaucht.

Bereits einmal wurde mit dem Hubble-Weltraumteleskop der Vorübergang eines Planeten beobachtet – das gelang allerdings nach konkreter Vorwarnung, da bei diesem Stern bereits ein naher Planet durch die Radialgeschwindigkeitsmethode bekannt war. Jetzt machen sich die Tautenburger in den dunklen Neumondnächten auf die Suche.

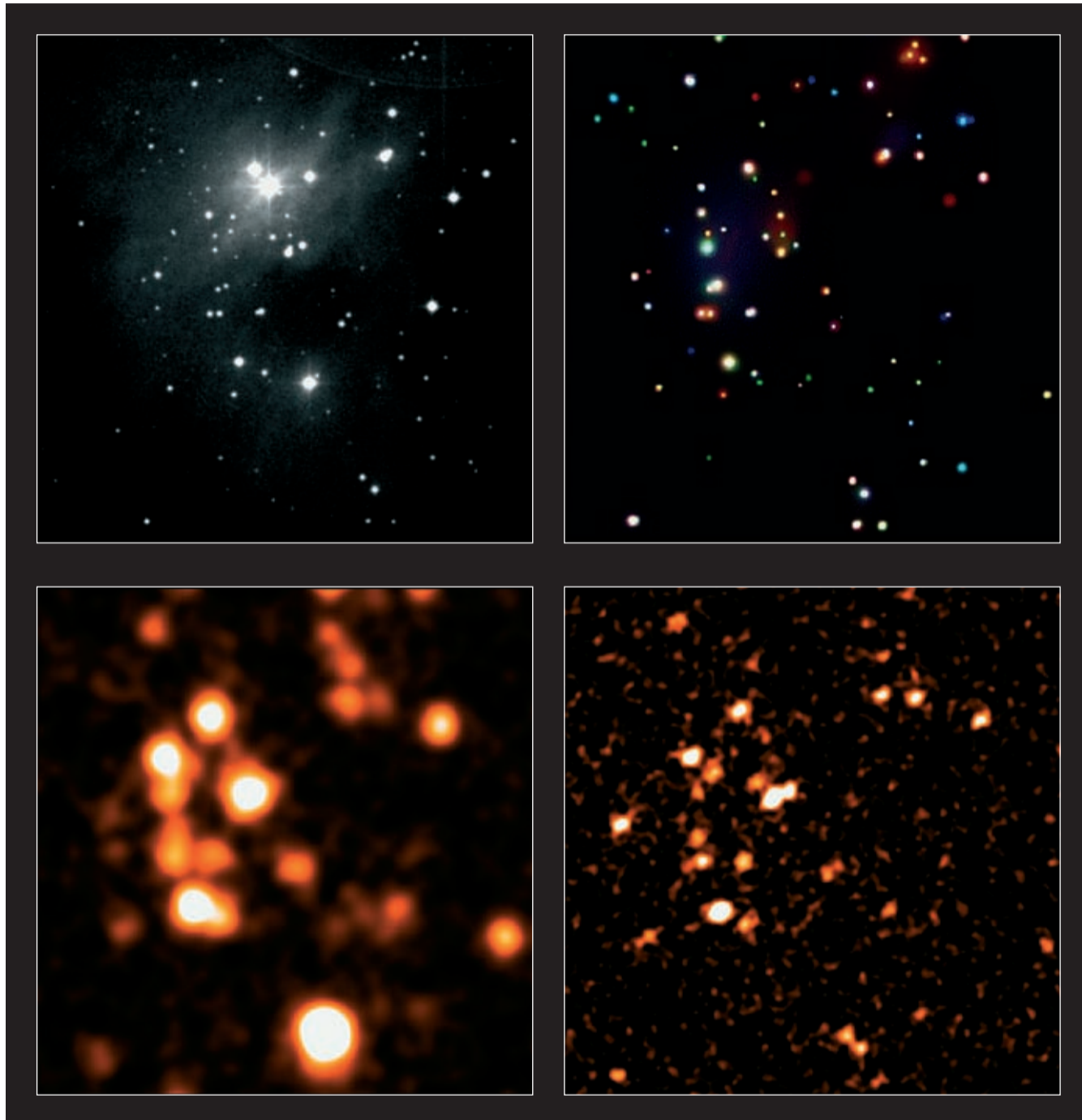
Wir könnten aus der Lichtkurve ableiten, wie die Größe des Planeten ist, eventuell ist es auch möglich – indem man sehr gute Spektren macht genau im Moment der Verfinsternung –, etwas über die Atmosphäre des Planeten auszusagen.



Bilden sich in der Staubscheibe Orion 114-426 gerade Planeten? Der junge Stern im Zentrum der Scheibe ist nicht zu sehen, aber der Stern leuchtet Gasmassen ober- und unterhalb der Scheibe an (im Bild links und rechts der Scheibe). Dieses Objekt befindet sich auf der Aufnahme auf Seite 80 knapp auf halbem Weg vom Trapez zur rechten unteren Bildecke. (VLT)

Der junge Sternhaufen IC 348 im sichtbaren (links oben) und im Röntgenlicht (beobachtet von Satelliten): ROSAT (links unten, 7 Stunden belichtet), ROSAT hochauflösend (rechts unten, 11 Stunden) und Chandra (rechts oben, 15 Stunden). Solche Beobachtungen sind sehr wichtig, um etwas über die Entstehung junger massearmer Sterne

und Brauner Zwerge zu lernen. Diese Objekte heizen mit ihrer Röntgenstrahlung die sie umgebenden Scheiben auf (Ionisierung), was wiederum für Magnetfelder und den Transport von Materie in der Scheibe wichtig ist. Stern- und Planetenentstehung ist ein äußerst komplexer und bis heute kaum verstandener Vorgang.



Durch Kombination mit spektroskopischen Daten wäre auch die Masse des Planeten bekannt, somit sogar seine Dichte. Äußerst präzise Informationen über eine ferne Welt, nur weil wir für ein paar Stunden gleichsam im Schatten dieses Planeten stehen. Eine »Sternfinsternis« mit wahrlich erhellenden Folgen.

PLANETEN – NATÜRLICHE TELESKOPE ...

IM WORTSINNE ERHELLEND IST AUCH die vierte Methode, mit der sich Planeten aufspüren lassen. Dabei klingt das »Microlensing« fast nach einem kosmischen Taschenspielertrick: Läuft zufällig ein Vordergrundstern fast genau zwischen uns und einem der Millionen Sterne in Richtung des Milchstraßenzentrums hindurch, so wirkt die Schwerkraft des Vordergrundsterns wie eine Linse und bündelt das Licht des weiter ent-

fernten Sterns. Dieser erscheint dann für einige Wochen oder Monate viel heller als üblich. Eine internationale Astronomengruppe um Penny Sackett, Direktorin des Mount Stromlo Observatoriums in Canberra, verfolgt genau die sich verändernde Helligkeit:

Wir suchen nach Anzeichen für einen Planeten, der um den linsenden Stern läuft. Dann wäre die Lichtkurve nicht mehr so schön glatt mit einem langsamen Anstieg und Abfall, sondern es gäbe zusätzlich einen plötzlichen, nur sehr kurz andauernden Ausbruch der Helligkeit. Das würde zeigen, dass um die Linse ein Planet läuft.

Der zusätzliche Helligkeitsausbruch verrät zwei Dinge über den linsenden Stern und seinen Begleiter: den Abstand der beiden am Himmel und – ganz wichtig – das Masseverhältnis beider Objekte.

Der Vorteil ist, dass sich mit Microlensing Planeten viel kleinerer Masse finden lassen als mit derzeitigen Methoden. Ereignisse mit kleinen Planeten sind zwar sehr selten, aber in etwa fünf bis zehn Jahren werden wir technisch so weit sein, dass wir vielleicht sogar einige Planeten so klein wie die Erde entdecken. Der Nachteil ist, dass jeder Planet nur genau einmal zu sehen ist – jedenfalls in menschlichen Zeiträumen. Wir müssen also hingucken, wenn es passiert – wir können die Messung nicht wiederholen.

Ein Planet, der genau vor einem weit entfernten Stern entlangzieht, lässt diesen stets nur für ein paar Stunden heller leuchten – dann verlässt der Planet wieder unsere Sehlinie zum Stern und verschwindet auf Nimmerwiedersehen aus unserem Blickfeld.

Dabei fallen bei Microlensing am ehesten Planeten auf, die etwa zwei- bis achtmal so weit von ihrem Stern entfernt sind wie die Erde von der Sonne – also genau in dem Bereich, den die bisherigen Methoden kaum erfassen, der aber für eine Theorie über die Entstehung und Entwicklung von Planetensystemen äußerst wichtig ist.

Ab Ende 2004 steht der Microlensing-Suche nach Planeten das neue VST zur Verfügung, das VLT Survey Telescope der Europäischen Südsternwarte in Chile. Und wieder ist die Anzahl der überwachten Sterne entscheidend. Im großen Blickfeld des VST sind rein statistisch ständig ein gutes Dutzend weit entfernter Sterne heller, weil gerade ein Vordergrundstern über die Sehlinie läuft und das Licht bündelt. Wenn die Astronomen dann nur genügend Zeit zum Hingucken haben, so werden sie bestimmt auch die kurzen Phasen abpassen, in denen sich gelegentlich die Planeten der linsenden Sterne veraten – Momente, in denen die Natur gleichsam die Superlupe hinhält, um wahre Geschwister der Erde in Tausenden von Lichtjahren Entfernung zu entdecken.

MOMENTE, DIE WIR NUTZEN SOLLTEN, denn die so bewährten und beliebten Radialgeschwindigkeiten geraten bei wirklich erdähnlichen Planeten an ihre Grenzen, erklärt Michel Mayor:

Jupiter führt bei der Sonne zu einer Pendelbewegung von dreizehn Metern pro Sekunde – die Erde führt aber nur zu acht Zentimetern pro Sekunde. Dies ist prinzipiell unbeobachtbar, da es innerhalb der Sternatmosphäre deutlich schnellere Bewegungen gibt. Wir können mit dieser Technik also nicht Planeten wie die Erde entdecken.

Wie sagte Penny Sackett? Die Astronomen brauchen die Kombination aller Beobachtungstechniken – nur dann lässt sich wirklich etwas über Planeten insgesamt lernen. Denn alles Geschrei um vermeintlich falsche Planetentheorien etc. ist völlig verfrüht – die bisherigen gut hundert Exemplare sind zum Teil durch die Suchmethoden bedingte Sonderlinge. Thomas Henning mahnt, dass auch bei einer Wahl niemand auf die Idee käme, nach Auszählung von hundert Stimmen eine Prognose abzugeben. Seine frühere Arbeitsgruppe in Jena nähert sich dem Problem auf noch ganz andere Weise:

**RADIALGESCHWINDIGKEITEN
FINDEN KEINE
FREMDEN ERDEN**

»PLANETEN-
ENTSTEHUNG«
IM LABOR

Die Erforschung von solchen Planetensystemen wird nicht nur durch die Beobachtung gestützt. Astrophysiker sind auch angewiesen, anspruchsvolle Simulationen durchzuführen. Bei diesen Simulationen lernt man besser die Physik verstehen, wie Planeten mit Scheiben wechselwirken, wie Planeten zum Beispiel wandern können.

DAS WANDERN SOLL AUS DEM DILEMMA FÜHREN, wie massereiche Gasriesen von der Art Jupiters so nah am Stern existieren können – denn nach allgemeiner Vorstellung können sie dort unmöglich entstanden sein. Ein Ausweg ist, dass die Planeten sich erst weit draußen gebildet haben und dann langsam auf den Stern zugewandert sind. Bei der Bildung der Planeten besorgen sich die Jenaer Forscher die benötigten Daten zur Not selbst.

Dazu braucht man auch immer wieder bestimmte mikrophysikalische Kenntnisse, zum Beispiel, wie können Staubteilchen in so einer Staubscheibe wachsen. Das bedarf gezielter Experimente im Labor, die wir hier in Jena durchführen. Diese Experimente liefern sozusagen ganz neue Einsichten in Wachstumsprozesse in solchen verdünnten Gasen. Es ist also eine Kombination von astronomischer Beobachtung, Simulationsrechnung und Labor-Astrophysik, die erst ein gemeinsames Bild liefern werden.

Bis zum vollständigen Bild, wie Sterne und Planeten entstehen, welche Rolle Doppelterne dabei spielen, ob und wie auf Planeten Leben entsteht etc., bis all diese grundlegenden Fragen geklärt oder zumindest ansatzweise verstanden sind, werden die Astronomen noch viele Planetenentdeckungen brauchen. Selbst statistische Aussagen über extrasolare Planeten werden erst möglich sein, wenn praktisch alle Methoden eine ordentliche Anzahl an Exemplaren aufgespürt haben.

Für die Astronomen, so hat man zuweilen den Eindruck, sind extrasolare Planeten das Thema im Moment schlechthin. Thomas Henning:

Ich finde eigentlich, dass mit der Entdeckung der extrasolaren Planeten, aber auch – und das sollte man wirklich im Zusammenhang sehen – mit der Entdeckung von Scheiben um junge Sterne, dass wir also zum ersten Mal Sonnensysteme in der Frühphase tatsächlich beobachten können, dass damit eine weitere Copernicanische Revolution eingeleitet ist.

In diesen Jahren erleben wir den letzten (?) Verlust einer Sonderstellung: Was vor fast einem halben Jahrtausend mit Copernicus begann, als er die Erde aus dem Zentrum der Welt an den Rand setzte, was sich Anfang des letzten Jahrhunderts fortsetzte, als die Sonne aus der Mitte der Milchstraße an den Rand vertrieben wurde und schließlich sogar unsere Heimatgalaxie, die Milchstraße, sich als eine unter Myriaden entpuppte, erlebt nun mit den Planeten als kosmische Dutzendware seine Vollendung.

Wenn man bedenkt, dass wir immer davon geträumt haben, andere Welten zu entdecken und dass das jetzt möglich ist ... Das halte ich für eine der großen Entdeckungen des 20. Jahrhunderts. Das setzt natürlich den Menschen noch einmal in einen ganz anderen Zusammenhang. Ich glaube: genug Stoff für viele Philosophie-Professuren.

Doch der allerletzte Schritt fehlt noch: Wo ist das Leben im Kosmos? Dass es an vielen Stellen im Universum Leben gibt, bezweifelt kaum jemand. Nur haben wir sicher keine Vorstellung davon, wie es aussieht und wie es sich entwickelt.

Ob es sich jemals in den Teleskopen der Astronomen verraten wird, ist zumindest fraglich. Doch nach dem copernicanischen Prinzip ist klar: Wir, unsere Erde und ihre Bewohner, sind weder in Zeit noch Raum etwas Besonderes, sondern ein Stück ganz normales Weltall. Der Drang, dieses fremde Leben auf Planeten irgendwo da draußen in den endlosen Weiten des Alls auszumachen, treibt die Forscher immer wieder an die Instrumente.



Der junge massereiche Stern AFGL 2591 im Sternbild Schwan bläst große Mengen Gas ins All, wie dieses Infrarotbild zeigt. Astronomen hoffen, mit solchen Aufnahmen mehr über die Entstehung von Sternen und Planeten zu lernen. (Gemini)



Wie entstehen Sterne?

Von kalten Gaswolken und heißen Kugeln



Seite 76/77:
 Der Adlernebel (M16) mit der Infrarotkamera ISAAC (siehe Seite 29) des VLT, links mit einer positionsgenau einmontierten Aufnahme des Hubble-Weltraumteleskops. Die Hubble-Forscher sahen in den Staubwolken »Säulen der Schöpfung«. Eine nicht erschöpfende Analyse, denn der Infrarotblick des VLT geht durch den Staub und zeigt, dass dort viel weniger Sterne entstehen als vom Hubble-Team postuliert. Die Kantenlänge des Bildes beträgt vor Ort etwa 17 Lichtjahre. Die ESO-Presseerklärung dazu vermerkt, dass Mark McCaughrean diese Aufnahme seinem Sohn Finn gewidmet habe, der während der Datenauswertung geboren wurde.

»WEISST DU, WIE VIEL STERNLEIN STEH'N?« haben wir uns alle schon oft gefragt – allein, die Antwort weiß niemand. Selbst auf die Abwandlung des Kinderlied-Klassikers in »Weißt du, wie die Sternlein entsteh'n?« können die Astronomen nur mit den Schultern zucken. Antworten auf beide Fragen sollen nun groß angelegte Beobachtungen des Orion-Nebels liefern. Das Sternbild Orion mit seinen markanten drei Gürtelsternen ist nicht nur für Laien sehr schön, auch für Profi-Astronomen ist diese Himmelsgegend von großem Interesse. Denn der Nebel im Schwert des Orion ist eines der aktivsten Sternentstehungsgebiete in der ganzen Milchstraße: Mit einer Entfernung von 1500 Lichtjahren liegt es astronomisch gesehen geradezu vor der Haustür.

In den letzten zehn Millionen Jahren sind dort bereits Zehntausende von Sternen entstanden – und die größten Sterne sind auch schon als Supernovae explodiert. Der Orion-Nebel ist geradezu ein Prototyp für eine »Sternfabrik«. Die meisten Sterne in unserer Milchstraße sind in solchen Gebieten entstanden. Sterne wachsen in »Rudeln« auf – sie werden nicht allein oder nur als Doppelstern geboren, sondern in Sternhaufen, oft gemeinsam mit Tausenden von anderen Sternen in einem sehr kleinen Gebiet. Erst später lösen sich diese Haufen auf, und die Sterne gehen ihre eigenen Wege.

Zum Auftakt der großen Beobachtungskampagne hat ein Forscher-Team mit dem Very Large Telescope der ESO das bisher detailreichste Bild des Orion-Nebels aufgenommen – siehe Seite 80. In einem Bereich von etwa drei Lichtjahren Durchmesser – das ist weniger als der Abstand der Sonne vom nächsten Stern – tummeln sich mitten im Orion-Nebel gleich tausende junger, gerade einmal etwa eine Million Jahre alter Sterne, freut sich Mark McCaughrean vom Astrophysikalischen Institut in Potsdam:

Die meisten dieser Sterne sind jetzt im optischen Bereich oder im Infrarotbereich zu beobachten. Aber im Hintergrund gibt es noch neue Sterne. Sie sind nur 100 000 Jahre oder vielleicht sogar nur 10 000 Jahre alt. Die sind in unserem Bild sehr rot, unsichtbar im optischen Bereich und fast unsichtbar im Infrarotbereich. Wir wollen wissen, wie die Sterne entstehen. Das ist nicht nur die Frage von einem Stern, sondern eine Frage, wie ganze Familien oder Systeme von Sternen entstehen. Wir können auf unserem Bild ein paar sehr helle und sehr massereiche Sterne erkennen – die sind vielleicht zehn- oder zwanzigmal größer als unsere Sonne. Aber da gibt es Tausende von schwächeren Sternen, die sind sehr massearm und haben vielleicht nur ein Zehntel von der Masse unserer Sonne.

Dank den einzigartigen Infrarot-Fähigkeiten des VLT blicken die Forscher mit einem Mal in dichte Gas- und Staubwolken, die für normale optische Teleskope undurchdringlich sind. So erwischen die Astronomen selbst Objekte, die nicht genügend Masse haben, um ein richtiger Stern zu werden. Bei Objekten mit weniger als sieben Prozent der Sonnenmasse zündet das Kernfeuer nie – die Astronomen sprechen von Braunen Zwergen.

Wir wollen wissen, wie viele Braune Zwergen es dort pro normalem Stern gibt. Die große Frage ist, wie effizient Sternentstehung abläuft, also wie viel von all dem Staub und Gas wirklich zu Sternen wird. Wir können nicht nur diese Braunen Zwerge suchen, sondern vielleicht auch Objekte, die nicht die Masse unserer Sonne, sondern die von Jupiter haben. Jupiter hat nur ein Tausendstel Sonnenmasse. Aber solche Objekte sind im Orion-Nebel sichtbar, weil sie noch sehr jung sind und damit viel heller als in späteren Phasen.

FREI FLIEGENDE PLANETEN IM ORION?

DIESE SEHR MASSEARMEN BRAUNEN ZWERGE strahlen nur innerhalb der ersten hunderttausend Jahre hell genug, um sie zumindest im Infraroten zu erkennen. Der scharfe Blick des VLT hat jetzt einige dieser Objekte aufgespürt. Sie sind nur etwa 1700 Grad Celsius heiß – astronomisch gesehen ist das sehr kühl (die Sonne ist an der Oberflä-



Der Komplex RCW 108 im Sternbild Altar besteht aus viel Gas, Staub und jungen Sternen. Bemerkenswert ist der Vergleich dieser Infrarotaufnahme (NTT, La Silla) mit der Aufnahme im sichtbaren Licht auf Seite 22. Der hier abgebildete Bereich ist dort als Silhouette rechts unterhalb

der Bildmitte zu erkennen. Das Infrarotbild zeigt in der dichten Staubwolke viele Details. Die im Infraroten hell leuchtenden Sterne und Gasmassen, die aus den Staubmassen »hervorbrechen«, zeigen sich im sichtbaren Licht nur als schwacher roter Fleck inmitten der dunklen Wolke.



Der Orion-Nebel ist eine riesige, auf Hochtouren laufende Sternfabrik. Innerhalb der vergangenen zehn Millionen Jahre sind dort einige Zehntausend Sterne entstanden. Die Kantenlänge des Bildes beträgt vor Ort etwa drei mal drei Lichtjahre – das ist weniger als der Abstand von der Sonne zum nächsten Stern. Siehe auch Seite 67.

che knapp 6000 Grad Celsius heiß). Im sichtbaren Licht ist von ihnen nichts zu entdecken – aber diese Objekte gehen der Infrarotkamera ISAAC am VLT spielend ins Netz.

Um die Natur dieser Objekte genau zu enträtseln, braucht das Team um Mark McCaughrean noch weitere Daten.

Wir können nicht allein auf Grund der Helligkeit und Farbe dieser Objekte entscheiden, ob sie Sterne, Braune Zwerge oder Objekte von der Masse eines Planeten sind. Wir brauchen Spektren, und wir werden das auch mit dem VLT machen. Das VLT bekommt jetzt gerade zwei neue Multiobjekt-Spektrographen. Mit denen können wir dann innerhalb etwa einer Stunde Spektren von Hunderten dieser Objekte aufnehmen.

Die Astronomen haben im Orion-Nebel bereits etliche dunkle Scheiben entdeckt, die als Vorstufen von Planetensystemen junge Sterne umgeben – die Entdeckung »fertiger« Planeten ist mit den bald in Betrieb gehenden Instrumenten des VLT durchaus möglich. Wenn die Astronomen entdecken, dass viele der Sterne im Orion-Nebel Planeten haben bzw. dass junge Sterne von Staubscheiben umgeben sind, aus denen Planeten entstehen können, dann hätte das enorme Bedeutung. Der Orion-Nebel ist, wie gesagt, ein ganz typisches Sternentstehungsgebiet. Wenn dort die meisten Sterne Planeten haben oder bilden sollten, dann müssten auch in unserer ganzen Milchstraße – wenn nicht im ganzen Universum – die meisten Sterne Planeten haben.

Der Orion-Nebel ist das nächstgelegene große Sternentstehungsgebiet. Er zeigt viele Details – daher kommt diesen Beobachtungen so überragende Bedeutung zu. Gehen sonst oft nur die hellen Sterne den Astronomen ins Netz, wird das jetzt begonnene Orion-Projekt alle Details offenbaren: Sterne, Braune Zwerge, Planeten, Gas und Staub. Dann werden die Forscher zumindest der Antwort näher sein, wie viele und wie Sternlein entsteh'n ...

SELBST WENN DIE ASTRONOMEN ENDLICH WÜSSTEN, wie aus einer großen kalten Staubwolke ein kleiner heißer Stern wird – es wären längst nicht alle Probleme der Sternentstehung gelöst. Sterne gibt es im All in ganz unterschiedlichen Ausführungen – klein, groß, alt, jung, strahlend hell, nur schwach funzelnd etc. Was mit einem Stern passiert, hängt im Wesentlichen von seiner Masse ab. Unsere Sonne ist fast ein Stern-Federgewicht: Manche Sterne haben mehr als hundertmal so viel Masse wie die Sonne. Massereiche Sterne sind die Angeber im Universum – mit ihrem hellen blauen Licht dominieren sie ganze Galaxien und sind selbst über enorme Entfernungen noch gut zu sehen. Nur ist bisher völlig unklar, wie Sterne überhaupt so massereich werden können.

Halten Sie, liebe Leser, massereiche Sterne für ein lebensfernes Thema? Das wird sich ändern. Denn massereiche Sterne schleudern am Ende ihres kurzen Lebens jede Menge Kohlenstoff, Sauerstoff, Eisen, Gold etc. ins All. Sie sind sozusagen unsere direkten Vorfahren: Ob Sauerstoff oder Eisen im Blut, Calcium in den Knochen, Gold in den Zähnen, Titan in der Hüfte – das alles verdanken wir den schnell explodierenden massereichen Sternen. Kurz: Ohne die massereichen Sterne gäbe es heute keine Menschen – und damit auch keine Astronomen wie Hans Zinnecker vom Astrophysikalischen Institut in Potsdam, der sich über die Entstehung massereicher Sterne den Kopf zerbricht:

Das Rätsel besteht darin, dass sich Sterne ja irgendwie durch Anlagerung von dichtem Gas auf einen embryonalen Kern bilden. Die Frage ist, wie das überhaupt bei diesen massereichen Sternen gehen kann. Denn wenn der Stern sich aufbaut und immer mehr Masse gewinnt,

**DICKE STERNE –
DICKE PROBLEM**

dann sendet er Strahlung aus. Diese Strahlung führt eigentlich dazu, dass die weitere Anlagerung behindert wird. Wie der Stern diese Behinderung umgeht, das ist das Problem der Bildung massereicher Sterne.

RAMMEN STATT SAMMELN

STERN-LEICHTGEWICHTE VON DER ART DER SONNE arbeiten mit der Eichhörnchen-Taktik: immer schön viel Gas und Staub aufsammeln, bis im Zentrum der heißen Kugel das Sonnenfeuer zündet. Nach heutiger Theorie geht das aber nur bis etwa zehn Sonnenmassen. Die noch schwereren Sterne haben für das Team um Hans Zinnecker eine geradezu gewalttätige Vergangenheit:

Unsere Theorie besagt, dass sich massereiche Sterne im Zentrum von ganz dichten Sternhaufen bilden durch Zusammenstoß kleinerer Sterne, die man noch normal bilden kann. Wäre der Sternhaufen im Orion-Nebel noch einmal tausendmal dichter, so wäre es möglich, dass dort recht häufig Zusammenstöße von Sternen stattfinden. Dann könnten sich innerhalb von einer Million Jahren die massereichen Sterne im Zentrum des Haufens bilden, wo die Sterne am dichtesten stehen.

Motto: Rammen statt Sammeln. Wo viele Sterne durcheinander flitzen, könnten auch mal ein paar kollidieren. Neue Beobachtungen von massereichen Sternen stützen diese zunächst recht verwegen anmutende Theorie:

Das Hauptbeobachtungsindiz, das für unsere Theorie spricht, ist die Statistik von Doppel- oder Mehrfachsystemen von massereichen Sternen. Massereiche Sterne sind fast nie allein. Die kommen immer als Paare oder manchmal sogar als Dreifach- oder Vierfachsysteme. Zudem bilden diese massereichen Sterne sogar besonders dichte Paare. Also Paare, bei denen der Abstand der beiden Sterne nur ein paar Sternradien beträgt – dann liegt die Umlaufzeit nur bei drei bis fünf oder acht Tagen. Zwei Objekte, die jeweils fünfzigmal so massereich sind wie die Sonne, umkreisen sich in einer Woche! Das ist eigentlich unfassbar, dass es so etwas gibt – aber das gibt es, das ist alles gemessen und sorgfältig beobachtet.

Mehr als achtzig Prozent der massereichen Sterne in dichten Sternhaufen sind sehr enge Doppelsterne. Das sind schlicht verpasste Kollisionen. Diese Sterne sind sich zwar sehr eng begegnet, aber nicht eng genug, um völlig zu verschmelzen. Stattdessen haben sie sich eingefangen und umkreisen sich nun gegenseitig. Sehr massereiche Sterne treten viel häufiger paarweise auf als leichte Sterne wie die Sonne – selbst wenn die Kollisionstheorie nicht stimmen sollte, so muss doch jede Alternativtheorie auch diesen bemerkenswerten Befund erst einmal erklären. Nach den Modellrechnungen begegnen sich Sterne in dichten Sternhaufen mindestens alle 500 000 Jahre, freut sich Hans Zinnecker:

In einer Million Jahren könnten die also durchaus zwei Stöße untereinander haben. Je massereicher dann diese Sterne durch die Zusammenstöße werden, um so kürzer werden die Stoßzeiten. Das ist ein Lawineneffekt: Wenn ich erst einmal einen Stoß geschafft habe, dann geht das zum Schluss nach astronomischen Skalen ruck, zuck.

Denn je massereicher ein Stern ist, desto stärker ist seine Anziehungskraft und desto größer ist die Chance, sich bei einer engen Begegnung einen weiteren Stern einzuverleiben. Kracht es tatsächlich, dann geht alles ganz schnell: Binnen weniger hundert Jahre sieht man dem Stern nicht mehr an, dass er einst zwei oder mehr Vorgänger hatte. Der nun viel schwerere Stern erstrahlt viel heller, und nach etwa fünf Millionen Jahren hat er seinen Brennstoff verpulvert, explodiert und schleudert dabei Stoffe für neue Stern- und Planetengenerationen ins All – was für ein Aufwand für ein kurzes Sternenleben.

Die jungen Sterne im Omega-Nebel zeigen sich auf der Infrarotaufnahme rötlich. Eher blaue Objekte sind zumeist Vordergrundsterne. Der Haufen roter Sterne links oben sitzt so tief in einer Staubwolke, dass er im sichtbaren Licht nicht zu erkennen ist. Leonardo Vanzì hat diese Aufnahme am NTT auf La Silla mit der Infrarotkamera SOFI (Son of ISAAC) gemacht, einem Vorläufer des jetzt am VLT genutzten Instruments. Siehe auch Seite 29.





Der alte Staub und das All – was Meteoriten über erloschene Sterne verraten



Seite 84/85:
Viele Explosionen massereicher Sterne (Supernovae) und die Strahlung junger heißer Sterne haben große Mengen Gas und Staub als »Super-Blase« N 70 (Durchmesser 300 Lichtjahre) in die Große Magellansche Wolke gepustet.



Der Krebsnebel (M1) im Sternbild Stier ist der Überrest einer Supernova aus dem Jahr 1054. Die Wolke dehnt sich noch immer aus. Diese ungewöhnliche Aufnahme gelang mit dem Instrument VIMOS am VLT-Teleskop Melipal (UT3) im März 2002. Mit den leuchtenden Gaswolken gelangt auch viel Staub ins All (siehe die folgenden drei Abbildungen).

ASTRONOMEN ARBEITEN IN INSTITUTEN und an großen Sternwarten, mit Teleskopen, Computern und – na klar – mit Köpfchen. Ist das alles? Nein. Ernst Zinner, Astronom an der Washington University in St. Louis, Missouri, hat seinen ganz eigenen Zugang zum Kosmos:

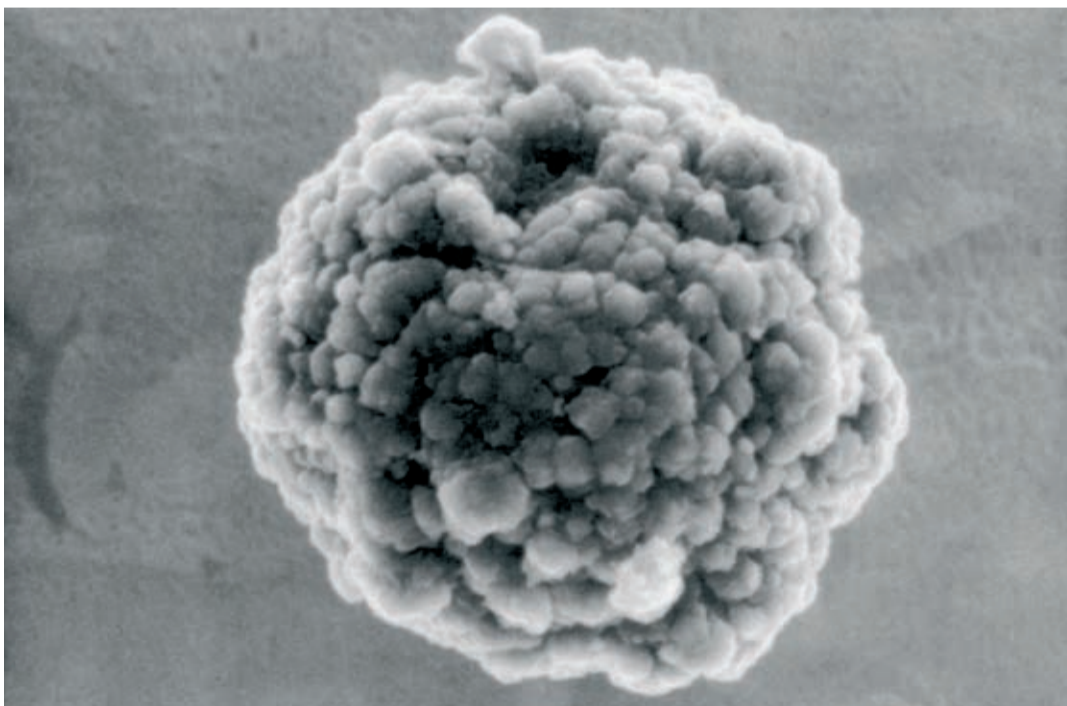
Ich betreibe Astrophysik auf eine sehr ungewöhnliche Weise. Ich studiere hauptsächlich winzige Körner, die man in so genannten primitiven Meteoriten findet.

Labor statt Sternwarte, Mikroskop statt Teleskop, lautet das Motto des aus Österreich stammenden Forschers. Die Körnchen, die Ernst Zinner und seine Kollegen untersuchen, sind reichlich unscheinbar – sie sind nur gut ein Tausendstel Millimeter groß und mit bloßem Auge gar nicht zu sehen.

Es stellt sich aber heraus, dass diese Körner älter sind als das Sonnensystem. Das heißt, diese Körner waren vorhanden, bevor das Sonnensystem sich gebildet hat. Wir konnten jetzt durch die Analyse solcher Körner herausfinden, dass sie von Sternen kommen. Wir studieren auf diese Weise also Sternenstaub!

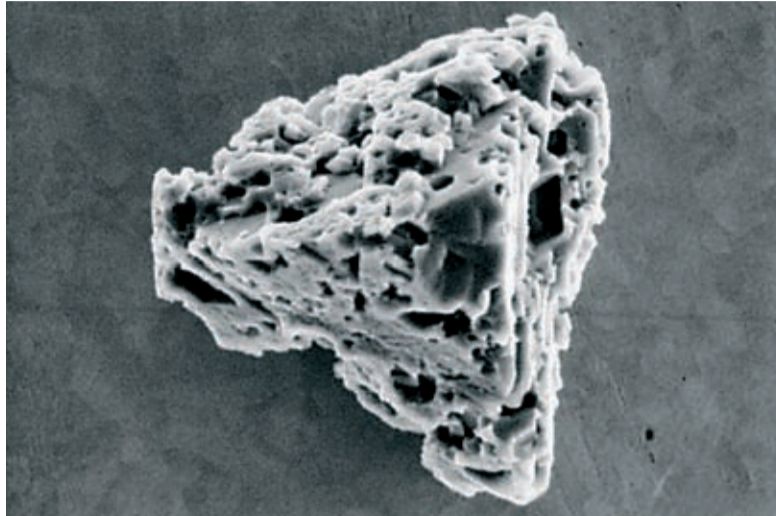
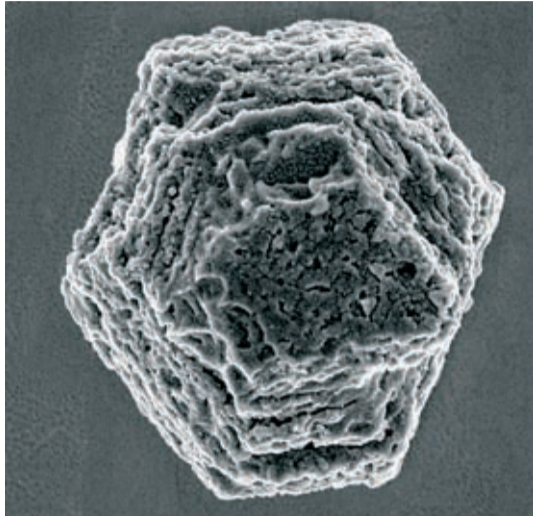
Natürlich haben wir alle immer irgendwie Sternenstaub in der Hand. Beim Urknall sind im Wesentlichen nur Wasserstoff und Helium entstanden – alle anderen Elemente wurden erst später in Sternen geschmiedet. Alles, was nicht Wasserstoff oder Helium ist, *muss* zwangsläufig mal im Innern eines Sterns gewesen sein. Ob Apfel oder Kaffeetasse, ob Haarsträhne oder Buch – was immer wir in die Hand nehmen, besteht aus Teilchen, die alle mal im Innern von Sternen gebildet wurden. Diese Art von Sternenstaub war also gewissermaßen der Rohstoff für alles um uns herum, der dann aber völlig überarbeitet, gleichsam aufgekocht und dabei zerlegt wurde. Die einzelnen Atome im Apfel oder Bleistift stammen aus Sternen – Apfel und Bleistift selbst natürlich nicht.

Ernst Zinner hat es dagegen mit *echtem* Sternenstaub zu tun – mit Teilchen, die genauso aus den äußeren Schichten eines Sterns herausgekommen sind. Ein auffallender Anteil an radioaktiven Stoffen verrät die exklusive Herkunft dieser Teilchen. Zum Beispiel ist der Anteil radioaktiven Stickstoffs oder Kohlenstoffs ganz anders als in der Sonne oder in den Planeten – ein klarer Hinweis, dass dieser Staub eine ganz eigene



Ein vier Mikrometer (= Tausendstel Millimeter) großes Stück Stern im Rasterelektronenmikroskop. Die Experten nennen diese Art Graphitkörner wegen des charakteristischen Aussehens Cauliflower (Blumenkohl). Graphitkörner entstehen vermutlich bei Sternexplosionen (Supernovae) in Bereichen mit hohem Druck nahe der Sternoberfläche. (Aufnahme von Sachiko Amari)

Staubkörner aus Siliziumkarbid (SiC), die vermutlich in den Ausflüssen alter Sterne entstehen. Diese Staubkörner sind mit knapp fünf bzw. sechs Mikrometern ungewöhnlich groß – die meisten sind kleiner als 0,5 Mikrometer. (Rasterelektronenmikroskop-Aufnahmen von Tom Bernatowicz, links, und Sachiko Amari)



Geschichte hat. *Diese Körnchen kommen wirklich aus dem All, was man angesichts der skurrilen Debatte über mögliche fossile Mikroben in Mars-Meteoriten sicher betonen sollte. Der präsolare Staub zeigt, dass in manchen Meteoriten tatsächlich überraschende Funde lauern – die miraculösen Mars-Mikroben hatten hingegen weniger mit Wissenschaft als mit Psychologie (der Massenmedien) und (Finanz-)Politik zu tun.*

STAUBIGE ANSICHTSKARTEN AUS DER MILCH- STRASSE

DIE STAUBKÖRNCHEN BESTEHEN ZUMEIST aus Silizium und Kohlenstoff, und die Forscher lösen sie sehr aufwändig aus den Meteoriten heraus. Doch die Mühe lohnt sich, der uralte Staub hat von seiner langen Reise zu uns jede Menge zu erzählen:

Zum einen erhalten wir Informationen über die Prozesse, die in Sternen stattfinden, also über die Kernreaktionen in den Sternen, aber auch über die Entwicklung der Sterne selbst. Zum anderen lernen wir etwas über die Bedingungen bei der Entstehung des Sonnensystems, weil gewisse Staubkörnchen überlebt haben. Daraus können wir schließen, dass gewisse Temperaturen nicht überschritten wurden oder dass das Gas eine bestimmte chemische Zusammensetzung hatte und so weiter.

Die in den Meteoriten erhaltenen Staubkörnchen zeigen, dass jene kosmische Backmischung, aus der Sonne und Planeten vor fast fünf Milliarden Jahren entstanden sind, Material aus zahllosen früheren Sternen enthalten hat. Zudem waren die Zutaten für unsere kosmische Heimat keineswegs perfekt durchgerührt und komplett aufgekocht.

Die Staubkörnchen stammen aus den Atmosphären alter, massereicher Sterne – oder sie haben sich bei gewaltigen Sternexplosionen, so genannten Supernovae, gebildet.

Wir finden, Gott sei Dank, viele verschiedene Staubkörnchen. Diese Körnchen sind offenbar zu verschiedenen Zeiten entstanden – beziehungsweise die Muttersterne dieser Staubteilchen sind zu verschiedenen Zeiten entstanden und reflektieren daher verschiedene Phasen in der Evolution des Milchstraßensystems.

Ganz aus dem Innern eines Sterns kommen diese Staubteilchen nicht. Bei Temperaturen von Millionen von Graden und hohem Druck würden die Teilchen sofort zerstört werden. Staubteilchen bilden sich in der Atmosphäre von Sternen – wenn man so will, am Rand von Sternen und Sternexplosionen. Dort sind die Bedingungen nicht ganz so extrem. So fransen aufgeblähte Rote Riesensterne am Rand regelrecht aus, Staub und Gas strömen unregelmäßig von diesen Sternen ab und verteilen sich im Weltraum. Alle Gas- und Staubwolken, die die Astronomen im All ausmachen, gehen letztlich auf solche kosmischen Staubschleudern zurück. Tom Bernatowicz, Kollege von Ernst Zinner

Der Helix-Nebel ist ein Planetarischer Nebel. Er ist entstanden, als ein alter Stern seine äußeren Schichten ins All gepustet hat und diese jetzt mit seiner Strahlung zum Leuchten anregt (Sauerstoff violett, Wasserstoff rot). In den Randbereichen von Sternen entsteht viel Staub, Ausgangsmaterial für neue Sterne und Planeten.





Als ESO Ende Januar 2002 diese neue Aufnahme des berühmten Pferdekopf-Nebels veröffentlichte, wäre beinahe der Internet-Server abgestürzt, weil so viele Interessenten das Bild herunterladen wollten. Die markante Wolke enthält viel kaltes Gas und Staub – und wird schon bald zu Sternen werden. Das Rot kommt vom leuchtenden Wasserstoff, Braun vom Staub im Vordergrund; blaugrün erscheint gestreutes Sternlicht.

in St. Louis, ist begeistert, was der Sternenstaub an Informationen über diese dramatischen Vorgänge im All enthält:

Wir erfahren im Detail, wie das alles abläuft – und zwar nicht einfach durch astronomische Beobachtungen. Wir haben diese Teilchen in der Hand – wir untersuchen sie mit Mikroskopen, bestimmen ihre Zusammensetzung, sehen, welche Form die Kristalle haben etc. Das ist wirklich eine sehr aufregende Möglichkeit, sehr, sehr detailliert zu erforschen, wie feste, nicht mehr gasförmige Teilchen in der Galaxis entstehen.

Haben diese Staubteilchen ihren Ursprungstern erst einmal verlassen, vagabundieren sie durch den Raum zwischen den Sternen. So gelangen sie irgendwann in eine große, kalte Gas- und Staubwolke, aus der sich Sterne und Planeten bilden. Als das Sonnensystem vor knapp fünf Milliarden Jahren entstanden ist, haben sich offenbar aus den Resten des solaren Urnebels etliche Meteoriten gebildet, in die sich einige dieser Staubteilchen »unverletzt« retten konnten.

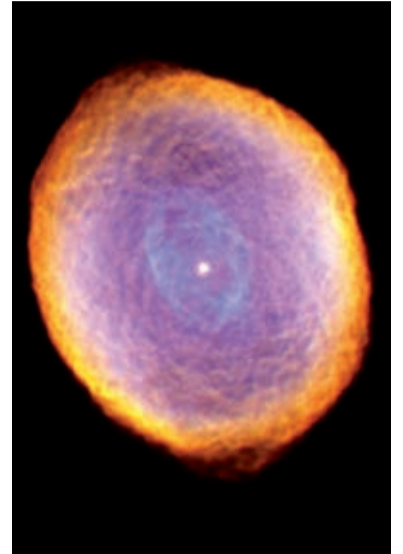
Diese Meteoriten sind im Lauf der Zeit auf die Erde gefallen und schließlich in die Labore in St. Louis gelangt. So erzählt der Staub noch heute, welche chemischen Prozesse sich in den Außenbereichen längst erloschener Sterne abspielt haben und welche Elemente im Innern der Sterne bei der Kernfusion produziert wurden. Zudem erlaubt er Rückschlüsse auf Temperatur, Druck und Dauer dieser Prozesse. Die winzigen Staubkörnchen verraten sogar Einzelheiten über gewaltige Sternexplosionen, erklärt Tom Bernatowicz:

Da haben wir Stoffe, die nur tief im Innern eines sehr massereichen Sterns entstanden sein können. Aber gleichzeitig sind in den Staubteilchen auch Stoffe, die nur aus den kühlen Außenschichten stammen können. Vor und bei der Explosion einer Supernova muss es also zu einem sehr intensiven Durchmischen praktisch des ganzen Sterns kommen. Das theoretisch abzuleiten, ist fast unmöglich – die heutigen Computer reichen dafür gar nicht aus. Aber der Sternenstaub gibt wertvolle Hinweise, welche Berechnungen da tatsächlich nötig sind.

DIE LABOR-ASTROPHYSIK STEHT ERST GANZ AM ANFANG. Aber schon jetzt liefern die »Labor-Astronomen« wichtige Hinweise, was in den turbulenten und theoretisch im Detail kaum nachvollziehbaren Endstadien massereicher Sterne offenbar passiert. Es klingt fast unglaublich: Im Labor zeichnen die verschiedenen Arten von Staubkörnchen die chemische Entwicklung unserer Heimatgalaxie nach – je nachdem, wo und wann der Staub entstanden ist.

Letztlich ist unsere Erde nichts anderes als ein großer Klumpen jenes Materials, das massereiche Sterne am Ende ihres Lebens ins All pusten. Die Kruste unserer Erde besteht überwiegend aus Silikaten, Verbindungen mit Silicium und Sauerstoff. Infrarot-Beobachtungen zeigen, dass Silikate auch in den Gas- und Staubwolken im All vorkommen. Das Team um Ernst Zinner setzt nun alles daran, himmlische Original-Reste des irdischen Urmaterials aufzuspüren: *Das ist natürlich ein Traum. Bisher ist es uns nicht gelungen, Silikate zu finden. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, warum das so ist. Zum einen könnte es sein, dass die Silikate die Entstehung des Sonnensystems einfach nicht überlebt haben. Das wäre schade, aber das ist eine Möglichkeit, mit der wir rechnen müssen. Zum anderen ist es durchaus möglich, dass die Silikatkörner im Durchschnitt wesentlich kleiner sind als die Körner, die wir bisher studiert haben.*

Neue Instrumente sollen nun helfen, noch kleinere Teilchen in den Meteoriten zu beobachten. Womöglich finden die Forscher bald die heiß ersehnten Silikatkörnerchen. So oder so, das »Laborfenster« ins All wird in den nächsten Jahren für manche Bereiche der Astronomie so bedeutend sein wie heute die Nutzung von Teleskop und Computer.

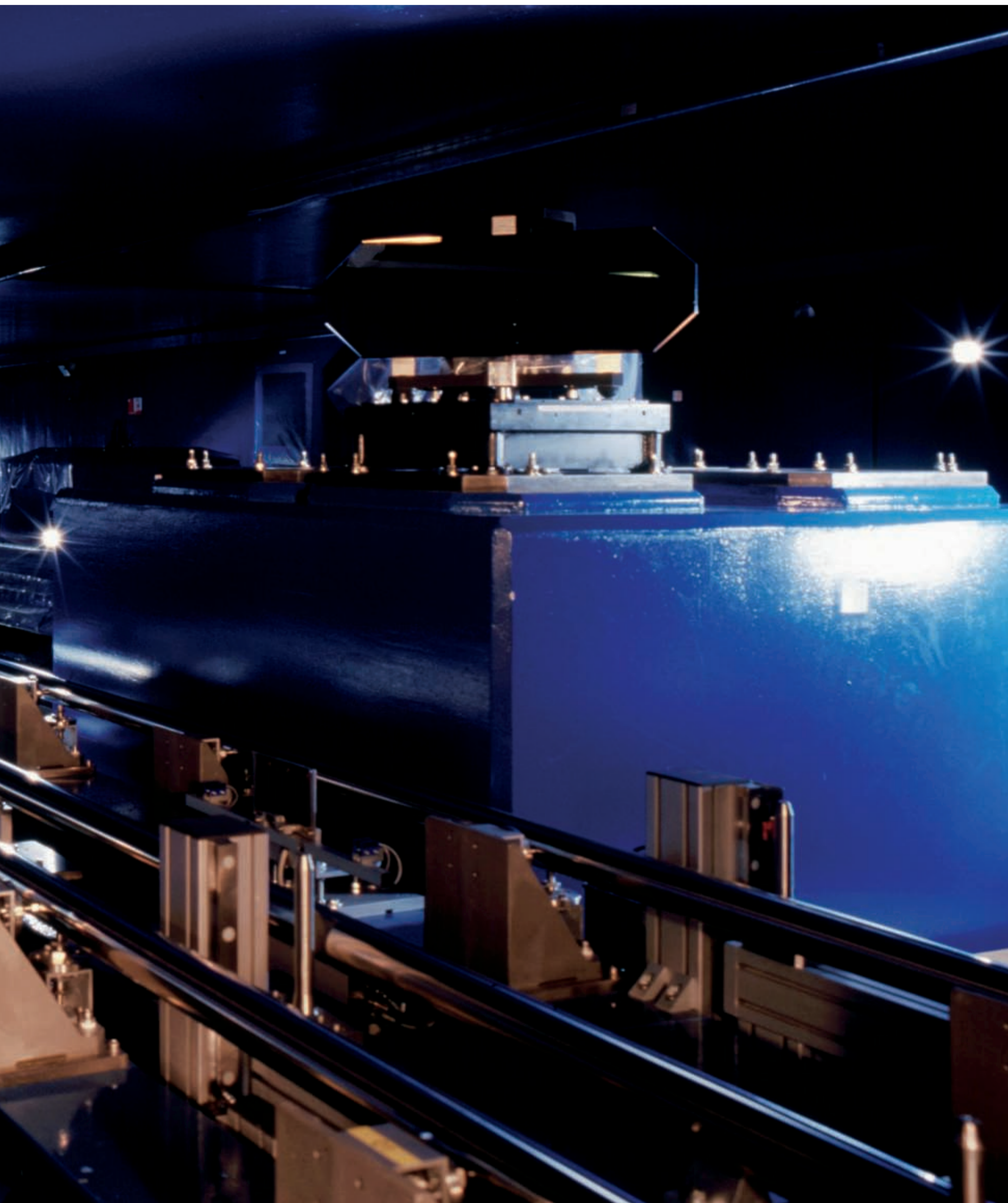


Der Planetarische Nebel IC 418 trägt viel Staub hinaus in den interstellaren Raum. Vielleicht stammen die auf Seite 88 gezeigten Staubkörnchen von einem ganz ähnlichen Stern.

**BALD SILIKATE
VON ALTEN
STERNEN?**



Getrennt beobachten, vereint
entdecken – das VLT-Interferometer



Seite 92/93:
Durch den absolut dunklen Tunnel des VLT-Interferometers laufen die aus dem All kommenden Lichtstrahlen, bevor sie überlagert werden. Das Bild entstand mit Wanderlicht, einer Technik aus den Anfangszeiten der Fotografie. Während der 15-minütigen Belichtungszeit lief ESO-Fotograf Hans Hermann Heyer mit Handblitz den Tunnel auf und ab und setzte alle vier Schritte das Licht. Die Schienen, auf denen die beweglichen Spiegel-Waggons mit äußerster Präzision fahren, hatte er zunächst mit einer Taschenlampe weich ausgeleuchtet. So entstand diese stimmungsvolle Aufnahme der interferometrischen Einrichtungen. Ein Meisterwerk der Technik – und der Fotografie.

NIMM ZWEI, KRIEG EINES

AUF CERRO PARANAL IN DER ATACAMA-WÜSTE steht ein 16-Meter-Teleskop. Klar – auf den ersten Blick ist das nicht zu erkennen: Denn tatsächlich stehen dort vier 8-Meter-Teleskope. Deren summierte Spiegelfläche entspricht aber einem 16-Meter-Teleskop. Vier 8-Meter-Teleskope sind einfacher zu bauen als ein 16-Meter-Teleskop – und vier einzelne Teleskope haben noch viele weitere Vorzüge. Doch die geniale Grundidee des VLT war, ein 16-Meter-Teleskop zu bauen – und sei es »nur« als »Bausatz« aus vier kleineren Teleskopen.

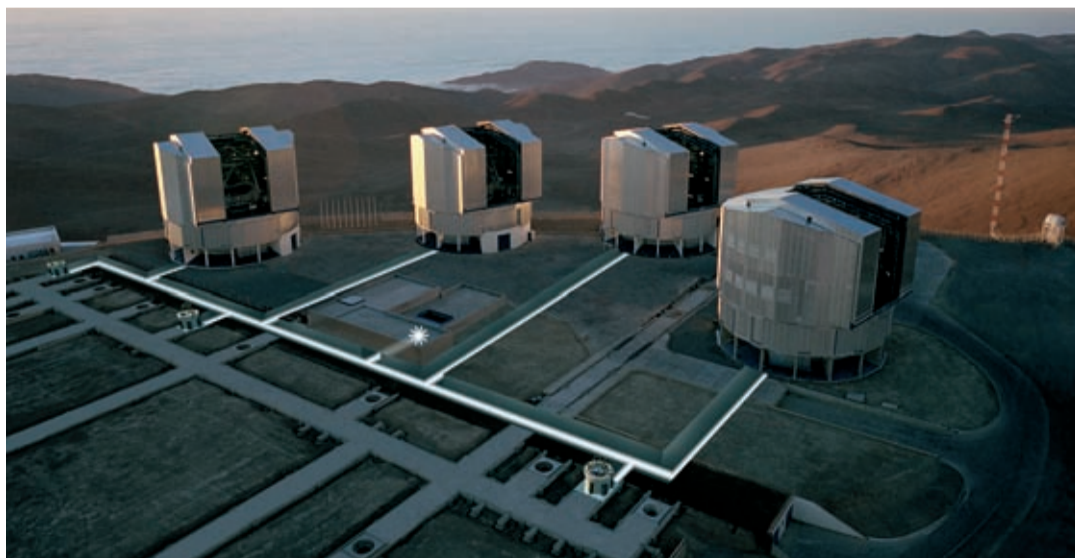
Es ist fast schon Ironie der Geschichte – oder besser: der technischen Entwicklung –, dass die vier Teleskope vermutlich nie als »simples« 16-Meter-Teleskop genutzt werden, wie es Ende der achtziger Jahre einmal geplant war. Alle vier Teleskope sollten auf dasselbe Himmelsobjekt blicken, und dann wollten die Astronomen einfach das von den Einzelteleskopen empfangene Licht addieren. Das wird es auf Paranal vermutlich nie geben – der wissenschaftliche Nutzen wäre auch fraglich.

Aber die ESO wollte noch aus einem anderen Grund vier kleinere Teleskope statt eines großen haben. Wenn zwei, drei oder vier Teleskope des VLT auf dasselbe Objekt gerichtet sind, lässt sich das empfangene Licht so raffiniert kombinieren, dass auf Paranal nicht ein 16-Meter-Teleskop steht, sondern ein Teleskop von sage und schreibe 200 Metern Größe. Schalten die Astronomen die Teleskope exakt zusammen, sind die Teleskope so scharfsichtig, als stünde auf dem Berg ein einziges Teleskop, das so groß ist wie der größte Abstand zwischen den Teleskopen. Die 8-Meter-Teleskope sind bis zu 160 Meter voneinander entfernt, mit Hilfe der verschiebbaren drei »Hilfsteleskope« von 1,8 Metern Spiegel-Durchmesser lassen sich Basislinien von 200 Metern erreichen. Diese Technik bezeichnet man als Interferometrie – die gesamte Anlage als Very Large Telescope Interferometer, kurz VLTI.

ENDE OKTOBER 2001 haben die Astronomen erstmals zwei 8-Meter-Teleskope (Antu und Melipal) zusammengeschaltet – das System wird in den kommenden Jahren laufend ausgebaut. Der technische Aufwand ist enorm groß. Das Licht beider Teleskope wird im »interferometrischen Tunnel« genau unter dem Bergplateau kombiniert. Denn die Interferometrie funktioniert nur, wenn exakt dieselben Lichtwellen, die von dem beobachteten Objekt kommen, kombiniert werden. Es reicht nicht, einfach nur das von den jeweiligen Teleskopen empfangene Licht im selben Brennpunkt zusammenzuführen.



Ein Spiegel-Waggon, der zur Verzögerungslinie im interferometrischen Tunnel gehört, in seiner Parkposition



Schematische Darstellung des VLT-Interferometers: Neben den vier Hauptteleskopen kommen drei verschiebbare »Hilfsteleskope« zum Einsatz, die hier in eine Luftaufnahme montiert wurden. Das Licht läuft in den Tunneln entlang der hell markierten Wege, bis es in das Beobachtungsgerät fällt.



Das Interferometer wurde zunächst mit kleinen 40-Zentimeter-Teleskopen getestet. Künftig werden an solchen Stationen über dem Tunnel die 1,8-Meter-Hilfsteleskope aufgestellt.

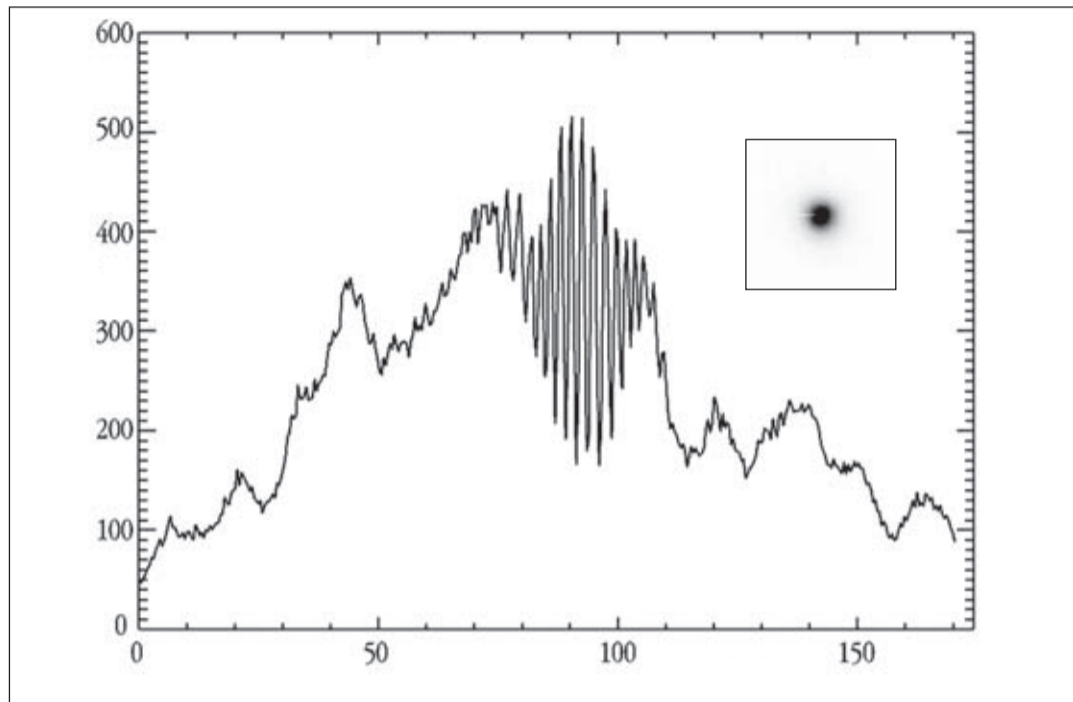
Man kann es sich so vorstellen, als würde man am Strand zwei kleine Kanäle bauen, in die die auslaufenden Wellen schwappen. Laufen die Meereswellen unter einem schrägen Winkel auf den Strand, dann erreicht eine bestimmte Welle den einen Kanal früher als den zweiten. Will man die in die Kanäle gelangte Welle an einem bestimmten Punkt wieder zusammenführen, müssen die Kanäle unterschiedlich lang sein. Dann treffen sich die Wellen wieder. Ganz ähnlich läuft das mit den Lichtwellen, erklärt Markus Schöller, einer der VLT-Astronomen auf Paranal:

Wir fangen mit zwei Teleskopen an, die beide auf dasselbe Objekt gucken. Das Licht wird dann gebündelt durch unterirdische Lichtschächte in den so genannten Delay-Line-Tunnel geschickt. In diesem Tunnel sind zwei optische Elemente, die im Englischen ›Delay Lines‹ heißen, im Deutschen würde man vielleicht ›Verzögerungslinien‹ sagen. Die sorgen dafür, dass der Weg des Lichts vom Stern in unser Labor für beide Lichtwege exakt gleich lang ist. Nach einer Reflexion auf ungefähr fünfzehn Spiegeln sind wir dann mit beiden Lichtstrahlen in unserem Instrument. Dort überlagern wir das Licht aus beiden Teleskopen, und da die beiden Teleskope im Moment 66 Meter auseinander stehen, sind wir in der Lage, Informationen zu gewinnen, die man sonst mit einem 66-Meter-Teleskop gewinnen würde. In unserem Fall hier messen wir den Durchmesser der Sterne.

ÜBER JAHRTAUSENDE WAREN STERNE für Astronomen einfach Punkte am Himmel (mit Ausnahme der Sonne natürlich). Damit ist es nun vorbei, zumindest wenn es um die Sterne in unserer näheren Umgebung in der Milchstraße geht. Gleich bei den ersten Beobachtungen haben Markus Schöller und sein Team direkt die Durchmesser mancher Sterne gemessen. So erschien der Stern Achernar (Alpha Eridani, der neunthellste Stern am Nachthimmel) unter einem Winkel von knapp zwei Millibogensekunden (das ist gut ein Millionstel des scheinbaren Vollmond-Durchmessers). Bei einer Entfernung von 145 Lichtjahren (gemessen vom ESA-Satelliten Hipparcos) entspricht

**STERNE SIND
KEINE PUNKTE
MEHR**

Wird das Licht aus zwei Teleskopen einfach nur auf einen Punkt gelenkt, erscheint der Stern ganz normal (eingeklinkt). Werden die einzelnen Lichtwellen aber präzise überlagert, erscheint magisches Gezappel auf dem Schirm: Als zwei große VLT-Teleskope zum ersten Mal für die Interferometrie zusammengeschaltet wurden, erschien der Stern Achernar auf ungewöhnliche Weise. Form und Höhe dieser »Fringes« verraten unter anderem Größe und Form des Sterns.



das einem Durchmesser von dreizehn Millionen Kilometern. Achernar hat also fast den zehnfachen Sonnen-Durchmesser.

Ein irdisches Beispiel verdeutlicht die enorme Sehschärfe des Interferometers: Beobachtet man von Hamburg aus eine 1-Euro-Münze in Gibraltar, so erscheint auch sie unter einem Winkel von zwei Millibogensekunden. Oder ein Tipp für den nächsten Deich-Spaziergang mindestens zu zweit: Einer bleibt stehen, der andere geht acht Kilometer weiter. Dann reißt sich jeder ein Haar aus und hält es dem anderen gut sichtbar entgegen. Können Sie dann die Dicke des Haares bestimmen oder gar Einzelheiten darauf ausmachen? Nein? Astronomen mit VLTI können das.

Die Astronomen brauchen dazu aber auch ihre Teleskope (mindestens zwei – im Idealfall bis zu sieben) und die langen Verzögerungstunnel im Berg. Von allen Teleskopen läuft das Licht in Tunneln rechtwinklig auf den langen Haupttunnel, der einmal den ganzen Berg durchschneidet. Aus dem Haupttunnel gerät das Licht dann in das Messgerät. Die vielen Teleskope sind kein Luxus. Denn mit zwei Teleskopen beobachten die Forscher gleichsam nur eine Linie von, sagen wir, links nach rechts über den Stern. Zwei andere, versetzt stehende Teleskope beobachten dann entlang einer anderen Linie von, sagen wir, links oben nach rechts unten. Das fertige System mit sieben Teleskopen legt dann kreuz und quer ein dichtes Netz über den Stern. Erst dieses Netz und Teleskope in verschiedenen Entfernungen liefern alle möglichen Informationen über den Stern.

»Schöne Bilder« der Sterne sehen die Astronomen allerdings nicht, sondern Überlagerungsmuster der einzelnen Wellen – so genannte »Fringes« (englisch »Fransen«). Zum Teil löschen sich die Wellen gegenseitig aus oder verstärken sich. Die Astronomen verfolgen, wann die Fringes zu sehen sind, wie sie aussehen, wie schnell sie sich verändern, wie hoch und wie dicht sie sind, und lernen damit etwas über das beobachtete Objekt. Die Fringes mögen unspektakulär aussehen – das überlagerte Licht enthält aber einzigartige Informationen über den Himmelskörper, von dem es kommt, freut sich Markus Schöller:

Das VLT-Interferometer ist geeignet, alle Fragen zu beantworten, die sich auf Skalen abspie-

Die Sterne in unserer Milchstraße im Bereich Schiffskiel erscheinen als Punkte – noch. Schon bald wird das VLT-Interferometer viele Sterne in der Milchstraße auflösen und genauer untersuchen.



len, die deutlich kleiner sind als das, was ein einzelnes Teleskop auflösen kann. Das geht von den einfachen Sachen, die wir im Moment machen, also Stern-Durchmessern, über Entdeckungen von engen Doppelsternen bis zu Sternflecken. Man kann auch Scheiben um Sternsysteme beobachten oder Phänomene aufkleinen Skalen, wie zum Beispiel in dem supermassiven Objekt Eta Carinae, an dem ich arbeite. Ebenso lassen sich die Durchmesser von Cepheiden-Sternen bestimmen. Das sind pulsierende Sterne, deren Durchmesser sich von Nacht zu Nacht verändern. Mit diesen Sternen kann man die Entfernungen im All besser eichen, was sehr wichtig für kosmologische Modelle ist.

VLTI SIEHT DEN MANN IM MOND

DER ANFANG IST GEMACHT. Das VLTI hat bewiesen, dass es funktioniert – der Ausbau schreitet nun zügig voran. Mit dem voll ausgebauten VLTI ließe sich im Prinzip auch ein Mensch auf dem Mond erspähen. Die technischen Anforderungen sind enorm. Herzstück der Anlage sind die Verzögerungslinien in den Tunneln im Berg. Denn während die Teleskope simultan auf ein bestimmtes Objekt gerichtet sind, dreht sich die Erde – entsprechend bewegt sich das Objekt scheinbar am Himmel. Damit ändert sich aber der Winkel, unter dem Licht in das Interferometer gelangt – folglich müssen sich auch die Verzögerungslinien verändern. Aber das hat das VLTI-Team im Griff.

Wir müssen die Bewegung des Sterns am Himmel kompensieren. Wir wissen ja genau, wo wir hingucken, und auch, wo wir in den nächsten Minuten hingucken werden. Unsere Computer hier oben im Kontrollraum werden dann den genauen Weg der Delay Lines berechnen und diesen an das System unten im Tunnel melden für die nächsten zehn Minuten. Hat unser Instrument unten im Labor die Fringes gefunden, wird es jede Bewegung, die es sieht, sofort melden. Das heißt, wenn die Fringes herauswandern sollten, korrigiert es sofort die Delay Lines und hält damit die Fringes für die fünf Minuten, in denen wir Daten aufnehmen, immer im Bild.

Das Instrument, in dem die Lichtwellen überlagert werden, heißt VINCI. Es wurde im Auftrag von ESO vom Observatoire de Paris in Frankreich und dem Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik in Garching gebaut. Zwei weiterentwickelte Geräte werden bald folgen. VINCI ist also gleichsam die Kamera – die Verzögerungslinien sind, wenn man so will, die Linse. Nur wenn sie die Lichtwellen exakt steuern, kann VINCI etwas entdecken. Im interferometrischen Tunnel fahren dazu optische Einheiten hin und her, die zunächst an Waggons einer Garteneisenbahn erinnern. Die Waggons enthalten kleine Teleskope, die mit ihren Spiegeln die aus dem All kommenden Lichtwellen im Tunnel hin- und herschicken. Die einzelnen Waggons können sich etwa sechzig Meter weit bewegen.

DIE GENAUESTE EISENBAHN DER WELT

WÄHREND DAS GANZE INTERFEROMETRISCHE SYSTEM dem Stern nachgeführt wird, fahren die Waggons im Tunnel ganz langsam hin oder her. Dies geschieht mit enormer Präzision: Die absolute Positionsgenauigkeit liegt bei etwa dreißig Mikrometern (das ist weniger als die Dicke eines Haars). Die relative Positionierung – sie ist beim laufenden Betrieb entscheidend, wenn die Fringes erst einmal eingestellt sind – liegt sogar bei etwa zwanzig Nanometern, bemerkt Markus Schöller nicht ohne Stolz:

Wir sind also in der Lage, unser System auf zwanzig Milliardstel Meter genau zu bewegen – und das über Minuten.

Die Verzögerungslinien sind dabei derart stabil, dass selbst kleine Erdbeben, wie sie in der Atacama nicht selten sind, dem ganzen System nichts anhaben können. Die Forscher haben schon »durch Erdbeben hindurch« beobachtet. Da war es, meint Markus Schöller lakonisch, schon mühsamer, die ganzen Vibrationen durch Hydraulik- und

Kühlungspumpen auf dem Berg in den Griff zu bekommen. Das System registriert jede Erschütterung.

Auf Grund der Wellennatur des Lichts darf die Kompensation der Lichtwege gar nicht zu genau erfolgen. Sind die beiden Lichtwege exakt gleich lang, sähe VINCI etwas ganz Helles oder ganz Dunkles oder irgendetwas dazwischen – in einem solchen Signal steckt aber keine Information. Um wirklich die Größe des Sterns, seine Form und Struktur zu ergründen, wenden die Forscher einen Trick an:

Man muss den Lichtweg in einem der beiden Arme modulieren. Das machen wir mit einem so genannten Piezoelement, und das bewegt sich innerhalb eines Scans hundert Mikrometer in eine Richtung und führt damit einen zusätzlichen Unterschied der optischen Weglänge in einem Arm ein. Wenn dieser Weglängenunterschied innerhalb der so genannten Kohärenzlänge liegt, dann kriegt man ein typisches Hell-Dunkel-Muster, und wenn es außerhalb dieser Kohärenzlänge liegt, dann haben wir ein konstantes Signal. Über diese hundert Mikrometer bewegt sich der Piezo hin und her. Das bedeutet für den optischen Pfad, dass er genau das Doppelte sieht, also 200 Mikrometer. Innerhalb dieser 200 Mikrometer sieht man dann auf den hoffentlich mittleren vierzig Mikrometern dieses Fringes-Muster, das für uns die ganze Information enthält.

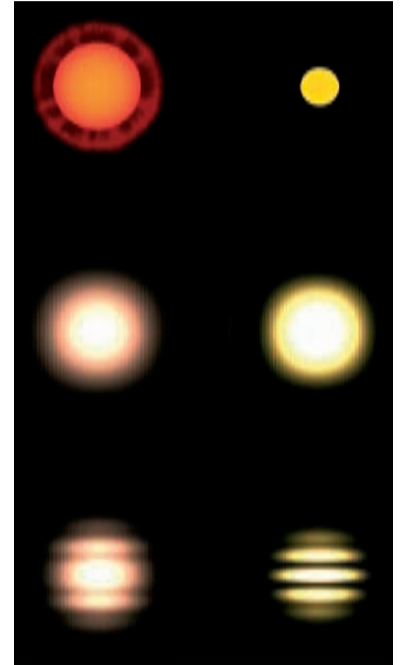
Wem das jetzt zu technisch ist, braucht sich nicht zu grämen. Selbst unter Astronomen gilt Interferometrie noch immer als eine etwas exotische Disziplin, die vermeintlich nur für Spezialisten geeignet ist – zumindest im optischen und Infrarotbereich. Denn im Radiobereich gehört das Zusammenschalten der Teleskope seit Jahrzehnten zur Routine. Im Radiobereich ist das wegen der größeren Wellenlängen etwas einfacher – Radioteleskope werden sogar über Kontinente hinweg zusammengeschaltet. Radiointerferometrie simuliert also Teleskope von bis zu zehntausend Kilometern Durchmesser.

Jetzt endlich ist diese Technik – auf Paranal und einigen wenigen anderen Sternwarten – auch im optischen und Nah-Infrarotbereich zum Greifen nahe. Dann geht es bald nicht mehr »nur« um die Größe von Sternen:

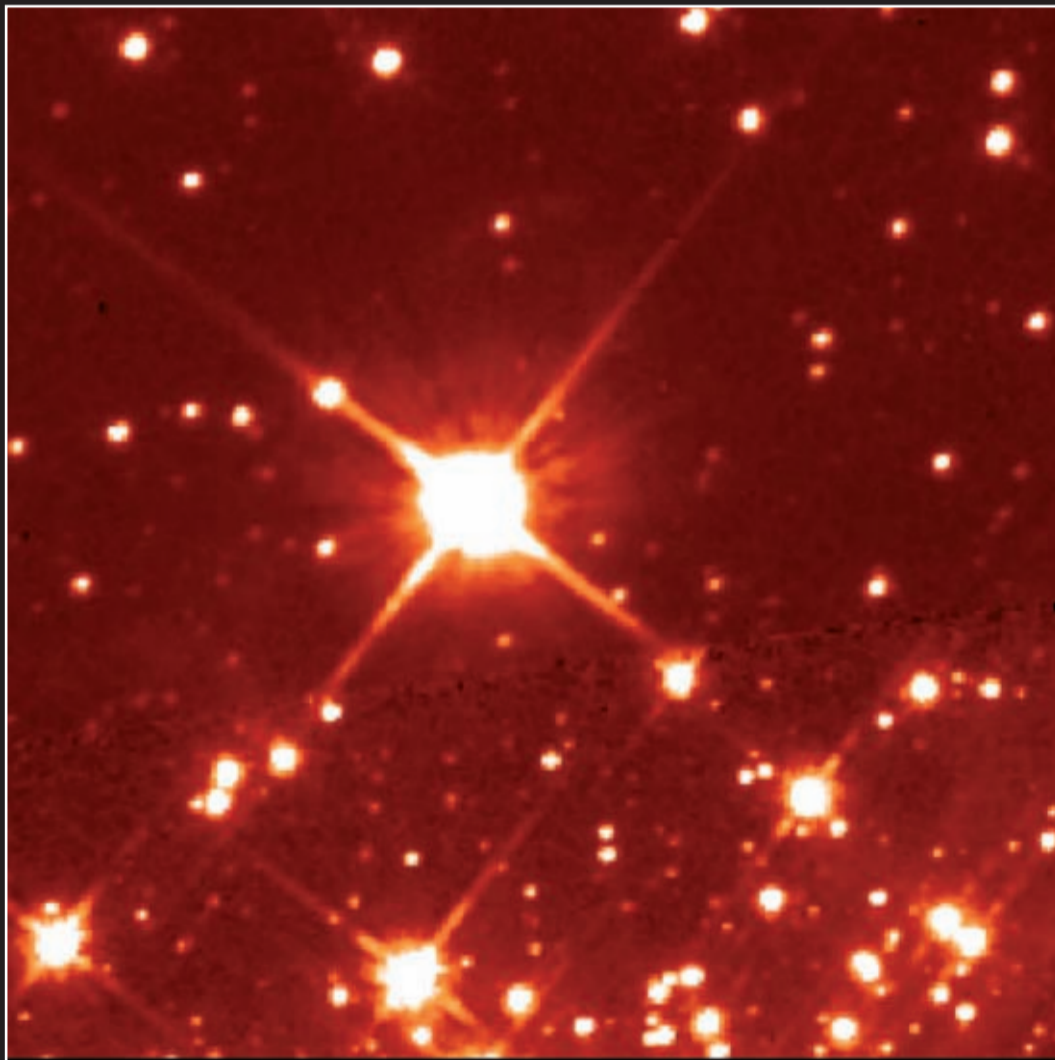
Wir hoffen, dass wir später in der Lage sein werden, die Kerne aktiver Galaxien zu beobachten und das Galaktische Zentrum unserer eigenen Milchstraße und so weiter. Das sind nur einige Ideen, die wir im Moment haben. Wir hoffen, dass die anderen Astronomen noch viel mehr Ideen haben werden. Wir wollen bis Ende 2003 dahin kommen, dass das komplette Interferometer so benutzbar ist wie die einzelnen Teleskope auch. Dann kann in der nicht all zu fernen Zukunft jeder Astronom, der eine Frage an sein Lieblingsobjekt hat, sich überlegen, ob die Interferometrie in der Lage ist, diese Frage zu beantworten. Bisher ist es eben noch so, dass es so wenige Leute gibt, die wirklich verstehen, wie das funktioniert, dass die anderen sehr zurückhaltend sind gegenüber der Interferometrie. Wir hoffen, dass sich das mit VLTI völlig verändern wird.

Salopp gesagt: Die anderen Astronomen sollen verstehen, wozu Interferometrie gut ist und was man mit ihr erforschen kann – wie die Technik genau funktioniert, braucht der normale Besucherastronom nicht unbedingt zu verstehen. Das gilt im Übrigen genauso für die anderen Großteleskope und deren Instrumente. Die werden von den meisten Astronomen auch »nur« benutzt. In der Zukunft werden interferometrische Beobachtungen eine außerordentlich wichtige Rolle spielen, zum Beispiel bei der Suche nach fernen Planeten. Gelingt so das erste Bild eines fernen Planeten?

Wer nachts an das gestirnte Firmament blickt, sollte sich immer klar machen, dass wir derzeit einen enormen Umbruch in der viele Jahrtausende alten beobachtenden Astronomie erleben: Sterne werden nie wieder Punkte sein.

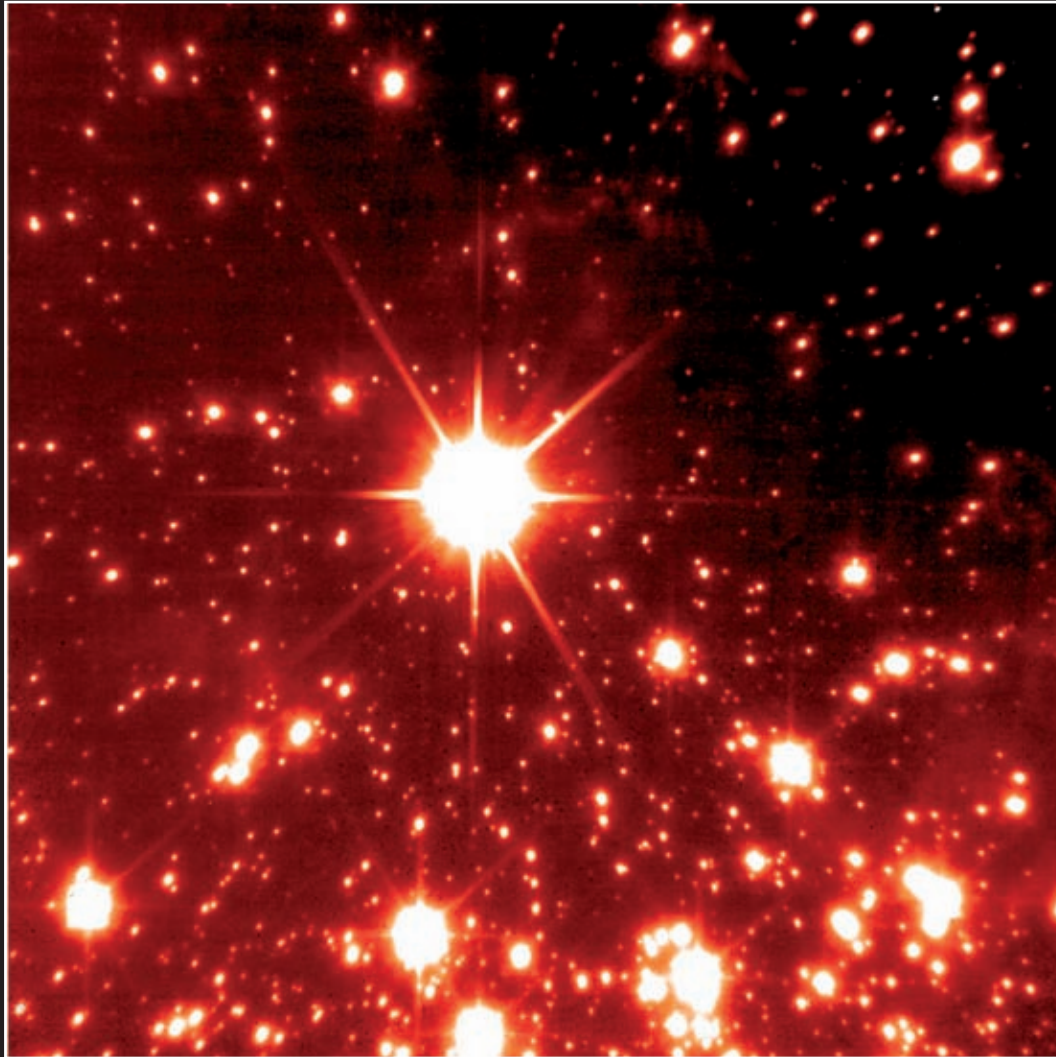


Schematische Darstellung, wie unterschiedliche Sterne bei interferometrischer Beobachtung erscheinen. Die obere Reihe zeigt zwei Sterne (einen kleinen gelben und einen großen roten Stern). Die Beobachtung mit nur einem Teleskop (Mitte) lässt kaum Unterschiede erkennen. Aber bei der Interferometrie (unten) zeigen sich völlig unterschiedliche Muster. Umgekehrt lassen sich aus den beobachteten Mustern die Sterngrößen bestimmen.



Ein Sternfeld am Rand des Sternhaufens NGC 3603. Das Hubble-Weltraumteleskop hat diese Aufnahme oberhalb der Erdatmosphäre mit seinem 2,4-Meter-Spiegel und der Wide Field Planetary Camera 2 gemacht.

Besser als Hubble – wie adaptive Optik die Atmosphäre ausschaltet



Dasselbe Sternfeld am Rand des Sternhaufens NGC 3603. Das VLT (Yepun, UT4) hat diese Aufnahme vom Erdboden aus mit seinem 8,2-Meter-Spiegel und NAOS/CONICA (adaptive Optik) gemacht.

LAIEN MAG DAS FUNKELN DER STERNE romantisch erscheinen – Astronomen sind die von der Atmosphäre verbogenen Lichtstrahlen ein ebenso verhasster Feind wie dicke Wolken. Selbst an den besten Standorten auf der Erde schiebt sich mal eine Wolke vor das Teleskop – und der turbulenten Bewegung der Lufthülle über ihr kann ohnehin keine irdische Sternwarte entfliehen. Gegen Wolken gibt es bislang noch kein Mittel – aber durch die Luftunruhe verschmierte Sterne brauchen sich die Astronomen nicht mehr gefallen zu lassen. Das Zauberwort heißt »adaptive Optik«.

Das Teleskop greift einen kleinen Teil des einfallenden Sternlichts ab und leitet ihn auf einen Extradetektor. Computer analysieren innerhalb einer Tausendstel Sekunde die Bildverschmierung. Sie leiten diese Daten an einen kleinen Korrekturspiegel im Strahlengang, der extrem leicht zu verformen ist und über 185 Druckpunkte verfügt. Die Form des »Gummi-Spiegels« wird so verändert, dass aus dem verbogenen und verwachsenen Sternbildchen wieder ein scharfes Bild wird. Dieses Verfahren ist die »adaptive Optik«: Die Optik passt sich stets den veränderten Bedingungen in der Atmosphäre an – und das bis zu tausend Mal pro Sekunde. Beim VLT arbeitet die »adaptive Optik« seit Ende November 2001 am Unit Telescope 4, auch Yepun genannt. ESO-Generaldirektorin Catherine Cesarsky gerät über die beiden verwendeten Instrumente NAOS und CONICA ins Schwärmen:

*Damit stellen wir die Sterne perfekt scharf. Wir beobachten fast so, als wären wir im Welt-
raum, als hätten wir keine Atmosphäre über uns.*

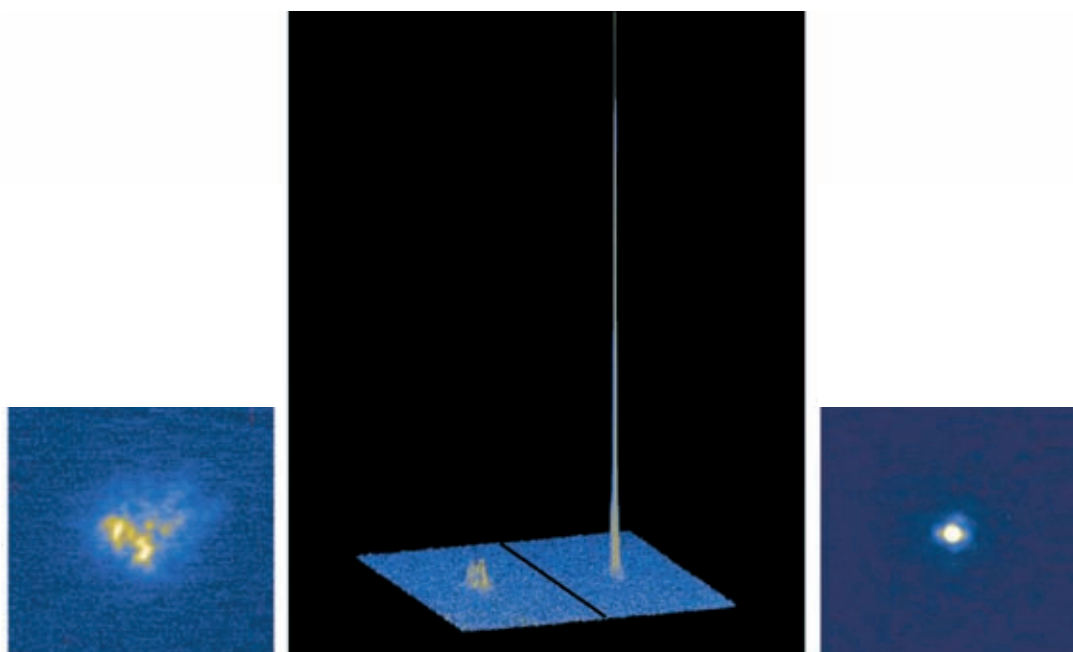
Das VLT arbeitet damit jetzt besser als das Hubble-Weltraumteleskop. Hubble hat nur einen Spiegel von 2,4 Metern Durchmesser – die Fläche ist somit zwölfmal kleiner als bei einem VLT-Spiegel. Das VLT sammelt also sehr viel Licht – und kann zudem stets modernste Zusatzgeräte anbauen, was bei Hubble jedes Mal einen Flug mit dem Space Shuttle erfordert. Allerdings arbeitet die adaptive Optik bisher »nur« im nahen Infrarot, also bei Licht, das etwas langwelliger ist als das für das bloße Auge sichtbare Licht. Zudem ist nur eines der vier VLT-Teleskope mit so einem System ausgestattet. Im Regelbetrieb sieht also nach wie vor Hubble schärfer – das Weltraumteleskop hat eben niemals atmosphärische Turbulenz vor dem Spiegel (es sei denn, das Hubble-Team ließe das Teleskop auf die Erde blicken). Aber wenn es darauf ankommt, ist das VLT noch scharfsichtiger.

**ADAPTIVE OPTIK
BRAUCHT HELLE
STERNE – NOCH**

BEI ADAPTIVER OPTIK AM VLT gibt es derzeit noch ein »Problem«: Die ESO-Astronomen brauchen für die Bildanalyse einen »recht hellen« Stern dicht neben dem zu beobachtenden Objekt (einen Stern heller als 18. Größe im Umkreis einer Bogenminute – ein Stern 18. Größe ist 100 000-mal schwächer als die schwächsten gerade noch mit bloßem Auge sichtbaren Sterne, und eine Bogenminute ist ein Dreißigstel des Vollmond-Durchmessers). Domenico Bonaccini, Physiker bei ESO, sorgt dafür, dass diese Einschränkung bald verschwindet:

Da nicht überall am Himmel helle Sterne sind, setzen wir auf das Teleskop einfach einen Scheinwerfer – so wie man in einer Mine eine Grubenlampe am Kopf hat. Wo immer man hinsieht, hat man dieses Licht vor sich. Genauso machen wir das mit VLT: Wir schaffen einen künstlichen Stern im Blickfeld. Es gibt viele Milliarden Sterne am Himmel – aber wir brauchen einen mehr.

Ein Scheinwerfer auf einem Teleskop? Das klingt verrückt – aber keine Sorge, auf dem Teleskop wird kein Flutlicht installiert, das beim Beobachten den Berg taghell ausleuchtet und damit das kosmische Leuchten verschwinden lässt. Bonaccinis »Scheinwerfer« ist Hightech vom Feinsten:



»First Light«-Bild der adaptiven Optik am VLT. Ein Stern erscheint bei »normaler« Beobachtung stark verschmiert und unscharf (links), denn die Luftunruhe verteilt das Licht des Sterns über einen größeren Bereich (in der Grafik links). Wird die Luftunruhe dank adaptiver Optik korrigiert, fällt praktisch das gesamte Licht konzentriert auf einen sehr kleinen Bereich (in der Grafik rechts) – der Stern erscheint nahezu perfekt als Punkt (rechts).

Wir machen das mit einem starken Laser, dessen Licht in neunzig Kilometern Höhe eine Natriumschicht zum Leuchten anregt. Das ist ein Laser, der bei 589 Nanometern Wellenlänge strahlt. Der produziert einen künstlichen Stern, und wir nutzen dann die Strahlung der angeregten Natrium-Atome, um zu sehen, wie sehr die Atmosphäre diesen künstlichen Stern stört. Das korrigieren wir dann entsprechend mit der adaptiven Optik.

Ende 2003 soll der »Laser Guide Star«, also der Laser-Leit-Stern, an Yepun zur Verfügung stehen. Die Astronomen wissen genau, was von diesem »Kunststern« im Teleskop zu sehen sein müsste. Aus dem davon abweichenden tatsächlichen Bild schließen sie auf die Luftturbulenzen, denen das Licht des Lasers und der »echten« beobachteten Objekte auf dem Weg durch die Atmosphäre ausgesetzt war. Entsprechend korrigiert der »Gummi-Spiegel« die Luftunruhe. Der »Kunststern« erscheint im Teleskop etwa so hell wie ein Stern 9. Größe, also wie ein Stern, der zwanzigmal schwächer ist als die schwächsten mit bloßem Auge sichtbaren Sterne.

DIE FORSCHER MÜSSEN DIESEN KUNSTSTERN wirklich weit oben in die Atmosphäre brennen, damit die Luftturbulenzen komplett zwischen dem Kunststern und dem Teleskop liegen – nur dann ist die Korrektur wirklich optimal. Das Natrium in der hohen Atmosphäre, das die Forscher dafür nutzen, ist übrigens buchstäblich ein Geschenk des Himmels, strahlt Domenico Bonaccini:

Das Natrium in der oberen Atmosphäre, in der Mesosphäre, kommt von Meteoriten, die die Erde treffen, während wir uns durch den Weltraum bewegen. Es ist kaum bekannt, dass die Erde pro Tag Tausende von Tonnen Material aus dem All aufnimmt. Das Natrium bleibt aus bestimmten Gründen da oben, und somit können wir es mit einem Natrium-Laser anregen.

Adaptive Optik gibt es seit den achtziger Jahren – die ESO betreibt seit Jahren am 3,6-Meter-Teleskop auf La Silla sehr erfolgreich das System »ADONIS«. Ein Laser Guide Star ist aber technisch äußerst aufwändig – nur wenn Laser-Projektion und adaptive Optik optimal aufeinander eingestellt sind, kann so ein System stabil arbeiten. Bisher haben nur zwei Sternwarten auf der Welt ein solches System im Routinebetrieb eingesetzt: das Lick Observatory in Kalifornien und das Observatorium auf dem Calar Alto in Südspanien, einer Außenstelle des Max-Planck-Instituts für Astronomie in Heidelberg. Bonaccini hat an Beiden beobachtet – und will jetzt so ein System am VLT installieren.

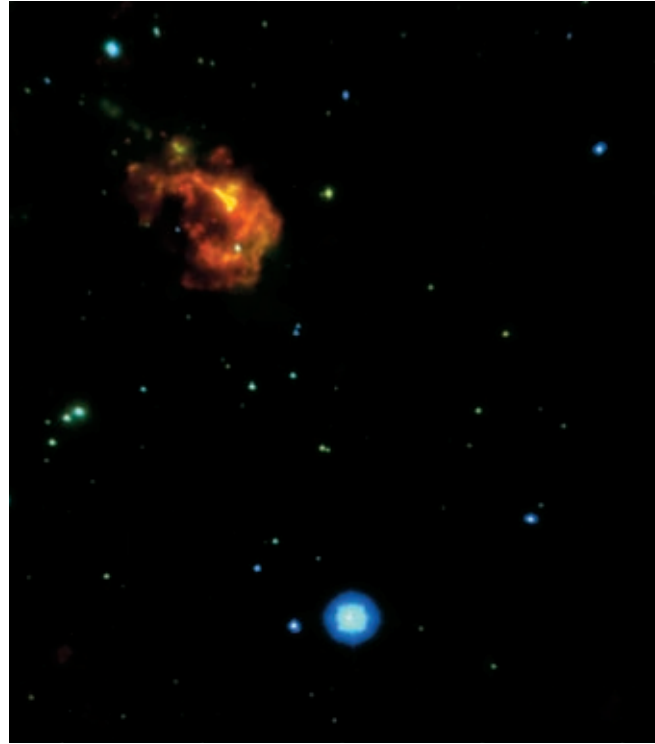
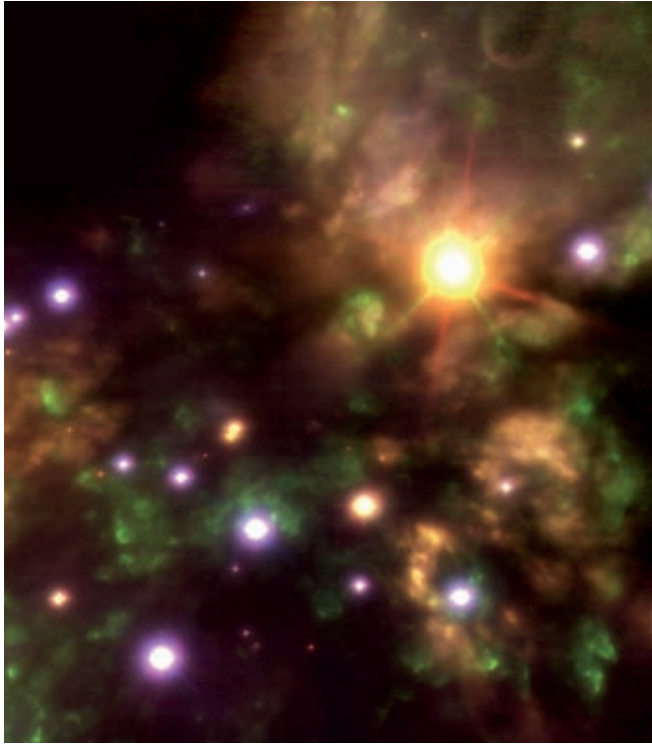
Der mit einer Leistung von zehn Watt arbeitende Laser wird in einem staubfreien »Reinraum« auf einer der Beobachtungsplattformen stehen. Fünf Mikrometer dünne Lichtleiter führen das Licht an das obere Ende des 8-Meter-Teleskops – möglichst ohne viel Streulicht im Teleskop zu verursachen. Hinter dem Sekundärspiegel des 8-Meter-Teleskops, der in der Mitte des Top-Rings am oberen Ende des Teleskops montiert ist, baut das Team um Domenico Bonaccini ein weiteres Gerät an:

Da montieren wir ein kleines 50-Zentimeter-Teleskop, das in einem etwa zwei Meter langen Zylinder sitzt. So klein ist das gar nicht, aber wenn es auf einem 8-Meter-Teleskop sitzt, ist

**EIN GESCHENK
DES HIMMELS
FÜR DEN LASER-
STERN**

Zwei Sternentstehungsgebiete – beobachtet mit adaptiver Optik. Links das »Becklin-Neugebauer-Objekt« im Orion-Nebel (siehe auch Seite 80 – das untere Ende des »roten Schmetterlings« rechts oberhalb des Trapez-Haufens), rechts die 8000 Lichtjahre

entfernte Region G5.89-0.39. Beide Bilder zeigen enorm viele Details. Auf dem rechten Bild sind bei einer Auflösung von 0,06 Bogensekunden trotz der großen Entfernung noch Strukturen zu sehen, die nur doppelt so groß sind wie unser Sonnensystem.



es eben doch nur der »little boy«. Dieses Teleskop projiziert den Laserstrahl nach draußen ins All.

Das kleine Teleskop hat fünfzig Zentimeter Öffnung und ist sehr kompakt gebaut: Viel länger darf es gar nicht sein, denn sonst passte es nicht mehr in das Teleskop-Gebäude oder würde beim Bewegen des großen 8-Meter-Teleskops immer an die Wand schlagen.

VLT AN HIMMEL: HIER SIND WIR

IN DEM HAUCHDÜNNEN LICHTLEITER wird eine Energiedichte von 25 Megawatt pro Quadratzentimeter erreicht – da sind viele Sicherheitsvorkehrungen einzuhalten, zu allererst ein wirksamer Brandschutz. Sonst brennt der Laser ganz andere Sterne und die nicht nur am Himmel. Der Laserstrahl als solcher ist zwar eher ungefährlich, dennoch gibt es sogar ein System, das verhindert, dass Flugzeuge in den Laserstrahl geraten. Gelangt ein Flugzeug im Umkreis von siebzig Grad ins Blickfeld des Lasers (das ist ein riesiges Gebiet am Himmel), so schaltet das Lasersystem automatisch ab. Bonaccini weiß über eine solche Vorrichtung eine schöne Anekdote zu erzählen:

Ich war mal an einer anderen Sternwarte, die so ein Laser-System hatte. Dann kam ein Privatflugzeug vorbei, und das Gerät hat sich automatisch abgeschaltet. Als das Flugzeug vorbei war, haben wir den Laser wieder angemacht. Da ist das Flugzeug umgedreht, um zu sehen, woher das Licht kam. Wir haben in jener Nacht zwei Stunden verloren, weil dieses Privatflugzeug immer hin- und herflog, um nach dem schönen Licht zu gucken. Wir hätten es beinahe per Funk angesprochen, es möge weiterfliegen. Wir haben zwei Stunden Beobachtungszeit verloren – aber darüber lachen wir heute noch.

Das 50-Zentimeter-Teleskop, das den Laserstrahl nach oben schickt, muss perfekt auf der optischen Achse des 8-Meter-Teleskops sitzen. Wenn nicht, wäre der Kunststern nicht im Blickfeld des Hauptteleskops und somit für die adaptive Optik nicht zu verwenden – allein die korrekte Justierung ist eine Wissenschaft für sich. Wenn aber alles klappt, geht der Laserstrahl genau in Richtung des Teleskops nach oben.

Ein Teil des Lichts kommt zurück zu uns – und ein Teil geht hinaus ins All. Vielleicht sieht uns jemand. Aber wenn uns einer sieht, wird es ohnehin zu spät sein – wir wären dann nicht mehr hier ...

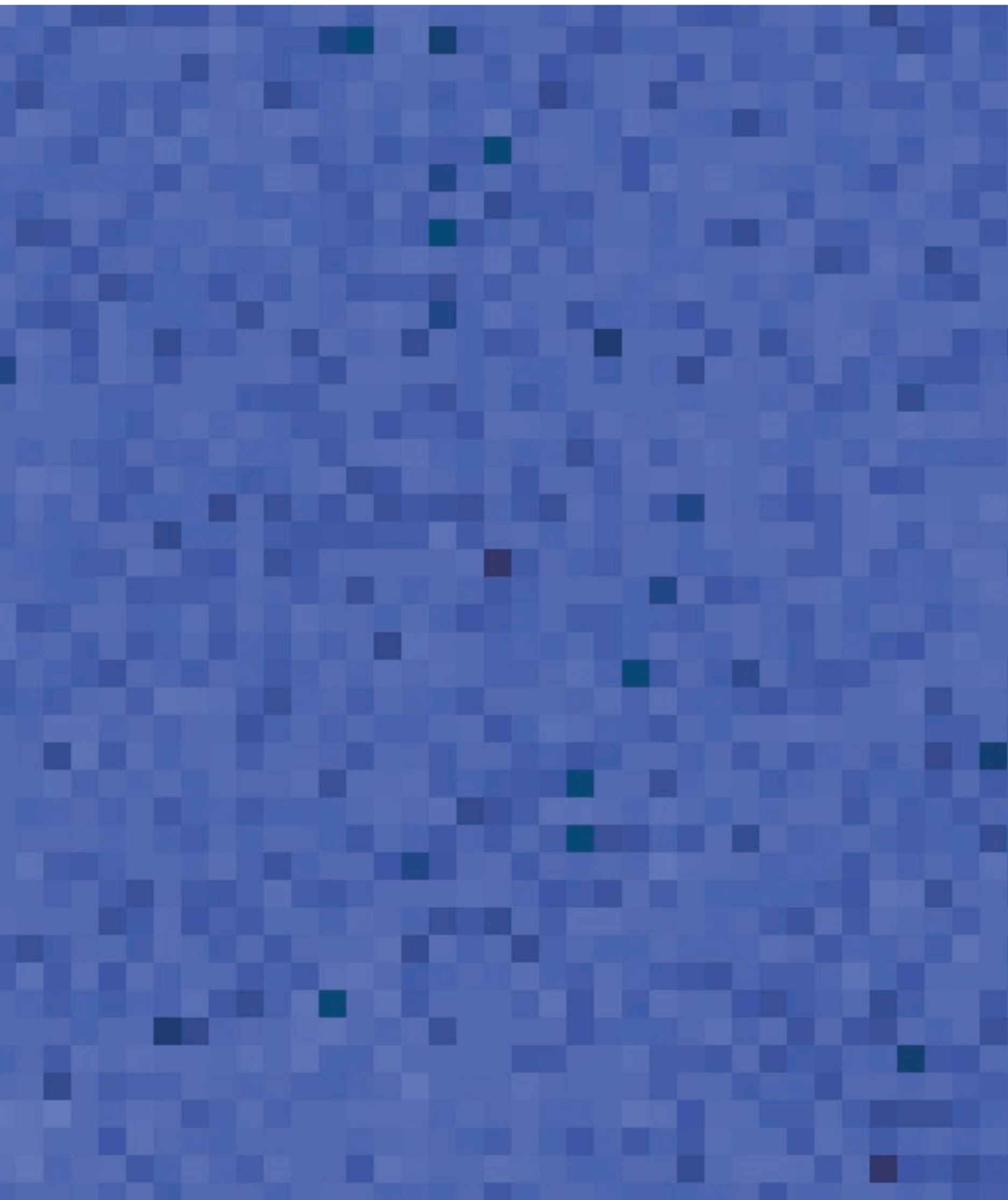
Bonaccini lacht – dabei ist »sein« Laser Guide Star alles andere als ein Gag. Das Lasersystem ist wissenschaftlich äußerst bedeutend. Noch sind die Astronomen auf die echten hellen Sterne am Himmel angewiesen – im Umkreis von fünfzehn bis dreißig Bogensekunden kann die adaptive Optik dann das Bild perfekt schärfen. Genügend helle Sterne gibt es praktisch nur in der Ebene unserer Milchstraße. Wer Objekte außerhalb der Milchstraße sehen will, wie Quasare und andere weit entfernte Galaxien, der kann ohne Laser-Leit-Stern nicht arbeiten. Bisher stehen der adaptiven Optik ein bis zwei Prozent der Himmelsfläche zur Verfügung – demnächst ist es praktisch der ganze Himmel.

Zudem richtet das Team um Domenico Bonaccini das System so ein, dass es sich bei weiteren Instrumenten, die mit adaptiver Optik arbeiten, problemlos auf fünf Leitsterne erweitern lässt. Diese Option könnte 2006 wahr werden. Dann lassen sich sogar recht große Himmelsflächen perfekt scharf stellen. Bisher ist der von der adaptiven Optik korrigierte Bereich maximal eine Bogenminute groß (das ist etwa ein Dreißigstel des Vollmond-Durchmessers) – mit den fünf Leitsternen kann die adaptive Optik einen Bereich von vier Bogenminuten Größe korrigieren (das ist etwa ein Achtel des Vollmond-Durchmessers).

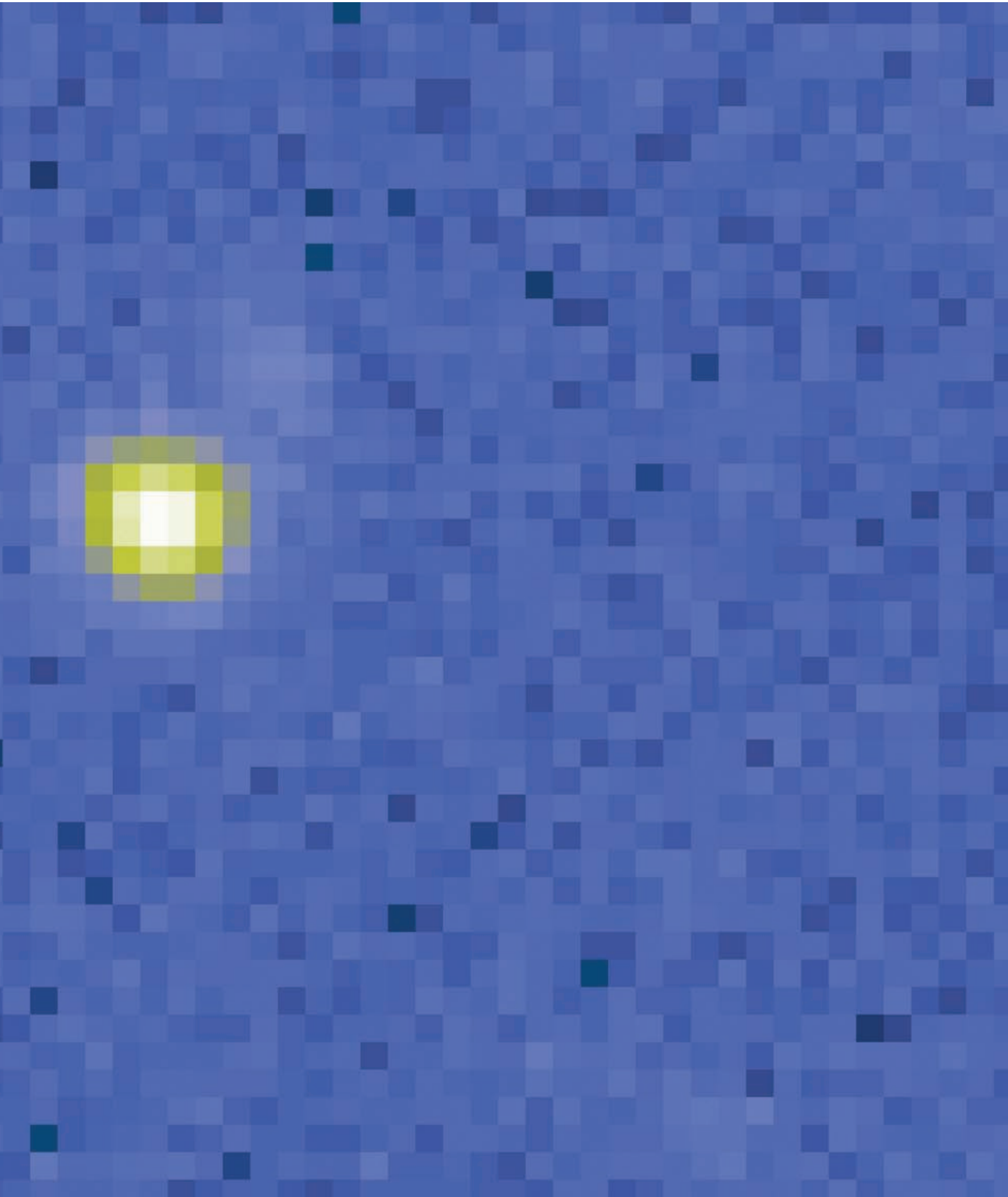
Doch ob ein oder fünf Leitsterne: Ab Ende 2003 beobachten die Astronomen überall am Himmel so scharf, als stünde das Very Large Telescope nicht auf Cerro Paranal in der Atacama, sondern 500 Kilometer höher in der Erdumlaufbahn.



NAOS/CONICA, montiert am VLT-Teleskop Yepun (UT4). Im dunkelblauen Bereich kommt das Licht aus dem Teleskop. NAOS (hellblau) korrigiert das Bild mittels adaptiver Optik – es ist in Zusammenarbeit mit ESO von ONERA (Office National d'Etudes et de Recherches Aérospatiales), dem Labor für Astrophysik in Grenoble und den DESPA- und DASGAL-Laboratorien des Observatoire de Paris in Frankreich entwickelt worden. Die Infrarotkamera CONICA (rot) wurde in Zusammenarbeit mit ESO von den Max-Planck-Instituten für Astronomie in Heidelberg und für Extraterrestrische Physik in Garching gebaut.



Und es ward Quasar – wie dem Universum ein Licht aufging



Seite 106/107:

So weit die Photonen tragen ... Der Quasar SDSS 1044-0125 gehört mit einer Entfernung von mehr als 14 Milliarden Lichtjahren zu den entferntesten bekannten Objekten. Die Lichtteilchen, die sich auf diesem Bild verewigt haben, machten sich auf den Weg, als der Kosmos gerade einmal 800 Millionen Jahre alt war. Von Sonne und Erde war da noch lange nicht die Rede!

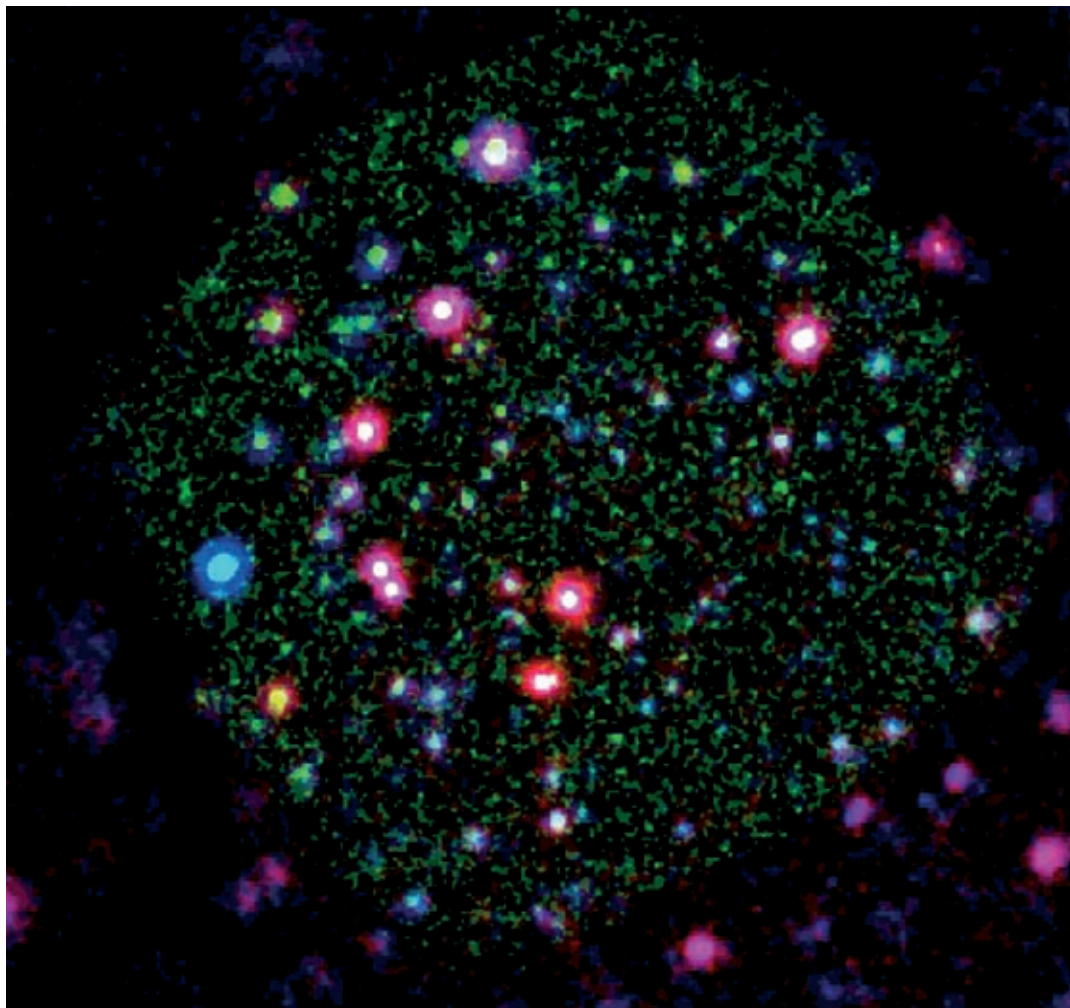
DER KOSMOS BEGANN MIT EINEM STROHFEUER – pardon, mit dem Urknall natürlich. Aber es knallte eben nur recht kurz – und nach spätestens 500 000 Jahren war im All öde Finsternis eingekehrt. Die Forscher sprechen von den »Dark Ages«, vom dunklen, weil noch sternlosen Zeitalter. Erst viel später zündeten die ersten Sterne und machten wieder Licht im Kosmos.

Wer diese Frühphase des Kosmos beobachten will, muss ganz weit hinaus blicken. Einer der tiefsten Blicke ins All überhaupt gelang dem Team um Xiaohui Fan vom Institute for Advanced Study in Princeton. Fan ist Mitglied des Sloan Digital Sky Survey, einer von der Sloan-Foundation geförderten aufwändigen Himmelsdurchmusterung. Dabei haben die Forscher einen mehr als vierzehn Milliarden Lichtjahre entfernten Quasar entdeckt, einen hellen Galaxienkern. Die Astronomen sehen dieses Rekordobjekt also so, wie es vor vierzehn Milliarden Jahren war:

Das Interessanteste an diesem Quasar ist, dass wir das Ende des dunklen Zeitalters sehen – also die Zeit, in der das Universum begann, wieder hell zu werden. Wir sehen im Licht des Quasars, dass sich das Universum zu dieser Zeit verändert.

Als sich das Licht dieses Quasars auf den Weg gemacht hat, gab es noch viel kalten, so genannten neutralen Wasserstoff im All. Heute ist das dünne Gas, das den Raum zwischen den Galaxien ausfüllt, extrem heiß – ionisiert, wie die Fachleute sagen: Die vielen Sterne im All haben das Gas geradezu aufgekocht. Aber damals, vor vierzehn Milliarden Jahren, gab es erst sehr wenige Sterne – der Kosmos war noch recht kühl.

Im Bereich des »Lockman Hole« stört nur sehr wenig Gas und Staub den Blick in die Tiefen des Alls. Diese Aufnahme des deutschen Röntgensatelliten ROSAT (er ist noch im All, aber nicht mehr in Betrieb) zeigt vor allem Quasare in Milliarden von Lichtjahren Entfernung.



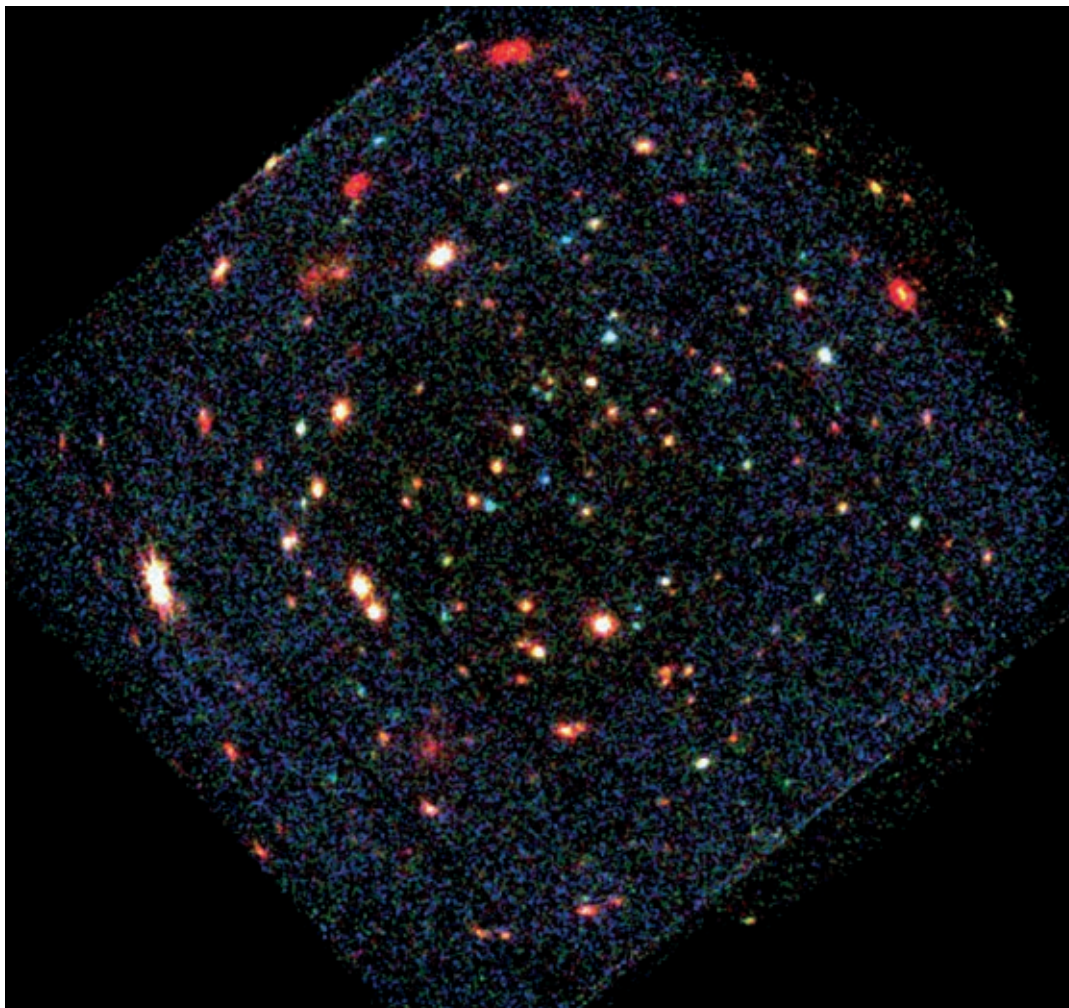
Zerlegen die Astronomen das Licht des Quasars in seine Farben (also in sein Spektrum), dann ist in einigen Bereichen nichts zu sehen: Die kalten Wasserstoffatome haben bei bestimmten Wellenlängen das Quasarlicht verschluckt.

Wir sehen jetzt erstmals, dass es damals noch viel kalten Wasserstoff gab. Bei diesem Quasar reicht unser Blick zurück in die Phase des Kosmos, in der sich die ersten Galaxien und Quasare bilden.

Die ersten Sterne waren bereits entstanden und hatten das Gas in ihrer unmittelbaren Umgebung schon aufgeheizt – aber dazwischen gab es noch große Gebiete kühlen Gases im All. Heißes Gas lässt das Licht ungehindert passieren – der kalte Wasserstoff »prägt« dem Spektrum seine Spuren auf. Mehr als 35 Jahre haben die Astronomen auf die Entdeckung des kalten Wasserstoffs gewartet; jetzt ist die Entdeckung fast ein Stück für Hollywood. Denn dass kaltes Wasserstoffgas zwischen den Galaxien seine Spuren im Licht sehr weit entfernter Objekte hinterlassen müsste, hatten die Astronomen Jim Gunn und Bruce Peterson bereits 1965 vorhergesagt. Heute ist Jim Gunn einer der Leiter des Sloan Survey.

Wir haben ihm sofort diese Entdeckung gezeigt – und er war sehr erfreut, berichtet Xiahoui Fan. Sein Projekt hat jetzt etwas entdeckt, was er noch als Student vorhergesagt hat.

Endlich *sehen* die Astronomen alle Phasen des kosmischen Wechselbades: Nach dem Urknall war das Universum zunächst extrem heiß und strahlend hell, dann kalt und buchstäblich nachtschwarz, heute wieder heiß und voller Sterne. Die Forscher staunen



Der europäische Röntgensatellit XMM-Newton zeigt im »Lockman Hole« sehr viel mehr Objekte. Röntgenstrahlung wird nur bei extrem heißen Prozessen frei, zum Beispiel wenn im Zentrum eines Quasars Materie in das Schwarze Loch stürzt und sich dabei zunächst stark aufheizt.

allerdings darüber, dass es das All offenbar recht eilig hatte, die zwischenzeitliche Dunkelheit wieder zu vertreiben:

Das All war damals erst etwa 800 Millionen Jahre alt. Für Theoretiker ist es schon eine harte Nuss, wie sich der jetzt entdeckte Quasar und das massereiche Schwarze Loch in ihm so schnell bilden konnten. Das ist schwierig, aber nicht unmöglich. Mit diesen weit entfernten Quasaren testen wir sehr gut unsere Modelle, wie die erste Generation von Schwarzen Löchern und Galaxien im Universum in so kurzer Zeit entstanden ist.

DIFFUSES RÖNTGENLEUCHTEN DER SCHWARZEN LÖCHER

Spektren verdeutlichen, wie sehr Wolken kalten Wasserstoffs das Licht ferner Quasare schlucken. Die vier Bilder zeigen Bereiche des Alls, die das Licht passiert hat, als der Kosmos 1,5, 1,3 und 1,1 Milliarden sowie 900 Millionen Jahre (v.l.n.r.) alt war. Im 900 Millionen Jahre alten All gibt es noch viel kalten Wasserstoff, der sehr stark Sternlicht schluckt. Dagegen kann im 1,5 Milliarden Jahre alten All das Licht an vielen Stellen schon unbehelligt passieren, aber noch immer gibt es große Wolken von kaltem Gas, die sich als »Senken« im Spektrum zeigen.

IN QUASAREN WIRD DAS RIESIGE SCHWARZE LOCH im Zentrum »gefüttert«, das heißt, es stürzen viele Sterne und Gasmassen in das Schwarze Loch. Dabei leuchtet die Materie stark auf – und die Forscher sehen die leuchtkräftigen Quasare. Schwarze Löcher sind also gar nicht schwarz – zumindest dann nicht, wenn sie Materie verschlingen. Die meisten Quasare sind im Röntgenlicht zu sehen, erklärt Günther Hasinger, Direktor am Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik in Garching.

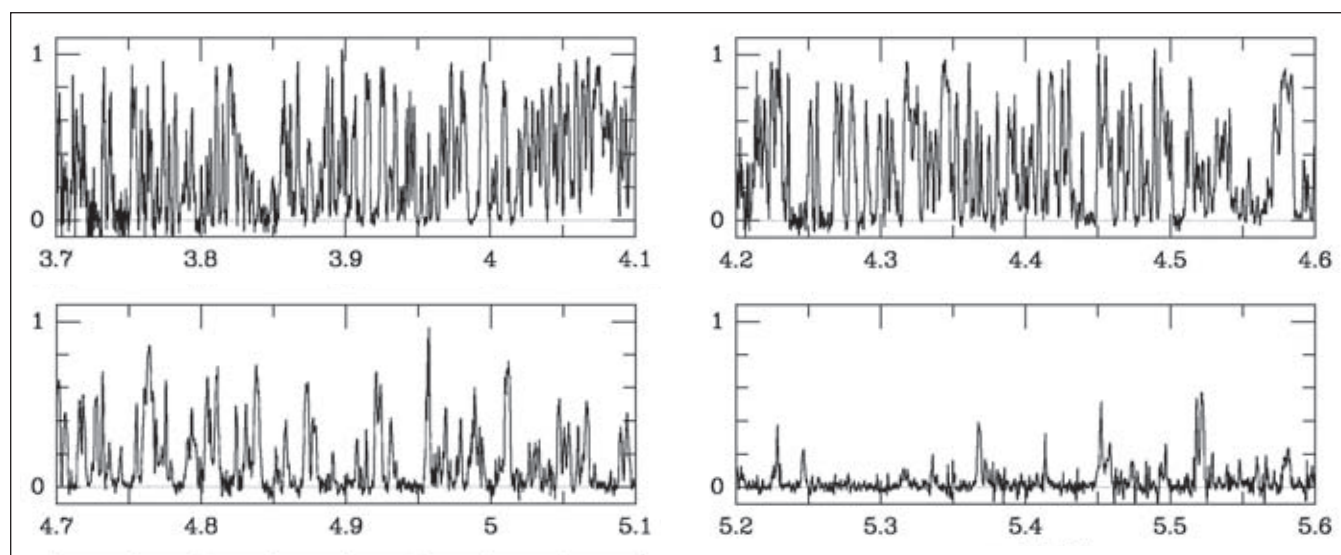
Der Himmel im Röntgenlicht ist nicht dunkel, sondern hell – der ganze Himmel ist erfüllt von einem diffusen Leuchten.

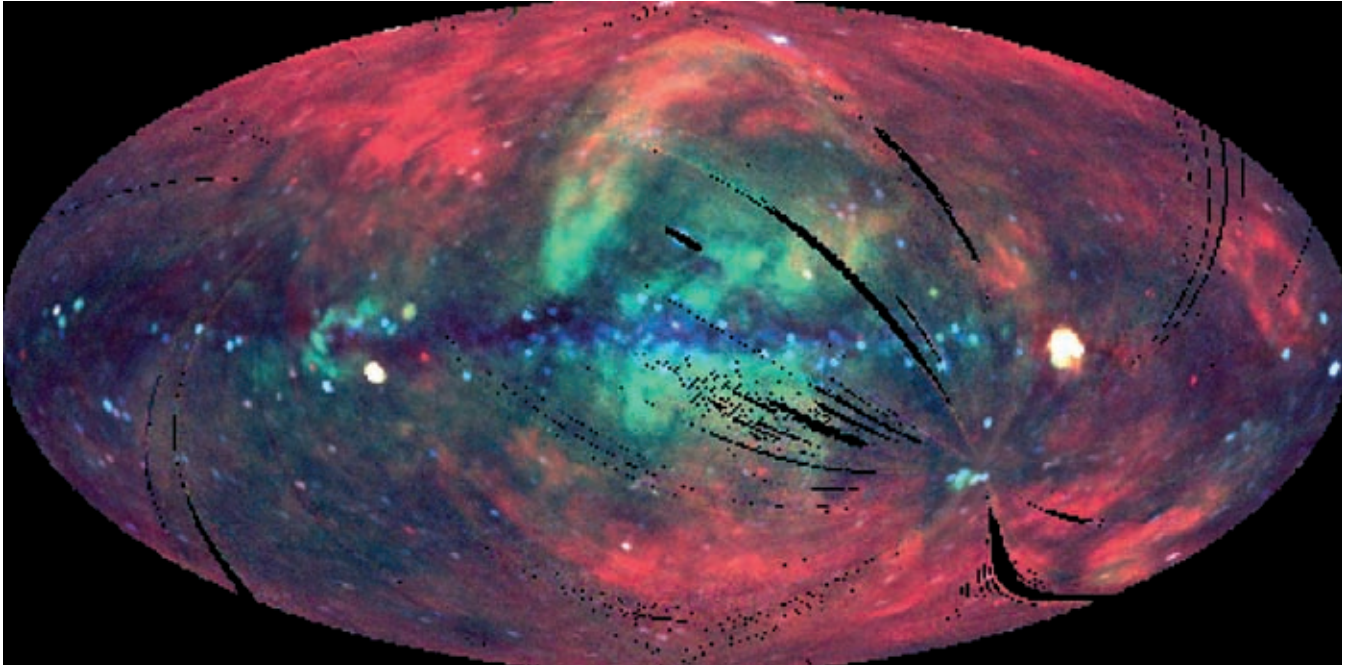
Der Röntgenhimmel schimmert etwa so wie die Milchstraße in lauen Sommernächten – die Forscher sprechen vom »Röntgenhintergrund«. Schon ein Fernglas zeigt, dass die Milchstraße aus zahllosen Sternen besteht. Ganz ähnlich ist es beim diffusen Röntgenleuchten, wie Günther Hasinger und sein Team herausgefunden haben – aber nicht mit dem Fernglas, sondern mit Röntgen-Satelliten und großen Teleskopen auf der Erde:

Dieses diffuse Leuchten kommt von vielen, vielen Millionen Einzelobjekten. Das sind fast alles Schwarze Löcher in Zentren von Galaxien, die relativ weit entfernt sind, also fast bis zum Rand des sichtbaren Universums reichen.

Was für Geologen Tiefenbohrkerne sind, die etwas über Aufbau und Entwicklung der Erde verraten, sind für Astronomen »Deep Fields«. Bei solchen tiefen Feldern starren Röntgen-Satelliten – wie der US-Satellit Chandra – manchmal monatelang auf dieselbe Stelle am Himmel und sammeln die gesamte Strahlung, die aus dieser Richtung zu uns kommt.

Wir finden dann in solchen tiefen Feldern, die ungefähr so groß sind wie der Vollmond, etliche hundert Objekte – im Chandra Deep Field sind es vielleicht 350 Objekte. Dann beginnt erst die wirkliche Arbeit. Genauso wie dann ein Bohrkern analysiert werden muss, nehmen wir die





Objekte, die wir im Röntgenlicht finden, und schauen dann mit optischen Teleskopen nach, was an dieser Stelle am optischen Himmel zu sehen ist.

Nur mit den im optischen Licht arbeitenden Großteleskopen lässt sich die Entfernung der beobachteten Objekte bestimmen. Frühere Untersuchungen hatten bereits ergeben, dass diese Objekte riesige Schwarze Löcher sind, die im Zentrum von Galaxien sitzen und viel Materie verschlingen.

Wenn man dann von diesen 350 Objekten die Entfernung bestimmt hat, kann man sie praktisch wie einen Tiefenbohrkern in verschiedene Entfernungsschichten aufteilen. Es scheint, dass mehr von diesen Schwarzen Löchern in unserer unmittelbaren Nähe gefüttert werden als weiter entfernt.

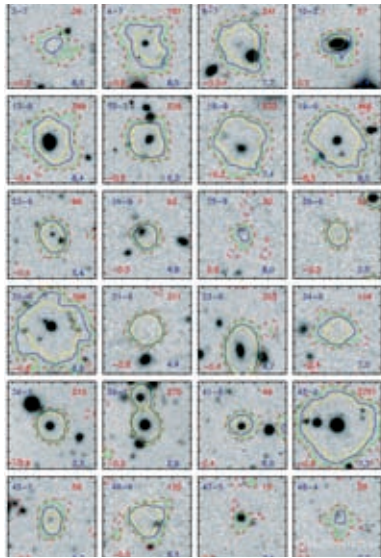
»UNMITTELBARE NÄHE« HEISST ÜBRIGENS für Röntgen-Astronomen wie Günther Hasinger »im Umkreis von fünf bis sieben Milliarden Lichtjahren«. Entscheidend ist, dass offenbar mehr Schwarze Löcher in recht geringer Entfernung, also zu heutiger Zeit, leuchten, als weiter entfernt im frühen Kosmos. Das Deep Field hat noch eine Überraschung parat: In etwa sechs Milliarden Lichtjahren Entfernung gibt es zwei Bereiche mit besonders vielen Galaxien: Offenbar blicken die Forscher da in »Wände« von Galaxien. Die Galaxien sind im All nicht regellos verteilt, sondern bilden einen riesigen kosmischen Schaum. Große Leerräume enthalten kaum Galaxien und werden von Wänden voller Galaxien umgeben, was die Astronomen erstmals auch im Röntgenlicht sehen.

Wenn sich dieser Schaum, also die großräumige Struktur, bildet, dann passiert es recht oft, dass zwei Galaxien miteinander verschmelzen. Dabei werden die Schwarzen Löcher in ihren Zentren wieder gefüttert. Was wir hier in diesen Galaxienwänden sehen, könnte sozusagen die zweite Fütterungsphase der Schwarzen Löcher sein.

Schwarze Löcher waren gleichsam die Keime der Galaxien und haben sich recht schnell nach dem Urknall gebildet. Nachdem sie das Gas in den Zentren der Galaxien verschlungen hatten, mussten sie hungern und leuchteten nur schwach – bis es beim Verschmelzen in der großräumigen Struktur wieder Nachschub gab. Jetzt wollen die Astronomen natürlich auch die erste Fütterungsphase beobachten, also die Bildung der

Für dieses Bild des ROSAT All Sky Survey hat man die am gesamten Himmel gemessene Strahlung zusammengetragen. Fazit: Der Röntgenhimmel ist nicht dunkel, sondern voll von diffusem Leuchten.

**HUNGERNDE
SCHWARZE
LÖCHER LEUCH-
TEN NICHT**



Erst wenn Röntgenquellen auch im sichtbaren Licht identifiziert sind, lässt sich ihre Entfernung bestimmen: Vergleich der VLT-Aufnahmen (Schwarz-Weiß-Bilder) mit den Röntgendaten (als farbige Linien eingezeichnet) einer tiefen Aufnahme des Satelliten Chandra.

Schwarzen Löcher ganz weit draußen, innerhalb einer Milliarde Jahre nach dem Urknall. Heutige Röntgen-Satelliten reichen dafür nicht aus.

Wir brauchen ungefähr zehnmal größere Teleskope, um wirklich die ersten Schwarzen Löcher und ihre Entstehungsprozesse studieren zu können. Da arbeiten wir jetzt am nächsten Großprojekt – XEUS. Der Spiegel dieses Satellitenteleskops wird ungefähr zehn Meter Durchmesser haben. Der Detektor ist gut fünfzig Meter vom Spiegel entfernt. So ein großes Gerät kann man nicht mehr als einzelnen Satelliten bauen. Die Idee ist, dass zwei Satelliten hintereinander herfliegen. Der eine spiegelt die Photonen, der andere nimmt sie auf – auch technologisch eine sehr interessante Herausforderung.

Wenn alles klappt, startet XEUS – die X-Ray Evolving Universe Spectroscopy Mission (also die Mission zur Röntgen-Spektroskopie des sich entwickelnden Universums) – als global organisierte Mission etwa 2012. Dann haben die Astronomen ein Instrument, das praktisch alle leuchtenden Schwarzen Löcher im All beobachten kann: die alten in unserer Nachbarschaft und die ganz jungen Objekte kurz nach dem Urknall.

Quasare sind mit ihren gefräßigen schwarzen Löchern im Zentrum die leuchtkräftigsten Strahlungsquellen im All. Folglich sind sie auch die entferntesten beobachtbaren Einzelobjekte im Kosmos. Forscher fasziniert nicht nur der Quasar selbst. Für viele Beobachtungen ist der helle Quasar einfach ein Werkzeug, das den Kosmos im wahrsten Sinne des Wortes durchleuchtet.

Zu den Astronomen, die *mit* und nicht *an* Quasaren arbeiten, gehört Patrick Petitjean vom Pariser Institut für Astrophysik der französischen Forschungsgemeinschaft CNRS. Petitjean hat mit Kollegen aus Indien und von der ESO einen Quasar am Rand des Universums beobachtet. Das Licht dieses Quasars durchquert auf seiner langen Reise zu uns riesige Gas- und Staubwolken, die in großen Mengen im Universum herumliegen. Die chemischen Elemente in diesen Wolken verschlucken einen Teil des Quasarlichts – sie hinterlassen praktisch ihren Fingerabdruck, die Astronomen sprechen von Absorptionslinien. Das Prinzip ist dasselbe wie beim kalten Wasserstoff von Xiahoui Fan.

Genau auf der Sehlinie zwischen uns und dem beobachteten Quasar liegt – zwölf Milliarden Lichtjahre entfernt – eine Galaxie, erklärt Petitjean:

In der Scheibe dieser Galaxie gibt es eine Gaswolke, in der wir im Licht des Quasars sowohl neutralen Kohlenstoff als auch Wasserstoffmoleküle beobachtet haben. Aus den Messungen dieser unterschiedlichen Absorptionslinien schließen wir, dass der neutrale Kohlenstoff angeregt ist.

Die Forscher sehen in dieser Wolke »angeregten«, also leicht aufgeheizten Kohlenstoff. Für das Anregen kommen Stöße der Atome untereinander oder Strahlung von jungen, heißen Sternen in der Umgebung der Wolke in Frage. Die dritte Möglichkeit ist, dass dieser Teil des Universums insgesamt heißer ist und so den Kohlenstoff gleichsam »automatisch« aufheizt oder anregt. Kohlenstoff reagiert sehr empfindlich auf schwache Strahlung.

FRÜHER WAR ALLES HEISSER

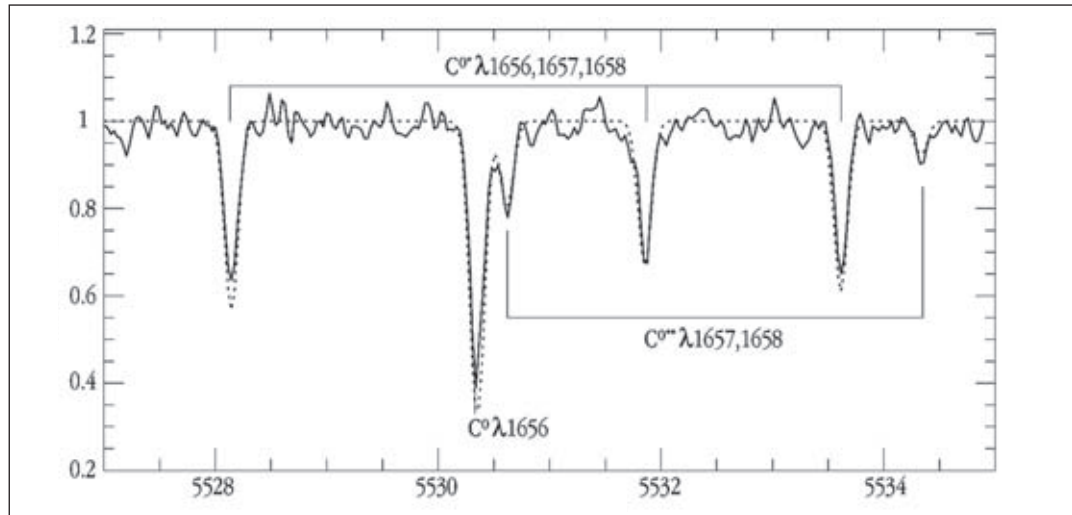
WAS AUCH IMMER IN DER GASWOLKE jener weit entfernten Galaxie vor sich geht – das Licht des Quasars trägt die Information darüber bis zur Erde. Das in die Teleskope fallende Licht des Quasars verrät den Astronomen noch heute, was es mit jener Wolke auf sich hat, die das Licht vor Jahrmilliarden durchquert hat.

Zum ersten Mal haben wir den Anteil aller drei Prozesse untersucht. Wir haben gemessen, wie sich das Gas in der Wolke bewegt und wie viel Strahlung es dort von heißen Sternen gibt. Der Kohlenstoff in der Wolke ist aber noch etwas stärker aufgeheizt, als wir allein mit diesen beiden Phänomenen erwarten. Diese zusätzliche Aufheizung kann nur von der kosmischen

Vermutlich sitzt auch im Zentrum der nahen Balkenspiralgalaxie M83 (zwölf Millionen Lichtjahre entfernt) ein extrem massereiches Schwarzes Loch, das derzeit aber eher »hungern« muss. Astronomen untersuchen, wie sich die Gasmassen in Galaxien wie M83 bewegen – und ziehen so Schlüsse auf weit entfernte und nicht so detailreich beobachtbare Galaxien mit Schwarzen Löchern im Zentrum.



Kosmische Temperaturmessung. Im Spektrum des Quasars PKS 1232+0815 gibt es Linien von Kohlenstoff, der in einer großen Gaswolke enthalten ist, die das Quasarlicht auf dem Weg zu uns durchquert hat. Das Verhältnis der markierten Kohlenstofflinien im Spektrum zeigt, dass der Kohlenstoff in dieser Wolke erstaunlich warm ist. Die kosmische Hintergrundstrahlung war vor zwölf Milliarden Jahren noch wärmer und hat die Wolke aufgeheizt.



Hintergrundstrahlung stammen – wir haben jetzt gemessen, dass sie damals eine Temperatur von minus 264 Grad Celsius hatte. Das entspricht genau dem, was die Urknalltheorie vorausagt.

Die Hintergrundstrahlung ist eine fast völlig gleichmäßige, äußerst schwache Radiostrahlung, die aus allen Richtungen zu uns kommt. Sie erklärt sich zwanglos als das Nachleuchten des Urknalls. Heute entspricht das schwache Nachglimmen einer Temperatur von knapp minus 270 Grad Celsius, kurz nach dem Urknall waren das noch einige Tausend Grad.

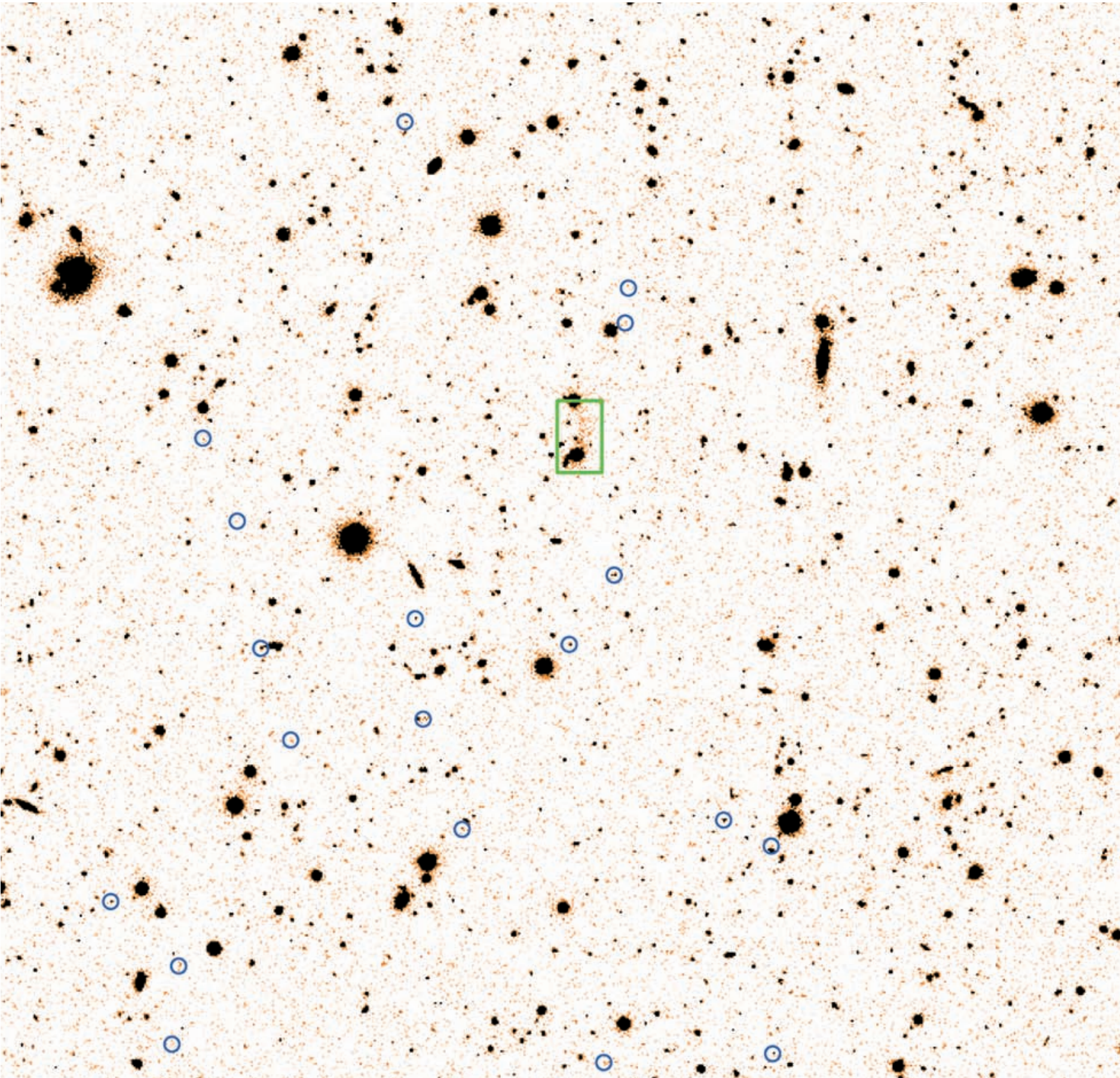
Den Kohlenstoff in der von Petitjean beobachteten Gaswolke regt eine minus 264 Grad Celsius »heiße« Strahlung an. Die beobachtete Wolke ist zwölf Milliarden Lichtjahre entfernt – das heißt, dass das Licht zwölf Milliarden Jahre zu uns unterwegs war. Folglich sehen die Astronomen dort das Universum so, wie es vor zwölf Milliarden Jahren war – als es kaum ein Fünftel seines heutigen Alters hatte. Weil Kohlenstoff in dieser Wolke geradezu ein Thermometer ist, messen die Forscher noch heute, dass die durch den Kosmos ziehende Reststrahlung des Urknalls damals sechs Grad »heißer« war als heute. Der Kosmos war noch kleiner und die Strahlung noch nicht ganz so stark verdünnt.

Das mag alles sehr theoretisch klingen – und zunächst vermeintlich unspektakulär (ein Spektrum ist ja auch eher eine »langweilige« Kurve und kein schönes buntes Bild). Aber die Beobachtung des Kohlenstoffs in dieser fernen Galaxie bestätigt buchstäblich Weltbewegendes: Wir leben wirklich in einem sich ausdehnenden und dabei stetig abkühlenden Universum.

Kuriosum am Rande: Patrick Petitjean war im April 2000 der erste Gastbeobachter am UV-Spektrographen UVES überhaupt, der am zweiten VLT-Teleskop Kueyen montiert ist. Der Quasar PKS 1232+0815, mit dem diese kosmische Temperaturmessung gelungen ist, war zudem das erste Objekt, das Petitjean in jener Nacht auf Paranal beobachtet hat. Beim ersten Schuss gleich ein Volltreffer: Wenn das kein viel versprechender Auftakt für UVES gewesen ist.

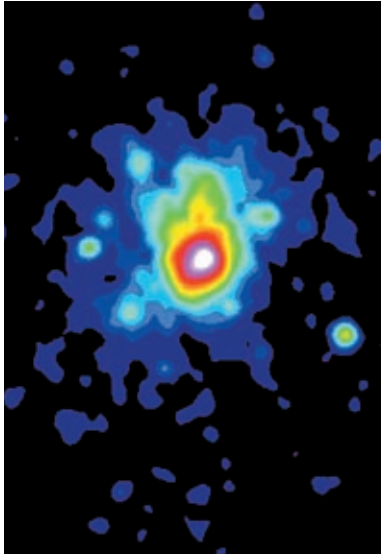
ALL KAPUTT? LÖCHER IN DER HINTERGRUND- STRAHLUNG

FÜR ANDERE ASTRONOMEN ist nun wiederum diese »kosmische Hintergrundstrahlung« das Werkzeug – so wie Petitjean die Quasare nur benutzt, um kalte Gaswolken zu durchleuchten. Die Hintergrundstrahlung aber dient zum Nachweis sehr heißer Wolken – und damit zum Nachweis der größten Einzelobjekte im All: der Galaxienhaufen.



Die Radio-Galaxie TNJ 1338-1942 (grüner Kasten) ist 13,5 Milliarden Lichtjahre entfernt. Sie ist von 19 jungen Galaxien (blaue Kreise) umgeben. Offenbar hatten sich bereits im erst 1,5 Milliarden Jahre alten Kosmos erste Galaxienhaufen gebildet. Es ist der entfernteste bekannte Galaxienhaufen im All. Eines der großen

Rätsel der Kosmologie ist, wie sich Galaxien so schnell nach dem Urknall bilden und zu Haufen gruppieren konnten. Am Ort der Galaxien entspricht die Kantenlänge dieser VLT-Aufnahme (Kueyen, UT2) zehn Millionen Lichtjahren. Die anderen Objekte auf dem Bild sind Sterne und Galaxien im Vordergrund.



Der Galaxienhaufen RXCJ 1131.9-1955 zeigt in der Röntgenaufnahme des ESA-Satelliten XMM-Newton das helle Leuchten des heißen Gases zwischen den Galaxien.

Galaxienhaufen sind gewaltige Ansammlungen von Galaxien: Manche haben 100 000-mal mehr Masse als unsere eigene Milchstraße. Für die Astronomen sind die Haufen ein Schlüssel, um zu verstehen, wie sich die Materie im All verteilt und wie der Kosmos insgesamt aufgebaut ist. Doch zum Ärger der Forscher zeigen normale Teleskope nur recht nahe Galaxienhaufen – ferne Galaxien sind einfach zu lichtschwach.

Aber John Carlstrom, Astronom an der University of Chicago, weiß einen Ausweg:

Wir suchen mit der kosmischen Hintergrundstrahlung nach den Galaxienhaufen. In den Haufen gibt es neben den Galaxien jede Menge heißes Gas. Dieses Gas streut das schwache Licht der Hintergrundstrahlung. Im Infrarotbereich fehlt dann etwas Licht, ein Galaxienhaufen erscheint dort also wie ein Loch am Himmel.

Die russischen Kosmologen Rashid Sunyaev (heute am Max-Planck-Institut für Astrophysik in Garching tätig) und Yakov Zeldovich hatten schon vor drei Jahrzehnten vorhergesagt, dass das Nachleuchten des Urknalls etwas gedämpft erscheint, wenn es auf dem Weg zu uns einen Galaxienhaufen passiert hat.

Galaxienhaufen haben streng genommen einen »falschen« Namen – tatsächlich liegt viel mehr Materie in den Haufen als extrem heißes Gas vor, das den ganzen Raum zwischen den Galaxien anfüllt. Dieses heiße Gas ist übrigens ein klarer Hinweis auf Dunkle Materie, die mit ihrer Anziehungskraft das Gas festhält. Gäbe es nur die Materie in den sichtbaren Galaxien, so müsste das Gas schnell ins All entweichen, ähnlich wie Wasserdampf aus dem Kochtopf strömt.

Passiert nun ein Lichtteilchen der Hintergrundstrahlung die extrem heißen und damit sehr schnellen Gasteilchen, so bekommt es von den Gasteilchen gewissermaßen einen Tritt – ein vorher im Infrarotlicht leuchtendes Photon der Hintergrundstrahlung hat dann etwas mehr Energie und leuchtet bei einer etwas kürzeren Wellenlänge. In der Hintergrundstrahlung fällt also ein Galaxien- bzw. Gashaufen als Bereich auf, in dem es etwas weniger Strahlung gibt. Jetzt endlich ist auch die Beobachtungstechnik so weit: John Carlstrom und seine Kollegen haben in den vergangenen Jahren schon viele »Löcher«, also Galaxienhaufen, in der Hintergrundstrahlung entdeckt.

Wie sehr die Hintergrundstrahlung geschwächt ist, hängt nicht von der Entfernung des Galaxienhaufens ab. Ob uns das Loch auffällt oder nicht, liegt nur an der Masse des Haufens – je massereicher er ist, desto mehr heißes Gas hat er und desto deutlicher ist das Loch. Eine wunderbare Situation: Uns Astronomen interessiert ja immer, wie sich die Materiestrukturen im Kosmos entwickeln – und hier beobachten wir etwas, das nur von der Masse abhängt und das wir sehen, egal wie weit es entfernt ist. Wir bauen jetzt ein neues Instrument. Damit sehen wir, wie sich die großräumige Struktur im All bildet.

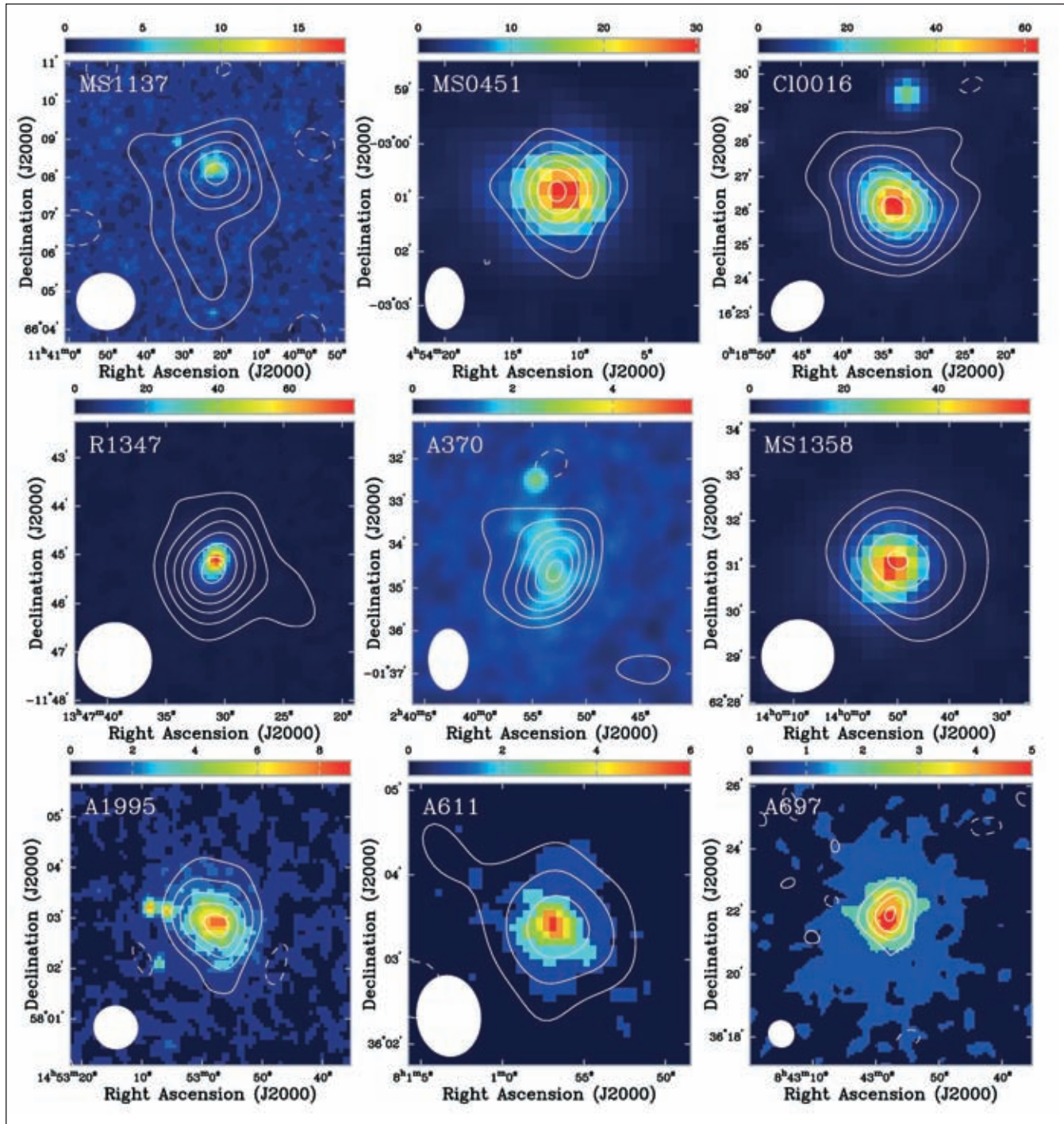
**ASTRONOMEN
IN »NOT« – DIE
TELESKOPPE SIND
ZU GROSS ...**

FÜR DIE KOSMOLOGEN WAHRLICH EIN GESCHENK des Himmels: In »normalen« Teleskopen erscheinen die Objekte schwächer, je weiter sie entfernt sind – nicht so bei den für die Hintergrundstrahlung genutzten Instrumenten. Vollends skurril klingt es, wenn John Carlstrom erklärt, warum die kosmische Galaxienhaufen-Inventur nicht schon früher begonnen hat:

Bisher war das Problem, dass die Teleskope ein wenig zu groß waren. Wir beobachten mit der so genannten Interferometrie – da schalten wir mehrere Teleskope zusammen. Die dafür existierenden Teleskope sind für unser Projekt nicht so gut geeignet. Mit denen sucht man eher nach sehr kleinen Objekten, aber die Galaxienhaufen sind riesig – selbst die entferntesten erscheinen uns am Himmel noch etwa so groß wie ein Dreißigstel des Vollmond-Durchmessers. Das ist schon verrückt: Die Objekte werden nicht schwächer, je weiter sie entfernt sind – und man guckt sie lieber mit etwas kleineren Teleskopen an.

Galaxienhaufen hinterlassen »Löcher« in der kosmischen Hintergrundstrahlung, weil ihr heißes Gas die Strahlung streut, wie Radio-Beobachtungen zeigen (Konturlinien). Diese neun Haufen hatte auch der deutsche Röntgensatellit ROSAT aufgenommen (Farbbilder) – beide Beobachtungsmethoden decken sich perfekt. Die Galaxienhaufen sind zwischen neun und fünf Milliarden Lichtjahre entfernt

(die Entfernung nimmt von links oben nach rechts unten ab). Während Röntgenstrahlung, ebenso wie »normales« Licht, mit zunehmender Entfernung immer schwächer wird, erscheinen die Löcher immer gleich, egal wie weit die Haufen entfernt sind. Die Astronomen werden auf diese Weise künftig Galaxienhaufen in viel größeren Entfernungen als bisher beobachten.



Etwa ab dem Jahr 2004 startet die systematische Suche nach Löchern in der Hintergrundstrahlung, also nach Galaxienhaufen in den Tiefen des Kosmos. Dann zeigt sich, wo es im Weltall Galaxienhaufen gibt, wie viel Masse sie haben und wann sie entstanden sind – dabei lässt sich zudem direkt (ohne viele Zwischeneichungen) die Hubble-Konstante messen, die angibt, wie schnell der Kosmos expandiert.

Für die Astronomen ist die kosmische Hintergrundstrahlung also gleich in doppelter Hinsicht unschätzbar wertvoll: Zum einen zeigen die tatsächlichen Schwankungen in der Hintergrundstrahlung, wie der Kosmos aufgebaut ist – zum anderen verraten die auf dem Weg zu uns hineingeratene »Löcher«, wo Galaxienhaufen im All stehen.



Woraus besteht die Welt?

Tycho Brahe und ein Universum voller Rätsel



Seite 118/119:
Ein vollmondgroßer
Ausschnitt der Region
R Coronae Australis im
Sternbild Südliche Krone.
In dem gas- und staub-
reichen Komplex entste-
hen viele Sterne. Einige
junge Sterne tauchen
gerade aus dem Staub
auf und regen das sie
umgebende Gas zum
Leuchten an. Links unten
schlucken dichte Staub-
wolken praktisch das
gesamte Licht der dahin-
ter liegenden Sterne.
(2,2-Meter-Teleskop,
La Silla)

Das VLT des späten
16. Jahrhunderts: Tycho
Brahes Sternwarte
Stjerneborg auf der Insel
Ven war das mit Abstand
beste Observatorium
der damaligen Zeit.



Stjerneborg heute. Von
Tychos Pracht sind nur
ein paar Fundamente
übrig geblieben. Die Auf-
bauten wurden vor eini-
ger Zeit rekonstruiert.
Heute grenzt die Stern-
warte an ein Privathaus.
Wer wird in vierhundert
Jahren neben den Ruinen
des VLT wohnen ...?

IM ÖRESUND ZWISCHEN KOPENHAGEN UND SCHWEDEN behauptet sich eine kleine Insel tapfer gegen die dunklen Ostseeefluten. Mit ihrer vierzig Meter hohen Steilküste wirkt die Insel Ven wie aus dem Meer gestanzt. Heute leben dort etwa 350 Menschen, und man mag kaum glauben, dass diese verschlafene Insel vor vier Jahrhunderten Zentrum der europäischen Astronomie war.

Von 1576 bis 1597 hat der dänische Edelmann Tycho Brahe (1546–1601) von dort aus den Sternenhimmel beobachtet, den Lauf der Planeten mit bis dahin unerreichter Präzision vermessen und somit der Astronomie ein völlig neues Fundament gegeben. Einundzwanzig Jahre, die im wahrsten Sinne des Wortes die Welt veränderten, so Klas Hyltén-Cavallius, Brahe-Experte aus dem schwedischen Lund:

Hier auf Ven bei Tycho Brahe ist das astronomische Mittelalter zu Ende gegangen – und hier hat die Neuzeit begonnen. Das war wirklich eine Zeitenwende.

Die Astronomen waren vor vier Jahrhunderten in einer verzwickten Lage. Die aus dem Altertum überlieferte Lehrmeinung sah die Erde im Zentrum der Welt – Sonne und Planeten umkreisten danach die still stehende Erde. Doch 1543, drei Jahre vor Tychos Geburt, hatte Nicolaus Copernicus (1473-1543) die Sonne ins Zentrum der Welt gesetzt. Für Copernicus war die Erde nur ein Planet, der um die Sonne kreist. Aber auch Copernicus war nicht frei von altem Denken – auch bei ihm liefen die Planeten auf Kreisbahnen mit ewig gleicher Geschwindigkeit. So konnte sein Modell den Lauf der Planeten am Himmel nicht besser beschreiben als das höchst kompliziert aufgebaute antike Weltmodell. Steht die Erde oder die Sonne im Zentrum der Welt? Die Astronomen waren in einer Pattsituation.

Im Jahre 1572 flammte am Himmel ein neuer, fast mondhell leuchtender Stern auf – eine so genannte Supernova. Tycho Brahe beobachtete ausgiebig dieses, wie er sagte, »größte Naturwunder aller Zeiten«. Er zeigte, dass die Supernova im Bereich der Fixsterne aufgeleuchtet war – nach der Theorie des Aristoteles sollte die Fixsternsphäre aber ewig unverändert sein. Das alte Weltgebäude war endgültig erschüttert – und Brahe mit einem Schlag der führende Astronom Europas.



Brahe wollte nun endlich Klarheit über den Aufbau der Welt – also über den Aufbau des Planetensystems, mehr war damals vom Kosmos noch nicht bekannt. Er bekam das damals noch zu Dänemark gehörende Ven als Lehen. Zudem standen ihm geradezu märchenhafte 1,5 Prozent des dänischen Staatshaushalts zur Verfügung (davon können Astronomen heute nur noch träumen).

Das war im Jahre 1576. Tycho ist ziemlich schnell hierhergefahren und hat eine vollständige Forschungsanlage bauen lassen. Er hat Observatorien, Werkstätten, eine Papiermühle und auch eine Buchdruckerei eingerichtet.

TYCHO WAR EIN FAST GENIALER INSTRUMENTENBAUER, und so errichtete er auf Ven zwei Observatorien der Extraklasse – übrigens noch ohne Fernrohr, denn das war damals noch nicht erfunden. Aber schon zu Tychos Zeiten wurde auf Sternwarten nicht nur astronomisch gearbeitet. Auch auf Ven gab es viele Werkstätten und andere Einrichtungen, die man oft übersieht, ohne die aber eine leistungsstarke Sternwarte – sei es Brahes Stjerneborg auf Ven oder das VLT in Chile – nicht vernünftig arbeiten kann.

In fast jeder klaren Nacht beobachtete er systematisch den Lauf der Planeten und maß die Position von fast eintausend Sternen mit nie da gewesener Genauigkeit. Nach Tycho Brahes Überzeugung waren *Beobachtungen* der Vorgänge am Himmel der einzige Ausweg aus der offen sichtbaren Krise der Astronomie – eine wahrhaft historische Erkenntnis, so Kristian Peder Moesgaard, Wissenschaftshistoriker an der Universität Århus:

Er hat einen völlig neuen Grundstein für die uralte Wissenschaft der Astronomie gelegt. Erstmals seit der Antike ist der Himmel neu vermessen worden – und zwar systematisch und hoch präzise. Das Problem war ja: Wie bewegen sich die Planeten? Tycho hatte erkannt, dass es sinnlos ist, nur die Planeten zu vermessen, wenn man nicht auch die Positionen der Sterne genau kennt. Deshalb hat er über viele Jahre hinweg einen neuen Sternkatalog geschaffen.

Dass die über fast zwei Jahrtausende kaum angezweifelte Weltansicht des Aristoteles falsch ist, bewies Tycho Brahe kurz nach der Supernova ein weiteres Mal. 1577 flammte ein Komet am Himmel auf, der so hell strahlte, dass er wochenlang selbst tagsüber nicht völlig verblasste. Erst die zeitlich bestens passende Supernova, kurz darauf ein so spektakulärer Komet – fast scheint es, als wollte die Natur damals alles tun, damit Tycho Brahe ihr nun endlich auf die Schliche kam. Tycho wies nach, dass der Komet von 1577 mindestens sechsmal weiter entfernt war als der Mond und sogar die Bahn der Venus gekreuzt haben musste. Ein Ding der Unmöglichkeit, wären die Planeten tatsächlich an gewaltigen Kristallkugeln befestigt – wie seit Jahrtausenden angenommen.

Supernova und Komet hatten das alte Weltbild des Aristoteles zertrümmert – doch gab es auch Beweise *für* das neue Weltbild des Copernicus? Tycho suchte am Himmel nach Spuren der sich bewegenden Erde. Während die Erde um die Sonne läuft, pendeln recht nahe Sterne am Himmel im Lauf eines Jahres langsam hin und her. Bestimmt man die Position eines nahen Sterns, dann erscheint derselbe Stern ein halbes Jahr später, wenn die Erde auf der anderen Seite ihrer Bahn steht, minimal verschoben.

DIESER »PARALLAXE« GENANNT EFFEKT existiert tatsächlich – allerdings ist die Parallaxe winzig klein und wurde erst 1837 gemessen, über zweihundert Jahre nach Tycho. Tycho konnte sie nicht messen – und zog die falschen Schlüsse. Kristian Peder Moesgaard:

Schließlich mochte Tycho die Idee einer um die Sonne laufenden Erde nicht mehr. Wenn sich die Erde wirklich bewegen würde, dann müssten die Sterne enorm weit entfernt sein –

**TYCHOS STERN-
WARTE – DAS
VLT DES MITTEL-
ALTERS**

**EIN LEERES WELT-
ALL? ABSURD!**

andernfalls hätte er die Parallaxe der Sterne beobachtet. Schon Copernicus hatte die große Entfernung der Sterne postuliert, konnte sie aber nicht beziffern. Tycho wusste nun, dass die Sterne mindestens 600-mal weiter entfernt sein müssten als Saturn. Aber ein so riesiger Raum, völlig leer, ohne jeden Nutzen – das erschien ihm wirklich absurd.

Dass das Weltall vor allem leer ist, ist heute ein banaler Gedanke. Vor vier Jahrhunderten war dies unvorstellbar. Wird es manchem, das wir heute für »unmöglich« halten, eines Tages ähnlich ergehen?

Tycho hatte sich – aus seiner Sicht folgerichtig – von der Idee des Copernicus abgewandt. Später ging er an den Hof Rudolf II. nach Prag. Dort war der aus Weil der Stadt stammende Mathematiker Johannes Kepler (1571–1630) sein Assistent. Erst nach Tychos Tod im Jahre 1601 konnte Kepler dessen Beobachtungsdaten voll einsehen. 1609 hatte er das Planetensystem endlich entschlüsselt: Die Planeten laufen nicht auf Kreisbahnen um die Sonne, sondern auf Ellipsen. Zudem bewegen sie sich nicht in göttlicher Vollkommenheit stets gleich schnell auf ihrer Bahn, sondern mal schneller und mal langsamer – je nach Abstand zur Sonne.

Schlagartig hatten die Planeten alles Mystische verloren. Unsere Erde hatte endgültig ihre Sonderstellung im All eingebüßt, war nur noch Planet unter Planeten. Dieser völlige Umbruch in unserem Verständnis vom Kosmos wäre ohne Tychos Daten unmöglich gewesen – und so gelten die von Tycho Brahe auf Ven durchgeführten Messungen bis heute als die wichtigsten Beobachtungen in der Geschichte der Astronomie. Später mussten die Astronomen noch erkennen, dass auch die Sonne und selbst unsere Milchstraße nichts Besonderes im Kosmos sind.

Und heute? Wo stehen die Nachfolger Tycho Brahes heute?

Die weltweit beste Sternwarte befindet sich nicht mehr auf einer Ostsee-Insel, sondern in der Atacama-Wüste in Chile. Der Projektmanager des dortigen Very Large Telescope Massimo Tarenghi zeigt in Vorträgen gerne ein Bild, das den Bogen von Ven in die Atacama schlägt.

Das Bild zeigt die Sternwarte Tycho Brahes im selben Maßstab wie das Very Large Telescope. Ich glaube, dass beide Instrumente dieselbe Art von Umbruch schaffen. Mit beiden Instrumenten beobachtet man viel besser als kurz zuvor in der jeweiligen Epoche. Brahe kombinierte alle systematisch gewonnenen Daten, um das Weltall zu enträtseln. Wir schalten unsere Teleskope zusammen und nutzen ebenfalls eine ganz neue Technik, um das Universum zu verstehen – da ist vieles ganz ähnlich.

Die Parallelen zur Situation vor vierhundert Jahren sind frappierend. Zugegeben: Mit Sonne, Mond und Planeten haben die Forscher keine Probleme mehr – die Dimensionen haben sich seitdem »leicht« verändert.

DER KOSMOS WIRD IMMER SCHNELLER

ABER WAS DAS VERY LARGE TELESCOPE und andere neue Instrumente den Forschern zeigen, krepelt wieder einmal unsere Sicht auf das Weltall völlig um, erklärt Andreas Tammann, Astronom an der Universität Basel:

Man kann schon sagen, dass sich die Kosmologie seit einigen Jahren sehr grundlegend geändert hat. Man ist auf etwas ganz Geheimnisvolles gestoßen, auf die so genannte Kosmologische Konstante. Sie beschleunigt im expandierenden Universum die Expansion. Es scheint, dass unser Universum immer schneller expandiert. Man beobachtet, dass sich das Universum früher langsamer ausgedehnt hat. Gegen alle Erwartungen der Wissenschaft denn an sich müsste die Masse im Universum bremsen. Aber stattdessen sehen wir, es geht schneller und schneller – und das ist diese Kosmologische Konstante.

Bei dieser Entdeckung waren übrigens wieder die Supernovae im Spiel – wie weiland



Die Spiral-Galaxie ESO 269-57 im Sternbild Centaurus zeigt eine sehr komplexe Struktur mit einem inneren Ring und zwei in mehrere Bereiche zerfallenen äußeren Spiralarmen. Die blauen diffusen Objekte in dieser 155 Millionen Lichtjahre entfernten Galaxie sind zumeist Gebiete

mit intensiver Sternentstehung. Im Hintergrund sind viele weitere Galaxien zu sehen. Die vertikalen Linien bei einigen hellen Sternen entstehen bei der Aufnahme mit CCD-Chips, wenn einzelne Bildelemente »gesättigt« sind. (VLT – Antu, UT1)



Extreme Lage – extremes Forschungsobjekt. Das Teleskop DASI (Degree Angular Scale Interferometer) steht am Südpol und beobachtet die kälteste Strahlung im All: die minus 270 Grad Celsius »warme« kosmische Hintergrundstrahlung, das Nachleuchten des Urknalls.

bei Tycho Brahe. Ferne Supernovae zeigen den Astronomen, dass der Kosmos heute schneller expandiert als früher (siehe Seite 134 ff.).

Schon Albert Einstein hatte die Kosmologische Konstante zunächst in seine Allgemeine Relativitätstheorie eingebaut – ironischerweise um einen ruhenden Kosmos zu ermöglichen. Die allgemeine Ausdehnung des Kosmos war Anfang der zwanziger Jahre noch unbekannt. Später verwarf Einstein diese Größe wieder. Die Kosmologische Konstante – andere Astronomen sprechen von Dunkler Energie oder allgemein von Lambda – lässt sich als Materie vorstellen, die nicht anziehend wirkt, sondern abstößt. Das Weltall dehnt sich als Folge des Urknalls aus – und die Kosmologische Konstante beschleunigt die Ausdehnung weiter. Die uns aus dem Alltag so vertraute Materie zieht an und stößt nicht ab – schließlich zerschellen fallen gelassene Teetassen auf dem Boden und nicht an der Decke. Den Kosmos aber regiert offenbar die abstoßende Materie, die anziehende Materie ist in der Minderheit – und auch diese Minderheit hält sich dezent im Hintergrund, bedauert Andreas Tammann.

Man kann die Materie im Universum auf verschiedene Art nachweisen: zum einen das, was man wirklich leuchten sieht am Himmel. Zum anderen lässt sich ausrechnen, wie viel Materie man braucht, um die Rotation von Galaxien und die Bewegung von Galaxien und Galaxienhaufen zu erklären. Es gibt eine scheußliche Diskrepanz zwischen dem, was man wirklich leuchten sieht, und dem, was man auf indirekte Weise über das Gravitationsgesetz ableiten kann. Da ist so ungefähr viermal mehr Dunkle als sichtbare Materie.

Die Astronomen wissen also, dass sie im All eigentlich fast nichts sehen – die meiste Materie ist der direkten Beobachtung entzogen. Doch es kommt noch schlimmer: Aus der durch viele Beobachtungen gut untermauerten Urknalltheorie folgt, dass von der anziehenden Materie nur etwa ein Viertel aus »normaler« Materie besteht, aus der auch wir und alles um uns herum aufgebaut sind. Der Rest besteht aus einer anziehenden Materiesorte, die niemand kennt. Wer jetzt erwartet, die Kosmologen seien völlig frustriert, weil der Großteil des Kosmos sie nicht mitspielen lässt, der täuscht sich: Kosmologen sind pragmatisch – notgedrungen.

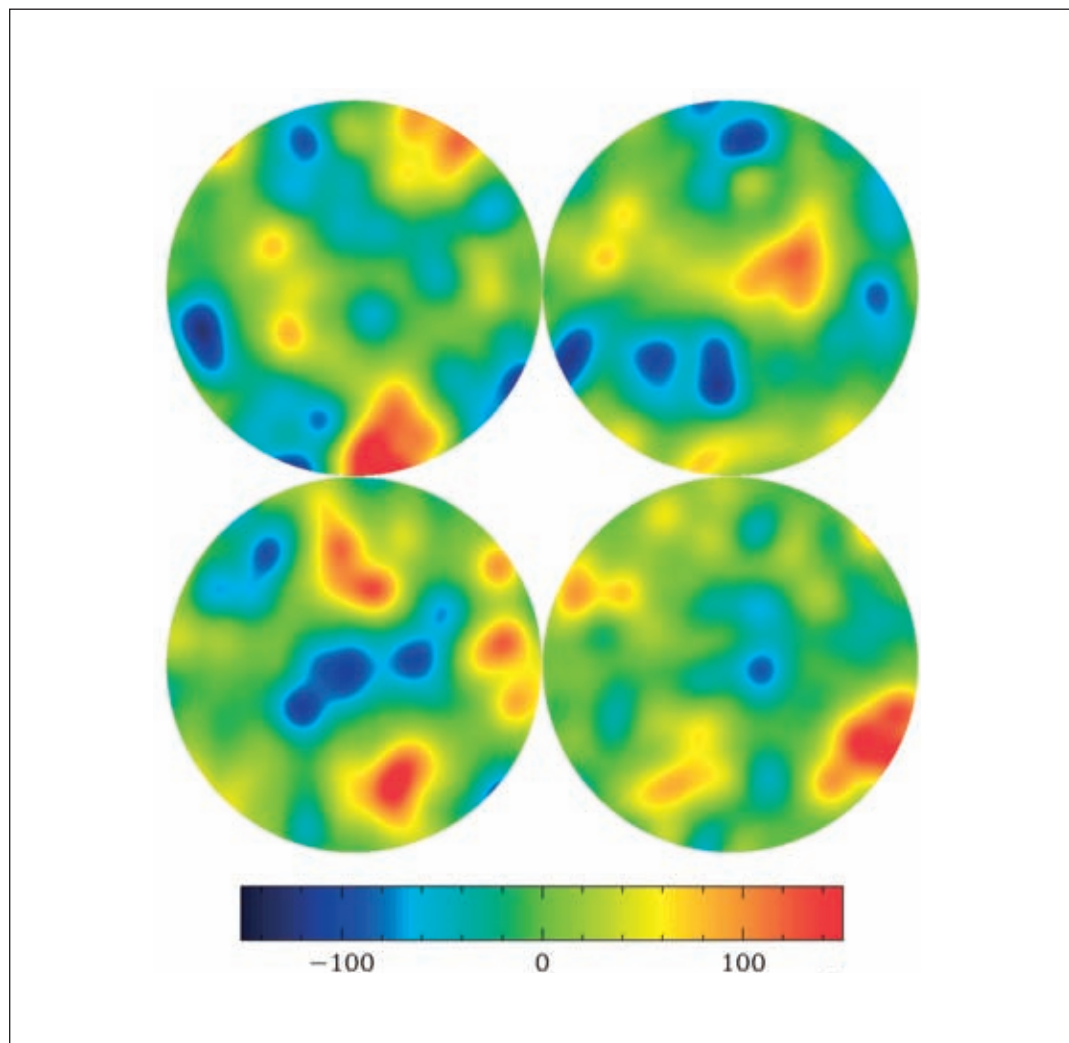
Tatsächlich wird diese Materie sehr sympathisch, wenn man fragt, wie die Galaxien überhaupt im expandierenden Universum entstanden sind. Die Materie im Universum musste sich ja gegen die Expansion lokal zusammenklumpen, um Galaxien zu bilden. Das kann man heute im Computer nicht ohne die Hilfe dieser Dunklen Materie nachvollziehen.

Die Grundfrage der Kosmologie ist, wie aus dem unglaublich heißen Brei aus Materie und Strahlung unmittelbar nach dem Urknall das heute hoch strukturierte Universum entstehen konnte. Der Kosmos ist heute alles andere als ein Einheitsbrei. Es gibt Sterne und Galaxien, Galaxienhaufen und große Leerräume. Wie konnten sich diese Strukturen bilden?

ZUM GLÜCK DER ASTRONOMEN ist der Urknall noch nicht ganz erloschen. Egal wohin die Forscher am Himmel auch gucken – überall stoßen sie auf eine äußerst schwache Radiostrahlung. Diese »Mikrowellen-Hintergrundstrahlung« ist das Nachleuchten des Urknalls. Sie hat sich auf den Weg zu uns gemacht, als der gut 400 000 Jahre alte Kosmos durchsichtig wurde – zuvor war der Kosmos ein einziges Gemisch aus Materie und Strahlung.

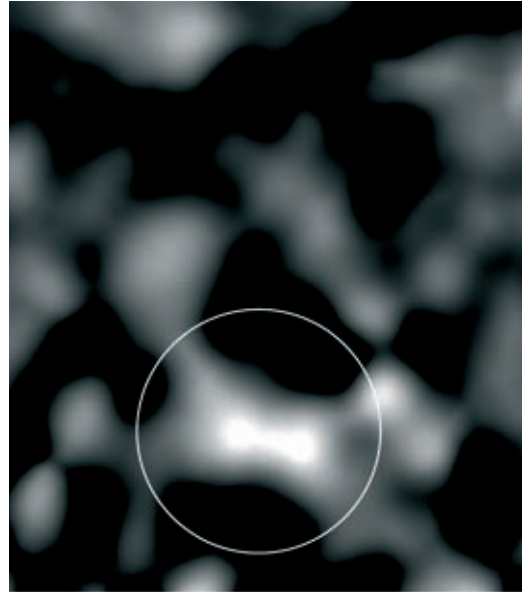
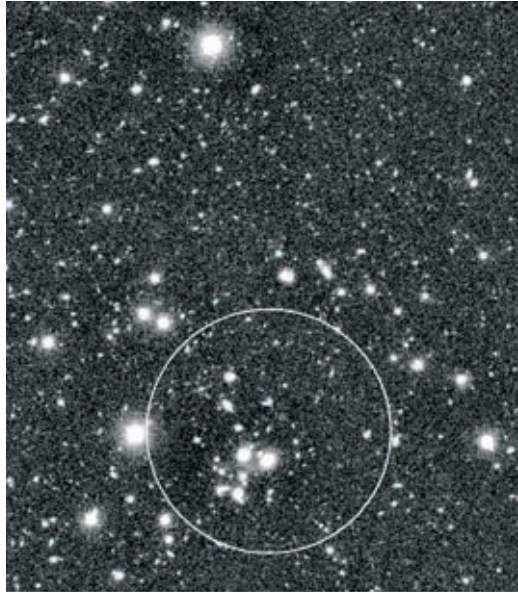
Für Teleskope ist es die letzte Grenze, da der Kosmos vorher – also aus heutiger Sicht in noch größerer Entfernung – undurchsichtig war. Die einst heiße Reststrahlung des Urknalls hat sich durch die Ausdehnung des Kosmos mittlerweile auf etwa drei Grad

DIE ALTE STRAHLUNG UND DAS ALL



Lebenswichtige Flecken in der Hintergrundstrahlung: DASI-Beobachtungen zeigen, dass 400 000 Jahre nach dem Urknall Strahlung und Materie nicht völlig gleichmäßig verteilt waren. Aus diesen Unregelmäßigkeiten haben sich im Laufe der Zeit alle Strukturen im Kosmos gebildet, wie Galaxienhaufen, Gaswolken und Sterne. Wären diese Bereiche einfarbig, also völlig gleichmäßig aufgebaut, gäbe es kein Leben. Die einzelnen Himmelsausschnitte haben jeweils eine Größe von sieben Vollmond-durchmessern.

Das VLT auf der Suche nach der Dunklen Materie. Links eines von fünfzig beobachteten Himmelsfeldern, rechts die daraus rekonstruierte »Massenkarte«. Ansammlungen Dunkler Materie verformen mit ihrer Anziehungskraft die Bilder weit dahinter liegender Objekte (schwacher Gravitationslinseneffekt). Durch genaues Ausmessen von Form und Orientierung entfernter Galaxien schließen die Astronomen auf große Ansammlungen zumeist Dunkler Materie. Im linken Bild ist ein Galaxienhaufen markiert, der – wie der Gravitationslinseneffekt zeigt – viel Dunkle Materie enthält und auf der Massenkarte deutlich zu sehen ist.



Kelvin, also minus 270 Grad Celsius, abgekühlt. Doch die uralte Strahlung ist für das Team um John Carlstrom von der University of Chicago buchstäblich weltbewegend:

Wir haben schwache Variationen in der Hintergrundstrahlung gefunden. Diese Schwankungen sind letztlich die Keime aller heutigen Strukturen im Kosmos. Zudem können wir mit unseren Beobachtungen Theorien vom Aufbau der Welt bestätigen oder verwerfen. Die Daten passen sehr gut zur Inflationstheorie, nach der sich das Universum einen Sekundenbruchteil nach dem Urknall explosionsartig von winzigen Ausmaßen auf enorme Größe ausgeht hat.

Die minimalen Schwankungen der Strahlung – da gibt es wärmere und kältere Flecken – entsprechen unterschiedlich großen Materieansammlungen 400 000 Jahre nach dem Urknall. Heute sind aus diesen ersten Unregelmäßigkeiten im kosmischen Brei gewaltige Ansammlungen von Galaxien geworden. Was uns das angeht? Wäre der Brei damals perfekt gleichmäßig gewesen, hätten sich nie die kosmischen Strukturen gebildet. Dann gäbe es heute keine Galaxien, keine Sterne, keine Planeten – keine Menschen.

**AUCH DAS NOCH –
INFLATION JETZT
SCHON IM ALL**

DIE NEUEN DATEN PASSEN AM BESTEN zur Inflationstheorie – keine Angst, im All wird bei Inflation nichts entwertet. Im Gegenteil: Mit der kosmischen Inflation ging alles erst richtig los. Nach dieser Theorie hat sich das Universum ganz kurz nach dem Urknall in einem winzigen Moment von nicht einmal atomarer Größe auf etwa die Ausmaße der Erde aufgebläht. Danach ging dann die Ausdehnung des Kosmos im »normalen« Tempo weiter.

Diese zunächst etwas skurril anmutende Theorie löst auf elegante Weise ein fundamentales Problem der Astronomie, erklärt Andreas Tammann:

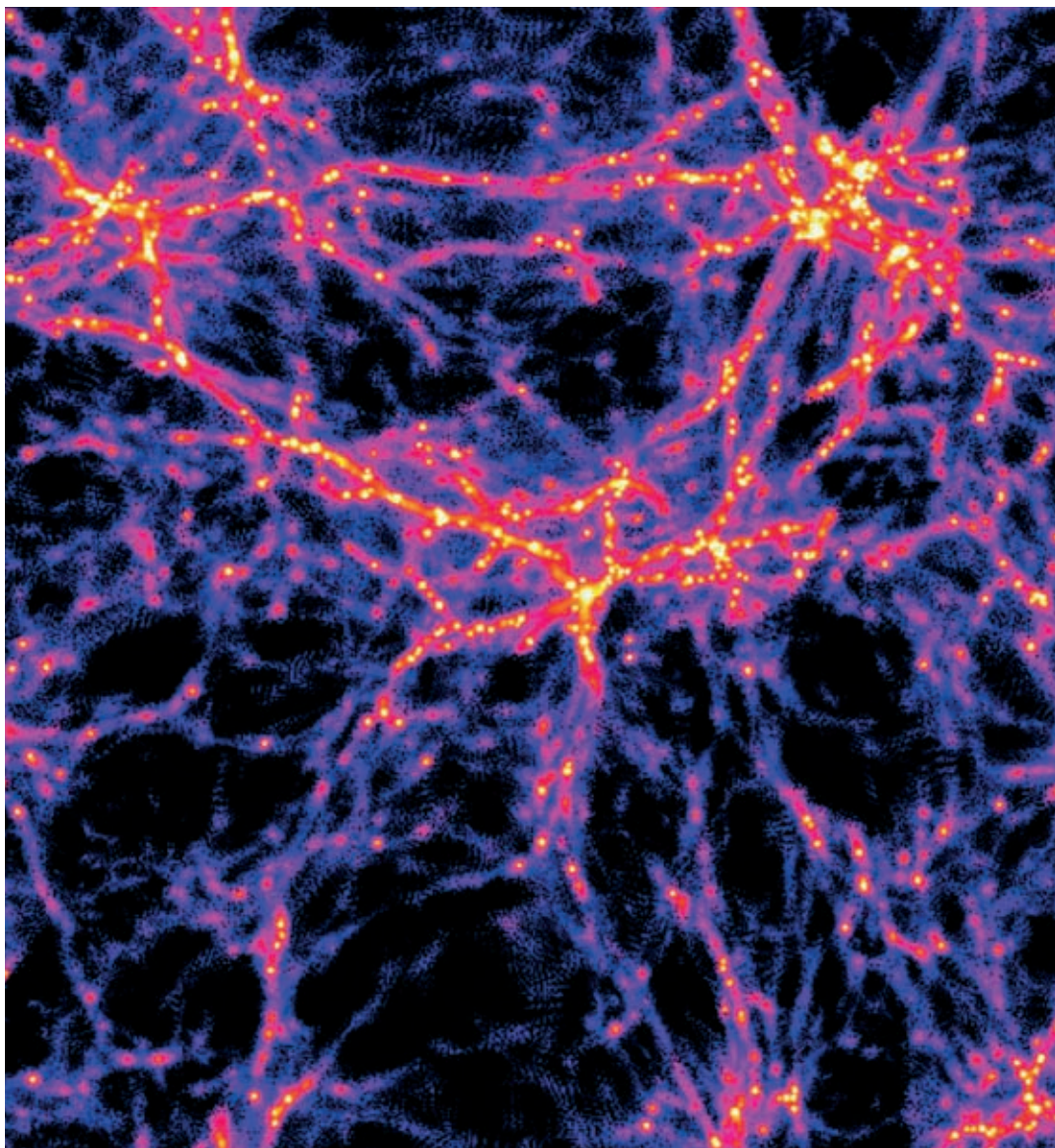
Es gibt das so genannte Kausalitätsproblem. Wenn Sie weit, weit nach Westen gucken und wenn Sie weit, weit nach Osten in den Raum hinaus gucken, dann sehen Sie dort Gebiete, die nie ein Signal austauschen konnten. Trotzdem beobachtet man da die gleichen Sterne, man misst da die gleichen Temperaturen, und diese Gebiete haben offensichtlich Information gemeinsam, und das verstehen wir nicht, weil sie ja noch nie in Kontakt waren. Ich sage das jetzt vielleicht zu persönlich, aber das Gebiet im Westen kann nicht wissen, wie heiß das Gebiet im Osten war, weil noch nie ein Lichtstrahl von einem Ort zum anderen reisen konnte. Aber in der Inflationstheorie ist das furchtbar Schöne, dass das Universum vor der Inflation klein war.

Diese beiden Gebiete da im Westen und im Osten waren Nachbarn, und die lagen innerhalb ihres Horizontes und konnten Lichtstrahlen austauschen.

Was auch immer in der Frühphase des Kosmos in jenem heißen Urbrei passiert ist, ob und – wenn ja – wie die kosmische Inflation stattgefunden hat: Es hat sich als Fleckmuster in der 3-Kelvin-Mikrowellenstrahlung verewigt – wenn auch nur äußerst schwach, erklärt John Carlstroms Mitarbeiter Erik Leitch:

Wir suchen am Himmel nach Temperaturunterschieden von einigen hunderttausendstel Grad. Das ist unglaublich wenig. Die Beobachtungen sind nicht einfach. Allein der Erdboden ist fast 300 Grad Celsius heißer als die von uns beobachtete Strahlung. Doch unsere Mühe lohnt sich: Denn das Schöne an der Erforschung der Hintergrundstrahlung ist, dass wir dabei die grundlegendsten Fragen stellen. Woraus besteht das Universum? Was wird aus unserem Kosmos? Und: Woher kommen wir?

Für dieses ehrgeizige Projekt gilt: Weiter und kälter geht es nicht – und zwar gleich im doppelten Sinne. Zum einen blicken die Chicagoer Astronomen über vierzehn Milliarden Lichtjahre weit hinaus in den Kosmos – die extrem kalte Hintergrundstrahlung ist die Kulisse, vor der sich alles Sichtbare im Kosmos abspielt. Zum anderen haben sich



Das Universum zwei Milliarden Jahre nach dem Urknall (Computermodell). Die Schwerkraft hat aus den ersten Schwankungen in der Hintergrundstrahlung schon größere Strukturen gebildet. In den gelben Bereichen gibt es besonders viel Gas, in den roten nicht ganz so viel und in den blauen nur sehr wenig Gas. In den gelben Bereichen entstehen bald viele Sterne, die dann entlang der Filamente zu den »Knoten« wandern, wo sich die heute bekannten Galaxien bilden.



die Forscher den wohl unwirtlichsten Ort auf der Erde für ihre Messungen ausgesucht: den Südpol.

DORT, IN EXTREMER KÄLTE UND TROCKENHEIT, steht das DASI-Teleskop, das noch Flecken in der Hintergrundstrahlung zeigt, die am Himmel fünfmal kleiner als der Vollmond sind. Nie zuvor haben Forscher so präzise unsere kosmischen Anfänge untersucht. Die etwas wärmeren bzw. kälteren Flecken, also die Gegenden, in denen etwas mehr bzw. etwas weniger Materie war, sind die Folge von Schallwellen, die durch das noch blutjunge Weltall liefen. Aussehen und Größe der Flecken in der Hintergrundstrahlung verraten noch heute die »Musik der Schöpfung«, freut sich John Carlstrom:

Die große Neuigkeit ist, dass der Kosmos auch in Obertönen klingt. Das Gute an Obertönen ist, dass sie verraten, welches Instrument gespielt wird, ob das eine Gitarre oder eine Trompete ist. Genauso lernen wir mit den Obertönen viel über das junge Weltall. Den Grundton hatten bereits Kollegen vor einigen Jahren entdeckt. Aber erst diese beiden neuen Töne zeigen uns, was da in Schwingung war, also woraus das All besteht.

Diese Beobachtungen der Hintergrundstrahlung und ihre weit reichenden Konsequenzen hat John Carlstrom Ende April 2001 auf der Tagung der American Physical Society in Washington, DC, vorgestellt – genau neun Jahre zuvor war an demselben Ort die Entdeckung minimaler Schwankungen in der Hintergrundstrahlung verkündet worden. Damals hatte der Satellit COBE erstmals gezeigt, dass die Hintergrundstrahlung doch nicht ganz gleichmäßig ist, wie man bis dahin gedacht hatte. Wirklich präzise Messungen gelangen dann erst mit dem DASI-Teleskop am Südpol.

Auf jener dramatischen Pressekonferenz im April 2001 war auch der Kosmologe Michael Turner anwesend, ebenfalls an der University of Chicago tätig. Turner legte eine Overhead-Folie auf, die ein Porträt seines Ende 1998 bei einem Flugzeugabsturz getöteten Freundes und Kollegen David Schramm sowie die Titelseite von dessen letztem Fachartikel zeigte. In diesem Artikel hatten Schramm und Turner genau die jetzt vorgestellten Beobachtungen gefordert und darauf hingewiesen, was sich aus solchen Messungen alles über den Urknall und den Aufbau der Welt ableiten ließe. In einem sehr bewegenden Moment fügte Michael Turner an: *Heute freut sich einer, der nicht in diesem Raum ist. Aber ich weiß: Er sitzt da oben und lächelt.*

Laut der unter anderem von Schramm und Turner entwickelten Theorie hängen Größe und Art der Flecken in der Hintergrundstrahlung vom Aufbau der Welt ab. Alle Bestandteile des Alls haben praktisch ihren eigenen Fingerabdruck in der Hintergrundstrahlung hinterlassen. Jetzt ist John Carlstrom von den eigenen Ergebnissen verblüfft:

Normale Materie, woraus Sie und ich bestehen, also das Material, das aus Sternen kommt, ist offenbar nicht das, woraus das Universum zum Großteil besteht. Wir haben jetzt gelernt, dass die normale Materie nur etwa fünf Prozent ausmacht, etwa fünfundzwanzig Prozent sind Dunkle Materie, die sich nur über ihre Anziehung verrät, aber nicht zu sehen ist. Völlig rätselhaft sind die etwa siebzig Prozent Dunkle Energie. Statt die Materie anzuziehen, treibt sie das Universum immer schneller auseinander. Das sprengt schlicht den Verstand – wir ahnen zwar in etwa, was im Universum passiert, und doch scheint unsere Materie nur ein ganz kleiner Teil davon zu sein.

Da reibt sich selbst die Fachwelt verwundert die Augen – und was würde erst Tycho Brahe dazu sagen? Beim alten Dänen ging es um die Stellung unserer Erde im Kosmos. Heute ist die Frage viel existenzieller: Ist selbst unsere Materie nur billige Zugabe im Kosmos, allenfalls Dekoration im Universum? Strahlende Sterne, bunte Nebel, leuch-

**95 PROZENT
DES ALLS SIND
VÖLLIG RÄTSEL-
HAFT**

Die Spiralgalaxie NGC 4945 sehen wir fast genau von der Kante. Hinter der nur 13 Millionen Lichtjahre entfernten Galaxie sind viele weitere Galaxien zu erkennen. Die meisten punktförmigen Objekte sind Vordergrundsterne unserer Milchstraße, allerdings mischen sich auch etliche Kugelsternhaufen dieser Galaxie darunter. (2,2-Meter-Teleskop, La Silla)

tende Galaxien – alles schön, aber sind diese Phänomene nur Komparsen im kosmischen Schauspiel? Die wahre Macht im All bleibt unsichtbar – schubst und schiebt die wenige sichtbare Materie hin und her wie tanzende Korke auf der Meeresoberfläche.

**JETZT ERST
RECHT:
BEOBACHTEN!**

DIE ASTRONOMEN SEHEN ZWAR NUR ganz wenig vom All – unsere leuchtende Materie schafft ja nicht einmal die kosmische Fünf-Prozent-Hürde –, setzen aber trotzdem auf die Beobachtung, um dem Rätsel der Dunklen Materie auf die Spur zu kommen. Was bleibt ihnen auch anderes übrig?

Wie einst bei Tycho Brahe laufen jetzt wieder große Beobachtungsprogramme, um die Struktur des Kosmos aufzudecken. So wie Brahe und Kepler aus dem Lauf der Planeten am Himmel auf deren Ellipsenbahnen schließen konnten, so hoffen die Astronomen heute, aus dem präzisen Hingucken in die Tiefen des Alls mehr über Art und Verteilung der Dunklen Materie und Energie zu erfahren.

Dabei spielen neben den fernen Supernovae – die auf völlig unterschiedliche Weise zu demselben verwirrenden Resultat geführt haben – Galaxien und Galaxienhaufen eine Schlüsselrolle in der beobachtenden Kosmologie: Wenn das Universum mit dem Urknall begonnen hat – und alle Beobachtungen deuten darauf hin –, dann gab es eine Zeit, in der die Materie im Kosmos sehr dicht und sehr heiß war. Zu jener Zeit konnte es also noch keine Galaxien geben. Heute aber ist der Kosmos voll davon – und das beschäftigt auch Jim Peebles, als Albert-Einstein-Professor an der Universität Princeton einer der großen Kosmologen unserer Zeit:

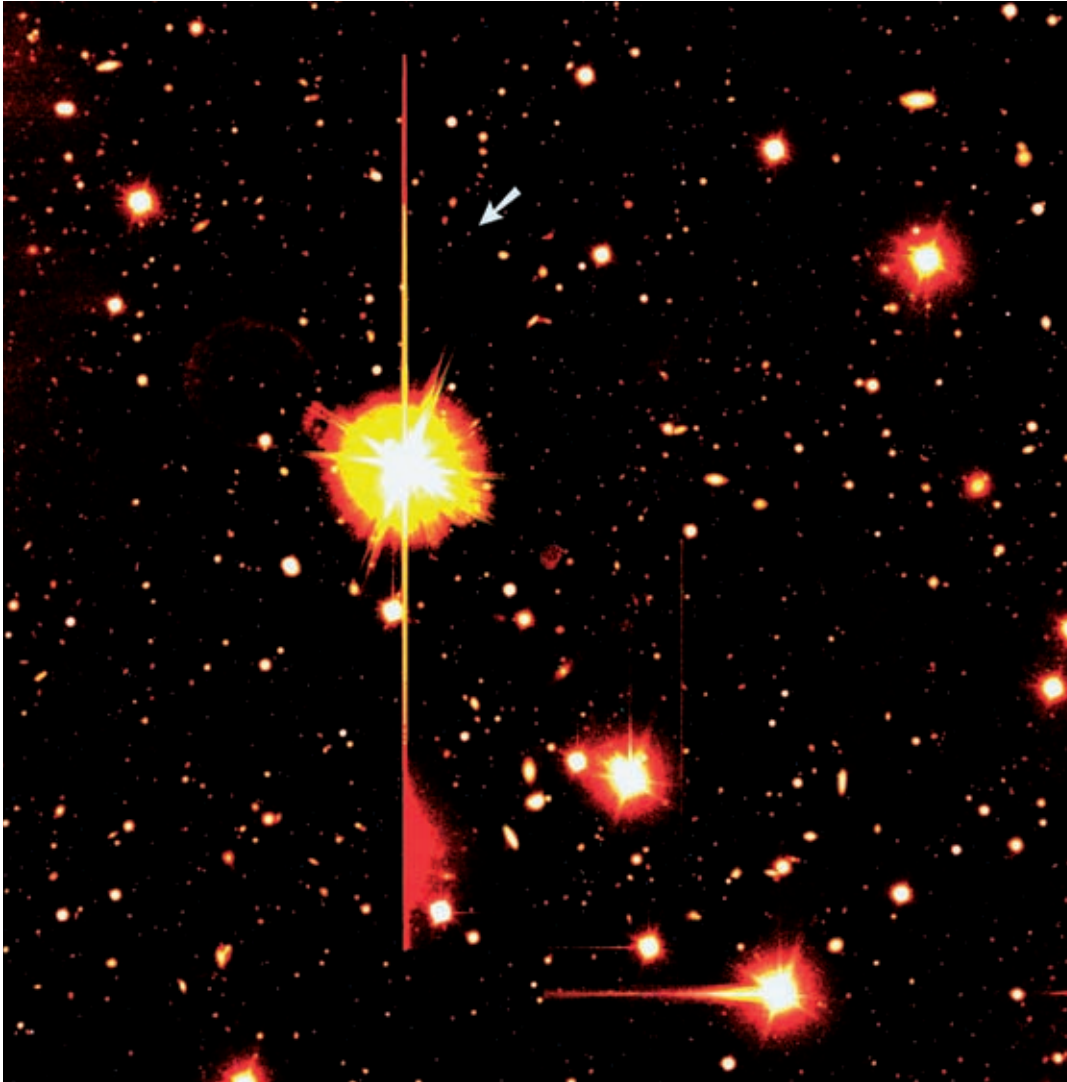
Wie entstehen Galaxien – und vor allem: Wann sind sie entstanden? Sind Galaxien etwas ziemlich Neues im Kosmos, oder gibt es sie schon lange? Die einfachste Theorie, die die meisten Beobachtungen des Kosmos gut beschreibt, ist das so genannte Standardmodell, die Lambda-Cold-Dark-Matter-Theorie. Ich habe sie vor etwa zwanzig Jahren das erste Mal formuliert. Diese recht alte Theorie arbeitet in vielen Bereichen gut, hat aber auch etliche Schwächen, die mich sehr stören. Sie scheint vorherzusagen, dass Galaxien ein recht junges Phänomen sind.

Jung heißt, dass Galaxien einige Milliarden Jahre brauchten, um sich im ausdehnenden Kosmos zu bilden. Das lässt sich unmittelbar testen – vorausgesetzt, die Astronomen blicken nur weit und genau genug ins All. Denn je weiter der Blick hinaus in den Kosmos reicht, desto jünger sind die Objekte, die die Astronomen sehen. Blicken die Forscher zehn Milliarden Lichtjahre tief in das All, sehen sie die Objekte, wie sie vor zehn Milliarden Jahren aussahen. Bei einem Weltalter von vielleicht fünfzehn Milliarden Jahren können die Objekte da draußen also höchstens fünf Milliarden Jahre alt sein.

Tom Shanks, Astronom an der Universität von Durham in England, blickt mit Teleskopen des deutsch-spanischen Observatoriums Calar Alto und einer Sternwarte auf den Kanaren zig Stunden lang tief ins All und sucht nach fernen Galaxien – und zu seinem Erstaunen findet er jede Menge davon.

Wir glauben, dass es viel mehr sehr weit entfernte Galaxien gibt, als wir bisher gedacht haben. Noch vor wenigen Jahren deuteten die Beobachtungen und auch das Standardmodell des Universums an, dass die meisten Galaxien bis zu etwa acht Milliarden Lichtjahre entfernt sind. Jetzt haben wir und auch Kollegen in den USA beobachtet, dass es in etwa zwölf Milliarden Lichtjahren Entfernung fast so viele Galaxien gibt wie in unserer Umgebung. Galaxien so weit draußen im All müssen sehr viel früher in der Geschichte des Universums entstanden sein.

Nach dem Standardmodell sind die Galaxien im Kosmos entstanden, als die Schwerkraft das fast perfekt gleichmäßig verteilte Gas zu großen Klumpen aufgeteilt hatte. Diese Klumpen sind dann in sich zusammengestürzt und haben Sterne und Galaxien gebildet. Der Haken ist, dass dieser Vorgang etwas schwerfällig ist. In den ersten Milliarden



Der entfernteste bisher beobachtete Gamma Ray Burst (GRB) flammte am 31. Januar 2000 am Himmel auf. Entdeckt von Satelliten im All, gelang dem VLT ein Blick auf die verlöschende Explosionswolke. Trotz einer Entfernung von 13 Milliarden Lichtjahren war dieser Burst gut zu beobachten. Vermutlich werden Bursts schon bald in noch viel größeren Entfernungen entdeckt. Was genau bei einem Gamma Ray Burst passiert, ist nach wie vor ein Rätsel.

Jahren des Kosmos sollte es kaum Galaxien gegeben haben – die Mehrheit der Galaxien kommt im Standardmodell gewissermaßen erst zur zweiten Halbzeit ins Spiel.

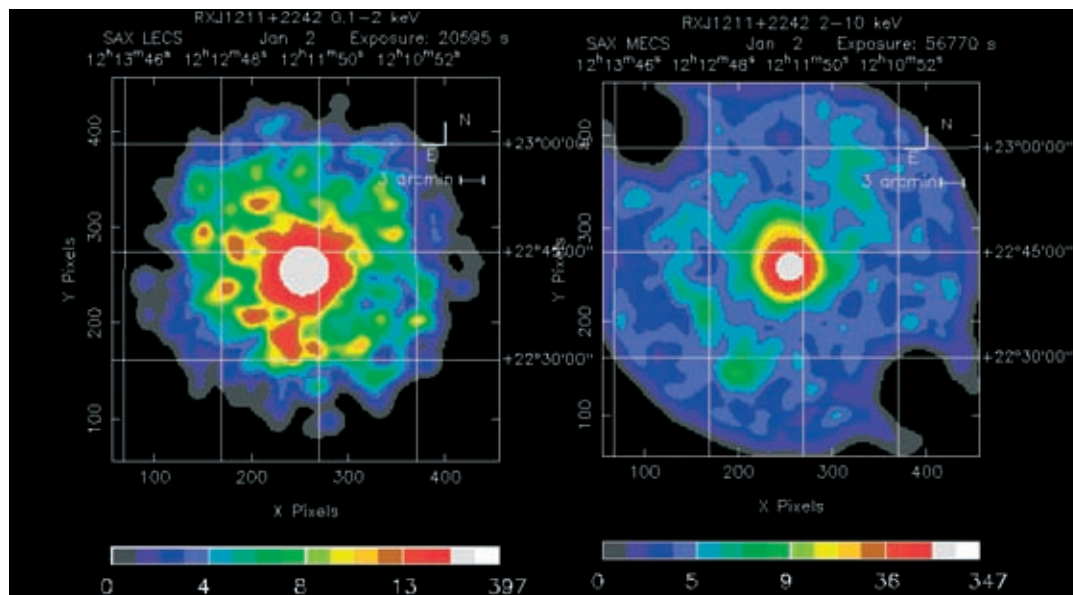
WIE DIE BEOBACHTUNGEN JETZT ZEIGEN, hat es aber Galaxien bereits in Massen gegeben, als der Kosmos erst ein Fünftel so alt war wie heute. Schon deutet sich an, dass es sogar in noch größeren Entfernungen, also zu noch früheren Zeiten, im Kosmos bereits sehr viele Galaxien gab. Das ließe sich, so Tom Shanks, derzeit mit einer von Jim Peebles vorgeschlagenen Ergänzung des Standardmodells verstehen:

Peebles glaubt, dass die Galaxien schon ein paar Minuten nach dem Urknall angesetzt waren – durch irgendeinen unbekanntem Prozess, der mit den damaligen Bedingungen im Universum zusammenhängt. Die Galaxien haben sich dann schnell aus diesen Urkernen fertig gebildet – die Schwerkraft hatte nur noch die Rolle, die Galaxien zu den heute beobachteten Haufen zu formen. Für dieses Modell spräche, wenn wir tatsächlich Galaxien in so verwirrend großen Entfernungen fänden.

Bisher hat das Team um Tom Shanks bei jedem Schritt hinaus viel mehr Galaxien gefunden als erwartet – und nicht selten hatten diese sogar schon Galaxienhaufen gebildet. Dabei setzt das Standardmodell ab einer bestimmten Entfernung die »Dark Ages« an, die dunklen, weil noch sternlosen Zeitalter – nun zeigt sich, dass dem Kosmos sehr

DIE KOSMISCHE WETTE

Die mehr als 6 Milliarden Lichtjahre entfernte Galaxie RXJ 1211+2242 gehört zu den so genannten Blazaren. Im Zentrum sitzt ein supermassives Schwarzes Loch, das sehr viel Materie entlang zweier enger Strahlungskegel (Jets) ausstößt. Bei RXJ 1211+2242 zeigt einer dieser Jets genau Richtung Erde, und wir empfangen so extrem energiereiche Strahlung. Vermutlich hat das Verschmelzen zweier großer Galaxien diese starke Aktivität ausgelöst. Für diese Beobachtungen (links weiche, rechts harte Röntgenstrahlung) hat der italienisch-niederländische Satellit BeppoSAX am 2. Januar 2002 56 770 Sekunden (fast 16 Stunden!) belichtet. BeppoSAX wurde nach sechs erfolgreichen Jahren am 30. April 2002 abgeschaltet.



viel früher als bisher gedacht ein Licht aufging. Sind die Galaxien doch buchstäblich vom Himmel gefallen?

Ob es die offenbar schon recht massereichen Keime oder Samen von Galaxien tatsächlich in der Frühphase des Kosmos gegeben hat, wird man in absehbarer Zeit beantworten können, freut sich Jim Peebles:

Ich habe eine kosmische Wette vorgeschlagen: Es geht darum zu messen, wann Galaxien entstanden sind. Ich wette, dass so massereiche Galaxien wie unsere Milchstraße etwa so häufig waren wie heute, als das Universum erst ein Viertel seiner heutigen Größe hatte. Manche Kollegen halten das für falsch und meinen, bessere Beobachtungen würden zeigen, dass es solche Galaxien nicht so früh gegeben hat. Wenn sie Recht haben, dann muss ich aufhören, Leute mit meinen Ideen über frühe Galaxien-Entstehung zu nerven.

Jim Peebles wäre aber nicht Jim Peebles, würde er diesen Wettausgang nicht für ausgesprochen unwahrscheinlich halten.

Wenn aber Galaxien tatsächlich so früh entstanden, wie jetzt erste Beobachtungen andeuten, dann bekomme ich eine Kiste guten Wein. Nach einer Pause fügt er schmunzelnd an: Na, vielleicht nur eine Flasche.

Wie auch immer – es ist unerhört spannend in der Kosmologie. Noch vor ein bis zwei Jahrzehnten von Spöttern gelegentlich der Theologie zugerechnet – weil damals kaum direkter Beobachtung zugänglich –, purzeln nun die ebenso spektakulären wie verwirrenden Daten nur so vom Himmel.

WIE EINST BEI TYCHO – EIN ABSURDES UNIVERSUM

DIE ZWISCHENBILANZ IST ERNÜCHTERND: Nur etwa fünf Prozent der Materie im All sind aus der uns vertrauten Materie, aus der Planeten, Bäume, Fahrräder, Menschen usw. bestehen. Etwa ein Viertel sind unbekannte Dunkle Materie, die anzieht und von der niemand weiß, woraus sie besteht. Die restlichen siebzig Prozent des Kosmos entfallen auf die abstoßende Kosmologische Konstante, für die es absolut keine physikalische Erklärung gibt.

Fast scheint es, als sei es wie damals bei Tycho Brahe: Es gibt klare Beobachtungsbefunde – aber die hinter allem stehende Grundidee, die die Beobachtungen auf ganz natürliche Weise erklärt, ist noch nicht klar zu erkennen. Sind die heutigen Daten ferner Supernovae und der Hintergrundstrahlung nicht in etwa das, was zu Tychos Zeiten die

Supernova von 1572 und der Komet von 1577 waren? Sind wir heute nicht wieder an einem Punkt, an dem große mathematische Konstrukte die Beobachtungen mehr schlecht als recht beschreiben, so wie die Epizykel in der antiken Planetentheorie? Sind – salopp gefragt – mal wieder Geistesblitze wie damals von Johannes Kepler nötig?

Positiv formuliert fällt die Bilanz so aus: Erstens, Urknall- und Relativitätstheorie stehen heute besser da als je zuvor. Zweitens, die aus unserer Sicht »normale« Materie ist in Wahrheit der Exot im Kosmos. Das ist sicher gewöhnungsbedürftig – aber der Kosmos muss sich schließlich nicht nach unseren Befindlichkeiten richten. Manche Kosmologen raufen sich entnervt die Haare und klagen – auch fast wie bei Tycho – über das »absurde Universum«. Nicht so Andreas Tammann – denn der erfahrene Kosmologe weiß um die Grenzen seines Faches: *Letztlich, so glaube ich, wird man das Universum überhaupt nie verstehen können. Der Urknall, mit dem das Universum anfing, wird immer eine Hypothese bleiben. Wir werden nie die Frage beurteilen können, ob das Universum endlich oder unendlich ist. Es gibt Fragen, von denen ich glaube, dass sie uns für immer verweigert sind. Deswegen freue ich mich mehr darüber, was überhaupt funktioniert, als dass ich darüber enttäuscht wäre, dass noch nicht alles erklärt ist.*



Ein tiefer Blick in die aktive Galaxie NGC 3628 (35 Millionen Lichtjahre entfernt) im Sternbild Löwe. In der Staubscheibe dieser genau von der Kante gesehenen Galaxie geht es sehr turbulent zu. Auf dem Bild sind nur wenige Vordergrundsterne unserer Milchstraße zu sehen. Alle leicht diffus erscheinenden Objekte sind Galaxien, die weit hinter NGC 3628 liegen. Der blaue Punkt knapp rechts unterhalb des schwachen blauen Flecks in der Bildmitte ist kein Stern, sondern ein Quasar in knapp zehn Milliarden Lichtjahren Entfernung.



Ferne Supernovae Ia – Sternexplosionen, die die Welt bewegen



Seite 134/135:

Den Stern Eta Carinae (auf der linken Bildseite in der Mitte) umgibt ein komplexes Nebelgebiet. Der Stern hat mehr als hundert Sonnenmassen und gehört damit zu den massereichsten bekannten Sternen. Er strahlt vier Millionen Mal heller als die Sonne. Eta Carinae pustet etwa 0,07 Sonnenmassen pro Jahr in seine Umgebung – ein enormer Masseverlust, den der Stern maximal ein paar hundert Jahre durchhalten kann. Wenn wir Glück haben, erleben wir noch, wie Eta Carinae als galaktische Supernova explodiert ... (3,6-Meter-Teleskop, La Silla)

EIN WICHTIGES »WERKZEUG«, das die Natur den Astronomen frei Haus liefert, sind die so genannten Typ Ia-Supernovae. Diese gewaltigen Explosionen lassen die betroffenen Sterne für wenige Wochen heller leuchten als ganze Galaxien. Ganz wichtig: Sie haben immer in etwa die gleiche Leuchtkraft; sie sind sozusagen von Natur aus genormt, gleichsam kosmische 100-Watt-Lampen. Erkennen die Astronomen solche Supernovae im All, dann verrät deren Helligkeit am Himmel sofort die Entfernung. Faustregel: Je schwächer, desto weiter weg. Im Licht der Supernovae ist zudem die Information eingefroren, wie schnell sich das Universum zum Zeitpunkt der Explosion ausgedehnt hat.

Seit dem Urknall expandiert der Kosmos, und an sich sollte die gegenseitige Anziehung der Materie die Ausdehnung langsam abbremsen. Von wegen. Die Supernovae zeigen den Astronomen, dass der Kosmos nicht etwa langsamer, sondern immer schneller wird. 1998 hat ein internationales Forscherteam erstmals systematische Beobachtungen ferner Supernovae ausgewertet und diesen sensationellen Befund veröffentlicht – das renommierte Wissenschaftsmagazin *Science* sah darin den »Durchbruch des Jahres« (und hielt diesen Befund damit für bedeutender als die Entdeckung, dass die geisterhaften Neutrino-Teilchen, die in Massen durch das All rasen, eine Masse haben). Dazu Bruno Leibundgut, Schweizer Astronom bei der ESO:

Unsere Messungen weisen darauf hin, dass siebzig Prozent des Universums in einer Form



Die etwa 140 Millionen Lichtjahre entfernte Galaxie ESO 184-G82 in einer Aufnahme mit dem (inzwischen stillgelegten) Schmidt-Teleskop auf La Silla im Jahr 1985. Das Licht einer in dieser Spiralgalaxie aufgeflamten Supernova war damals noch 13 Lichtjahre von der Erde entfernt ...

vorhanden sind, die wir bis jetzt nicht gekannt haben. Das wird oft als Dunkle Energie bezeichnet und hat dazu geführt, dass inzwischen viele neue Modelle für die Kosmologie entwickelt worden sind. Auch die Physik versucht, diese Dunkle Energie zu erklären. Die Dunkle Energie kommt zusätzlich zur Dunklen Materie hinzu, die schon vorher postuliert war und für die die Physik eigentlich auch noch keine Erklärung hat. Jetzt haben wir es auch noch mit der Dunklen Energie zu tun. Dunkle Energie und Dunkle Materie zusammen entsprechen so etwa 95 Prozent des Universums. Und die Physik hat keine Erklärung – für beide.

ER LÄCHELT – DIE NATUR HAT ES DEN FORSCHERN wieder einmal gezeigt. Mit der kosmischen Idylle ist es erst einmal vorbei. Bis vor wenigen Jahren gingen die meisten Astronomen noch davon aus, dass es im Kosmos Strahlung und Materie gibt und dass die Materie mit ihrer Anziehung die Ausdehnung des Kosmos allmählich abbremst. Jetzt sehen die Astronomen, dass sie im All fast nichts sehen, dass fast das gesamte Universum selbst in den besten Teleskopen prinzipiell nicht zu sehen ist. Zu demselben Ergebnis kamen kurz nach der Supernova-Veröffentlichung Untersuchungen der kosmischen Hintergrundstrahlung – mit einer völlig anderen Methode. Dieser überraschende Befund ist also sehr gut bestätigt. Aber das sollte niemand persönlich nehmen.

**AUGEN AUF
UND DURCH!**

Ich versuche, die Natur zu verstehen, und zwar die Natur, die mir zugänglich ist. Ob das



... aber am 4. Mai 1998 war es angekommen. In jener Nacht hat das NTT auf La Silla dieses Bild der Supernova 1998bw am Rand der Spiralgalaxie ESO 184-G82 aufgenommen. Die in vielem sehr merkwürdige Supernova hängt offenbar mit dem am 25. April 1998 an derselben Stelle explodierten Gamma Ray Burst zusammen, den der italienisch-niederländische Satellit BeppoSAX beobachtet hatte.

fünf Prozent sind oder hundert Prozent, überlege ich mir gar nicht. Wenn ich Zugang zu fünf Prozent habe, dann will ich diese fünf Prozent verstehen. Das kann heißen, dass ich Schlussfolgerungen ziehen muss, die von außen kommen und die die restlichen 95 Prozent beinhalten. Aber im Moment als Beobachter mache ich wirklich die Beobachtungen und versuche, diese Daten zu interpretieren.

Für die Beobachter gibt es in der Tat genug zu tun. Eine Frage ist, ob die Supernovae wirklich gut genug verstanden sind. Sind womöglich Supernovae vor sechs oder acht Milliarden Jahren ganz anders abgelaufen als heute oder vor einer Milliarde Jahren? Die Entdeckung der beschleunigten Expansion basiert auf der Annahme, dass diese Sternexplosionen wirklich geeichte Glühlampen sind – also zu allen Zeiten in etwa gleich abliefen.

Bis jetzt stützen alle Beobachtungen den noch Mitte der neunziger Jahre unvorstellbaren Befund: Irgend etwas treibt den Kosmos immer schneller auseinander – und niemand weiß, was das sein könnte. Niemand weiß, was physikalisch dahinter steckt. Eine Idee ist so genannte Vakuumenergie, eine zusätzliche Komponente des Universums mit einer abstoßenden Kraft. Wie stark die normale anziehende Materie wirkt, hängt davon ab, wie dicht sie im Kosmos gepackt ist. Dagegen ist die abstoßende Vakuumenergie im Kosmos immer gleich groß – und das hat verblüffende Folgen, erklärt Leibundguts Teamkollege Robert Kirshner vom Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics in den USA:

Wenn man in der Zeit weiter zurückgeht, also immer tiefer ins All guckt, dann ist die Materie sehr viel dichter gepackt als heute. Damals dominierte die Materie mit ihrer Anziehungskraft – das Universum dehnte sich zwar aus, wurde aber langsamer. Irgendwann war im ausdehnenden Weltall die Materie so dünn verteilt, dass ihre Anziehung kleiner war als die abstoßende Kraft der Vakuumenergie. Seitdem beschleunigt das Universum. Das Universum hat sozusagen irgendwann umgeschaltet – von Abbremsen auf Beschleunigen.

**DAS UNIVERSUM
GEHT VON
DER BREMSE
AUF GAS**

EINE FASZINIERENDE VORSTELLUNG: Ab einer bestimmten Entfernung müssten die Supernovae statt der Beschleunigung noch Spuren der Abbremsung aus der Jugendzeit des Kosmos zeigen. Bisher sind etwa zehn Milliarden Lichtjahre entfernte Exemplare kaum zu beobachten. Aber schon bald könnten die Astronomen mit Hilfe der Supernovae buchstäblich *sehen*, wie die abstoßende Vakuumenergie im Kosmos das Zepter übernommen hat und seitdem unser Universum immer schneller auseinander treibt. Bruno Leibundgut und sein Team planen ein neues großes Beobachtungsprogramm:

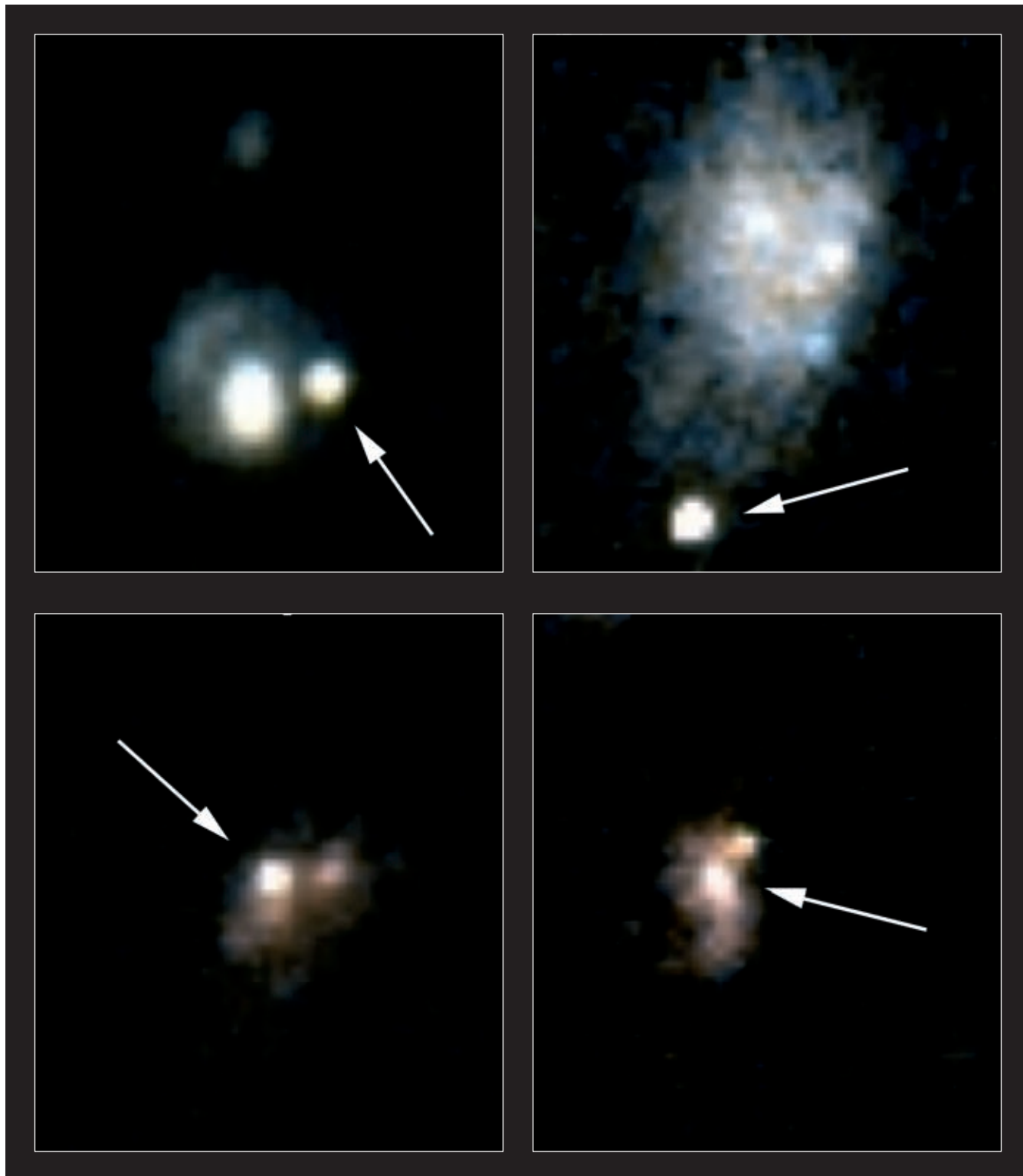
Wir wollen entscheiden, ob die Beschleunigung des Universums von der Kosmologischen Konstante kommt oder von den so genannten Quintessenz-Feldern. Der Zeitpunkt, zu dem die Beschleunigung über die Abbremsung gewinnt, hängt davon ab, was die Beschleunigung verursacht und wie stark diese Zusatzkomponente ist. Wenn diese sehr stark ist, fängt die Beschleunigung früher an. Wenn sie schwächer ist, ist dieser Übergang später im Universum oder von uns aus gesehen bei einer geringeren Entfernung. Wir brauchen dafür extrem genaue Messungen. Wir denken, dass wir über 200 Supernovae in dem entscheidenden Bereich brauchen, um das wirklich machen zu können. Das wird lange dauern. Wir müssen jetzt den Rest der Welt überzeugen, dass die uns die Beobachtungszeit geben, damit wir das machen können.

Die Astronomen müssen dazu Supernovae in einer Entfernung von vier bis etwa neun Milliarden Lichtjahren finden und genau beobachten. Kein leichtes Unterfangen, aber vom Erdboden aus mit Spitzenteleskopen machbar.

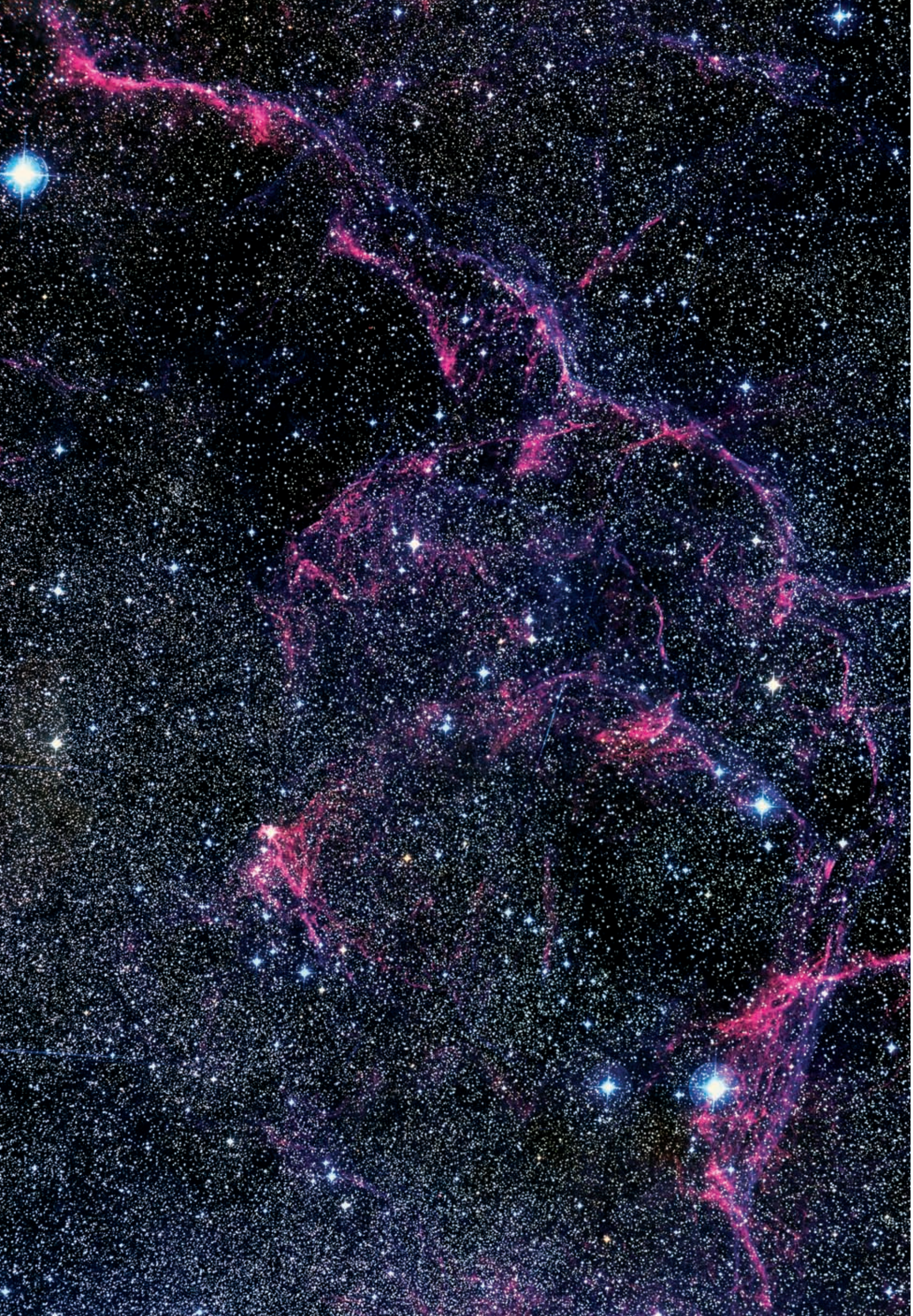
Übrigens sind die fernen Supernovae seit den sensationellen Entdeckungen des Jah-

Für kosmologische Untersuchungen brauchen die Astronomen weit entfernte Supernovae vom Typ Ia. Die vier Aufnahmen stammen vom Hubble-Weltraumteleskop: SN 1997cj ist knapp sieben Milliarden Lichtjahre entfernt, SN 1998M etwa 7,5 Milliarden Lichtjahre, SN 1998j gut acht Milliarden Lichtjahre und SN 1998l

sogar fast neun Milliarden Lichtjahre (von links oben nach rechts unten). Alle hier abgebildeten Supernovae sind also explodiert, lange bevor Sonne und Erde entstanden sind. Aber ihr Licht erreicht erst jetzt die Erde und verrät den Astronomen, dass sich der Kosmos offenbar immer schneller ausdehnt.



es 1998 ein absolutes Modethema der Astronomie geworden. Das Feld ist völlig überlaufen. Nicht wenige wähen hier das Thema eines künftigen Nobelpreises – dabei sollte der, wenn überhaupt, mit den ersten grundlegenden Entdeckungen eigentlich vergeben sein. So arbeiten manche Teams auch schon mal mit harten Bandagen. Es werden Fachartikel mit großen Schlussfolgerungen publiziert – ohne allerdings die zugrunde liegenden Daten zu veröffentlichen. Leider unterhalten nicht alle Sternwarten Archive, in denen



die Daten nach einer gewissen Zeit für alle zugänglich abgelegt werden. Anders als in einigen Bereichen der Genetik müssen Astronomen bei einer Veröffentlichung nicht auch automatisch alle Daten veröffentlichen. Um nicht missverstanden zu werden: Die meisten Astronomen publizieren redlich – und unsauberer Publizieren ist eine menschliche Schwäche, die leider nicht nur auf Teile der Astronomie beschränkt ist, sondern in allen Wissenschaften vorkommt.

Manche Forscher – keineswegs nur im Bereich der Supernovae – wachen eifersüchtig darüber, dass ja kein anderer ihre Daten benutzt. Ein wissenschaftliches Armutszeugnis. Zudem sind Teleskope und Arbeitsgruppen kein Privateigentum, sondern zumeist aus öffentlichen Mitteln finanziert – da sollten im Interesse des Wettstreits der Forschung alle Daten nach einer gewissen Zeit öffentlich sein. Das ESO-Archiv – eine ebenso kostspielige wie wissenschaftlich effiziente Einrichtung – steht allen Astronomen aus ESO-Ländern und Chile offen. Ein Jahr nach der Beobachtung werden die Beobachtungen »öffentlich«. Dann dürfen alle Astronomen diese Daten nutzen, nicht nur die, die sie aufgenommen haben. Mit den Daten des Hubble-Weltraumteleskops geschieht dasselbe – auch sie sind meist nach einem Jahr »public«.

BRUNO LEIBUNDGUT FREUT SICH auf das neue große Omega-Projekt, das klären soll, ob nun Kosmologische Konstante, Quintessenz oder vielleicht doch etwas ganz anderes den Kosmos so auf Trab bringt.

WARTEN AUF DEN DURCHBRUCH

Das Schöne an der Kosmologie heutzutage ist, dass wir im Vergleich zu vor dreißig oder vierzig Jahren wirklich durch die Daten dominiert werden. Damals basierte im Wesentlichen alles auf Theorien; sie konnten im Prinzip kaum anhand der Daten überprüft werden. Das hat sich jetzt umgekehrt.

Daten und Modelle gehen die ganz grundlegenden Fragen unserer Welt an. Woraus besteht das Universum? Was steckt hinter der Dunklen Energie? Wird sich der Kosmos ewig ausdehnen? Das uralte Licht längst erloschener Sternexplosionen liefert die Antworten darauf – auch wenn die Forscher bisher all die Antworten und Daten von Supernovae und Hintergrundstrahlung keineswegs in einem großen Bild verstehen. Einen Ausweg schaffen nur weitere Beobachtungen – und gute Ideen.

Die Brocken für die Physik sind im Moment da – wir haben 95 Prozent des Universums, die wir einfach nicht verstehen: 25 Prozent sind Dunkle Materie, von der wir immer noch keine Ahnung haben, was sie ist. Dann haben wir solche Dinge wie Dunkle Energie, Kosmologische Konstante oder Quintessenz. Das soll vielleicht siebzig Prozent der Energiedichte des Universums sein, und da haben wir auch überhaupt keine Ahnung. Das ist eigentlich eine interessante Situation. Vielleicht haben wir in zehn Jahren eine Theorie, die das alles erklärt – aber einen Durchbruch brauchen wir jetzt schon.

Diese großen Gasfilamente gehören zu den Überresten einer Supernova, die vor mehr als 10 000 Jahren im Sternbild Segel explodiert ist. Die von der Supernova ins All geschleuderte Materie prallt auf das umgebende Gas. Durch die gegenseitigen

Stöße leuchten die Teilchen (rot ist vor allem Wasserstoff). Die Reste der Supernova werden sich schließlich mit dem übrigen Gas in der Milchstraße vermischen und Ausgangsmaterial für neue Generationen von Sternen und Planeten sein.



Mit Stock auf den Stein – wie Europas Astronomen nach Chile kamen



Seite 142/143:
La Silla einst und jetzt.
Das erste Bild von
La Silla – vom Gipfel aus
Richtung Nordwesten –
wurde im April 1964
aufgenommen, als ESO-
Generaldirektor Otto
Heckmann, Ch. Fehren-
bach und André Muller
per Helikopter nach
La Silla geflogen waren.
Das kleine Bild entstand
1998 von einem ähnli-
chen Standort aus.

DASS DIE ASTRONOMEN EUROPAS heute ihre großen Teleskope in Chile betreiben – und nicht, wie zunächst geplant, in Südafrika –, haben sie im Wesentlichen Jürgen Stock zu verdanken. Natürlich sind viele Menschen am Aufbau und am Betrieb von ESO beteiligt. Doch letztlich war der persönliche Kontakt zwischen Jürgen Stock und seinem Doktorvater, dem ESO-Gründungsdirektor Otto Heckmann, entscheidend. So unglaublich es klingen mag: Ohne Jürgen Stock stünden die ESO-Großsternwarten heute kaum auf La Silla und Paranal.

Doch der Reihe nach: Jürgen Stock ist im Juli 1923 in Hamburg auf die Welt gekommen. Von 1925 bis 1928 lebte er in Mexiko, kam wieder zurück nach Deutschland und studierte schließlich in Hamburg Astronomie. Als sich die deutsche Astronomie Anfang der fünfziger Jahre nach den Kriegswirren wieder aufrappelte, sah der junge Forscher kaum eine berufliche Perspektive in Deutschland. Denn die Sternwarten waren personell aufgebläht. Im Krieg hatten viele Sternwartendirektoren eine Reihe von vermeintlich »strategisch wichtigen« Stellen geschaffen, um junge Leute vor dem Kriegsdienst zu bewahren. Von diesen Personen waren noch viele an den Sternwarten tätig, hatten bereits promoviert und warteten auf eine frei werdende Dauerstelle.

In Hamburg bekam Stock ein Stipendium über fünfzig Mark pro Monat – das war auch damals schon zu wenig, um den Lebensunterhalt zu bestreiten. Kleine Nebenjobs wie das Herstellen von Bildern aus dem Plattenarchiv der Sternwarte für eine neue Brockhaus-Ausgabe hielten den jungen Astronomen mehr schlecht als recht über Wasser. Als Jürgen Stock ein Stipendium aus den Vereinigten Staaten angeboten bekam – 250 Dollar im Monat, was damals mehr als 1000 Mark entsprach –, nahm er natürlich sofort an. Innerhalb weniger Monate wechselte er in den USA auf eine feste Stellung mit 800 Dollar Monatsgehalt. Damit war klar, dass Hamburg keine Alternative mehr sein konnte. Allerdings wurde Stock als Experte für einen bestimmten Teleskop-Typ (Schmidt-Spiegel) noch einmal kurz zurück nach Hamburg geholt. Die Hamburger Sternwarte schickte ihn dann nach Südafrika, um dort für acht Monate die Boyden-Sternwarte zu leiten.

J. Boulon bei Sichtunter-
suchungen in Willomore
in der südlichen Karroo-
Region von Südafrika,
1956. Als Ausrüstung
stand ein Danjon-Teleskop
mit einem Walraven-
Refraktor-Photometer
zur Verfügung.





Gipfeltreffen auf Cerro Morado am 10. Juni 1963. Von links nach rechts: Arturo Garrote, N. U. Mayall, H. Siedentopf, Marchetti (Architekt), Jan H. Oort, Ch. Fehrenbach, André Muller, Otto Heckmann und Jürgen Stock. Siehe auch Seite 149.

BEREITS 1953 HATTE DER IN DEN USA arbeitende deutsche Astronom Walter Baade bei Gastvorlesungen in Leiden in den Niederlanden die Europäer ermuntert, eine große Sternwarte in klimatisch günstigem Gebiet aufzustellen. Die USA hatten damals mit ihren Großteleskopen in Kalifornien eine uneinholbar scheinende Vormachtstellung. So waren im Sommer 1953 in Leiden Astronomen aus Frankreich, Belgien, den Niederlanden, England, Schweden und der Bundesrepublik Deutschland zusammengekommen, um über eine europäische Südsternwarte zu beraten.

Als natürliche Wahl für den Standort erschien Südafrika. England betrieb schon seit Jahrhunderten kleinere Sternwarten in Südafrika – traditionell bestanden gute Beziehungen der Astronomen zum Kap. Der Tafelberg von Kapstadt hat es sogar als Sternbild »Mensa« an den Südhimmel geschafft. England verließ dann bald wieder die Gruppe der europäischen Astronomen – man hatte ohnehin ein Standbein am Kap und war mit einem neuen großen Radioteleskop auch finanziell vollkommen ausgelastet. Mitte 2002 ist Großbritannien dann aber doch noch der ESO beigetreten.

So fanden von 1954 bis 1961 in Südafrika Sichtexpeditionen statt, auf denen junge Astronomen besonders geeignete Standorte für eine künftige Europäische Südsternwarte erkunden sollten. Ein guter Standort für eine Sternwarte muss sehr dunkel sein – es dürfen sich also keine großen Städte in der Nähe befinden. Dann muss es natürlich möglichst oft wolkenlos sein – niemand stellt eine Sternwarte in Dauerregen. Noch wichtiger ist aber, dass die Luft in den vielen klaren Nächten sehr ruhig ist. Das Funkeln der Sterne ist Astronomen ein Graus. Nur bei möglichst ruhiger Luft lassen sich wirklich scharfe Bilder aus dem Kosmos gewinnen. Mit dem Begriff »Seeing« beschreiben die Astronomen, wie ruhig die Luft ist, also wie klar die Sterne erscheinen. Je besser das Seeing, desto schärfer die Bilder.

EINE EXPEDITION KAM MITTE DER FÜNFZIGER JAHRE in Kontakt mit Jürgen Stock an der Boyden-Sternwarte. Die Gruppe junger Astronomen sollte mit tragbaren Fernroh-

**EUROPAS
ASTRONOMEN:
GO SOUTH!**

**DER ERSTE KON-
TAKT MIT ESO**



Im Oktober 1964 inspizieren Ch. Fehrenbach (als Vorsitzender des Instrumentation Committee), der Architekt F. W. de Vlaming und Adriaan Blaauw (ESO-Generaldirektor von 1970 bis 1974) zusammen mit einigen anderen ESO-Mitarbeitern La Silla zu Pferde, um die Standorte der Teleskope und sonstigen Gebäude festzulegen; von links nach rechts: de Vlaming, André Muller und der damalige ESO-Generaldirektor Otto Heckmann.

ren untersuchen, wie gut ein großes Teleskop auf den jeweiligen Bergen arbeiten könnte. Stock selbst war an einem 1,5-Meter-Spiegelteleskop tätig und kannte die atmosphärischen Tücken der Region.

Ungefähr um zehn Uhr abends bricht sozusagen das meteorologische System zusammen. Dann sinkt die Temperatur um mehrere Grad innerhalb weniger Minuten. Man merkt wirklich, wie kalte Luft in die Kuppel hineinströmt. Die Bildqualität, die zuvor eine sehr schöne hohe Auflösung hatte, war plötzlich katastrophal. Das spielte sich jede Nacht ab. Als die Leute dann da waren, habe wir natürlich eines Tages gesagt, nun guckt doch mal, wie das bei euch aussieht. Da stellte ich fest, in den Daten, die die mit ihren kleinen Fernrohren machten, da war nichts davon darin. Also irgendetwas stimmte da nicht.

Stock bearbeitete dann die ganze Theorie, wie Lichtstrahlen durch die Atmosphäre laufen. So erkannten die Astronomen schnell, warum die Turbulenzen der Luft in den kleinen Teleskopen nicht zu bemerken waren – und Stock entwickelte ein Teleskop, das die tatsächlichen Verhältnisse erfasste, die ein großes Fernrohr beobachten würde. Ein Doppelfernrohr erwies sich als die beste Lösung – dabei sind zwei kleine Fernrohre parallel auf einer zwei Meter breiten Montierung befestigt. Das Instrument erinnert eher an ein Entfernungsmessgerät.

Die beiden Bilder der einzelnen Teleskope gelangen in ein einziges Okular – der Beobachter sieht gleichsam einen Doppelstern. Das Bildpaar als solches bewegt sich im Okular entsprechend den Schwankungen des ganzen Doppelfernrohrs. Die entscheidende Frage ist, wie fest die beiden Bilder im Okular zueinander stehen. Denn die atmosphärische Turbulenz lässt die beiden Bilder relativ zueinander schwanken, weil das Licht der einzelnen Bilder durch die auf- und absteigenden Luftblasen unterschiedlich abgelenkt wird.

So lässt sich mit zwei kleinen Teleskopen genau erkennen, wie gut die Bildqualität in einem großen Teleskop wäre. Dieser große Einsatz von Jürgen Stock in Südafrika war aber nicht allen recht.

Wir bekamen – wie man so schön sagt – eins auf den Deckel von meinem Chef in Hamburg. Der meinte, wir sollten nicht in die Einzelheiten der Expedition der Europäischen Südsternwarte eingreifen. Dabei blieb es dann auch, und ich ging wieder nach Amerika.

Jahre später sollten Stocks Chef, Otto Heckmann, und Stock selbst noch einmal Kontakt in Sachen Südsternwarte bekommen – und dann auch zur Freude beider. Doch zunächst war Jürgen Stock als Astronom am Kiss Institute for Technology in Cleveland, Ohio, tätig.

»DIE GRÖSSTE
SAMMLUNG
ASTRONOMISCHER
GERÄTE BEFINDET
SICH IN CHILE.«

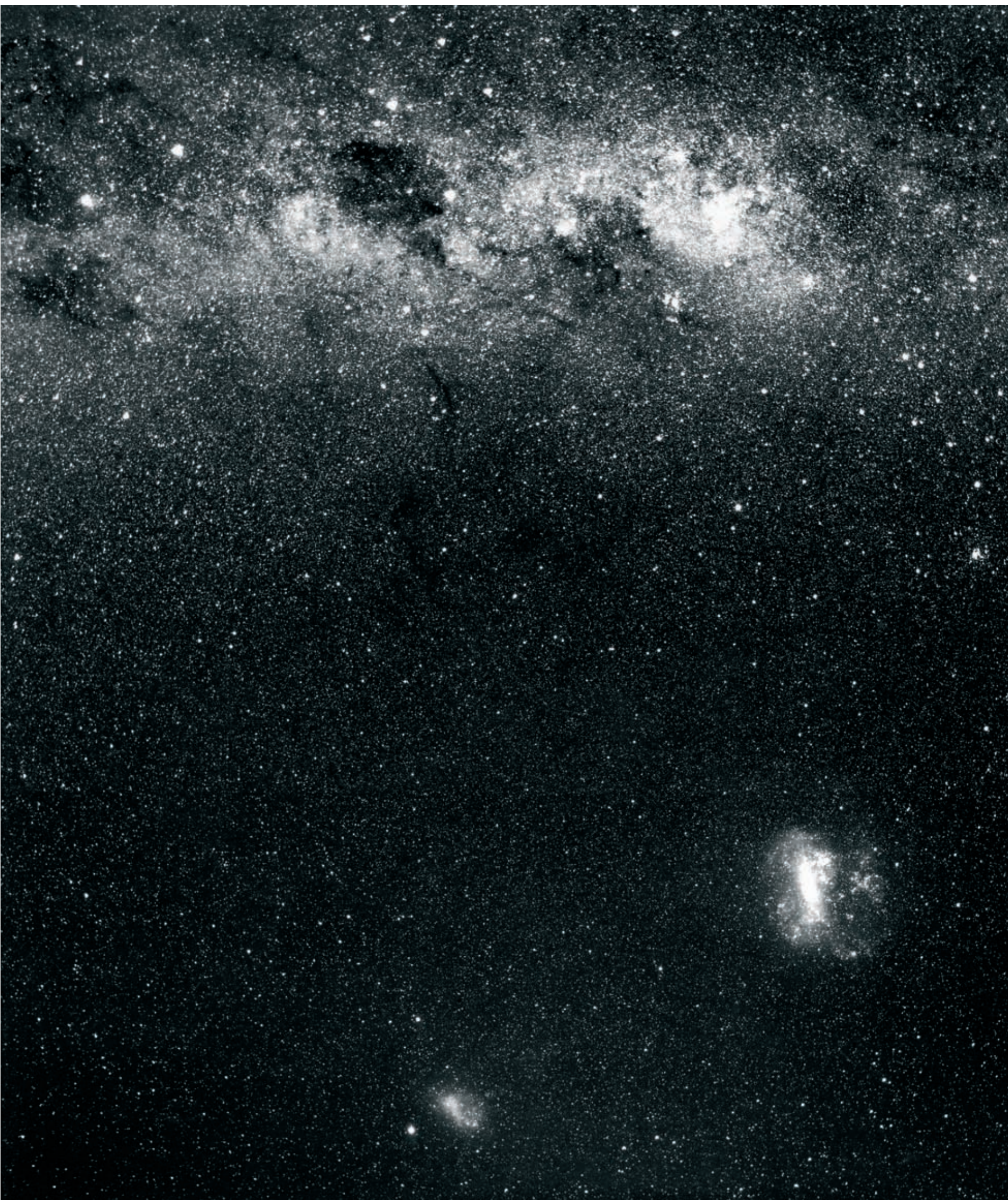
DORT ERREICHTE IHN EINES TAGES EIN ANRUF des Direktors der Yerkes-Sternwarte, Gerard Kuiper. Kuiper hatte von dem Experiment in Südafrika gehört und fragte Stock, ob er bereit wäre, eine Sichtuntersuchung in Chile in Gang zu setzen. Kuiper war in Santiago gewesen und hatte von der amerikanischen Luftwaffe Geld bekommen, um ein 1,5-Meter-Spiegelfernrohr in Chile aufzustellen – das wollte er gemeinsam mit der Universität von Chile betreiben. Kuiper hatte bereits drei Stationen um Santiago herum ausgesucht, und Stock sollte herausfinden, welche von den dreien die beste sei. Innerhalb weniger Tage reiste Stock nach Chile und begann dort mit den Sichtuntersuchungen.

Eine zufällige Begegnung in Südafrika, ein Anruf aus Yerkes, eine Reise nach Chile – es klingt alles banal. Im Gespräch fügt Jürgen Stock nach kurzem Zögern hinzu:

Das hat dazu geführt, dass sich heute die größte Sammlung von astronomischen Geräten in Chile befindet.

Die Objekte der Begierde, derentwegen sich die Astronomen sehnlichst eine Südsternwarte wünschten: die südliche Milchstraße (siehe Seite 153) sowie die Große (unten rechts; siehe Seite 171) und die Kleine (unten Mitte; siehe Seite 55) Magellansche Wolke. In der Milchstraße ist oben

in der Mitte das Kreuz des Südens mit dem Kohlsack zu erkennen, links davon die beiden Weiser-Sterne Alpha und Beta Centauri, die genau auf das Kreuz zeigen. Die Magellanschen Wolken sind erst südlich des Südlichen Wendekreises gut zu beobachten.



Bis dahin hatte es außerhalb von Santiago, auf dem Cerro Calán, eine kleine chilenische Sternwarte gegeben. Dort in der Nähe wollten sich auch die Amerikaner ansiedeln – doch Stock ging nach seiner Ankunft in Chile im Jahre 1959 äußerst zielstrebig ans Werk. Der junge Astronom hatte schnell erkannt, dass Chile über eine einzigartige Geographie verfügt. Kurz gesagt: Je nördlicher, desto trockener. Der Norden Chiles ist totale Wüste, und vor der Küste zieht ein kalter Ozean entlang. Das führt dazu, dass sich über dem Meer in niedrigen Höhen eine kalte Luftschicht bildet. Diese schwerere Luft liegt unter der warmen Luft und steigt gar nicht erst auf. Somit kommt die Turbulenz, die im Wesentlichen durch Wechselwirkung mit dem Boden entsteht, gar nicht erst in größere Höhen.

**VICUÑA –
DIE STADT DER
SCHWARZEN
NÄCHTE**

JÜRGEN STOCK REISTE BALD IN DEN NORDEN – nicht ganz in die Wüste, aber in die Region Norte Chico (»kleiner Norden«). Etwa 500 Kilometer nördlich von Santiago befindet sich die Küstenstadt La Serena. Von dort fuhr Stock sechzig Kilometer weit hinein in das Tal des Flüsschens Elqui und erreichte Vicuña – den Heimatort der chilenischen Schriftstellerin Gabriela Mistral (1889-1957; Nobelpreis für Literatur 1945).

Dann stieg ich zu Fuß auf den nächstliegenden Berg hinauf, weiter konnte ich nicht, weil das dann schon eine Expedition von mehreren Tagen gewesen wäre. Da sah ich einen Berg liegen, weit weg vom Tal, weit weg von der Straße, der aber genau die ideale Topographie hatte – schön isoliert von allem, was ihn umgibt, und hoch genug. Da habe ich gesagt, da würde ich ja gerne mal hingehen und mir das Ganze ansehen.

Der Berg war etwa vierzig Kilometer von der nächsten mit Jeep befahrbaren Piste entfernt – verlangte für einen Aufstieg also einen erheblichen logistischen Aufwand. Einige Monate später unternahm Stock tatsächlich mit einigen Kollegen von der Universität von Chile eine Expedition dorthin – nach zwei Tagen Reise mit Mauleseln und Pferden erreichten sie den Gipfel.

Die erste Nacht da oben war so eindrucksvoll: eine total klare Nacht, absolut windstill, eine sehr angenehme Temperatur. Besser konnte man es gar nicht haben – und dann einfach finstere schwarze Nacht in allen Richtungen, weil nichts weiter an Ortschaften in der Nähe war.

Damals ein unbekannter Berg irgendwo im Norden Chiles, hat dieser Berg heute für Astronomen einen geradezu magischen Klang: Cerro Tololo, Standort der ersten Großsternwarte in den chilenischen Anden. Tololo bedeutet in der Sprache der Einheimischen so etwas wie »Luftspiegelung« oder »Fata Morgana«. Die erste Nacht auf diesem Berg mag Jürgen Stock damals in der Tat unrealistisch vorgekommen sein – doch heute nutzen die Astronomen auf Tololo und den anderen Sternwarten Nacht für Nacht die traumhaften Bedingungen im Norden Chiles.

Sehr schnell hatte sich herausgestellt, dass der ursprüngliche Plan, die Expeditionen nur auf den Weg zu bringen, nicht umzusetzen war. Jürgen Stock musste praktisch die ganze Zeit persönlich dabei sein – und erkannte auf diese Weise die außerordentliche astronomische Qualität dieser Region. Er berichtete davon begeistert seinem Chef am Yerkes-Observatorium – und fügte an, dass es sich lohne, einmal an etwas Größeres zu denken, nicht nur an ein einzelnes Fernrohr. Denn bis dahin war das offizielle Ziel der Expedition, ein 1,5-Meter-Teleskop in Chile aufzustellen.

Stocks Vorschlag hatte Folgen: Gerard Kuiper sprach mit dem Präsidenten des Kitt Peak National Observatory, Donald Shane. Bald darauf war eine US-Südsternwarte beschlossene Sache. Das Projekt wechselte von der University of Chicago auf AURA (Association of Universities for Research in Astronomy) über, also auf die Vereinigung der astronomische Forschung betreibenden Universitäten der USA.

Nach nächtlichem Stop am Abzweig der alten Panamericana macht sich der Konvoi mit dem ersten VLT-Spiegel am Morgen des 8. Dezember 1997 wieder auf den Weg. Drei Caterpillar fahren voran und sorgen dafür, dass es auf der Piste kein Hindernis für den Transporter mit der fragilen Fracht gibt.



Das Gemini South Telescope auf Cerro Pachón (ehemals Cerro Morado) im Jahr 2001 vor verschneiten Andengipfeln. Die Expedition von Jürgen Stock hatte vierzig Jahre zuvor die exzellenten Sichtbedingungen des Berges belegt.



STOCK HATTE SEINE ERSTEN SICHTUNTERSUCHUNGEN in Chile mit einfachen Teleskopen durchgeführt. Für die recht aufwändigen, seinerzeit in Südafrika entwickelten Doppelteleskope war zunächst kein Geld vorhanden gewesen – jetzt, da das Projekt in größere Dimensionen vorgedrungen war, stand ein ganz anderes Budget zur Verfügung, und die Doppelfernrohre wurden umgehend gebaut.

**ASTRONOMEN
ALS WETTER-
PRÜFER**

Tololo hatte sich schnell als so gut erwiesen, dass es nur noch darum ging, ob man nicht einen noch besseren Standort finden könne. Bis überhaupt die Standorte ausgewählt werden konnten, mussten erst einmal verlässliche Daten über die Berge her: Wie stark ist die Bewölkung? Wie oft ist der Nachthimmel klar? Automatisch ließen sich solche Daten damals kaum erfassen. Also musste immer jemand auf den Bergen sein. Weitere wichtige Punkte sind Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Wind. Am wichtigsten ist die atmosphärische Turbulenz, die das Flimmern der Sterne verursacht. Für die Messung der Turbulenz brauchte das Team die speziellen Doppelfernrohre. Sie mussten also auf die Berge gebracht werden, die bis zu vierzig Kilometer von der nächsten Sandstraße entfernt waren.

Der Expeditionstrupp betrieb zum Teil mehrere Messstationen gleichzeitig. Die Daten der Berge wurden untereinander verglichen – und die einzelnen Bergteams mussten laufend den Standort wechseln, um die persönlichen Fehler der Teilnehmer auszugleichen. Die Messungen mussten dann natürlich mindestens ein Jahr laufen, um alle Jahreszeiten abzudecken. Zudem ist ein Jahr nicht wie das andere, so dass prinzipiell Messreihen über viele Jahre nötig wären – im Norden Chiles konnte man darauf verzichten, da die Bedingungen offensichtlich hervorragend waren. Da war es gar nicht erforderlich, nun den absolut besten Berg zu ermitteln.

Doch auch so war der Aufwand enorm. Wie macht man Sichtbeobachtungen mitten in kargster Landschaft bzw. in der Wüste? Die Gruppe um Jürgen Stock musste sich die klimatischen Daten der Berge in der Atacama-Wüste und im Chico Norte hart erarbeiten – schon rein logistisch war das vor gut vierzig Jahren eine Meisterleistung.

Die ersten Wohn- und Arbeitsräume auf La Silla am Westhang des Berges im Dezember 1967. Auf dem Berg im Hintergrund steht heute das New Technology Telescope. Das Schild vorne rechts mahnt zur Ruhe und keine »schlafenden Astronomen« zu wecken.



Einige Stationen verlangten wirklich eine Reise von zwei Tagen von der nächsten Stelle, zu der man noch mit dem Auto hin konnte. Das ganze Gerät, dazu noch Heu für die Maulesel und Wasser und all solche Dinge mussten mitgebracht werden.

**SHANE SEI DANK:
DIE STOCK
REPORTS DER
HISTORISCHEN
EXPEDITION**

MEHR ALS ZWEI JAHRE RITT JÜRGEN STOCK mit seinem Team durch die Anden. Das Reiten beherrschte Stock seit Schülertagen – in den Sommerferien war er oft als Reitlehrer im Hamburger Stadtteil Klein Borstel tätig gewesen. Stock hatte jeden Abend im Zelt – oder wo auch immer er gerade war – die Erlebnisse des Tages in winziger Schrift in ein kleines Ringbuch geschrieben. Beim nächsten Besuch in einer Stadt wurden diese Berichte an Stocks Chef Donald Shane in die USA geschickt. Shane hatte – ohne dass Stock zunächst davon wusste – die Berichte abtippen, vervielfältigen und an viele Astronomen schicken lassen. Somit sind die fast 600 Seiten »Stock Reports« bis heute erhalten – und geben einzigartigen Einblick in diese historische Expedition. Denn Stock hat nicht nur die klimatischen und astronomischen Messwerte berichtet, sondern auch alle menschlichen und tierischen Ereignisse während der Expedition festgehalten – also wer dabei war, wie viele Tiere gebraucht wurden, welche Probleme auftraten etc.

1962 fiel dann die endgültige Entscheidung zwischen den verbliebenen Kandidaten Tololo bei Vicuña und La Peineta bei Copiapó (einige hundert Kilometer weiter im Norden und auch etwas höher). Das AURA-Komitee entschied sich für Tololo.

Meiner Auffassung nach war La Peineta etwas besser, aber was die Entscheidung wirklich hervorrief, war etwas ganz anderes: Copiapó ist einfach eine Bergbaustadt, da gibt es keine Industrie, keine Universität, also nichts außer Bergbauarbeiter – während La Serena wirklich ein Kulturzentrum ist. Das war denen erheblich angenehmer für ihr Hauptquartier. Das war eigentlich der Hauptgrund.

Bis heute hat Tololo den Vorteil, dass er recht nah an La Serena liegt. Viele arbeiten auf Tololo und fahren täglich (oder nächtlich) von La Serena dorthin. Die ESO-Sternwarte La Silla liegt gut zweieinhalb Autostunden von La Serena entfernt – wer auf La Silla arbeitet, muss auch dort wohnen.

ich habe die ganze geschichte dann natürlich Professor Heckmann, Direktor der Hamburger Sternwarte, mitgeteilt, der eine der Hauptfiguren in der Europäischen Südsternwarte war. Da wurde ich nach Europa eingeladen und habe mit Heckmann und Professor Oort in Holland gesprochen. Denen habe ich erklärt, wie die Sache da aussieht.

Die Sichtexpeditionen der Europäer waren zu dieser Zeit in Südafrika sehr weit fortgeschritten – man hatte bereits 1954, fünf Jahre vor Stocks erster Reise nach Chile, in Südafrika begonnen. Der Hinweis von Jürgen Stock fiel auf fruchtbaren Boden. Letztlich waren viele aus politischen Gründen froh, dass man mit den deutlich besseren Bedingungen in Chile einen guten wissenschaftlichen Grund hatte, doch nicht nach Südafrika zu gehen.

ESO war schnell in Chile (auf La Silla), die Carnegie Institution siedelte sich auf Las Campanas an, und jetzt steht mit dem VLT die größte Sternwarte der Welt in Chile. Innerhalb weniger Jahre ist Chile zu einer Art astronomischen Supermacht geworden – ausgelöst durch Stocks Erkundungstour.

Aus einem kleinen Anfang ist das alles geworden. Ich frage mich immer wieder, was geschehen wäre, wenn die Europäer nicht sehr früh darauf aufmerksam gemacht worden wären, wie es in Chile aussieht. Ein oder zwei Jahre später wären sie in Südafrika schon mitten im Bauprogramm gewesen. Es wäre viel schwieriger gewesen, nach Chile zu kommen. Ebenso, wenn

**ESO ERFÄHRT
VON DEN
PERFEKTEN
BEDINGUNGEN
IM NORDEN
CHILES**



Im September 1968 wird das 1-Meter-Teleskop auf La Silla aus seiner provisorischen Kuppel in das fertig gestellte Gebäude verlegt. Weil Teleskop und Montierung (am Kran) nicht durch den Kuppelspalt passen, muss kurzerhand die ganze Kuppel abgehoben werden. Im Hintergrund das Gebäude des Bochum-Teleskops.

Dr. Kuiper sich nicht an AURA gewandt und ihnen gesagt hätte, was für eine gute Möglichkeit es für eine nationale Südsternwarte gibt. Dann gäbe es heute ein 1,5-Meter-Spiegelfernrohr in der Nähe von Santiago. Chile wäre ein relativ unbedeutendes Land geblieben.

So wissen die Astronomen heute, dass der Norden Chiles mit der trockenen und ruhigen Luft auf der Erde praktisch konkurrenzlos gute Bedingungen bietet. Der einzige ähnlich gute Standort ist Mauna Kea auf Hawaii. Aber da ist die Höhe ein Problem – 4200 Meter statt 2500 Meter in Chile.

Stock hatte für AURA einen Berg gesucht – und Heckmanns Ärger über die (so wichtige) Einmischung in Südafrika einige Jahre zuvor nicht weiter übel genommen. So verdanken die Europäer den entscheidenden Hinweis auf Chile Jürgen Stock.

Heckmann war eben ein Mensch mit einer sehr klaren Vision. Weil wir uns sehr gut kennen, konnte ich immer über ihn oder über Ort alles nach Europa übertragen. Ich war wirklich froh, dass die Europäer da auch hinkamen.

**DIE OORTSCHE
KLAGE: »WIR
HABEN KEINEN
DR. STOCK!«**

ZUNÄCHST HATTEN DIE ASTRONOMEN ERWOGEN, alle Teleskope auf einen Berg zu stellen. Doch dieser Plan war schnell verworfen worden. Die organisatorischen Fragen wären kaum lösbar gewesen: Wer leitet das Gelände? Wer bekommt die besten Standorte auf dem Berg? Wie werden die Kosten für Straße und Logistik aufgeteilt?

Sich als Gast auf einem anderen Gipfel des großen AURA-Geländes um Cerro Tololo herum niederzulassen, schied für die Europäer ebenfalls aus. Man wollte das Gelände, auf dem man baut, auch besitzen bzw. zur uneingeschränkten Nutzung haben. So musste sich ESO einen eigenen Berg suchen. Jan Hendrik Oort, großer niederländischer Astronom und einer der ESO-Gründer, teilte im Dezember 1963 in einem Brief an ESO-Direktor Heckmann, den »lieben Otto«, sein Bedauern über die weitere Verzögerung mit – und seine Hochachtung für die Arbeit von Jürgen Stock: »Das Schlimmste finde ich die extra Zeit, die für eine genügend gute Prüfung der alternativen Stellen und für den langen Straßenbau in der Gegend südlich vom AURA-Gelände wahrscheinlich benötigt wird; wobei man bedenken soll, dass wir keinen Dr. Stock haben.«

ESO wählte im Mai 1964 – dank Stocks guter Vorarbeit – einen Berg knapp hundert Kilometer nördlich vom AURA-Gelände aus, wo auch der Straßenbau kein so großes Problem war: La Silla. Im Rückblick war die Trennung sehr weise – denn mittlerweile sind sowohl Cerro Tololo als auch La Silla viel zu klein. Beide Berge sind buchstäblich voll.

Als ich damals anfing, war das einfach eine Felsspitze. Es war von vornherein klar, diese Felsspitze muss abgehackt werden, um eine ebene Fläche zu bekommen. Nach damaligen Vorstellungen war das absolut groß genug. Wir dachten, da kommt der 1,50-Meter-Spiegel hin, da waren noch zwei 40-Zentimeter-Spiegel, da kommt ein Schmidt-Spiegel hin, und auf lange Sicht werden wir uns mal ein schön großes Fernrohr aufstellen – ein 3- bis 4-Meter-Fernrohr. Das wär's dann.

**»KLEINE« TELE-
SKOPE WERDEN
GESCHLOSSEN**

TOLOLO IST MITTLERWEILE SO VOLL, dass das neue 8-Meter-Gemini-South-Teleskop auf dem Nachbar-Gipfel Cerro Pachón aufgestellt wurde – siehe Seite 178. So lassen sich die Infrastruktureinrichtungen (Wohnräume etc.) des Cerro Tololo Interamerican Observatory, wie Tololo offiziell heißt, mit benutzen.

Im Zeitalter der 8- bis 10-Meter-Teleskope haben die traditionellen Standorte in Chile ganz andere Probleme, bedauert Jürgen Stock:

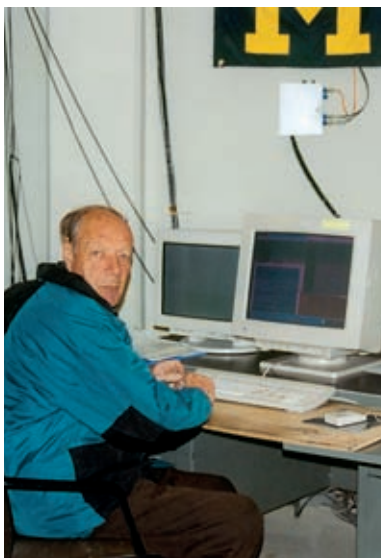
Sowohl Tololo als auch die Europäer schaffen so langsam die so genannten »kleinen« Fernrohre ab, weil die großen Teleskope so viel Geld verschlucken. Die kleinen Teleskope bringen

Ein prachtvoller Bereich der südlichen Milchstraße in den Sternbildern Kreuz des Südens und Schiffskiel. Die Farbaufnahme zeigt den Bereich der Milchstraße, der auf Seite 147 oben rechts zu sehen ist. Die hell rot leuchtenden Wolken sind Gebiete, in denen gerade viele Sterne entstehen.



**ASTRONOMEN
ARBEITEN NICHT
NUR AN DER
MILCHSTRASSE**

Back to the roots. Jürgen Stock, Gründungsdirektor von Tololo und »Entdecker« Chiles für die Astronomen, arbeitet 2001 als venezolanischer Gastbeobachter am Schmidt-Teleskop des Cerro Tololo Interamerican Observatory.



nichts mehr, meinen sie. Aber klein in diesem Sinne ist alles unter vier Metern. Das waren damals noch Großfernrohre. Heute denkt man in ganz anderen Größenordnungen.

Selbst im Zeitalter der Satellitenteleskope brauchen die Astronomen große Sternwarten auf der Erde. Ein Teleskop im All ist viel, viel teurer als auf dem Boden. Wartung und Ersatz von Geräten sind extrem aufwändig – stets muss ein Space Shuttle zum Einsatz kommen, das Teleskop einfangen und entsprechend aufpöppeln. Das ist vor allem eines – astronomisch teuer. Also: Was man vom Boden aus machen kann, macht man vom Boden. Und für viele Projekte reichen auch die »kleinen« Teleskope.

UM ABER VOM BODEN AUS gut ins All blicken zu können, müssen die Astronomen erst einmal die Teleskope auf den Berg bekommen. Mit Maultieren geht das nicht. Denn nach der Auswahl des Berges muss aus dem Berg auch noch eine Sternwarte werden. Das hieß zunächst einmal: Straßenbau statt Sterne. Stock selbst hatte schon während der Expedition die Straßenführung geplant, so dass es sofort nach der Standortwahl losgehen konnte. Viele Astronomen wissen heute nicht, ob man eine Schraube links oder rechts herum in die Wand dreht – und können bestenfalls einen Computer bedienen. Das Arbeitsgerät Jürgen Stocks sah 1962 noch ganz anders aus:

Wir hatten tragbare Geräte, um zu bohren. Da wurde der Fels angebohrt und erst einmal ein Weg gesprengt, der breit genug war, um einen großen Kompressor durchzuziehen. Wenn man einen großen Kompressor hat, dann kann man gleich viele Bohrhämmer betreiben, und das geht dann natürlich effektiver als mit diesen tragbaren Dingern.

Heute schier unvorstellbar – ein Astronom als Straßenbauer. Innerhalb von zwei Monaten war die Straße auf den Tololo fertig – Stock war nach Jahren in den Anden so besessen von dem Projekt, dass er und sein hoch motiviertes Team mit unglaublichem Einsatz ans Werk gingen. Die astronomischen Straßenbauer (und die von ihnen beschäftigten Ingenieure und Bauarbeiter) waren dreimal schneller und zudem billiger, als es kommerzielle Straßenbauunternehmen angeboten hatten. Auch recht skurrile Hindernisse konnten Stock & Co. nicht stoppen: Einmal hatten über Nacht Füchse die am Vorabend verlegten Sprengschnüre angeknabbert und so die Verbindungen zum Zünder gekappt – von da an wurden nachts Wachen aufgestellt.

Nachdem die Straße fertig gestellt war, wurde oben schnell die Plattform hergerichtet, und der Bau der Teleskop-Gebäude konnte zügig beginnen. Zudem wurden Wasser- und Stromleitungen verlegt – Stock hatte in den ersten Baujahren mit der ganzen Familie auf dem Berg gewohnt und war erst 1965 wieder nach La Serena und später nach Santiago gezogen.

Ein 40-Zentimeter-Spiegelfernrohr hatten wir schon während der Mauleselzeit heraufgebracht. Ich habe mich natürlich sehr darum bemüht, dieses 40-Zentimeter-Fernrohr zu bekommen. Ich kann mich noch an den letzten Bautag erinnern, wie ich Stück um Stück dieses Ding zusammenmontiert hatte, in einem Holzhaus mit einem fahrbaren Dach. Und dann sah ich das erste Sternlicht.

Bis heute ist das »First Light« der magische Moment jedes Teleskopbaus, in dem zum ersten Mal echtes Sternlicht in das Teleskop, also auf den Spiegel fällt. Das »First Light« ist der krönende Abschluss beim Bau jedes Teleskops. Wohl kaum jemals zuvor ist das »First Light« eines 40-Zentimeter-Teleskops für die Astronomie so bedeutend gewesen – eine »Eselei« der besonderen Art. Es gibt mehrere Veröffentlichungen, die mit Daten von Tololo gemacht wurden, als die vom Kitt Peak angereisten Astronomen noch auf den Berg reiten mussten.

Eine Nebenbemerkung: Gut dreieinhalb Jahrzehnte später hat ESO aus dem eben-

Jürgen Stocks neue Heimat in Venezuela. Das Observatorio Llano de Hato, 3700 Meter hoch in den Anden, gehört zum Centro de Investigaciones de Astronomía (CIDA) der Universität von Mérida. Dieses Observatorium ist ein um die Hälfte vergrößerter »Nachbau« der Hamburger Sternwarte.



falls epochalen »First Light« des VLT ein grandioses PR-Spektakel gemacht – mit mehreren (!) »First-Light«-Bildern. Dabei ist ein »First-Light-Bild Nr. 7« eigentlich so etwas wie eine siebte Jungfernfahrt – sprachlicher Unsinn, aber in Zeiten der Massenmedien durchaus ein cleverer Schachzug.

NOCH HEUTE STRAHLT JÜRGEN STOCK, wenn er von den Expeditionen in der Gegend von Vicuña und von den Anfängen Tololos erzählt.

Das war die schönste Zeit meines Lebens, obwohl ich praktisch zweieinhalb Jahre lang immer nur in den Bergen war. Da gab es keinen Tag, an dem man nicht mehrere Stunden im Sattel saß und durch die Berge kletterte. Danach wurde alles technisch und verwaltet. Damals ging es einfach immer nur in die Berge hinein. Wurde das Wetter schlecht, wurde es für uns alle schlecht – wurde das Wetter schön, war es für uns alle schön.

Mit entscheidend für das ganze Projekt war der exzellente Kontakt zur lokalen Bevölkerung. Man half sich gegenseitig. Eines Tages unterstützten Stock & Co. sogar eine Volkszählung. Im »Kleinen Norden« gibt es viele Häuser, die kilometerweit von der nächsten Straße entfernt liegen. Stock sollte etwa ein Dutzend Häuschen in der Tololo-Gegend abklappern und den Menschen dort beim Ausfüllen der Formulare helfen, da die meisten weder lesen noch schreiben konnten. Später beim Straßenbau fragte die Stadtverwaltung von Vicuña, ob die Astronomen mit dem technischen Gerät nicht helfen könnten, den Sportplatz einzuebnen:

Natürlich macht man so etwas. Ein bisschen hier helfen, ein bisschen da helfen. Die Zusammenarbeit mit den lokalen Behörden war natürlich sehr eng und erst recht mit den Menschen dort. Die Arbeiter und unsere Mauleseltreiber waren ja alle von dort. Unter den Leuten fühlte ich mich wirklich wie zu Hause – und das auch heute noch.

**BODENSTÄNDIGE
ASTRONOMISCHE
AMTSHILFE**

Denn für Jürgen Stock war die Chile-Expedition nicht nur beruflich etwas Besonderes – auch privat hat die Reise alles verändert. Er hat dort seine Frau kennen gelernt, die Tochter eines jener Männer, der oft mit auf Mauleseln nach Tololo und auf die anderen Berge ritt. Das Spanisch, ohne das eine solche Expedition unmöglich gewesen wäre, hatte Stock schon als kleiner Junge in Mexiko gelernt. Die verschütteten Sprachkenntnisse kamen in Chile schnell wieder zum Vorschein.

PARANAL – VON JÜRGEN STOCK ENTDECKT

BEI SEINEN TOUREN WAR STOCK teilweise auch weit in die Atacama vorgedrungen. Allerdings hatte er schnell eine Art Grenzlinie gesetzt bekommen: Die neue Sternwarte sollte nicht nördlich des 30. südlichen Breitengrades entstehen. Trotzdem war Stock bei seinen gelegentlichen Erkundungstouren weiter im Norden auch schon auf Cerro Paranal aufmerksam geworden, auf dem jetzt das Very Large Telescope steht.

Paranal hatte eigentlich von vornherein bessere Aussichten – er ist noch höher als die anderen, er ist noch näher an der Küste. Die Bedingungen sind also noch besser, um die Trennung zwischen den unteren und oberen Luftschichten herbeizuführen. Nur einen Haken hatte Paranal: Weil das eine Totalwüste ist, war mir sofort klar, dass man für Sichtuntersuchungen eine Straße bauen muss. Tiere sind in der Gegend nicht zu finden, weil es kein Wasser gibt. Dann kam die Anweisung, nicht so weit nach Norden zu gehen – aber die Europäer wussten sofort, wo sie anfangen sollten.

Doch bevor die Europäer nach Paranal gingen – erste Sichtuntersuchungen gab es dort ab 1983 –, haben sie erst einmal La Silla gebaut. Gründungsdirektor der ESO war Otto Heckmann, sein Schüler Jürgen Stock war Gründungsdirektor von Tololo – ein bedeutendes Doppel der Astronomiegeschichte.

DIE ERZWUN- GENE AUSREISE AUS CHILE

WAS SPÄTER AUS JÜRGEN STOCK WURDE? Die Geschichte ist zu faszinierend, um sie hier nicht zu erzählen. Stock hatte nach der Fertigstellung Tololos einen Ruf an die Universität von Chile nach Santiago angenommen. Doch der Machtantritt von Präsident Salvador Allende setzte der Chile-Zeit Jürgen Stocks ein jähes Ende. Denn eines der ersten Dekrete, die Allende unterschrieben hatte, legte alle Verträge mit Ausländern im Staatsdienst sofort auf Eis. Stock bemerkte das erst, als das Dezembergehalt nicht auf dem Konto einging (Allende war Anfang November 1970 an die Macht gekommen). Offiziell sollte bei jedem Einzelnen untersucht werden, ob er für Chile wünschenswert ist oder nicht.

Ich habe bis heute noch nichts gehört. Ein guter Freund, der der Kommunistischen Partei angehörte – wir waren zusammen im Rotary Club –, sagte mir, geh weg, das wird nichts mehr. Du kannst hier nicht mehr Fuß fassen, das dauert lange. Die Entscheidung, dass ich weg musste, war nicht meine. Das war die Regierung, die keine Ausländer zuließ.

Hals über Kopf musste die Familie – nachdem sie allerlei bürokratische Schikanen erduldet hatte – das Land verlassen. Zudem durften die Stocks praktisch kein Geld mitnehmen und auch nicht das Haus verkaufen. Das Gepäck war auf zwanzig Kilogramm pro Person begrenzt. Jürgen Stock hat mehr oder weniger im Alleingang Chile zu dessen Stellung als astronomischer Weltmacht verholfen – zwölf Jahre Arbeit mündeten in einer De-Facto-Ausweisung mit hundert Kilogramm Gepäck.

Stock reiste mit seiner Familie auf gut Glück nach Mexiko. Den dortigen Astronomen hatte er bei der Standortsuche ihrer Sternwarte in Baja California geholfen. Im Januar 1971 kam er dort an, und im gerade begonnenen Haushaltsjahr war natürlich keine Stelle für Stock vorgesehen. Frühestens ein halbes Jahr später sollten geeignete Mittel vorhanden sein. Was so lange tun?

Auch das VLT ist eine Folge von Jürgen Stocks Aktivitäten in Chile: die Baustelle des Teleskop-Gebäudes von Antu (UT₁) 1996 auf Paranal unter der südlichen Milchstraße (Kreuz des Südens und Weiser-Sterne links vom Gerüst).



Das war eine sehr, sehr traurige Situation. Ich saß mit meiner Familie in einem Hotel mit ziemlichen Kosten und konnte das nicht sehr lange machen. Und wie es der Zufall oder das Schicksal oder der Herrgott wollte: Am letzten Tag, an dem ich in Santiago war – da bin ich nicht mehr zur Sternwarte an der Universität gegangen, denn ich hatte ja viel zu tun, um das ganze Zeug zusammenzupacken –, kam eine Anfrage aus Venezuela. Die fragten an, ob ich dort den Sternwartenbau in Gang bringen könne.

Vor seiner Abreise aus Chile hatte Jürgen Stock das nicht mehr mitbekommen. Aber zwei Tage nach seiner Ankunft in Mexiko erreichte ihn der Anruf aus Venezuela. Stock reiste nach Caracas – innerhalb eines halben Tages war man sich einig.

EIN WIEDERSEHEN MIT VENEZUELA

VENEZUELA WOLLTE EINE NATIONALE STERNWARTE BAUEN. Die Geräte waren bereits in den fünfziger Jahren gekauft worden – und lagerten seitdem in Kisten im Hafen von La Guaira und in Caracas. Eine amerikanische Universität hatte dem gerade gegründeten venezolanischen Forschungsrat vorgeschlagen, dass Venezuela die Sternwarte baut, aber die Universität das ganze wissenschaftliche Personal stellt. Jürgen Stock lehnte das kategorisch ab und befürwortete – zur Freude der Venezolaner – ein rein venezolanisches Projekt. Stock zog mit seiner Familie nach Mérida, einer hübschen Universitätsstadt in den Anden. Auf gut 1700 Metern Höhe herrscht dort das ganze Jahr über ein angenehmes Klima. Die Stadt liegt auf einem leicht geneigten Plateau in einem Tal, das von 5000 Meter hohen Andengipfeln begrenzt ist (Pico Humboldt und Pico Bolívar, die beiden höchsten Berge Venezuelas). In der Nähe Méridas, nahe dem Dörfchen Llano de Hato, sollte nun die Großsternwarte Venezuelas entstehen.

Einige Jahre zuvor, während der chilenischen Sichtuntersuchungen, war ich auch in Venezuela gewesen, um dort zu helfen, eine Sichtuntersuchung in Gang zu bringen. Als 1962 – wenig später als Tololo – die Sichtuntersuchung abgeschlossen und der Platz gewählt war, war für mich das Venezuela-Abenteuer zu Ende. Ich hatte mir nicht vorgestellt, dass ich da jemals wieder auftauchen würde.

DIE HAMBURGER STERNWARTE IN DEN ANDEN

JÜRGEN STOCK WAR NOCH AUS EINEM WEITEREN GRUND für die Venezolaner die ideale Wahl bei der Besetzung ihres Direktorenpostens. Keiner hatte solchen Bezug zum venezolanischen Projekt wie er – Jürgen Stock wurde auf fast gespenstische Weise von seiner Zeit als junger Astronom in Hamburg wieder eingeholt. Dort hatte es für ihn in den fünfziger Jahren keinerlei berufliche Perspektiven gegeben – und doch hatten diese Jahre enormen Einfluss auf sein späteres Leben. Erst mit den Sichtexpeditionen in Südafrika, dann über den Kontakt zu Heckmann, der ESO nach Chile lotste – und jetzt auf besonders skurrile Weise in Venezuela.

Denn als Stock noch Student in Hamburg war, tauchte ein etwas mysteriöser Doktor Röhl aus Caracas auf. Dieser Mann hielt gelegentlich einen Vortrag in der Sternwarte und war vor allem wegen seines Wagens mit Chauffeur eine Sensation. Röhl wollte für Venezuela eine Sternwarte bauen und ließ sich in Hamburg beraten. Er hatte auch mal Jürgen Stock von Bergedorf, hier liegt die Sternwarte, in die Stadt mitgenommen.

Ich hatte diesen Mann kennen gelernt und natürlich nicht die geringste Ahnung, dass ich eines Tages sozusagen sein Erbe übernehmen würde. Er hat sich damals wirklich eine Riesensternwarte zusammengestellt. Ganz originell: eine Kopie der Hamburger Sternwarte, aber alles fünfzig Prozent größer.

Eduardo Röhl hatte einen guten Freund in Venezuela – Perez Jiménez, den damaligen Diktator des Landes. Geld war also kein Problem. Röhl bestellte die Kopie der Hamburger Sternwarte im Maßstab 1 : 1,5 bei den jeweiligen Firmen, bezahlte sofort und ent-

schwand. Bis die Teile einige Jahre später fertig gestellt waren, war Jiménez gestürzt, und Röhl durfte von einer Auslandsreise nicht mehr nach Venezuela zurückkehren. Doch die bestellte und schon bezahlte Sternwarte wurde Ende der fünfziger Jahre nach Venezuela geliefert. Mehr geschah zunächst nicht.

ALS STOCK DAS MATERIAL ÜBER ZEHN JAHRE SPÄTER übernahm, hatten sich die beiden großen Firmen Zeiss und Ascania von dem Projekt zurückgezogen. Es gab nicht einmal mehr genaue Pläne der Sternwarte, dafür aber 500 Tonnen Material, die nun in eine Sternwarte verwandelt werden mussten. Stock ließ sich alles nach Mérida bringen und machte in einem gigantischen Puzzle-Spiel einen Probeaufbau in der Stadt. Der Ex-Hamburger erkannte bald viel Heimatliches wieder.

**DAS STERN-
WARTEN-PUZZLE**

Jedes Fernrohr der Hamburger Sternwarte war dabei. Da konnte ich auch mein Büro in der Hamburger Sternwarte finden – es war alles genauso wie in Hamburg: die Dunkelkammer und was immer man will. Alles genau dasselbe.

Den Aufbau erschwerte, dass sämtliche Markierungen an den Teilen im Laufe der Zeit verrottet waren. Nach fast einem Jahr waren die Forscher fertig. Der Aufbau am richtigen Standort in den Anden konnte beginnen. Stock kamen seine Erfahrungen im Umgang mit schwerem Material zu Gute – nach dem Krieg hatte er auf der Deutschen Werft in Hamburg gearbeitet und dort mit großen Stücken zu tun. 1975 ging die Sternwarte in den Anden in Betrieb.

Eine geradezu schillernde Lebensgeschichte. Einen Roman, der so ein Leben beschreibt, hielt man wohl für ziemlich konstruiert. Jürgen Stock, über den Otto Heckmann einmal gesagt hat, er betreibe die Astronomie vierspännig, hat gleich zwei große Sternwarten selbst aufgebaut – und den Bau von einem halben Dutzend weiterer Sternwarten zumindest vermittelt. Zudem erlebt er noch heute die Blüte der Astronomie in Chile und anderen Staaten wie Venezuela mit. Denn beim Begründen der europäischen und nordamerikanischen Astronomie in Chile, Ende der fünfziger und Anfang der sechziger Jahre, war Jürgen Stock mit Abstand der Jüngste unter den Hauptdarstellern. Stock ist 22 Jahre jünger als Otto Heckmann – und doch haben beide zur selben Zeit in Chile eine große Sternwarte aufgebaut.

Wie sich jetzt der Kreis in Venezuela schließt und wie zuvor Hamburg, die Doktorarbeit bei Otto Heckmann, der Kontakt zu Eduardo Röhl, die erste Begegnung mit Sichtuntersuchungen in Südafrika und der Auftrag der Amerikaner, nach Chile zu gehen, ineinander greifen, ist schier unglaublich – auch für Jürgen Stock, dessen Lebensgeschichte und Einfluss auf die Astronomie in Südamerika selbst unter Profi-Astronomen kaum bekannt ist.

Das kann eigentlich nicht alles Zufall sein. Da ist jemand dahinter und setzt das alles so zusammen. In meinem ganzen Leben bin ich sehr oft in äußerst komplizierten Situationen gewesen. Ich bin nun mal ziemlich religiös veranlagt und sage mir, irgendwie wird der Herr schon für uns sorgen. Es ist ja auch immer so gewesen. Ganz egal was – als ich damals in Mexiko war und auf hohen Kosten saß: Da war mit einmal der Ausweg da, den wir gar nicht gesucht hatten. So ist das immer gegangen. Wenn ich das je vermitteln könnte, das wäre nicht schlecht.



Die »Stock Reports« – wie stehen die kosmischen Aktien in Chile?



I HAVE BEEN IN THIS COUNTRY for almost a month by now. I was away from Santiago most of the time. My schedule simply did not give me an opportunity to write letters. Now I am in Santiago for one day, and I shall try to give you as complete a report as time, paper, and pen permit (my supplies are quite limited).

»Ich bin jetzt seit fast einem Monat in diesem Land – und die meiste Zeit war ich nicht in Santiago. Ich hatte schlicht keine Zeit, Briefe zu schreiben. Jetzt bin ich für einen Tag in Santiago, und ich werde versuchen, Ihnen so vollständig zu berichten, wie Zeit, Papier und Stift es zulassen (meine Vorräte sind ziemlich begrenzt).«

Mit diesen Zeilen, geschrieben Ende **Februar 1960**, beginnt der erste »Stock Report« – dreißig weitere sollten folgen. Auf insgesamt mehr als fünfhundert Seiten beschreibt Jürgen Stock die Erlebnisse seiner systematischen Sichtuntersuchungen in Chile. Diese atemberaubend spannenden, historisch informativen und zugleich ungemein unterhaltsamen Texte beschreiben wunderbar, wie das Leben und Arbeiten beim astronomischen Erobern der Anden gewesen sein muss. Die Geschichte der »Stock Reports« ist dabei ein Kuriosum für sich, wie Jürgen Stock erklärt:

Ich habe jeden Abend im Zelt oder draußen oder wo immer das war ein kleines Ringbuch genommen und in winzig kleiner Schrift aufgeschrieben, was alles am Tage gelaufen ist. Außerdem alle Daten, wenn nachts Beobachtungen gemacht wurden – also Turbulenz, Temperatur und so weiter. Aber auch: Mit so und so vielen Mauleseln sind wir da oben angekommen, und ein Pferd ist umgefallen – was da so alles passiert ist, das wurde aufgeschrieben. Wenn ich Gelegenheit hatte, habe ich diese Zettel genommen und sie an Doktor Shane geschickt. Das war sozusagen mein Bericht. Ich hatte keine Ahnung, was er damit machte. Ich hatte ihn jedenfalls informiert, wie die ganze Sache läuft. Einen noch authentischeren Expeditionsreport kann es eigentlich nicht geben. Viel später, als alles schon längst vorbei war, habe ich festgestellt, dass er das alles durch seine Sekretärin auf einer Maschine vervielfältigen ließ. Er druckte ungefähr hundert Exemplare von allen meinen Berichten. Sie wurden an alle möglichen Leute geschickt, von denen es einige vielleicht gelesen haben, andere, es mögen viele gewesen sein, eher nicht. Ich weiß zum Beispiel von einem Astronomen, einem sehr bekannten Mann, dass der die Dinger nahm und sie in den Papierkorb warf –

denn oben drüber stand ›Stock Report‹, und das fasste er als Börsenbericht auf.

Englisch »Stock«, deutsch »Aktie« – ein skurriles Missverständnis. Die »Stock Reports« listen wie in einem Tagebuch minutiös alles Wichtige und vermeintlich Unwichtige auf, was Stock und seiner Gruppe in der Umgebung von Vicuña widerfahren ist.

Recht bald konzentrierten sich die Sichtbeobachtungen auf folgende Berge: Guamayuca (2316 m hoch, 29°58' S, 70°39' W, 5 km Luftlinie nordöstlich von Vicuña), Tololo (2350 m, 30°10' S, 70°50' W, 30 km südwestlich), dessen Nachbar-Berge Morado (2250 m), Cinchado (2300 m) und Negro de Hurtado (2650 m – heute unter dem Namen Cerro Pachón bekannt) sowie die weiter südlich gelegenen Berge Llampangui (2060 m, 31°21' S, 71°08' W), Tabaco (2342 m, 32°39' S, 70°50' W) sowie Robles (2222 m, 32°57' S, 71°03' W – 70 km nordwestlich von Santiago). Die drei letzten Berge erwiesen sich schnell als deutlich schlechter als die Berge in der Gegend von Vicuña.

Mitte Februar 1960 war Jürgen Stock mit seinen Mitarbeitern Hugo Moreno, Carlos Torres, Guillermo Romero in Vicuña, um den Berg Guamayuca und einige andere Berge zu inspizieren.

16. Februar: »Fidel Cortes, der Besitzer von La Totorita und Guamayuca, hat uns gemeinsam mit seinem Bruder im Hotel besucht. Wir nennen ihn ›Don Fidel‹. Er möchte uns mehr als zweihundert völlig klare Nächte pro Jahr schriftlich garantieren. (Persönliche Anmerkung: Mindestens so viele. Der Hotelverwalter erzählte uns, dass sie damit werben, dass die Leute an wolkigen Tagen nicht zu bezahlen brauchen. Wir mussten für jeden Tag bezahlen.)«

EIN KLEINER ORT MACHT ASTRONOMISCHE KARRIERE: VICUÑA

STOCKS GRUPPE WAR SEHR SCHNELL KLAR, wie gut die Bedingungen im Bereich von La Serena und Vicuña sind. Ganz makellos war es trotzdem nicht:

»Bei unserem letzten Besuch gab es allerdings ein Dunstproblem. ... Bei Sonnenuntergang ist der meiste Dunst weg, aber ein wenig blieb in der Höhe von Guamayuca und etwas höher. Manchmal ist das so die ganze Nacht, manchmal sinkt der Dunst weiter ab, und Guamayuca ist völlig klar. ... Um keine Missverständnisse aufkommen zu lassen. Wir haben es hier mit sehr wenig Dunst zu tun, aber ich möchte

Seite 160/161:

Vom 8. bis 10. Juni 1963 kommen ESO-Mitarbeiter zu Besuch auf das AURA-Gelände rund um Cerro Tololo. Am 10. Juni findet das legendäre Gipfeltreffen auf Cerro Morado statt. Die Anreise erfolgt zu Pferde – von links nach rechts: Ch. Fehrenbach, Otto Heckmann, Architekt Marchetti, Jan H. Oort, N. U. Mayall, Frank K. Edmondson und André Muller.

da komplett raus sein. ... So oder so, die Menge des Dunstes ist auf 2200 Meter Höhe sehr gering. Der Mond zeigt keinen Halo, selbst tief am Himmel nicht. In einer mondlosen Nacht ist der Dunst im Strahl einer hellen Taschenlampe zu erkennen. ... Während der Nächte, die ich auf Guamayuca war, konnte ich sehen, dass der Dunst sich nicht viel weiter höher erstreckte. Vielleicht hilft es schon, einfach etwa zweihundert Meter höher zu gehen. Es gibt in der Gegend viele Berge mit Höhen zwischen 2500 und 2700 Metern.«

Eine andere Höhe bzw. andere Luftströmungen konnten also Abhilfe gegen die hartnäckige Dunstschicht schaffen. Doch zunächst gab es ganz irdische Hürden zu überwinden:

»Ein Problem stellte sich in Vicuña als schwer lösbar heraus: Maultiere zu bekommen. Don Fidel hat keine. Also mussten sie anderswo besorgt werden und die ganze Zeit, die wir da gearbeitet haben, in La Totorita bleiben. Maultiere für zehn Tage zu mieten und zu füttern, ist ziemlich teuer. Jetzt planen wir, Tiere zu kaufen ... Wir denken an vier Tiere, 75 Dollar pro Stück. Die Verwaltung der University of Chicago wird bald in der kuriosen Situation sein, einige Maultiere unter dem Personal zu haben. Ich bin froh, dass dies etwas ist, was billiger als 1000 Dollar ist. Denn wenn wir so einen Kauf genehmigen lassen müssten, hätten wir sicher einige Scherereien.«

TOLOLO WIRD ENTDECKT

IM STOCK REPORT NR. 4 TAUCHT DANN zum ersten Mal »Tololo« auf, ein Name mit magischem Klang für alle Astronomen.

8. April 1960: »In Vicuña haben wir sofort Kontakt zu den Carabineros aufgenommen, um mit Juan Leyton zu sprechen. Er kennt die Berge in dieser Region besser als jeder andere. ... Wir trafen Juan Leyton in seinem Haus und erklärten ihm, welche Berge wir besteigen wollten. ... Die Berge sind Cerro Blanco im Norden von Vicuña und Tololo und Morado im Südwesten von Vicuña.«

Polizist Juan Leyton erholte sich zu der Zeit von einem Unfall. Er war beim gesamten Projekt äußerst hilfreich. Und einige Jahre später war er Jürgen Stocks Schwiegervater.

Auf Cerro Blanco erfasste Stock einmal mehr, wie gut die Bedingungen um Vicuña herum sind.

10. April 1960: »Wir begannen, Cerro Blanco zu besteigen – zumeist auf den Maultieren. Wo wir über Steine oder anderes schwieriges Gelände mussten, gingen wir zu Fuß und führten die Tiere. Es gibt keinen Weg, der zum Gipfel führt. ... Die Nacht war perfekt klar und ruhig. Der Mond war fast voll und zeigte absolut kein Streulicht. Der übliche »Daumentest« (bei ausgestrecktem Arm den Mond mit einem Daumen bedecken) musste durch den Kleinen-Finger-Test ersetzt werden. Immer noch war keinerlei Aufhellung des Himmels in der Nähe des Mondes zu sehen.«

Dass der Himmel auch so nah am Mond wirklich dunkel ist, zeigt, wie dunst- und staubfrei die Luft dort ist. Streut das Mondlicht an solchen Teilchen, erkennt man einen großen Lichthof um den Mond. Machen Sie mal den Kleinen-Finger-Test in Ihrem Garten – Sie werden schnell sehen, dass die Bedingungen in der Region Chico Norte – am Südrand der Atacama besser sind.

Zum Abschluss des Stock Reports Nr. 4 gibt es einige »General Remarks«. Stock legt in diesen allgemeinen Bemerkungen dar, dass Beobachtungen auf Tololo oder Morado und auf Cerro Blanco eine ganz andere Arbeitsweise erfordern als bei den bisher weiter im Süden untersuchten Bergen.

»Wegen der großen Entfernungen und steilen Wege ist die Anreise nicht mehr an einem Tag zu bewältigen. Kurze Besuche auf den Bergen sind also nicht mehr praktikabel. Längere Aufenthalte erfordern aber, dass man eine Versorgungsgruppe zusätzlich zur Beobachtergruppe hat. Das gab es zwar auch schon auf Tabaco und Guamayuca. Aber hier muss die Versorgungsgruppe aus ein bis zwei Männern und Tieren bestehen und so lange zur Verfügung stehen, wie die Beobachter auf dem Berg sind oder auf dem Weg hin oder zurück. Des Weiteren brauchen wir gute Tiere, die gut versorgt werden.«

UTENSILIEN ASTRONOMISCHER ARBEIT: PFERDE, MAULTIERE, HEU

DA VON NUN AN praktisch ununterbrochen in der Gegend von Vicuña gearbeitet werden soll, macht Stock einige Vorschläge:

»1. Der Kauf von zwei bis drei guten Pferden (120 Dollar pro Stück) zusätzlich zu den Maultieren, die wir schon haben.

2. Einen Mann auf Dauer einzustellen, der die Tiere betreut und die Beobachter mit Lebensmitteln und Ausrüstung etc. versorgt.

3. Die Beobachtergruppe, bestehend aus zwei Männern, sollte etwa alle drei Wochen gewechselt werden.

4. Ein Fahrzeug wird auf Dauer in Vicuña stationiert.«

Vicuña liegt etwa auf 30 Grad südlicher Breite. Im Südwinter kann es dort auch mal regnen – April, Mai und Juni sind auf La Silla fast gefürchtet, weil dann die Bedingungen gelegentlich nicht ideal sind (aber zumeist immer noch viel besser als in Europa). Im Stock Report Nr. 5 berichtet Jürgen Stock, dass in der Gegend von Vicuña nicht nur eitel Sonnenschein herrscht.

17. Mai 1960: »Der Wind wurde stärker und die Wolken kamen näher (sehr langsam, vielleicht fünf Kilometer pro Stunde). ... Als es Nacht wurde, hatten die Wolken den Zenit erreicht. Die Temperatur war auf drei Grad Celsius gefallen, die Luftfeuchte auf achtzig Prozent gestiegen. Es war klar, dass sich da etwas zusammenbraute – und zwar schnell. ... In Anbetracht der Wetterbedingungen entschieden wir uns, die Ausrüstung abzubauen. In völliger Dunkelheit und bei starkem kaltem Wind war das kein Spaß.«

AUCH DAS GIBT ES IM TROCKENEN NORDEN – REGEN UND SCHNEE

»MORGENS UM HALB SIEBEN begann es zu regnen«, notiert Stock am **18. Mai 1960**, »und wir waren in dichtem Nebel. Um sieben Uhr kamen zwei Männer mit den Maultieren an. Da unser Zelt undicht war, war es sinnlos, eventuell auf dem Berg auf besseres Wetter zu warten. Wir packten zusammen, bauten das Zelt ab und beluden die Tiere – alles bei Regen, Nebel und kaltem Wind. Um halb neun war alles fertig – und alle waren pitschnass. ... Hugo und ich nahmen unsere übliche Abkürzung zu Fuß nach La Totorita. Die Sicht war nahe null, und ich hatte keinen Kompass dabei. Wir mussten also unserer Nase folgen. Hugo und ich waren uns etliche Male um mehr als neunzig Grad uneinig, in welche Richtung wir gehen sollten. Ich war sehr stur und hörte nicht auf ihn. Nass und kalt war ich nicht in der Stimmung, mich zu streiten. Er hatte keinen anderen Wunsch, als mir zu folgen. Zu Hugos Erstaunen kamen wir

nach zweieinviertel Stunden Laufen bergab durch dichten Nebel genau an der Hintertür von La Totorita an. Aber in was für einem Zustand! ... Wir bekamen schnell Hilfe von Don Fidel, der fast wie ein Vater für uns ist. Heißer Tee und trockene Kleidung warteten auf uns. Don Fidel ist ziemlich klein – wir müssen in seinen Hosen wie Clowns ausgesehen haben.«

Dann ging es mit dem Wagen zurück nach Vicuña, wo ein paar starke Drinks die Lebensgeister wieder weckten (»Some strong drinks then brought back our spirits.«). Das werden sicher einige »Pisco Sour« gewesen sein – das chilenische Nationalgetränk, das aus dem Bereich des Elqui-Tals kommt, in dem auch Vicuña liegt. Stock betont, wie wichtig die große Unterstützung durch die einheimische Bevölkerung ist – ohne sie wäre das ganze Projekt nahezu unmöglich.

»Wir können uns hundertprozentig auf die Leute in der Gegend verlassen. Sie helfen immer, wenn Hilfe nötig ist.«

Nach der nassen Erfahrung auf Guamayuca entschied Jürgen Stock, dass künftig bei aufziehendem schlechten Wetter die Beobachter das Gerät sofort abbauen, vor Ort sichern und dann zügig den Berg verlassen sollten. Sicherheit für Mensch, Tier und Ausrüstung ist in den abgelegenen Gebieten überragend wichtig.

Nachdem alles getrocknet war, brachen Jürgen Stock und sein Team auf, um Cerro Tololo zu erkunden. Stock Report Nr. 6 beginnt mit einer fast euphorischen Zusammenfassung des Erkundungstrips:

»1. Wir waren erstmals mit allem Gerät für einige Nächte auf einer unserer neuen, weiter entfernten Stationen (auf Tololo).

2. Wir haben exzellente Ersatzplätze für Guamayuca gefunden. Tololo ist für unsere Zwecke groß genug – Moreno ist sogar noch größer. Moreno ist der Berg mit der größten Gipfelfläche in unserem Programm.

3. Wir hatten die beste Luftruhe, die wir je beobachtet haben (auf Tololo).«

Stock wollte sofort eine nahezu permanent besetzte Station auf Tololo errichten – und brachte gleich eines seiner speziellen Doppelteleskope auf den Berg, um so die Luftruhe zu überwachen. Am frühen Nachmittag des **21. Mai 1960** erreicht ein Zug aus vier Männern und einigen Maultieren (beladen mit viel Gepäck und Proviant) den Gipfel von Tololo.

»Die Gipfelregion von Tololo ist nicht sehr groß



Arturo Garrote auf einem Maultier



Ankunft auf Tololo



Ritt zurück von Tololo

CERRO BLANCO

LA TOTORITA

GUAMAYUCA

VICUÑA
ELQUI R. BRIDGE

TO LA SERENA
28 MILES

PUBLIC ROAD
FUNDO SAN CARLOS

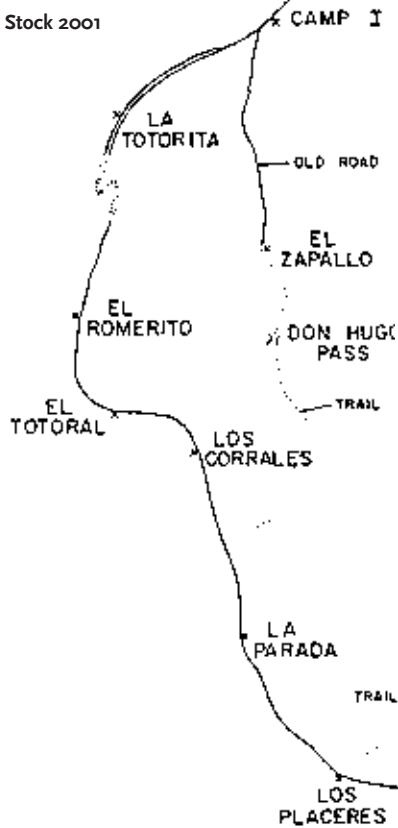
EL TAMBO



A. Garrote und Jürgen Stock 2001



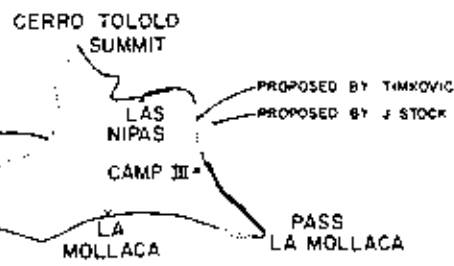
Das zu Beginn der Tololo-Zeit gebaute Haus der Stocks steht noch heute etwas unterhalb des Gipfels mit den Teleskopen.



Familie Ramos in Los Placeres mit Arturo Garrote (links), Jürgen Stock und Don Rogelio (rechts). Ein Enkel von Rogelio Ramos ist heute Koch auf Tololo.



Jürgen Stock und alte Weggefährten bei einem Wiedersehen in Vicuña 2001



Die meistberittenen Pfade der Astronomiegeschichte. Drei Berge in der Umgebung von Vicuña wurden genauer untersucht: Cerro Blanco (im Norden), Guamayuca (Nordwesten) und Cerro Tololo (Südosten). Zur Lage von Vicuña, Copiapó und La Peineta siehe Seite 4.

Die noch während der Expedition enorm ausgebaute Station auf Tololo (1961). Hinten rechts ist die Montierung für das Doppelfernrohr von Jürgen Stock zu erkennen, mit dem er die Sichtgüte bestimmte. Links davon steht die kleine Wetterstation.



und ziemlich felsig. Die Felsen brechen aber sehr leicht. Mit Sprengungen kann man sich bestimmt genug Platz für ein großes Gebäude schaffen. Fünfzig bis hundert Meter weiter unten Richtung Südosten gibt es viel Platz für Gebäude. ... Nach Westen und Norden sind die nächstgelegenen Berge etwa 600 Meter niedriger als Tololo. Nach Süden hin gibt es einen weiteren Berg von 2300 Metern Höhe in einigen Kilometern Entfernung, getrennt durch tiefe Täler. Im Osten ist ein Berg von vielleicht 2700 Metern Höhe etwa fünf Kilometer entfernt, aber ebenfalls jenseits eines Tales. Die Kette der Hohen Kordilleren liegt zwanzig Kilometer entfernt im Osten. Es gibt auf Tololo mit Sicherheit kein Problem, dass von nahe gelegenen etwa gleich hohen oder höheren Bergen kalte Luft heranströmt oder dass diese Berge Turbulenz verursachen.«

Stock bemerkt zudem ein »interessantes und ungewöhnliches Problem«, das es auf Tololo gibt:

»Der Berg ist berüchtigt für den Puma, den Berglöwen der Kordilleren. Don Ragelio und Juan Leyton haben uns gewarnt, dass diese Tiere gefährlich sind.

Sie raten uns dringend, eine Schusswaffe zu tragen. Ich bin absolut zögerlich, solch ein Gerät zu beschaffen, weil es gefährlicher sein kann als die Löwen. Aber die Sicherheit der Leute und der Tiere erfordert eventuell so ein Ding. Ich hoffe, dass niemand diesen Umstand als Nachteil von Tololo ansieht.«

Man hört deutlich, dass Jürgen Stock seine Wahl **Ende Mai 1960** fast schon getroffen hatte. Trotzdem gingen die Beobachtungen auch auf Guamayuca weiter. Das Wetter schlug weiter Kapriolen – am 2. Juli prasselte der Regen auf die wartende Expeditionsgruppe nur so nieder, begleitet von einem Blitz und einem Donner, wie Stock fasziniert anmerkt. Gewitter sind in dieser Gegend Chiles absolut selten (Stock berichtet, dass viele Bewohner der Gegend um Vicuña damals ihren ersten Blitz und Donnerschlag erlebt haben) – nur achtzig Kilometer weiter östlich sind sie praktisch alltäglich, aber das ist auch jenseits der Anden. Dieses Beispiel verdeutlicht sehr schön, wie überragend wichtig die Anden für das Klima der chilenischen Wüste sind (zusammen mit dem kalten Humboldt-Strom vor der Küste).

EL CONDOR PASSA ...

STOCK WAR WIEDER AUF GUAMAYUCA. Es ist der **4. Juli 1960:** »Am Nachmittag beobachteten wir ein faszinierendes Schauspiel: Zehn Kondore kreisten um den Berg. Normalerweise gibt es nur zwei dieser Riesenvögel auf Guamayuca. Wir wussten nicht, was diese Häufung bedeutet – aber später wurden wir aufgeklärt. Wenn ein Sturm naht, suchen die Kondore aus den höheren Bergregionen Schutz in tieferen Lagen. Einige Leute messen einer großen Zahl von Kondoren auch abergläubische Bedeutung zu – und auch diese Theorie traf bei uns zu, wie wir gleich sehen werden. Auf den Bergen zog erneut Nebel auf, und es war ungewöhnlich kalt (null Grad Celsius). ... Bei Einbruch der Nacht kamen Mr. Timkovic und Don Fidel mit zwei Pferden an. ... Don Fidel nahm die Tiere und ging etwas weiter runter vom Gipfel in ein wirklich steiles Gebiet und band sie an einige Büsche. Wir hatten dort bisher noch nie Tiere über Nacht angebunden.«

Mr. Timkovic ist ein Straßenbauingenieur, der sich die Topographie der Berge ansehen wollte, um abzuschätzen, was eine Erschließung der Berge kosten würde. Es war die ganze Nacht über bedeckt. Die vier Männer harreten tatenlos in ihren Zelten aus.

»Das Erste, was wir am Morgen entdeckten, war, dass sich eines der Pferde mit dem Seil, mit dem es am Busch angebunden war, stranguliert hatte. Ein Pferd kostet nicht sehr viel (um achtzig Dollar), aber es ist sehr traurig, ein Tier auf solche Weise zu verlieren. Wie der Leser schon vermutet haben wird, ist das Thema der Kondore in diesem Zusammenhang wieder diskutiert worden. Um die realistischer denkenden Menschen zu begnügen, war auch das schlechte Wetter angekommen und es schneite. ... Ich entschied, zusammenzupacken und später am Tage vom Berg runter zu gehen.«

Nach zwei Tagen im Tal stieg Jürgen Stock am **8. Juli 1960** – seinem 37. Geburtstag – wieder auf Tololo.

»Wir erreichten den Gipfel um 13.15 Uhr. Don Rogelio war wieder mit uns mitgekommen. Er und Mr. Timkovic verließen den Gipfel etwa eine Stunde später, um andere Teile des Berges anzusehen. Mr. Timkovic plante, die Nacht in Los Placeres zu verbringen, um am folgenden Tag verschiedene Routen zwischen El Tambo und Los Placeres zu untersu-

Der Mann und der Berg. Jürgen Stock auf dem Gipfel von Tololo im Jahr 1962. Das Bild hängt heute im Hauptgebäude von Tololo.



chen. Seit unserem letzten Besuch ist die Schutzhütte fertig geworden. Es ist ein einfacher Bau aus Holz und Felssteinen. Der Innenraum ist etwa 2 mal 2,5 Meter groß und fast 2 Meter hoch. Bisherige Gesamtkosten: etwa hundert US-Dollar. Die Hütte erfüllt sehr gut ihren Zweck und ist eine deutliche Verbesserung gegenüber dem Zelt. Die Nacht war klar und das Seeing exzellent.«

**DIE BEDINGUNGEN AUF TOLOLO
WERDEN IMMER BESSER**

SECHS WOCHEN IM AUGUST und September war Jürgen Stock auf Heimaturlaub in den USA, zumeist am McDonald Observatory in Texas. Der neunte Stock Report aus Chile (beginnend am 29. September 1960) ist von Donald Shane bzw. seiner Sekretärin mit »Chile Site Survey Report Nr. 9 by Jürgen Stock« überschrieben, also »Bericht der Standort-Suche in Chile Nr. 9, von Jürgen Stock«. Offenbar hatten zu viele Astronomen die vermeintlichen Aktienberichte (»Stock Reports«) achtlos weggewor-

fen – und hatten so den Beginn einer geradezu historischen Expedition verpasst.

Am **30. September** war Stock wieder in Vicuña angekommen – und erhielt astronomisch sehr interessante Nachrichten.

»Carlos kam um dreizehn Uhr zurück nach Vicuña von einem Fünf-Nächte-Aufenthalt auf Tololo. Während dieser Zeit hatte er die besten Sichtbedingungen, die wir bisher in der ganzen Expedition hatten. Zu einem Großteil der Zeit war mit unserer Ausrüstung absolut kein Seeing zu bemerken (bis zu einer Zenitdistanz von sechzig Grad). Während zwei oder drei dieser Nächte kam Wind aus Süden – in diese Richtung gibt es ein paar nahe gelegene Berge von etwa der gleichen Höhe wie Tololo. Dennoch gab es keine bemerkbare Verschlechterung des Seeing. Offenbar hat die Turbulenz, die durch leichten Wind (Geschwindigkeit unter acht km/h) entsteht, nur einen vernachlässigbaren Effekt. Das bestätigt meine eigene frühere Erfahrung und widerspricht der von anderen Leuten.«

Wind und Luftruhe hängen offenbar auf sehr trickreiche Weise zusammen. Letztlich hat Jürgen Stock hier schon bemerkt, dass ein leichter steter Luftstrom sehr gut für das Seeing sein kann.

Die Nachrichten von den Menschen in der Gegend waren dagegen weniger schön. Ausbleibender Regen und später Frost hatten ein Großteil der Weiden und der Tomaten- und Orangenernte unbrauchbar gemacht. Bauern mussten ihre Tiere zu lächerlichen Preisen verkaufen oder hatten gar kein Einkommen mehr – die Arbeitslosigkeit wuchs und mit ihr die Hoffnung vieler Männer, bei Jürgen Stocks Expeditionsteam unterzukommen.

»Wann immer ich nach Vicuña komme, warten da Leute auf mich und fragen nach einem Job. Es ist sehr unangenehm, diese Männer abweisen zu müssen, die so dringend Arbeit brauchen.«

In Vorbereitung der nächsten großen Beobachtungskampagne kauften Stock und sein Team weitere Tiere – für Jürgen Stock selber ein besonderer Tag.

3. Oktober: »Am Nachmittag kauften wir in Vicuña zwei Maultiere und ein Pferd. Besonders das Pferd stellte sich als guter Kauf heraus. Ich entschied, das Pferd für mich selbst zu reservieren und gab ihm den Namen Scipio.«

Stock wollte nun nicht nur Tololo und Cerro Blanco untersuchen – auch die Berge im Umkreis von Tololo

sollten genauer inspiziert werden. Einer davon ist Cerro Cinchado.

5. Oktober: »Am Morgen war im Tal von Los Placeres dichter Nebel. ... Don Ragelio, Garrote und ich brachen zum Cinchado auf. Von Los Placeres (1250 Meter) muss man zunächst über einen Pass auf 1600 Meter gehen. Kurz bevor wir den Pass erreichten, waren wir urplötzlich über dem Nebel und sahen Tololo genau vor uns, umgeben von einem Ozean aus weißen Wolken. Dieser Blick war sicher ein Farbdia wert, und ich griff zu meiner Kamera. Aber dieses Bild wurde nie gemacht, weil das ganze Phänomen vor unseren Augen verschwand, genau als ich die Kamera bereit hatte. Das dauerte nur Sekunden – der Nebel war verschwunden. Viele Quadratmeilen von dichtem Nebel hatten sich in eine absolut klare Atmosphäre verwandelt – in bestimmt nicht mehr als zehn Sekunden.«

NUR VERGLEICHSBEOBACHTUNGEN LIEFERN SICHERE DATEN

NUN LIEFEN DAUERHAFT Vergleichsbeobachtungen auf Tololo und Cerro Blanco. Auf beiden Bergen gab es mittlerweile feste Schutzhütten – und die Beobachtungen sollten in jeder klaren Nacht um 21 Uhr, 23 Uhr, 1 Uhr und 4 Uhr erfolgen. Die Astronomen wollten Nacht für Nacht vergleichen, welcher Berg die besseren Beobachtungsbedingungen bot. Das erforderte erheblichen logistischen Aufwand – vor allem Wasser musste mehrmals täglich auf den Berg gebracht werden, mit viel Personal und Tieren. Stock beobachtete zumeist von seinem Favoriten Tololo.

20. Oktober: »Wir kamen oben um 17.30 Uhr an. Es war völlig bewölkt. Die Temperatur betrug plus fünf Grad Celsius, bei einem leichten Wind von Norden. Leyton Senior und A. Ramos gingen bald wieder, während sich Leyton Junior und ich selbst für die Nacht einrichteten. Ich hatte den Jungen der Leytons mitgenommen, weil er mir intelligent erschien und ich herausfinden wollte, ob wir ihn als Hilfsbeobachter anlernen konnten. Das würde Carlos oder mir von Zeit zu Zeit die Gelegenheit geben, die Gegend zu verlassen, ohne damit das Doppelbeobachtungsprogramm zu unterbrechen. In der Schutzhütte fanden wir viele Vorräte, die Carlos nach seiner letzten Tour zurückgelassen hatte. Allerdings entdeckten wir auch, dass Mäuse praktisch von allem einen Bissen genom-

men hatten, besonders von Papier. Das meiste, das wir gefunden hatten, mussten wir also wegwerfen. Bei der nächsten Tour müssen wir eine starke Holzkiste mitbringen, die Vorräte und Mäuse getrennt hält. ... Um acht Uhr abends entzündeten wir ein großes Lagerfeuer, und Cerro Blanco antwortete umgehend. Die Taschenlampen-Signale erwiesen sich aber als sehr unklar – sogar im Fernglas.«

Licht- und Rauchzeichen dienten als rudimentäre Kommunikationsmittel, um zu signalisieren, ob alles in Ordnung war oder ob es ernste Probleme gab. Aus Sicherheitsgründen durfte ohnehin niemand allein in den Bergen unterwegs sein – damit immer einer im Falle eines Beinbruchs loslaufen und Hilfe alarmieren konnte.

Der neunte Expeditionsbericht, der viele Touren sehr detailliert schildert, endet am **26. Oktober** – unmittelbar vor dem Aufbruch zu einer neuen Tololo-Tour – mit dem bemerkenswerten Eintrag »I have to finish because Scipio is waiting«, »Ich muss schließen – Scipio wartet.«

Am **2. November** war diese Doppelbeobachtung beendet. Am **4. November** kaufte Stock ein Brandeisen in der Form eines – Sternes; damit wurden die »astronomischen« Maultiere gekennzeichnet. Am **15. November** startete die nächste Doppelbeobachtung – Stock war dieses Mal auf Cerro Blanco im Einsatz. Doch der Start lief nicht ganz so glatt.

»Nach seinem letzten Besuch hier hatte Carlos das Teleskop abgebaut – übrigens gegen meinen Rat. Er hat es sogar so verpackt, wie wir es nur für den Transport mit Maultieren tun. Es ist nicht schwierig, das Teleskop bei Nacht aufzubauen; aber das Justieren ist ein Problem. Man muss ohne Sucher einen Stern finden und das mit einem Teleskop, das ein kleines Gesichtsfeld und eine hohe Vergrößerung hat – und das auch noch zweimal, einmal für jede Seite. Das ist besonders deshalb schwierig, weil das Teleskop sich senkrecht zur Sehlinie erstreckt – man hat also nichts, womit man peilen kann. Nach einer Stunde hatte ich ein Bild von Sirius im Teleskop, aber um Mitternacht hatte ich noch immer nicht das andere. Ich hatte mein gesamtes Vokabular an Schimpfwörtern verbraucht, einschließlich ein paar neuer, die ich von Leyton gelernt hatte – aber es half nichts, und so gab ich schließlich auf. Da es praktisch windstill war, konnte ich Messungen der Bildbewegung mit der einen Seite vornehmen und so die Nacht retten. Es

gab absolut keinen Dunst (der Taschenlampen-Test ist sehr empfindlich in einer dunklen Nacht). Tololo schien auch dunstfrei zu sein, aber Guamayuca nicht.«

Die beiden kleinen Teleskope auf dem Interferometer müssen beide in exakt dieselbe Richtung blicken. Am Tage lässt sich das System mit einem entfernten Berggipfel gut justieren – bei Nacht ist es sehr schwierig. Einmal aufgebaut und justiert, ist das System für lange Zeit gut zu benutzen. Stock hatte diese Art Teleskop Jahre zuvor in Südafrika entwickelt – bei seinem ersten, unfreiwilligen und nicht gut geheißenen Kontakt mit ESO.

17. November: »Wir errichteten einen Damm aus Feuerholz, fünfzehn Meter lang, einen Meter breit und eineinhalb Meter hoch. Das Feuer sollte an beiden Enden gleichzeitig entzündet werden. Um acht Uhr abends machten wir ein kleines Feuer an – und die Antwort kam von Tololo und von El Churcal. Um halb neun entzündeten wir das große Feuer. Als der ganze Damm in Flammen stand, muss das aus der Entfernung ein ziemliches Spektakel gewesen sein. Vor Ort konnten wir noch Einzelheiten in einer Entfernung von einem Kilometer erkennen, die vom Feuer angeleuchtet wurden. ... Die Nacht war ruhig und Seeing-Effekte waren praktisch nicht zu entdecken. ... Eine weitere interessante Beobachtung ist dies: Nach einer ganzen Reihe von Beobachtungen auf Tololo und Cerro Blanco scheint es so, dass die besten Seeing-Bedingungen bei einem leichten Wind aus Süden auftreten. Bisher habe ich dafür keine Erklärung.«

ACHTUNG, DIE CHEFS AUS DEN USA KOMMEN

ZUM EXPEDITIONSTEAM GEHÖRTEN gegen Ende des Jahres 1960 neben Jürgen Stock: Carlos Torres, Astronom aus Santiago, Juan Leyton Senior, Polizist aus Vicuña sowie als weitere dauerhaft beschäftigte Assistenten Arturo Garrote aus Vicuña und David und Anario Ramos aus Los Placeres. Bei Bedarf unterstützten zudem Juan Leyton Junior und Paúl Alquinta aus Vicuña sowie Ragelio Ramos aus Los Placeres das Team.

Im Dezember 1960 stand hoher Besuch aus den USA bevor – Stocks Chefs, Donald Shane von AURA und Nick Mayall vom Kitt Peak National Observatory, wollten sich vor Ort einen Eindruck von den Sichtbe-

dingungen in Chile verschaffen. Das Ereignis warf seine Schatten voraus – am **27. November** diskutierte das Team in Los Placeres über den Besuch, wie im Stock Report Nr. 11 zu lesen ist.

»Es war interessant zu sehen, dass jeder von uns dieses Ereignis von einem anderen Blickpunkt aus betrachtete. Für mich hieß es, dass zum ersten Mal kompetente Leute meine Arbeit, die ich hier seit mehr als einem Jahr mache, in Augenschein nehmen. Für Don Ragelio und seine Familie wäre es ein drastischer Wandel in ihren Lebensbedingungen (zum Besseren natürlich), sollten Tololo oder Morado als Standort des künftigen Observatoriums ausgewählt werden. Er weiß, dass er die Daten nicht beeinflussen kann, die wir mit unserer Ausrüstung gewinnen. Aber er möchte den Besuch in Los Placeres so angenehm wie möglich gestalten und hofft, dass das der Sache nützt. Er weiß, dass Los Placeres ein wirklich einfacher Ort ist, obwohl er nur Vicuña als Vergleich hat. Er kennt nicht einmal La Serena. Er hat eine Ahnung, dass der Lebensstandard in den USA erheblich höher ist als in Vicuña. Allerdings weiß er nicht, wie groß dieser Unterschied ist. Die große Frage für unser Team war: Kriegen wir den Besuch hierher? ... Zusätzlich zu den langen und anstrengenden Touren zu Pferd gibt es das Problem der üblichen Krankheiten, die das Wasser verursacht. Das kann alles sehr unangenehm machen. Wir können bei diesen Dingen ein wenig helfen, aber nicht viel. Natürlich werden unsere Besucher zwei unserer besten Tiere und unsere besten Sattel bekommen. Wir werden aufpassen, dass sie nur abgekochtes Wasser trinken. Das ist alles, was wir tun können.«

Somit konnte die Gruppe das Besuchsprogramm nicht fest planen – es wurden alle Optionen geprüft und entsprechend vorbereitet (Tiere, Verpflegung, Personal an den möglichen Besuchsorten). Da wurde dann sogar der eigentliche Zweck der Chile-Expedition vernachlässigt: »Um alle Tiere in guter Verfassung zu haben, mussten wir unsere Aktivitäten ein paar Tage vor dem Eintreffen der Besucher einstellen.«

Am **2. Dezember** trafen Shane und Mayall in Santiago ein, am **3. Dezember** ging es weiter per Flugzeug nach La Serena und dann sofort weiter per Wagen nach Vicuña. Am **4. Dezember** inspizierte die Gruppe die Berge zunächst aus der Luft – ein ein-stündiger Rundflug verschaffte einen ersten Ein-

druck von Tololo, Morado und Blanco. Danach stand der nicht unkritische Reittest an.

»Nach dem Mittag machten wir mit Dr. Mayall einen Ausritt. Um die Kletterfähigkeit unserer Tiere zu demonstrieren, gingen wir zum Cerro de la Virgen, einem kleinen Hügel am Stadtrand. ... Es lief besser als erwartet; wir und auch Dr. Mayall waren überzeugt, dass es kein Problem sei, nach Los Placeres zu gelangen. ... Danach war Dr. Shane dran. Wir machten eine andere Tour und kreuzten auf das gegenüberliegende Flussufer. ... Erneut kamen Pferd und Reiter gut miteinander zurecht.«

Am **5. Dezember** ging es dann endlich los – die Gruppe verließ Vicuña.

»Am Morgen mussten noch schnell einige Dinge besorgt werden, zum Beispiel Mützen für Dr. Shane und Dr. Mayall. Wir waren alle sehr enttäuscht, dass sie nicht chilenische Sombreros gekauft haben. Damit hätten sie zu Hause großen Eindruck machen können.«

Per Taxi ging es nach El Tambo. Dort beginnt der lange Weg nach Los Placeres – auf Pferd und mit Maultieren.

»Die Tour wurde zu einer großen Enttäuschung ... – nicht für uns, sondern für die Kollegen und Ehefrauen zu Hause, die unsere Besucher in größter Not auf dem Pferderücken wähten und vom Sattel so wund gescheuert, dass sie im Stehen schlafen mussten.«

Auch am Zielort lief alles viel besser als erwartet:

»Die Leute von Los Placeres haben alles in Bewegung gesetzt, uns willkommen zu heißen. Sie hatten an alles gedacht. Ich habe unseren Raum kaum wieder erkannt. Don Ragelio hatte das eher einfache Quartier in einen Platz verwandelt, den sogar Amerikaner akzeptabel finden konnten. Die Speisen waren vom Feinsten, auch wenn der Appetit der Besucher absolut unzulänglich war. Natürlich war immer kaltes, abgekochtes Wasser zur Hand. Don Ragelio wäre ein eigenes Kapitel dieser Reports wert.«

DIE BEDINGUNGEN IN CHILE SIND VIEL BESSER ALS AUF KITT PEAK

ENDLICH WAREN DIE BESUCHER oben – man schrieb den **6. Dezember 1960**. Jürgen Stock zeigte seinen Chefs den möglichen Standort der Großsternwarte:

»Auf dem Gipfel von Tololo war alles bestens vor-

Die Große Magellansche Wolke hat für Astronomen einen geradezu magischen Klang. Mit gut 160 000 Lichtjahren Entfernung ist diese irregulär geformte Galaxie unser nächster Nachbar im All. Die Astronomen haben hier, ungestört vom vielen Gas und Staub in der

Ebene unserer Milchstraße, einen freien Blick »von außen« auf viele Phänomene, die auch in der Milchstraße eine wichtige Rolle spielen. Der helle rote Nebelfleck links der Mitte ist der Tarantel-Nebel (siehe auch Seite 2).



bereitet. Das Haus war sauber, das Zelt war aufgebaut, Essen war fertig etc. Später am Nachmittag haben Dr. Shane und ich einen ausgedehnten Spaziergang über den Berg gemacht und dabei schon einmal imaginäre Häuser verteilt.«

Das Wetter war allerdings nicht ganz ideal. Die warme Nacht war teilweise bewölkt – aber gelegentlich konnte Stock doch seine Technik der Seeing-Beobachtungen demonstrieren. Am 7. **Dezember** stand noch der Nachbar-Berg auf dem Programm:

»Don Ragelio kam früh am Morgen, um uns auf den Morado zu führen. Wir brachen schnell auf, während Don Arturo das Gepäck direkt nach Los Placeres brachte. Die Tour direkt von Tololo nach Morado dauert etwas mehr als zwei Stunden. Der Pfad ist an einigen Stellen in sehr schlechtem Zustand. An einem Teilstück muss man zu Fuß die Tiere führen. Hier hat sich Dr. Mayalls Pferd das Bein an einem Felsen geschnitten. Ich habe es sofort runter nach Los Placeres geschickt, und Dr. Mayall setzte die Reise auf dem Maultier ›Té Con Leche‹ (Tee mit Milch) fort. Die Farbe des Tieres rechtfertigt diesen Namen. ... Wir verbrachten etwa eine Stunde auf Morado. Wir entschieden, auch dort eine Seeing-Beobachtungsstation zu errichten. Wir wählten nicht den besten Standort aus, sondern den viert- oder fünftbesten. Wenn der gut sein sollte, werden die anderen Stellen auch gut sein. ... Dann kehrten wir über einen steilen Pfad nach Los Placeres zurück, die meiste Zeit zu Fuß.«

Am 9. **Dezember** gab es ein großes Dinner mit allen Beteiligten in Vicuña, bevor es am folgenden Tag zum Cerro Blanco ging.

»Das Wetter war wieder gegen uns. Am Abend zeigte der Taschenlampen-Test jede Menge Dunst. Ich hatte diese Konzentration von Dunst zuvor nur auf Guamayuca gesehen. Dennoch meinten Dr. Shane und Dr. Mayall, dass es ihnen nicht sehr dunstig erscheine. Ich bedauere sehr, dass ich ihnen nicht in einer mondlosen Nacht zeigen konnte, wie rein die Atmosphäre üblicherweise ist.«

AUS DER LUFT: SUCHE NACH WEITEREN STANDORTEN

HIER WIRD SOFORT DEUTLICH, wie dramatisch besser die Sichtbedingungen im Norden Chiles sind. Shane und Mayall, Direktoren des Lick Observatory

in Kalifornien bzw. des Kitt Peak National Observatory in Arizona finden es nicht sehr dunstig, wenn Jürgen Stock bereits von äußerst schlechten Bedingungen spricht. Was in Kalifornien oder Arizona als ganz gute Nacht durchgeht, ist im Raum Vicuña ein Ausreißer nach unten.

Am 12. **Dezember** waren die Besucher – zusammen mit Jürgen Stock – wieder in Santiago. Nun wollte die Gruppe noch die Gegend um Copiapó, knapp dreihundert Kilometer nördlich von La Serena erkunden – mit einem Dienstflugzeug der US-Luftwaffe.

14. Dezember 1960: »Leider war Dr. Mayall krank und konnte nicht mitfliegen. So fuhren nur Dr. Shane, Don Carlos und ich zum Flughafen. ... Das Flugzeug landete in Ovalle und La Serena, wo alle Passagiere bis auf uns ausstiegen. Dann begann der spezielle Flug für uns. Auf der Karte hatten wir vier Gegenden ausgeguckt, wo die Gebirgsausläufer der Anden 2000 bis 3000 Meter hoch sind. Wir haben jetzt genügend Erfahrung, um zu wissen, nach welcher Topographie wir suchen müssen, damit wir am Ende gute Seeing-Bedingungen finden. Auf dem Weg nach Norden haben wir eine Reihe möglicher Standorte ausgemacht.«

Unter diesen Standorten waren mit Sicherheit auch La Silla, wo sich ESO später niederließ, und Las Campanas, wo die Carnegie Institution ihre Teleskope aufstellte. La Silla und Las Campanas liegen achtzig bzw. hundert Kilometer nördlich von La Serena. Der Flug ging weiter:

»Nahe Copiapó kehrten wir um, um uns zwei Berge genauer anzusehen. ... Unser erster Kandidat war Cerro Checo de Plata, etwa 25 Kilometer südöstlich von Copiapó. Seine Struktur scheint ideal zu sein – er ist gut von den Nachbar-Bergen getrennt. Fläche gibt es auch genug. Wir konnten kein Wasser entdecken, aber es gibt Minenaktivität; eine Mine hat eine Straße, die gut ein Drittel des Berges hinaufführt. Cerro Checo ist 2407 Meter hoch. Unser zweiter Kandidat war ein Berg etwa fünfzig bis sechzig Kilometer nordöstlich von Vallenar. Auch dort sind Struktur und Oberfläche passend. Wasser scheint es am Fuße des Berges zu geben, und eine Straße führt zumindest in seine Nähe. Aber die nächste Stadt – Vallenar – ist wirklich weit weg. Wir kennen noch nicht den Namen dieses Berges – seine Höhe ist ebenfalls nahe 2400 Meter.«

Da Cerro Checo de Plata gut erreichbar ist, entschied die Gruppe, dass Don Carlos (also Carlos Torres) den Berg bald genauer in Augenschein nehmen sollte.

Shane und Mayall kehrten in die USA zurück – das Beobachtungsprogramm in Chile lief mit vollem Einsatz weiter. Auch über Weihnachten und Silvester – das neue Jahr begrüßte Stock dann aber doch in Vicuña.

31. Dezember 1960: »Ich lud Familie Leyton und Familie Garrote abends in die Hostería ein. Die Bar hatte praktisch nichts mehr. Eine Flasche Coca-Cola und zwei oder drei Flaschen Sodawasser war alles, was sie anbieten konnten. Zudem warteten die Kellner darauf, dass wir gehen, damit sie selbst zum Tanzen gehen konnten. Wir verließen empört das Lokal. Don Arturo lud uns in sein Haus ein, wo wir sehr angenehm auf die Ankunft des neuen Jahres warteten.«

Am ersten Tag des Jahres 1961 vermerkt der Stock Report lediglich: »I sent a carton of Coca Cola to the hostería as a New Year's gift.« – »Ich schickte der Hostería eine Kiste Coca-Cola als Neujahresgeschenk.«

SICHTEXPEDITIONEN KÖNNEN SO LANGWEILIG SEIN

DANN GING ES SOFORT WEITER mit den Doppelbeobachtungen auf Tololo und Cerro Blanco. So faszinierend die Aufgabe auch sein musste – natürlich war auch so etwas irgendwann Routine.

8. Januar 1961: »Ein einwöchiger Aufenthalt auf einem einsamen Berg bringt für zwei Männer viele Probleme mit sich. Überflüssig zu sagen, dass man sich langweilt, selbst mit einem Radio, Domino, Karten etc. Ich kann mich selbst mit Lesen, Berichte schreiben, Bearbeiten von Beobachtungen etc. beschäftigen. Ich arbeite sogar an zwei Manuskripten. Aber ohne einen Schreibtisch in einem gut beleuchteten Büro, ohne eine Bibliothek und ohne Rechen- und Zeichenmöglichkeiten wird sogar wissenschaftliche Arbeit schnell wenig vergnüglich. Leider hatte ich keinen Theodoliten auf Cerro Blanco, um an der Höhenkarte zu arbeiten. Das würde Spaß machen und wäre sehr nützlich. Don Arturo beschäftigte sich mit Kochen – und das kann er sehr gut. Ebenso bereitet er die Feuer für die Nacht vor. Da er dafür viel Zeit hat, bereitet er üblicherweise geradezu ein Feuer-

werk. Aber egal was wir taten, alles wiederholte sich und wurde uninteressant. Wir mussten etwas Neues machen.«

Stock und Don Arturo bestiegen zur Abwechslung den gut 3000 Meter hohen Cerro Negro – das Unternehmen dauerte einen ganzen Tag, als Verpflegung mussten »vier Orangen und eine Hand voll Tabak« reichen. Nach der Rückkehr zum Beobachtungsplatz auf Cerro Blanco waren die beiden »nicht wirklich unglücklich über die aufgezogenen Wolken, denn wir mussten uns erholen«. So dominierte in der folgenden Nacht das Schlafen – und nicht das Beobachten.

Am **11. Januar** verließen Stock und Don Arturo den Berg. »Wir nahmen den geometrisch kürzesten Weg nach El Churcal, das wir in fünfzig Minuten erreichten. Dort nahm ich ein Bad im eiskalten Bach – dann frühstückten wir. ... Danach sattelten wir die Tiere und erreichten drei Stunden später Vicuña. Ich war von der Leistung meines neuen Pferdes sehr beeindruckt und kaufte es am selben Tag. Sein Verhalten, wenn es ein Auto, ein Haus oder andere von Menschen gebaute Dinge gewisser Größe passiert, erinnert mich immer an Don Quijotes Kampf mit der Windmühle. Daher gab ich dem Pferd den Namen ›Don Quijote‹.«

Ende Februar untersuchte dann Jürgen Stock die Möglichkeiten auf Cerro Checo nahe Copiapó, jenem Berg, der ihnen im Dezember vom Flugzeug aus aufgefallen war. Stock vermutete etwa 300 klare Nächte auf dem Berg und überlegte, ob man den Betrieb auf dem Berg besser mit Maultieren oder mit einem Jeep (nachdem man eine Piste angelegt hätte) möglich macht. Die laufenden Kosten sind bei Maultieren höher – dafür sind die Anfangskosten nicht so hoch. Zudem würde ein Pistenbau den Beginn der Beobachtungen verzögern. »Insgesamt meine ich, dass der Berg eine genauere Untersuchung lohnt. Ich möchte betonen, dass dieser Berg die beste Topographie von allen bisher untersuchten hat, mit steilen, tief abfallenden Hängen nach *allen* Seiten.«

VERDUNKLUNG À LA VICUÑA

STOCK KEHRTE ZURÜCK NACH VICUÑA – für Cerro Checo sollte ein anderer Beobachter angelernet werden. In Vicuña selber hatte er mit ganz anderen Problemen zu kämpfen:

4. März: »In den letzten zwei oder drei Wochen ist meine Schreibtischarbeit von einem kuriosen Umstand stark behindert worden, nämlich von ungenügendem Licht bei Nacht. Die Stadtverwaltung von Vicuña hat etwas gemacht, für das ich kein englisches Wort kenne, aber einen sehr guten deutschen Begriff, nämlich ›Schildbürgerstreich‹. Vielleicht kann Professor Heckmann Ihnen diesen Begriff erklären. Wie Sie vielleicht erinnern, ist die Elektrizität in Vicuña wirklich schwach, weil die beiden Generatoren nicht genügend Kapazität haben. Die Stadtverwaltung kaufte einen weiteren gebrauchten Generator. Er ist vor einigen Wochen angeschlossen worden, und es stellte sich heraus, dass er sogar noch weniger Kapazität hat als die beiden alten. So hatten wir nachts manchmal 140 Volt anstatt der erforderlichen 220 Volt.«

Im März unternahm Stock eine zweite Reise in die Gegend von Copiapó – aus den USA war das Okay für eine Beobachtungskampagne auf Cerro Checo gekommen. Der Transport auf den Berg sollte mit Maultieren erfolgen. Zudem wünschten die US-Astronomen eine etwas genauere Untersuchung von Cerro Buenos Aires, etwas 25 Kilometer südlich von Cerro Checo.

Nach der Rückkehr nach Vicuña brach Stock am **22. März** wieder zum Cerro Morado auf. »Leyton Senior ging um vier Uhr früh zum Morado, um ein Biscacha zu schießen. Die kommen nur bei Sonnenaufgang aus ihren Höhlen heraus und manchmal auch zu Sonnenuntergang. Don David, Don Anario und ich brachen um elf Uhr auf. Auf dem Weg trafen wir Leyton, der vom Morado zurückkam. Er hatte nichts geschossen und war frustriert. Wir erreichten den Gipfel um dreizehn Uhr ... Fünf Kondore kamen und segelten nur fünf Meter über dem Boden eine ganze Weile um uns herum. Als mir Don David sagte, dass man die essen kann und sie gut für einen Cazuela-Eintopf seien, habe ich mich mit der Pistole auf die Lauer gelegt. Ich habe zweimal geschossen und beide Male getroffen – aber ich habe nur Federn bekommen. Die getroffenen Vögel segelten noch eine Meile den Berg hinunter und stürzten nahe Los Placeres ab. Ich schickte Don Ragelio die Nachricht, dass er in der Nähe seines Hauses etwas für den Kochtopf finden könne. Es wurde nichts gefunden – aber am nächsten Tag kamen nur drei Kondore wieder. ... Die Nahrungssituation war etwas angespannt,

nicht nur wegen Leytons und meiner fehlgeschlagenen Jagdversuche, sondern auch, weil wir etwas Pech hatten. Tomaten, Bananen, Limonen, Orangen, Zwiebeln und ein paar Dosen Fleisch waren alle in einen Korb gepackt – zudem noch eine Packung Zucker. Durch das ständige Schaukeln auf dem Rücken des Maultiers zerdrückten die Fleischdosen alle Früchte und der Saft hat schließlich das Zuckerpaket getränkt. Eine vielleicht ganz schmackhafte Marmelade war entstanden, die dann aus dem Korb in meine Tasche mit Kleidung durchgesickert ist. Jetzt haben wir hier nur Reis, Nudeln und Kartoffeln. Es gibt eine Reihe unterschiedlicher Kombinationen dieser Sachen, aber keine davon ist sehr gut.«

DER ZWEITE KANDIDAT: LA PEINETA

WENIGE TAGE SPÄTER reiste Jürgen Stock wieder für drei Wochen in die USA. Zurück in Chile bereitete Stock vor allem die sechs bis acht Wochen später geplante Ankunft des 40-Zentimeter-Teleskops vor. Die Straße nach Los Placeres sollte so weit wie möglich ausgebaut werden – außerdem war zu bedenken, wie viel Heu in Los Placeres zur Verfügung stehen musste, um 22 Tiere (Maultiere und Pferde) eine Woche lang zu versorgen. Zudem war die Erkundung von Cerro Checo nahe Copiapó voranzutreiben. Am **28. April 1961** war Stock erneut auf dem Gipfel. »Ich habe mich nach möglichen Alternativstandorten umgesehen. ... Ein Berg namens La Peineta etwa sieben Kilometer weiter östlich und hundert bis zweihundert Meter höher als Checo könnte eine gute Wahl sein. Laut Don Chavelo gibt es da Wasser und auch eine Straße, die dicht an den Berg führt. ... Fläche gibt es auch genügend. ... Ich werde La Peineta besuchen, sobald sich eine Möglichkeit ergibt.«

Cerro Checo hatte wegen der etwas unklaren Bedingungen mit den Minen nicht nur Vorzüge. Auch wenn der Berg gut lag, so gab es vielleicht doch noch bessere. Zurück in Santiago erhielt Stock die Analyse der Wasserproben, die er in der Nähe von Tololo und am Cerro Checo gesammelt hatte – wer eine Sternwarte gründen will, muss sich auch um die Qualität des Wassers kümmern.

30. April 1961: »Die chemische Analyse der Wasserproben von Los Placeres, La Mollaca (in der Schlucht zwischen Tololo und Morado) und La Cabrería ist fertig. Die Tests für radioaktive Stoffe

Torkelt hier ein Astronom vom Mitternachtsmahl zurück ins dänische 1,5-Meter-Teleskop auf La Silla? Wer im Dunkeln zu Fuß unterwegs ist, soll stets eine kleine Lampe tragen, um von Autofahrern gesehen zu werden. Der Eingangsbereich des Teleskops ist nur mit

Rotlicht erhellt. Am Gebäude spiegelt sich das Licht des untergehenden Mondes. Im Übrigen herrscht sowohl auf La Silla als auch auf Paranal aus Sicherheitsgründen striktes Alkoholverbot, von dem – inkonsequenterweise – nur bei VIP-Besuchen abgegangen wird.



müssen noch gemacht werden. Die bisherigen Ergebnisse lauten: (1) Das Wasser von Los Placeres ist gut. (2) Das Wasser von La Mollaca enthält Schwefel und ist nicht geeignet, von Menschen über einen längeren Zeitraum konsumiert zu werden. (3) Das Wasser von La Cabrería ist sehr salzig, enthält aber keine gefährlichen Bestandteile. Es kann leicht gefiltert werden.«

Wieder in Vicuña und auf Beobachtungstour im Gebiet von Tololo taucht im Stock Report Nr. 14 ein weiterer wichtiger Berg auf. »Wir hatten eine Tour zum El Pachón geplant, einem Berg südöstlich von Morado und 300 Meter höher.« Doch Stock & Co. hatten wieder eine Schlechtwetterperiode im Südwinter erwischt – der für den 2. Juni 1961 geplante Trip musste ausfallen. Im Januar 2002 ist auf Pachón das 8-Meter-Gemini-Süd-Teleskop eingeweiht worden (der Nord-Zwilling steht auf Hawaii) – Kalauer am Rande: Das Gemini-Projekt wird vom Briten Matt Mountain geleitet, ein sicher nicht unpassender Name für einen Sternwarten-Direktor.

Anfang Juni gab es im Gebiet um La Serena starken Niederschlag – 45 Millimeter Regen in zwei Tagen, immerhin noch zwanzig Millimeter in Vicuña. Tololo war frei von Schnee, aber Guamayuca und Cerro Blanco waren schneebedeckt. Auf Guamayuca hielt sich der – wenige – Schnee zwei Wochen, auf Blanco sogar einen Monat. Die Thermographen (automatische Temperaturaufzeichnungsgeräte) auf den beiden Bergen zeigten Jürgen Stock später, dass es auf Guamayuca und Blanco etwa zehn Grad Celsius kälter war als auf Tololo. Auf Morado hatte der viele Regen dieser Saison einen kleinen Bach entstehen lassen, der das Wasserproblem stark milderte. Zugleich waren aber große Teile der Aufstiegswege weggespült, was neue Probleme bereitete. Die Schäden wurden schnell repariert.

TOLOLO: DAS 40-ZENTIMETER-TELESKOP KOMMT AN

EINEN MONAT SPÄTER – in der Nacht zum **20. Juli 1961** – regnete es erneut sehr stark. Alle Berge höher als 1400 Meter waren eingeschneit – also auch Tololo. Dank des Schneefalls war kein großer Schaden an den Pfaden zu befürchten.

Einen Tag später – am **21. Juli** – kamen endlich die Kisten mit dem 40-Zentimeter-Teleskop in Vicuña

an, nachdem sie lange im Hafen von Valparaíso gelegen hatten, weil die Zollformalitäten viel Zeit in Anspruch nahmen. Zudem hatte Stock in Santiago einen Schutzbau für das Teleskop anfertigen lassen, der – nachdem er in Santiago schon einmal probenhalber zusammengebaut und wieder zerlegt worden war – nun endgültig auf Tololo errichtet werden sollte. Das gesamte Material – Teleskop und Schutzbau – musste mit Maultieren auf den Berg geschafft werden.

25. Juli: »An diesem Tag musste eine unserer wichtigsten Aufgaben beginnen, nämlich der Bau der Schutzhütte für das 40-Zentimeter-Teleskop und das Zusammensetzen des Teleskops. Alle Teile der Schutzhütte waren jetzt in Los Placeres oder auf Tololo. ... Zusammen mit Don Rogelio wählten wir den Standort der Schutzhütte aus. Dann bestimmte ich die Nordrichtung, und die Arbeit begann. Die Hütte hat kein Fundament. Sie wird auf einem Rahmen aus schweren Holzbalken errichtet. ... Die ganze Konstruktion wird mit Halteseilen auf dem Boden befestigt. Vier Pfeiler halten die Schienen für das abschiebbare Dach der Hütte – diese Pfeiler müssen aber im Boden verankert sein. Da wir überall nur auf harten Fels stoßen, war klar, dass die Löcher für die Pfeiler gesprengt werden müssen.«

Am **26. Juli** begannen die Sprengungen, und die Arbeiten gingen zügig voran. Stock pendelte zwischen Berg und Vicuña, um fehlende Einzelteile und weitere Verpflegung zu besorgen oder einen weiteren Gast abzuholen – Paul Kuiper, der künftig mit beobachten sollte.

28. Juli: »Als ich oben ankam, sah ich, dass die Arbeiten an der Schutzhütte in der Zwischenzeit deutlich vorangekommen waren. Die Wände waren fast fertig. Der Aushub im Innern war fast fertig, um den Beton einzugießen. Aber die Löcher für die Pfeiler waren noch lange nicht fertig. Es wurde noch viel Dynamit gebraucht.«

Am **30. Juli** war das Fundament für die Teleskop-Montierung fertig gestellt. Zudem setzten Jürgen Stock und sein Team einen Generator zusammen.

2. August: »Um vier Uhr nachmittags kam es zu einem großen Moment in der Geschichte von Tololo: Der elektrische Strom wurde eingeschaltet. Wir hatten nur meinen elektrischen Rasierer, um es auszuprobieren. Es war eine teure Rasur, wie Paul bemerkte, aber dennoch hat es mir viel Freude gemacht, und

ich bekam davon ein sauberes Gesicht. Dann schlossen wir ein Licht im Haus an. Wegen der Feuergefahr war allerdings eine professionelle Installation notwendig. Wir brauchten einige Stunden, die Leitungen, Schalter, Lampenfassung etc. zu verlegen und zu montieren, aber dann konnten wir das Licht einschalten. Wir haben sofort eine Zeitungsannonce entworfen: »Karbonlampe zu verkaufen.«

Das Zusammensetzen des Teleskops kam ebenfalls mit größter Sorgfalt voran.

7. August: »Ich erkannte, dass wir die Chance haben, an diesem Tag das Teleskop zu vollenden. Alle verfügbaren Leute mussten hier mitarbeiten. Nur Paul machte etwas anderes – er musste den Generator, der nicht so gut funktionierte, zerlegen und wieder zusammenbauen. Um sechs Uhr abends war das mechanische Zusammensetzen des Teleskops fertig. Die elektrischen Anschlüsse mussten aber noch gelegt werden. Dies war bis 23 Uhr geschehen. Dann legten wir den Hauptschalter um. Nichts explodierte. Der Motor funktionierte, die Nachführung, aber eine der Hauptachsen nicht. Das war der einzige Fehler. Nachdem alles getestet war, haben wir die Schutzhaute geöffnet und das Teleskop auf Jupiter gerichtet. Ich war etwas überrascht, dass das Teleskop fokussiert war. Die Bilder zeigten eine Coma. Das Justieren musste verschoben werden, weil man für den ersten Schritt Tageslicht braucht. Aber wir haben dennoch einige weitere Objekte angesehen. ... Dann probierte ich das Photometer aus und merkte, dass es tadellos funktioniert. Wir waren alle sehr erfreut und mochten die Aktion nicht beenden, aber es gab nichts mehr, was wir hätten tun können.«

TOLOLO WIRD ZUR »ECHTEN« STERNWARTE

MIT EINEM FEST MONTIERTEN TELESKOP ist Tololo also seit dem **7. August 1961** eine »richtige« Sternwarte. Was muss das für eine Freude für Jürgen Stock und sein Team gewesen sein! Jupiter stand nur zwei Wochen zuvor in Opposition, Saturn nur drei Wochen zuvor. Die beiden großen Planeten standen nach Fertigstellung des Teleskops gegen Mitternacht fast im Zenit zwischen den Sternbildern Schütze und Steinbock, also nahe den hellen Bereichen der Milchstraße und des Milchstraßenzentrums. Das alles in einer pechschwarzen, mondlosen Nacht – die abnehmende Mondsichel ging erst zwei Stunden vor

der Sonne auf und stand direkt neben der hellen Venus. Der Himmel hatte sich für diese historische Tololo-Nacht also durchaus Mühe gegeben.

Am **14. August** reiste Stock in die USA, um an der elften Hauptversammlung der Internationalen Astronomischen Union (IAU) in Berkeley in Kalifornien teilzunehmen. Die IAU-Hauptversammlungen sind mit vielen Vorträgen und Symposien eine Art »Weltkongress der Astronomen« und finden alle drei Jahre statt. Die von 1961 ist den meisten Astronomen noch sehr eindrücklich in Erinnerung. Denn im August 1961 wurde leider nicht nur im Positiven historisch bedeutend gebaut – am 13. August 1961 wurde die Berliner Mauer errichtet. Viele Astronomen aus der DDR befanden sich zur IAU-Tagung in Kalifornien – nicht wenige von ihnen kehrten nicht mehr in die DDR zurück.

Am **1. September 1961** flog Jürgen Stock zurück – zum ersten Mal in einem Düsenjet. Am 11. September brach Stock von Vicuña nach Tololo auf. »Es war sechs Uhr abends, als wir in Los Placeres ankamen. Ich wollte die Nacht nicht verlieren, und so entschied ich mich, nach einer kurzen Pause weiterzureiten. Die Sonne war schon untergegangen, als wir aufbrachen. La Mollaca erreichten wir mit dem letzten Tageslicht. Der einstündige Aufstieg zum Gipfel musste nun in völliger Dunkelheit erfolgen. ... Es war so dunkel, dass man kaum Felsen und Sand unterscheiden konnte. ... Um halb neun kamen wir oben an. ... Es war natürlich zu spät, um das 40-Zentimeter-Teleskop noch zum Beobachten fertig zu machen.«

12. September: »Ich hatte zwei Hauptprojekte, um das 40-Zentimeter-Teleskop für photoelektrische Beobachtungen bereit zu haben, nämlich den Brown-Rekorder anzuschließen und die Teleskopoptik zu justieren. ... Es dauerte einige Stunden, bis alles fertig war. Ein Test des Photometers zeigte, dass alles funktioniert.«

Auch wenn jetzt schon wissenschaftliche Arbeit auf Tololo begann, so war die Entscheidung, welcher Berg nun Standort der künftigen Großsternwarte werden sollte, noch nicht gefallen. Stock und sein Team befanden sich immer noch auf Sichtuntersuchungen – das heißt, auf der Suche nach dem besten Standort.

13. September: »Während dieser Nacht – wie auch schon in der vorhergehenden – versuchten Bill auf



Morado und wir auf Tololo die Frage zu klären, ob die Windgeschwindigkeiten an beiden Standorten gleich sind oder nicht.«

Wind ist für Sternwarten ein zweiseitiges Phänomen. Ein bisschen Wind kann sehr gut sein und klare, ruhige Luft bringen – wie es auch Stock auf Tololo bei leichtem Südwind aufgefallen war. Zu starker Wind sorgt oft für Luftunruhe, lässt schlimmstenfalls die Teleskope vibrieren und trägt in einer Wüste Staub und Sand mit, die sich auf die optischen Teile legen und häufiges Reinigen erfordern.

Während der viertägigen Feiern zur chilenischen Unabhängigkeit Mitte September 1961 (Chile hatte am 18. September 1810 seine Unabhängigkeit von Spanien erklärt) war Stock als Polizeifahrer tätig. Das Polizeiauto von Vicuña war zur Reparatur, und die Dienststelle erbat von den Astronomen »Amtshilfe«, die gerne gewährt wurde. So klapperte Stock alle Feiern in den Dörfern und Städtchen des oberen Elqui-Tales ab – und kam in Gegenden, die er bis dahin nicht gesehen hatte.

19. September: »Die Szenerie entlang der Straße ist wirklich spektakulär und erinnert mich an die Schweiz. Die Dörfer haben auch etwas von Schweizer Gepflegtheit. Auf dem Weg nach Pisco sind wir durch Monte Grande gekommen, wo Gabriela Mistral beerdigt ist. ... Kurz vor Pisco sahen wir Weingärten, die sich die Berghänge hinauf erstrecken, wie man es von Rhône oder Rhein kennt.«

21. September: »Ich ging wieder auf den Tololo. ... Neben der Seeing-Routine habe ich die ganze Nacht photoelektrische Beobachtungen gemacht.«

Auf Tololo war mittlerweile auch das neue Interferometer eingetroffen, das aus den USA per Schiffsfahrt nach Chile transportiert worden war. Am 25. September verließ Stock den Berg, um von Vicuña aus ein Telefongespräch nach Santiago zu führen – mehr als fünf Stunden Anreise für ein Telefongespräch, das dann anzumelden war und auf das man im Schnitt vier Stunden warten musste.

26. September: »Als ich wieder auf Tololo ankam, sah ich, dass Paul Kuiper krank war. Es war der übliche Ärger mit dem Magen, aber dieses Mal durchaus ernst. Er konnte in der vorangegangenen Nacht nicht beobachten. Er fühlte sich jetzt etwas besser, war aber immer noch geschwächt. Ich hielt es für das Beste, ihn zum lokalen Mediziner in Los Placeres zu schicken. Ich sagte ihm, er solle in ein oder zwei

Tagen wieder raufkommen, und wenn er sich nicht besser fühlt, solle er lieber nach Vicuña gehen.«

28. September: »Paul Kuiper kam rauf von Los Placeres. Es ging ihm wieder besser. Unsere Pläne waren, dass er auf Tololo für einige Nächte mit dem neuen Interferometer arbeiten sollte. Wir könnten dann unsere Beobachtungen an diesem Instrument vergleichen. Zudem könnten wir einen fundierten Vergleich mit dem 40-Zentimeter-Teleskop machen. Nach diesen zwei Nächten sollte Paul das Gerät zerlegen, das Interferometer zusammenpacken und es auf Cerro Blanco bringen. Dann könnten wir ein paar Vergleiche zwischen Tololo und Blanco machen. Ich würde die ganze Zeit auf Tololo bleiben.«

Danach standen wieder Beobachtungen auf Cerro Checo nahe Copiapó auf dem Plan. Am **10. Oktober 1961** war Stock erneut auf dem Gipfel: »Der Dunst sank bei Sonnenuntergang unter die Höhe von Checo ab. Die Nacht war wunderbar klar. Das Seeing war exzellent, so gut wie wir es auf Tololo während der ersten Monate unserer Beobachtungen erlebt hatten. Die Windgeschwindigkeit lag zwischen zwei und fünf Kilometern pro Stunde. Die Temperatur fiel die ganze Nacht über – von fünfzehn Grad Celsius am Abend bis auf elf Grad Celsius am Morgen.«

Die Nächte und vor allem die Tage auf dem Berg wurden lang, Abwechslung immer herbeigesehnt.

14. Oktober: »Viele Male sind Alejandro und ich zu einem Aussichtspunkt gegangen, um zu sehen, ob Besucher den Berg hoch kamen. Wenn wirklich Besucher kamen, war das leicht zu sehen. Wir gingen zu einer Stelle, von der man die Cabrería sehen konnte, und zählten die Tiere da unten. Wir haben vier Maultiere und ein Pferd. Den ganzen Tag sahen wir fünf Tiere, was bedeutete, dass niemand hoch kam. Um siebzehn Uhr bemerkten wir, dass alle Tiere weg waren. Dann entdeckten wir die Tiere auf dem Pfad: drei Reiter, ein beladenes Maultier, ein Tier ohne Ladung. Natürlich konnte man nicht erkennen, wer da kommt. Eine Stunde später kam die Gruppe auf dem Berg an. Es war der Intendente Don Carlos Porcile Lorca und sein Sekretär, Daniel Rojas, begleitet von Don Chavelo. Das Packmaultier brachte zwei Feldbetten und Verpflegung für die Gäste. Sie waren erfreulich beeindruckt über die glatt laufende Organisation, die wir haben – wofür Mr. Richards zu danken ist – und über die komfortablen Lebensbedingungen an der Cabrería und auf Checo selbst, was

Don Chavelo und seinem Sohn Alejandro zu verdanken ist. Die Gäste hatten die Möglichkeit, den Mond und Jupiter und Saturn zu beobachten. Danach unterhielten wir uns über Jagd, Politik und andere Dinge, über die Männer gerne reden. Als ich dem Intendente erzählt hatte, dass ich vor kurzem einige Loros (grüne Papageien) geschossen und gegessen hatte, fragte er, ob man die noch grün oder reif isst.«

NEUE BERGE, NEUES GLÜCK?

AM NÄCHSTEN TAG VERLIESSEN alle den Berg – Stock brachte die hohen Gäste zurück nach Copiapó. Man dankte es dem Team einige Tage später mit einem Zeitungsartikel auf der Titelseite der Lokalzeitung.

15. Oktober: »Wir begannen nun mit einer der härtesten Aufgaben, die wir während der gesamten Expedition zu bewerkstelligen hatten: dem Besuch auf La Peineta und La Ternera. ... Ich besuchte zunächst den Geologen Dr. Sagerstrom, um alles zu hören, was er über diese Berge wusste. ... Hier muss ich einfügen, wieso das Interesse am anderen Berg als Checo aufgekomen ist. Checo ist fast jeden Tag in Staub gehüllt. Es scheint, dass er über Nacht absinkt, aber das geschieht nicht immer. ... Der tagsüber dauerhaft wehende Wind trägt den Staub bis zu 3000 Meter hoch und das mehr oder weniger parallel zur Küstenlinie. Der Staub reicht nicht weit in die Kordilleren hinein, aber er kommt bis Checo. Ein Standort etwas höher als Checo und etwas weiter im Inland wäre von Vorteil. Unser erster Kandidat war Cerro La Peineta. ... Um siebzehn Uhr kamen wir in Carizalillo an. Wir sind durch sehr farbenfrohe Landschaft gefahren. Felsen und Berge in allen Farben und Formen, Schluchten, Täler und sogar Vegetation machte die Szenerie wirklich hübsch. Die Ranch in Carizalillo ist etwa so groß wie Los Placeres und liegt in einem engen Tal. Die Ranch wird von einer bemerkenswerten Frau betrieben. Sie ist etwa vierzig Jahre alt. Als wir sie trafen, beschlug sie gerade ein Maultier. Danach ging sie los, um etwas zu bewässern. Die Männer auf der Ranch sagten uns, dass sie anderthalb Männer sei. Zudem ist sie sehr gebildet. Sie hat einige Kinder. Sie kann uns ein Pferd und ein Maultier leihen.«

Den ersten Aufstiegsversuch musste die Gruppe abbrechen, weil auf einem Plateau 300 Meter unterhalb des Gipfels stürmischer Wind Sand und kleine Steinchen aufwirbelte und so das Vorankommen

erschwerte. An jenem Tag tobte ein Sturm über der gesamten Gegend.

17. Oktober: »Am Morgen war das Wetter gut. Der Himmel war so klar und blau, wie wir es üblicherweise in Vicuña sehen. ... Wir erreichten den Gipfel des Berges nach vier Stunden. ... Wir konnten Checo im Dunst sehen, während La Peineta und alles östlich davon dunstfrei war. La Peineta selbst ist ein etwa 400 Meter langer Bergrücken. Er läuft von Nord nach Süd und ist nach Westen hin von senkrechten Klippen begrenzt und fällt nach Osten mit etwa zehn Grad Neigung ab.«

Am 21. Oktober war Stock wieder in Vicuña und am 25. wieder auf Tololo. Carlos Torres kam aus Santiago einen Tag später nach.

26. Oktober: »Carlos und ich machten die ganze Nacht photoelektrische Beobachtungen. Zudem verglichen wir das Seeing, das Carlos mit dem Interferometer abschätzte und ich im 40-Zentimeter-Teleskop.«

27. Oktober: »Tagsüber übte Carlos den Umgang mit dem 40-Zentimeter-Teleskop und dem Photometer. Ich brachte ihm die elementaren Schritte zur Reduktion photoelektrischer Beobachtungen bei. Wir kamen dann überein, dass wir zusammen an einem Programm arbeiten wollten, um UBV-Standards auf der Südhalbkugel zu bestimmen.«

»Standardsterne« sind Sterne, deren Strahlungsverhalten, Farbe, Helligkeit etc. genauestens dokumentiert sind. Sie dienen als »Eichsterne«, um Messgeräte und einzelne Beobachtungen zu eichen. Es ist bekannt, wie die Standardsterne leuchten. Die tatsächliche Beobachtung im Teleskop zeigt dann eine vom Wetter und den Instrumenteneigenschaften abhängige Abweichung – diese Differenz ist gleichsam der »Fehler« bei der Beobachtung. Ihn können die Astronomen dann bei allen beobachteten Objekten herausrechnen und bekommen so absolut geichete Daten. Gerade bei Vergleichen verschiedener Beobachtungen ist solche Eichung unverzichtbar. Doch bevor die Eichung möglich ist, müssen die Standardsterne (die natürlich nicht variabel sein dürfen) erst einmal gefunden und über einen langen Zeitraum dokumentiert sein.

Im Dezember 1961 kam erneut Donald Shane zu Besuch, um sich die Situation auf Tololo und bei Copiapó anzusehen. Am **8. Dezember** war Stock mit Shane auf La Peineta.

DIE ERDE BEBT

»**DR. SHANE STELLTE FEST**, dass nach seiner Meinung La Peineta eine genauere Untersuchung wert sei. So entschieden wir, die Aktivitäten dort so schnell wie möglich zu beginnen. Es scheint zwei Arten zu geben, wie man dort arbeiten kann: 1. mit Tieren, die in Carizalillo stationiert sind, oder 2. mit einer Straße, die über den Osthang auf den Berg führt, beginnend an der Quelle Sepone, wo es auch ein Haus gibt. Welche der beiden Möglichkeiten die praktikablere ist, hängt allein von den Kosten für die Straße ab. Das war also das Erste, was wir in Erfahrung bringen mussten.«

Am **11. Dezember** erkundete Stock mit seinem Team die Situation eines Straßenbaus zum und auf den La Peineta. Das Gelände war sehr einfach ohne starke Steigungen oder Felsbarrieren. Schnell war klar, dass man die Straße würde bauen können – Maultiere waren nicht notwendig. Das Expeditionsbüro wurde von Vicuña nach Copiapó verlegt, da dort in nächster Zukunft die Hauptaktivitäten sein würden.

21. Dezember 1961: »Um zehn Uhr morgens kam ich in Copiapó an. Wir begannen das Büro vorübergehend im Haus der Richards einzurichten. In der Zwischenzeit haben wir versucht, ein geeignetes Haus zu mieten. Es sollte zwei oder drei Schlafzimmer haben (eines für Paul Kuiper, eines für mich und vielleicht eines für die Bürokraft), einen großen Raum für das Büro und viel Stauraum und Parkplätze für die Wagen. Fernando Richards teilte mir mit, dass die Arbeit an der Straße auf den Peineta am 15. begonnen hat. Zehn Männer arbeiten mit einem Bulldozer und einem Traktor daran.«

Am **4. Januar 1962** war das Büro komplett umgezogen. Der Straßenbau machte schnell Fortschritte. Am **9. Januar** war die Straße zwar noch nicht ganz bis zum Gipfel fertig – aber mit viel Mühe gelangte das Stock-Team mit zwei Fahrzeugen hinauf. »Kein Zweifel, dass dies die ersten Fahrzeuge waren, die es jemals auf den Gipfel von La Peineta geschafft haben.« In den folgenden Wochen wurden erste Geräte aufgestellt – erneut mussten einige Löcher in den Fels gesprengt werden.

Die Arbeiten auf La Peineta und das Beobachten auf Tololo liefen parallel weiter. Zwischendurch war Stock wie schon im April 1960 für vier Wochen zu Sichtuntersuchungen in Venezuela.

Dass die Anden ein geologisch aktives Gebiet sind, wurde den Astronomen bald klar. Am **11. April 1962** war Stock wieder auf La Peineta und traf Paul Kuiper.

»Paul erzählte mir, dass er zwei Tage zuvor etwa um Mitternacht ein ziemlich starkes Erdbeben gespürt hat, während er beobachtete. Ich hatte das Erdbeben in Vicuña auch bemerkt. Aus Pauls Schilderungen folgerte ich, dass die Stärke an beiden Orten etwa gleich war. ... Schäden gab es keine.«

Erdbeben können in den Anden tatsächlich zum Problem werden. Die 8-Meter-Spiegel des Very Large Telescope der ESO haben eine spezielle Erdbebensicherung, die die Spiegel frei schwingen lässt, damit sie bei einem Erdbeben keinen Schaden nehmen.

LA PEINETA UND TOLOLO – DER CHEF WILL ES SELBER SEHEN

MITTE APRIL KAM FRANK EDMONDSON, der neue Präsident von AURA (als Nachfolger von Donald Shane), nach Chile. Stock reiste mit ihm zunächst nach La Peineta.

18. April: »In der ersten Nachthälfte war es wolkig und windig (bis zu zwanzig Kilometer pro Stunde); zudem war Vollmond. Wir bedauerten alle sehr, dass Dr. Edmondson nicht die guten Bedingungen zu sehen bekam, die wir hier sonst haben. In der zweiten Nachthälfte war es klar und der Wind ließ nach. ... Dr. Edmondson konnte den Dunst sehen, den wir oft auf Checo haben. Zudem kennen wir nicht die Bedingungen auf La Peineta im Winter. Die könnten ziemlich hart sein. Das heißt, dass Tololo noch immer die Chance hat, die endgültige Wahl zu werden. Daher schien es angebracht zu versuchen, zumindest die Gegend von Tololo zu sehen. Den Berg selbst zu sehen, war in Anbetracht der wenigen Zeit, die zur Verfügung stand, unmöglich.«

Am Abend des **21. April 1962** verließ Frank Edmondson Chile wieder. Es kristallisierte sich allmählich heraus, dass die Entscheidung zwischen Tololo und La Peineta fallen würde. Doch von La Peineta gab es noch nicht genügend Daten.

»Nach Dr. Edmondsons Abflug hatten wir alle noch eine kleine Unterredung vor dem Flughafen. Ich schlug vor, das texanische 32-Zentimeter-Teleskop nach La Peineta zu bringen. Das Teleskop ist zurzeit auf Cerro Calán. Eine Schutzhütte dafür gibt es auf Alto del Toro in der Nähe von Farellones. Dr.

Rutllant stimmte dem Vorschlag zu. Carlos bekam den Auftrag, die Schutzhütte zu zerlegen und nach Santiago zu schicken. In der Zwischenzeit würde das Teleskop auf dem Observatorium verpackt. In zwei Wochen würde ich mit zwei AURA-Lastwagen nach Santiago kommen. Mit diesen beiden Fahrzeugen und einem großen Lastwagen vom Observatorium lassen sich Teleskop und Schutzhütte bei nur einer Tour nach Copiapó bringen.«

PERFEKTE NÄCHTE AUF TOLOLO – IST WIND GUT FÜR DAS SEEING?

STOCK STARTETE SCHNELLE Parallelbeobachtungen auf Cerro Checo und auf La Peineta. Aber auch Tololo wollte und konnte er nicht vernachlässigen.

3. Mai: »Die Nacht auf Tololo war erneut klar und ruhig. Das Seeing war während der ganzen Nacht perfekt. Im 40-Zentimeter-Teleskop war das Beugungsmuster des Bildes die ganze Nacht über klar zu erkennen.«

Beugung ist ein Grundphänomen der Optik, das jedes Gerät hat – Beugung kommt durch die Wellennatur des Lichts zustande. Allerdings sind die so genannten Beugungsmuster nur bei perfekten Sichtbedingungen (und exzellenter Optik) wirklich zu sehen – sonst dominieren andere Bildfehler und überdecken so die Beugungsmuster.

Am **18. Mai** kam Stock wieder auf den Berg – dieses Mal mit Captain Muñoz, dem Polizeikommandeur des Elqui-Departments. »Um siebzehn Uhr erreichten wir in dichtem Nebel Tololo. Hugo Moreno war seit achtzehn Tagen dort oben und immer noch in guter Verfassung. Gegen 22 Uhr sank der Nebel genug ab, dass es auf der Spitze von Tololo klar war. Es war ein wunderbares Erlebnis, auf einer isolierten Spitze nur einige hundert Meter über einem Ozean aus Wolken zu stehen. Es war recht kalt (minus drei Grad Celsius) und wirklich windig (bis zu fünfzig Kilometer pro Stunde). Beobachten war also nicht möglich. Am Morgen, lang genug vor der Dämmerung, machte ich das 40-Zentimeter-Teleskop klar, um dem Captain einige Sterne und Planeten zu zeigen. ... Dabei fiel mir auf, dass es in einigen Positionen trotz des starken Windes möglich war, im Teleskop den Bilddurchmesser der Sterne zu schätzen. Der Durchmesser betrug 0,5 Bogensekunden.«

19. Mai: »Der Wind blies den ganzen Tag und die

folgende Nacht weiter. Photoelektrisches Beobachten war also unmöglich. Allerdings konnte ich ein paar Seeing-Beobachtungen mit dem 40-Zentimeter-Teleskop machen. Das Seeing war während der ganzen Nacht sehr gut, mit Bildern nur wenig größer als die theoretische Mindestgröße, nämlich 0,5 Bogensekunden. Dies überzeugte mich erneut, dass Wind (oder mit anderen Worten: mechanische Turbulenz) ein wirklich unbedeutender Faktor für das Seeing ist.«

Stock hat hier bereits erkannt, dass Wind oftmals sogar gutes Seeing bringt. Turbulenz, die durch Temperaturunterschiede entsteht – wenn also Blasen warmer Luft aufsteigen und kalte Luft absinkt –, ist dagegen fatal und liefert stets verheerende Sichtbedingungen.

Dass nicht zu starker Wind für scharfe Bilder sorgen kann, machen sich auch einige moderne Teleskope auf pfiffige Weise zunutze: Die Schutzbauten des Very Large Telescope haben große Seitentore und Klappen, um einen möglichst freien Luftstrom durch das Teleskop zu ermöglichen. So vermeidet man das gefürchtete »Dome Seeing«, also die Turbulenz, die durch Temperaturunterschiede zwischen der Luft innerhalb und außerhalb des Teleskop-Gebäudes entsteht. Lange Zeit hatte man Teleskope geradezu überängstlich vor Wind geschützt – dabei hatte Stock schon gesehen, dass Wind keineswegs störend sein muss.

Im Juni erfolgte der Aufbau des 32-Zentimeter-Teleskops samt Schutzhütte auf La Peineta.

12. Juni: »In den ersten zwei Stunden der Nacht war es leicht wolkig. Dennoch warfen wir einen Blick durch das 32-Zentimeter-Teleskop, zum Beispiel auf Omega Centauri. Ich habe diesen Kugelsternhaufen nie zuvor mit so hoher Auflösung gesehen. Die Vergrößerung des Okulars war zu klein, um sicher die Größe der Bildchen abschätzen zu können. Allerdings war offensichtlich, dass die Bilder sehr nah, wenn nicht sogar exakt die theoretisch möglichen Bilder waren. ... Der Wind blies in dieser Nacht meistens mit etwa vierzig Kilometern pro Stunde.«

LA PEINETA UND TOLOLO – DER ERSTE VERGLEICH

STOCK WAR WIEDER AUF TOLOLO, wo Hugo Morreno mittlerweile seit über zwei Wochen tätig war.

15. Juni 1962: »Der Vergleich meiner zwölf Nächte



Wie ein Geist spukt die Dunkelwolke BHR 71 vor den leuchtenden Nebel- und Sternmassen im Hintergrund. Im hellen gelben und rötlichen Nebel vor der Dunkelwolke strömt Gas heraus, angetrieben vermutlich von einem gerade entstehenden Doppelsternsystem. Das VLT wird mit seinen Infrarot-Instrumenten messen, wie dicht der Staub innerhalb der Wolke verteilt ist.

auf La Peineta mit den zeitgleich auf Tololo durchgeführten Beobachtungen brachte Folgendes zu Tage:

a. Wolken treten auf Tololo etwas häufiger auf – aber der Unterschied ist nicht groß.

b. Das Seeing war an beiden Standorten gut. Wir können keinen Unterschied erkennen. Das liegt allerdings daran, dass in den extrem trockenen Winternächten die Seeing-Effekte so klein sind (von der Größe von ein paar Zehntel Bogensekunden), dass wir mit unserem Gerät keinen deutlichen Unterschied erkennen können.

c. Die durchschnittliche Windgeschwindigkeit während klarer Perioden war auf La Peineta etwa vierzig Kilometer pro Stunde. Simultanbeobachtungen von Paul Kuiper auf Cerro Checo deuten an, dass Checo fast genauso windig ist wie La Peineta. Überraschend war das Verhalten auf Tololo: Die durchschnittliche Windgeschwindigkeit war während dieser Periode acht Kilometer pro Stunde geringer.

d. Während dieser Tage habe ich absolut keinen Dunst auf La Peineta beobachtet. Auf Tololo wurde etwas Dunst beobachtet, meist »1« auf unserer Skala. Der Wert »1« heißt, dass der Lichtstrahl einer Taschenlampe kaum zu sehen ist. ...

Nach mehr als zwei Wochen mit wenig oder gar keinem Schlaf war ich zu müde, um Hugo beim Beobachten zu helfen. Ich musste stattdessen einigen Schlaf nachholen.«

19. Juni: »Dieser Tag und die folgende Nacht zeigten eine lehrbuchreife Entwicklung des Wettergeschehens. Die Wolken, die wir in der vorangehenden Nacht gehabt hatten, verschwanden am Morgen. Allerdings sank die Temperatur weiter und die Luftfeuchte stieg. Tiefe Wolken mit einer Oberkante bei etwa 2500 Metern näherten sich von Süden her mit etwa drei Kilometern pro Stunde. Ein Keil kühler und feuchter Luft wurde langsam unter die wärmere Luft geschoben. Gegen Mittag erreichte er Tololo. Von da an waren wir ab und zu im Nebel. Es herrschte nur schwacher Wind. Am Abend verschwand der Nebel, aber die Luftfeuchte blieb nahe der Sättigung. Die Luft war perfekt durchsichtig. Es war ruhig, und die Temperatur betrug minus fünf Grad Celsius. Das Seeing war in der Größenordnung von fünfzehn Bogensekunden. Wir waren noch immer in der kalten Luft, mit wärmerer und trockener Luft knapp über uns. Bald begann die feuchte Luft noch mehr abzukühlen und gleichzeitig abzusinken. Nach dem ursprüngli-

chen Rückgang stieg die Temperatur wieder leicht an, und die Luftfeuchte sank innerhalb weniger Stunden dramatisch auf sechzehn Prozent. Die Bilddurchmesser gingen auf drei bis vier Bogensekunden zurück. Der Effekt der kalten Luft, die von den Hohen Kordilleren herunter strömt, war leicht zu sehen. Als sie die feuchte Luft unter uns erreicht hatte, begann die Kondensation. Somit begann die Nebelbildung am Fuß der hohen Berge und dehnte sich langsam Richtung Ozean aus. Üblicherweise sieht man das genau anders herum. In der Zwischenzeit zogen von Süden nach Norden wieder Wolken in 2500 Meter Höhe heran. Um 21 Uhr war Morado im Nebel. Die Situation blieb so für viele Stunden. Während der Nebel ein bisschen näher an Tololo heran kam, stieg die Luftfeuchte wieder auf 26 Prozent. In der zweiten Nachthälfte verschwanden Wolken und Nebel in der Nähe und unterhalb von Tololo völlig. Das Seeing blieb bis zum Morgen schlecht. Das schlechte Seeing, das wir hatten, hing bestimmt mit der enormen Änderung der Luftfeuchte in vertikaler Richtung zusammen. Während wir auf dem Berg eine relative Luftfeuchte von sechzehn Prozent hatten, war 300 Meter weiter unten Nebel. Vermutlich gab es ebenfalls eine deutliche Änderung der Temperatur in vertikaler Richtung, aber natürlich kann ich das nicht belegen. Als Folge dieser interessanten Nacht machte ich mir einige Gedanken. Zunächst war dies das erste Mal, dass ich in Chile so schlechtes Seeing erlebt habe. In diesem Land habe ich bis jetzt bestimmt an die tausend Seeing-Beobachtungen gemacht. Wie ich schon einmal festgestellt hatte, ist in einer Reihe von Fällen schlechtes Seeing ein Zeichen für Wolken weiter im Süden gewesen. Offenbar ist das Seeing um so schlechter, je näher die Wolken sind. Diese Nacht waren wir nur wenige Kilometer von den Wolken entfernt. Aber der wichtigste Gedanke betrifft die Seeing-Statistik. Offenbar muss man Seeing zusammen mit dem Bewölkungsgrad betrachten. Sonst kann ein völlig falsches Bild entstehen. Tololo ist hier nun der einzige Berg, bei dem wir einmal fünfzehn Bogensekunden Seeing beobachtet haben. Morado wird das nicht haben, abgesehen von der Tatsache, dass kein Beobachter auf Morado war, weil es dort zu dieser Zeit bewölkt war. Allerdings ist eine klare Nacht mit schlechtem Seeing immer noch besser als eine bewölkte Nacht. Ein Weg, einen unangemessenen Effekt einer Nacht mit extrem schlechtem

Seeing zu vermeiden, ist der folgende: Man sollte für jeden Berg die totale Anzahl von klaren Stunden mit Seeing unterhalb eines bestimmten Wertes bestimmen. Wenn man es so macht, trägt die letzte Nacht weder zum Ergebnis von Tololo noch von Morado bei.«

ALTÖL BINDET DEN TOLOLO-STAUB

STOCK MACHT SICH ALSO GROSSE GEDANKEN um das von der lokalen Topographie beeinflusste Wettergeschehen – und zugleich ist eine gewisse Sympathie für Tololo nicht zu übersehen. Noch ein weiterer Aspekt war auf Tololo zu verbessern:

22. Juni: »Seit langer Zeit nervte uns der Staub, der sich vor Ort entwickelt. Unter dem Geröll, mit dem der größte Teil des Berges bedeckt ist, befindet sich eine Staub- und Dreckschicht, die aus sehr feinem Puder besteht. Auf allen Pfaden oder wo immer Mensch und Tier entlanglaufen, kommt der Staub an die Oberfläche und wird von unseren Füßen überall hingetragen. Der Wind bläst den Staub auf und verteilt ihn überall. Carlos hatte vorgeschlagen, die Pfade mit dem alten Motoröl unserer Generatoren zu begießen. Kürzlich haben wir ein Experiment gemacht und ein wenig Motoröl auf eine Stelle des Pfades geschüttet. Das Ergebnis sah für mich sehr gut aus. Somit haben wir das ganze Öl, das sich in den letzten Wochen angesammelt hatte, auf die Pfade gegossen. Es war natürlich nicht genug. Der Bereich, in dem wir arbeiten, ist wirklich groß. Ich entschied, weiteres Altöl aus Ernestos Werkstatt mitzubringen. Allerdings war zu verhindern, dass die Tiere in dem Bereich herumlaufen, in dem wir arbeiten, wenn wir auf dem Berg sind. Das betrifft vor allem den ganzen Bereich nördlich der Gebäude. Der Wind kommt immer aus Norden und bringt den Staub mit. Also haben Arturo und ich einen neuen Maultierpfad zum Camp angelegt. Statt mitten hinein ins Camp zu führen, führt der Pfad nun südlich um das Camp herum. Der Bereich der Gebäude ist durch einen Steinwall komplett abgeschlossen, so dass da kein Tier hin gelangen kann. Ich glaube, dies wird zusammen mit dem Öl auf den Wegen das Staubproblem lösen. Mittlerweile haben wir das gleiche Problem auf La Peineta. Mit dem stärkeren Wind dort ist es sogar noch ernster. Ich werde eine ähnliche Lösung dort versuchen.«

Manchem mag es fast pingelig erscheinen, auch noch den letzten feinen Puderstaub aus der Luft fern halten zu wollen. Aber es wäre reichlich unsinnig, mit viel Aufwand jahrelang in den Anden nach dem Standort mit den besten Sichtbedingungen zu suchen, um sich dann in eine »hausgemachte Staubglocke« zu setzen. Auch bei diesem Punkt hat Stock sofort eines der Probleme erkannt, mit dem sich heute noch moderne Sternwarten auseinander zu setzen haben. Die Sternwarte auf Paranal konnte auch erst nach vielen Sprengungen und dem Abschieben des Gerölls auf die eine Bergseite gebaut werden – erst dann war die Gipfelplattform groß genug. Aber natürlich hat man bei Paranal beachtet, das Geröll auf *die* Seite des Berges zu schieben, aus der der Wind am seltensten kommt. Zudem ist die gesamte Halde mit einem bestimmten Mittel besprüht und somit sozusagen versiegelt worden, so dass der Wind keinen Staub aus dem Geröll auftragen kann.

Am **9. Juli** kamen Dr. Rutllant, Direktor der Sternwarte in Santiago, und Carlos Mori, der Dekan der Fakultät für Mathematik und Physik der Universität von Chile, zu Besuch nach Copiapó – sie wollten den neuen Standort La Peineta sehen.

»Die Nacht war klar, fast windstill und relativ warm. Es war seit einiger Zeit die erste Nacht dieser Art. Das Seeing war auch hervorragend. Wir nutzten die Gelegenheit und haben viele Objekte mit dem 32-Zentimeter-Teleskop betrachtet. Dr. Rutllant stellte fest, dass er nie zuvor eine so gute Auflösung gesehen habe. Allerdings sagte er auch, dass er gerne einmal Windgeschwindigkeiten von hundert Kilometern pro Stunde erlebt hätte. Dafür empfahl ich ihm einen Besuch auf dem McDonald Observatory.«

Zwei Tage später waren die Gäste auf Tololo. La Peineta ist mit dem Wagen zu erreichen – Tololo nur zu Fuß, auf dem Maultier oder zu Pferde.

»Arturo und Paul Alquinta erwarteten uns schon. Sie sattelten »Mosco« für den Dekan (Mosco hatten wir uns von Arturos Bruder geliehen), »Scipio« für Dr. Rutllant und »Don Quijote« für mich ... Um 17.30 Uhr erreichten wir Tololo. Dort hatten Don Rogelio und seine Crew alles bestens vorbereitet, um Tololo einen möglichst guten Eindruck machen zu lassen ... Die Nacht brachte perfektes Seeing, besser als auf La Peineta. Es war absolut windstill und wirklich warm. Allerdings zogen einige Male ein paar Zirruswolken vorbei, so dass keine photoelektrischen Beobachtun-



gen möglich waren. Trotzdem konnte ich zeigen, wie das Photometer arbeitet.«

Wollen die Astronomen die tatsächliche Lichtmenge messen, die von einem Himmelsobjekt die Erde erreicht, so müssen sie darauf achten, dass während der Beobachtung niemals eine kleine Schleierwolke vor den Stern zieht. Die Wolke – und ist sie noch so dünn – würde einen Teil des Lichts abblocken und somit die Messung verfälschen. Wer einfach Bilder von Himmelsobjekten machen will, den stören ab und zu durchziehende Wolken nicht – diese Wolken schwächen das Bild insgesamt ein wenig, haben aber sonst keinen Effekt. Wer wirklich absolute Messungen machen will, der braucht stets die gleiche Transparenz des Himmels. Perfekt klare Nächte ohne jede Wolke heißen daher bei den Astronomen »photometrische Nächte«, im Wortsinne also Nächte, in denen man das Licht messen kann.

Nach einem mehrwöchigen Aufenthalt in den USA kehrte Stock nach Chile zurück – und sah »seine« Berge erneut von oben.

15. August: »Wir verließen Miami um 0.20 Uhr mit Panagra. Das Flugzeug landete in Antofagasta. Das bedeutete, dass ich von der Breite an Land sehen konnte. Von etwas südlich von Antofagasta runter bis Santiago waren die Kordilleren stark verschneit. Als wir Copiapó passierten, konnte ich sehen, dass auf La Peineta nur wenig Schnee lag. Checo war schneefrei, und so war es auch mit allen unseren Beobachtungsstellen in der Gegend von Vicuña. Wir sind fast genau über Tololo geflogen. Das glänzende Dach der Schutzhütte des 40-Zentimeter-Teleskops ist ein weithin sichtbares Erkennungszeichen.«

EINE STERNWARTE ZU GRÜNDEN ERFORDERT SEHR VIEL LOGISTIK

ZURÜCK IN SANTIAGO MUSSTE SICH STOCK mit einigen technischen Dingen beschäftigen, an die man vielleicht nicht sofort bei Sternwarten denkt. So diskutierte Stock am 16. August mit einem Wasser-Ingenieur, ob die Quelle am Fuße von La Peineta die mögliche Großsternwarte dort versorgen könne. Heute gibt es auch Sternwarten fernab jeder Quelle – das Wasser zum Very Large Telescope wird mehrmals täglich mit großen Tankwagen von Antofagasta angefahren, mehr als 120 Kilometer weit. Anfang der sechziger Jahre war so etwas noch undenkbar.

Ein anderes, sich nur ganz allmählich zum Besseren entwickelndes Problem war die gesetzliche Verordnung, nach der AURA alles Gerät und Material für die Sternwarte zollfrei einführen kann. Ein für die Finanzplanung eines solchen Projekts unglaublich wichtiger Umstand. AURA hatte alle politische Unterstützung in Regierung, Parlament und lokalen Behörden – doch die Mühlen des Gesetzes mahlen nicht nur bei uns sehr langsam.

17. August 1962: »Am Nachmittag war ich zu einer Feier auf der Sternwarte von Santiago eingeladen, um deren 110. Geburtstag zu feiern. Etwa fünfzig Personen kamen, darunter der Rektor der Universität und die Dekane aller Fakultäten.«

Die Geschichte der Astronomie in Chile hat also nicht erst mit Jürgen Stock und den Großsternwarten der Amerikaner und der Europäer begonnen. Die Universität von Chile hatte schon Mitte des 19. Jahrhunderts eine kleine Sternwarte im Raum Santiago. Noch viel weiter zurück reichen Überlieferungen von den Ureinwohnern Chiles. Die Bedingungen im Gebiet von Santiago sind so wie in Texas oder Kalifornien – nach heutigem Standard also nicht wirklich gut. Erst Jürgen Stock hat die einzigartige astronomische Qualität der Atacama-Wüste und der südlich angrenzenden Region Chico Norte erkannt und systematisch untersucht.

Mit diesen Untersuchungen ging es bald darauf auf Tololo weiter.

25. August: »In den letzten Monaten war das Gebäude des 40-Zentimeter-Teleskops immer voller geworden. Mehr Werkzeug, Bücher, Sternkarten, Ersatzteile für die Verstärker etc. mussten in der Hütte unterkommen. Um den Massen Herr zu werden, rissen Anario und ich die alten provisorischen Regale raus und bauten neue, festere ein.

Die Nacht begann klar und photometrisch. Allerdings war das Seeing schlecht – mit Bilddurchmessern von einer oder zwei Bogensekunden. Nach zwei Stunden Dunkelheit ging die Temperatur stark zurück. Um Mitternacht herum zeigten die Photometer an, dass sehr dünne Wolken durchziehen, die etwa fünf Prozent des Lichts absorbieren. Zwei Stunden später zogen die ersten sichtbaren Wolken auf. Wir haben diese Folge von Ereignissen oft beobachtet, dass nämlich das Seeing als Erstes eine Wetteränderung anzeigt; Änderungen der Temperatur und Luftfeuchte kommen als Nächstes und dann schließ-

100 001 Galaxien zeigt diese Aufnahme des 2,2-Meter-Teleskops auf La Silla (vom 7. August 2002). Zunächst fällt nur NGC 300 auf, eine sieben Millionen Lichtjahre entfernte Galaxie. Doch dieses Bild lässt sich enorm vielseitig nutzen: Manche Astronomen interessieren

sich nur für Gas, Staub und Sterne in NGC 300. Anderen hat es der »Beifang« dieser Aufnahme angehtan – also das, was im Hintergrund rund um NGC 300 zu sehen ist. Bei diesen Forschungsprojekten geht es um ferne Galaxienhaufen, Gravitationslinsen und Dunkle Materie.

lich Wolken. Diese Erfahrung macht aber auch klar, dass zumindest das bei solchen Bedingungen beobachtete schlechte Seeing nicht in oberflächennahen Luftschichten seine Ursache hat.«

IST DIESER ORT WIRKLICH DER BESTE?

DA ZEIGT SICH WIEDER die fast panische Angst des Standortsuchers, in einer generell guten Gegend einen schlechten Standort auszuwählen, der durch lokale Besonderheiten eigentümliche Luftströmungen hat, die schlechtes Seeing verursachen. Sternwarten an solchen Orten gibt es auf der Welt genug.

Stock kehrte zurück nach Copiapó und La Peineta. Die Bergstraße hatte bei starken Regenfällen Ende Juli 1962 schweren Schaden genommen – die Reparaturarbeiten dauerten noch an. Dennoch konnte er die Papierrollen mit den Messwerten der automatischen Windmessgeräte abholen.

30. August: »Im Büro in Copiapó sah ich mir die Winddaten an, die Carlos und Alex gewonnen hatten. Ich wollte ein weiteres Mal die Windsituation auf Checo und La Peineta vergleichen. ... Die letzten Beobachtungen mit den präzisen Windmessern konnten wir gut vergleichen. In einer Reihe von Fällen war es auf La Peineta windstill, während auf Checo der Wind mit acht bis sechzehn Kilometern pro Stunde blies. Bis vierzig Kilometer pro Stunde ist der Wind stärker auf Checo. Nur die sehr starken Winde sind auf La Peineta stärker als auf Checo. Allerdings treten die nur sehr selten in klaren Nächten auf. Zudem ist dieser Unterschied erst dann bedeutend, wenn es auf La Peineta mit mehr als 65 Kilometern pro Stunde bläst – und das geschieht fast nur bei schlechtem Wetter.

Aus diesem Grund scheint es angebracht, die Arbeit auf Checo einzustellen. ... Wir werden die Schutzhütte auf dem Berg intakt lassen. Andere Gruppen (zum Beispiel die Europäer) werden sie vielleicht nutzen wollen.«

Ab dem 30. August 1962 standen also letztlich nur La Peineta bei Copiapó und Cerro Tololo bei Vicuña zur Auswahl. Mittlerweile hatten auch die Europäer – über Stocks guten Kontakt zu seinem Doktorvater Otto Heckmann (Direktor der Hamburger Sternwarte und ESO-Gründungsdirektor) immer gut informiert – starkes Interesse, ihre geplante Südsterne in Chile zu errichten.

ZWISCHENBILANZ NACH MEHR ALS ZWEIFINHALB JAHREN EXPEDITION

ENDE SEPTEMBER 1962 hatte Stock die bisher vorliegenden Wetterdaten ausgewertet. Anfang Oktober stand der Besuch einer Tagung in Rom an, auf der Stock die Zwischenbilanz seiner Expedition präsentieren wollte.

»(1) Von April bis August gab es auf La Peineta 1254 klare Stunden, auf Tololo nur 944. Für diese Periode liegen praktisch vollständige Informationen (also Seeing, Wind etc.) von beiden Stationen vor. Berücksichtigt man alle Daten aus den beiden Zonen, so erwarten wir 2750 klare Stunden pro Jahr in Copiapó und 2360 in Vicuña.

(2) Das Seeing ist auf La Peineta deutlich besser als auf Tololo. Allerdings sind für Tololo alle Beobachtungen seit Mai 1960 in die Auswertung eingeflossen, während wir von La Peineta Beobachtungen erst seit Januar 1962 haben. Eine Analyse der Tololo-Daten nur aus dieser Periode steht noch aus. Wir sind alle der Meinung, dass in den letzten vier oder fünf Monaten das Seeing auf Tololo sehr gut gewesen ist. Wir erwarten also, dass die Seeing-Unterschiede zwischen La Peineta und Tololo deutlich geringer sein werden, wenn eine korrekte Datenanalyse gemacht ist.

(3) Beim Wind hat ganz klar Tololo Vorteile. Wenn man nur die Stunden mit einer Windgeschwindigkeit unter 32 Kilometern pro Stunde zählt, dann hatte Tololo von April bis August dieses Jahres 820 klare Stunden und La Peineta nur 560. Wenn Wind bis fünfzig Kilometer pro Stunde zulässig ist, hatten beide Stationen 950 beobachtbare Stunden. In den 300 zusätzlichen klaren Stunden auf La Peineta blies der Wind zwischen fünfzig und achtzig Kilometer pro Stunde schnell.

(4) Daten der Extinktion liegen für 23 Nächte im Mai und Juni dieses Jahres vor und wurden freundlicherweise von Frau Moreno zur Verfügung gestellt. Der Extinktionskoeffizient für (B-V) zeigte eine durchschnittliche Streuung von 0,003 Magnituden. Die größte Abweichung vom Durchschnitt ist 0,011 Magnituden und der durchschnittliche Extinktionskoeffizient beträgt 0,126 Magnituden.«

Magnituden ist die Einheit der Astronomen, um die Helligkeit von Sternen zu messen. Je kleiner der Wert ist, desto heller ist ein Stern. Ein Stern 2. Mag-

nitude ist also heller als ein Stern 12. Magnitude. Pro Magnitude (oder auch Größenklasse) nimmt die Helligkeit um den Faktor 2,5 ab oder zu. Extinktion ist die Abschwächung des Lichts in der Atmosphäre: Ein Stern erscheint bei horizontnaher Stellung etwas schwächer als bei zenitnaher Stellung, da nahe am Horizont das Sternlicht einen längeren Weg durch die Atmosphäre zurücklegen muss und dabei etwas geschwächt wird. Die genauen Werte sind nur für Profi-Astronomen von Interesse.

Am 7. Oktober 1962 kehrte Stock nach Chile zurück. Ein fast schon schicksalsschwerer, mindestens aber kurioser Zufall ist, dass Jürgen Stock am 5. Oktober 1962 in Europa war – wenn auch »nur« in Rom und nicht in Paris. In Paris ist an jenem Tag die Gründungsurkunde der Europäischen Südsternwarte hinterlegt worden – damit bestand ESO offiziell. Noch aber war es eine »virtuelle« Sternwarte ohne Teleskop und ohne Berg – aber für den Berg würde Jürgen Stock schon sorgen.

STATT ZEHN-STUNDEN-RITTEN – FUNK FÜR DIE BERGE

FÜR STOCK STANDEN ABER ZUNÄCHST viel profanere Dinge an: Es sollte endlich das Kommunikationsproblem zwischen Vicuña und Tololo gelöst werden. Bisher erforderte das Überbringen einer Botschaft eine zehnstündige Tour (hin und zurück). Stock hatte in den USA Funkgeräte bestellt, die nun eingetroffen waren und den chilenischen Zoll passiert hatten. Heinz Bollhagen, Astronom am Radioteleskop der Universität von Florida in Maipu nahe Santiago, sollte den optischen Astronomen beim Einrichten der Antenne auf Tololo helfen. Die »Bodenstation« in Vicuña war bei der Polizei eingerichtet. Jetzt musste der andere Teil der Ausrüstung auf den Berg – mit der Polizei waren Lockrufe aus Vicuña für 18, 20 und 22 Uhr vereinbart.

11. Oktober 1962: »Die Tiere zu beladen, war sehr schwierig, weil die Geräte sehr schwer waren. Eines wog achtzig Kilogramm, zwei andere jeweils sechzig Kilogramm. ... Auch der Aufstieg dauerte wegen der schweren Fracht sehr lange. Es war kurz vor acht Uhr abends, als wir endlich auf Tololo ankamen.

Wir haben sofort einen der Generatoren gestartet und den Empfänger für kurze Entfernungen eingeschaltet. Innerhalb weniger Minuten kam der Funk-

ruf aus Vicuña, und zum ersten Mal gab es eine Gesprächskommunikation zwischen Tololo und Vicuña. Die Begeisterung war natürlich groß, besonders bei den Polizeileuten. Alle möglichen Neuigkeiten, Witze etc. wurden übermittelt, und wir sprachen etwa eine Stunde lang. Jeder von uns und auch jeder Dienst habende Polizist kam mal dran. ... Die Nacht war klar und das Seeing sehr gut. Ich habe niemals so viele Details auf Jupiter und Saturn gesehen wie in dieser Nacht.«

Die Astronomen planten, künftig Funkverbindungen zwischen La Peineta, Copiapó, Vicuña, Tololo, Cerro Calán (der Sternwarte in Santiago) und dem Radioteleskop in Maipu herzustellen. Nachdem das Funkgerät auf Tololo installiert war, ging es schnell weiter nach La Peineta. Neben dem technischen Aufbau wurden die Sichtbeobachtungen natürlich nicht vernachlässigt.

18. Oktober: »In den letzten Monaten hatte ich den generellen Eindruck, dass das Seeing auf La Peineta nicht wesentlich besser war als auf Tololo. Allerdings ist klar, dass man im Winter viel mehr klare Nächte in der Gegend von Copiapó hat. Die durchschnittliche Windgeschwindigkeit scheint mehr als doppelt so hoch wie auf Tololo zu sein.«

Stock nimmt hier die langfristige Entwicklung in Chile vorweg. Zwar wurden auch auf Tololo und den Nachbar-Bergen noch neue Teleskope aufgestellt, aber eine neue Sternwarten-Gründung wie das Observatorium auf Paranal hat es in den neunziger Jahren viel weiter nördlich als Tololo und sogar als La Peineta gegeben. Die Bedingungen weiter im Norden sind eben noch einmal deutlich besser als die ohnehin guten Bedingungen im Raum Vicuña oder Copiapó. Das war Jürgen Stock schon bewusst – doch eine Sternwarte mitten in der Wüste (wie es das Very Large Telescope auf Paranal ist) war damals logistisch undenkbar.

DIE ENTSCHEIDUNG NAHT

SEIT ENDE OKTOBER WAR immerhin regelmäßiger Funkkontakt zwischen den Stationen möglich. Neben den Beobachtungen ging es vor allem darum, den für November geplanten Besuch des AURA-Komitees zur Auswahl des Sternwarten-Standorts vorzubereiten. Dank Funk ließen sich die nebenher erfolgenden Sichtuntersuchungen schnell vergleichen.

4. November: »Am Nachmittag rief ich Tololo, und Herbert antwortete sofort. Wir haben unsere Aufzeichnungen der letzten Nächte verglichen und fanden heraus, dass die übliche Situation weiter andauerte: La Peineta hat weniger Wolken und mehr Wind. Die Temperaturen scheinen an beiden Standorten etwa gleich gewesen zu sein. Die Luftfeuchte ist auf Tololo etwa fünfzehn Prozent höher. ...«

Am **14. November** kam die AURA-Gruppe in Santiago an und reiste zwei Tage später weiter nach Copiapó. Über den Flug schreibt Jürgen Stock: »Kurz vor der Landung in La Serena kam das Flugzeug recht dicht an Tololo, und ich konnte allen den Berg zeigen.« Doch Tololo stand noch nicht auf dem Programm – die Gruppe reiste weiter nach Norden. Am **17. November** fuhren Frank Edmondson (Präsident von AURA) mit Frau, Nick Mayall (Direktor des Kitt Peak-Observatoriums nahe Tucson, Arizona), vier weitere Mitglieder der Reisegruppe und Jürgen Stock auf La Peineta. Die Nacht war nicht perfekt, die Gäste aber dennoch sehr beeindruckt. Am **19. November** reiste die Gruppe nach La Serena. In Copiapó kursierte bald die Falschmeldung, AURA habe bereits La Peineta als Standort ausgewählt.

»TOLOLO SI! PEINETA NO!«

DIE GRUPPE ERREICHTE LOS PLACERES – das war am **20. November**. »In Los Placeres wurden wir von der Familie Ramos erwartet, mit viel Orangensaft und einem übergroßen Mittagessen. Sie unternahmen alles, um die Astronomen zu überzeugen, dass Tololo ausgewählt werden müsse. Die Mädchen umringten charmant Dr. Mayall und sangen im Chor ›Tololo si! Peineta no!‹ Einige Tage später fand ich heraus, dass sie bereits ein langes, trauriges und wirklich bemerkenswertes Abschiedsgedicht geschrieben hatten, für den Fall, dass wir uns schon für La Peineta entschieden hätten.« Nach einigen Stunden sattelte die Gruppe wieder die Pferde und ritt hinauf nach Tololo. Die Nacht vom **20.** auf den **21. November** verbrachten Stock und seine Gäste auf dem Berg – wieder waren die Bedingungen nicht perfekt, aber die Gäste dennoch sehr beeindruckt.

21. November: »Wir starteten den Rückweg nicht zu früh am Morgen. Einige von uns rannten den Berg runter wie Guanacos und schafften es in fünfzig Minuten bis Los Placeres. Andere kamen kaum vom

Fleck. Da ich mir dachte, dass die kaum zu Fuß den Berg herunter kommen, schickte ich Anario mit einigen Pferden hoch, was sehr begrüßt wurde. Nach einigen Stunden Pause und dem Mittagessen ging es weiter nach El Zapallo. Die Art und Weise, wie die Leute von den Pferden abstiegen, deutete an, dass sie sich für einige Zeit an die Tour erinnern würden. Die Sattel hatte tiefe Eindrücke bei ihnen hinterlassen.«

Am **22. November** gab es für die Gruppe einen Empfang durch die lokalen Behörden und Wirtschaftsvertreter in La Serena. Zudem besichtigten die Gäste die Hafenanlagen im nahegelegenen Coquimbo, um sich zu vergewissern, dass schweres Gerät dort angelandet werden könne. Später am Tag reisten die Gäste samt Jürgen Stock wieder nach Santiago, um am folgenden Tag eine Entscheidung zu treffen. Über zwei Jahre Expeditionen in den Anden sollten nun in dieser Entscheidung kulminieren.

Doch bevor die Wahl zwischen Tololo und La Peineta erfolgte, begab sich die Gruppe zu einem Empfang durch Chiles Staatspräsidenten Alessandri.

»Der Empfang war kurz und eindrucksvoll. Dr. Edmondson erklärte unsere Pläne und erwähnte auch die Notwendigkeit eines Gesetzes, das uns den zollfreien Import unseres Materials ermöglicht. Der Präsident versprach, sofort etwas zu unternehmen. Tatsächlich hat er noch am selben Tag den Kongress gebeten, in einer außerordentlichen Sitzung unseren Fall zu entscheiden.«

Die Verhandlungen über ein solches Gesetz hatten schon viel früher begonnen – doch hatte das chilenische Parlament die Vorlage bis dahin noch immer nicht behandelt. Jetzt endlich war auch diese Hürde aus dem Weg geräumt.

Nach dem Empfang kam es endlich zur Entscheidung: Die angereiste US-Gruppe sowie Jürgen Stock und Dr. Rutllant trafen sich am **23. November 1962** im Hotel Carrera in Santiago.

»Zunächst berichtete ich über die Ergebnisse der Beobachtungen, die sich so zusammenfassen lassen:

(1) Seeing – Beide Standorte haben – innerhalb der Genauigkeit unserer Testteleskope – identische Bedingungen.

(2) Bewölkungsgrad – La Peineta hat im Winter deutlich weniger Wolken als Tololo. Im Sommer hat Tololo einen leichten Vorteil.

(3) Wind – Im Winter ist die Windgeschwindigkeit auf La Peineta etwa doppelt so hoch wie auf Tololo.

Die »Kaulquappen-Galaxie« ist 420 Millionen Lichtjahre entfernt und zieht als Folge einer engen Begegnung mit einer anderen Galaxie einen Schweif aus Sternen hinter sich her. Die Aufnahme war eine der ersten mit der neuen Advanced Camera for Surveys des im März 2002

komplett überholten Hubble-Weltraumteleskops. Im Blickfeld sind ähnlich viele weit entfernte Galaxien zu erkennen wie im legendären Hubble Deep Field. Die extrem roten Punkte sind zumeist junge Galaxien in der Frühzeit des Kosmos, etwa 13 Milliarden Lichtjahre entfernt.



Im Sommer ist es an beiden Standorten gleich. Wenn man nur klare Stunden mit Windgeschwindigkeiten unter fünfzig Kilometern pro Stunde als brauchbar betrachtet, dann haben beide Standorte die gleiche Anzahl von brauchbaren Stunden im Jahr.

(4) Klima – Tololo hat angenehmeres Klima mit höheren Nachttemperaturen. Die Feuchtigkeit ist an beiden Standorten gleich.

Ich erklärte zudem, warum in der Gegend von Vicuña nur noch Tololo und in der Gegend von Copiapó nur noch La Peineta in Frage kommen.

In einer demokratischen Entscheidung wurde Tololo als endgültiger Standort für das künftige Observatorium ausgewählt. Zwar muss noch das Exekutivkomitee diese Entscheidung bestätigen, aber für mich und die Mitglieder meiner Expedition war dies der finale Höhepunkt von dreieinhalb Jahren Arbeit.«

AND THE WINNER IS ... – TOLOLO!

IM REISEBERICHT VON NICK MAYALL heißt es zu dieser historischen Entscheidung:

»Folgende Beschlüsse wurden gefasst, um sie als Empfehlung auf dem Treffen des AURA-Exekutivkomitees am 1. Dezember 1962 in Tucson zu präsentieren:

1. Dass *Cerro Tololo* ausgewählt wird, nach Abwägung der folgenden Faktoren, die im Detail von Dr. Stock beschrieben wurden und die durch Karten und Tabellen der Beobachtungen wo immer möglich gestützt werden:

A. *Wissenschaftliche* Vergleiche zwischen La Peineta und Tololo, nachdem alle anderen Standorte ausgeschlossen worden waren, umfassten (a) die Anzahl der klaren Nachtstunden, (b) Windgeschwindigkeiten, (c) Seeing-Qualität ..., (d) klimatologische Bedingungen, darunter relative Luftfeuchte, Maximum- und Minimumtemperatur in klaren Nächten, durchschnittliche und minimale Temperaturen für jeden Monat und (e) die Extinktionskoeffizienten für (U-B)- und (B-V)-Farben (nur Tololo).

B. *Administrative* Überlegungen, darunter (a) Straßenbau, (b) Wasserversorgung, (c) Unterbringung auf dem Berg und in der Stadt, (d) Standort für das Büro des Hauptquartiers, (e) Transportmöglichkeiten zum nächsten Hafen und innerhalb des Landes, (f) Kommunikation, (g) Lebensbedingungen am Beob-

achtungsstandort und am Standort des Hauptquartiers (in der Stadt oder stadtnah gelegen), (h) Interesse und Unterstützung lokaler Stellen, (i) Potenzial des Standorts für Arbeitskräfte und Material für den Bau, (j) Verfügbarkeit des Bodens, insbesondere Preis und ob der Eigentümer privat oder öffentlich ist, (k) Ressourcen der Banken vor Ort, (l) kulturelle Kontakte, insbesondere zu Schulen und Universitäten.

2. Dass die Gruppe sich für ein Berg-Stadt-Konzept entschieden hat, aber ohne sich auf La Serena als Standort für das Hauptquartier festzulegen.

3. Dass für das neue Observatorium der Name »*Cerro Tololo Inter-American Observatory*« vorgeschlagen wird.

4. Dass die administrative Organisation wie folgt abläuft: (a) Dr. Stock ist weiter für alle Dinge in Chile verantwortlich und berichtet darüber Dr. Mayall; (b) der Verwaltungsleiter untersteht Dr. Stock und setzt die von Mr. Miller empfohlene Verwaltungspolitik um.

5. Dass für den Landerwerb (Anwalt Puga hatte dringend empfohlen, einen Standort auszuwählen, der es ermöglicht, dass AURA das Land besitzt) der Präsident Mr. Miller autorisiert, sofort den Kauf des gesamten Geländes um Tololo in die Wege zu leiten (etwa 120 Quadratmeilen).«

ALS ERSTES MUSS DAS LAND GEKAUFT WERDEN

DAMIT WAR DIE ENTSCHEIDUNG gefallen: Tololo wird zum ersten Großobservatorium in Chile – ein Berg, den drei Jahre zuvor nur ein paar Einheimische kannten, in einer Region, deren astronomische Qualitäten drei Jahre zuvor der ganzen astronomischen Welt de facto unbekannt waren. Letztlich ging jetzt die Arbeit erst richtig los.

Am 24. November reiste der größte Teil der Gäste wieder ab. In Chile war nun der Landerwerb am dringlichsten. Tololo liegt im Gebiet der Ranch »El Totoral«, die damals Juan Orrego gehörte – was für Herrn Orrego bemerkenswerte Konsequenzen hatte.

»Enrique Puga hatte den Intendente von Coquimbo am Tag zuvor angerufen und ihm mitgeteilt, dass Tololo ausgewählt würde, sofern wir das Land zu vernünftigen Bedingungen bekommen. Enrique hatte den Intendente dringend gebeten, alles zu unternehmen, dass Juan Orrego am 25. November in Vicuña

ist. Das tat der Intendente durch die Polizeigewalt von Vicuña (siehe unten).«

Am **25. November** erreichte Stock Vicuña – und Juan Orrego war in der Tat anwesend.

»Captain Muñoz erzählte mir, dass er die Bitte des Intendente erhalten hatte, Juan Orrego zu fassen zu kriegen. Er hat einige Polizeileute losgeschickt, die Juan Orrego auf seiner Ranch fanden und festnahmen. Sie brachten ihn nach El Tambo und steckten ihn dort ins Gefängnis, um sicherzugehen, dass er da sein würde, wenn wir ihn brauchten. (Dies ist eine Muñoz Story!)«

Ob es an der Inhaftierung lag oder nicht – Juan Orrego musste nicht zum Glück gezwungen werden, erinnert sich Jürgen Stock: »Er stimmte sofort dem Verkauf der Ranch zu, zu dem Preis, den er schon Monate zuvor verlangt hatte, nämlich 30 000 Escudos.«

Der Kaufpreis entsprach etwa 12 500 US-Dollar – und Juan Orrego hatte seine Ranch den Astronomen schon lange zuvor zum Kauf angeboten, als noch keineswegs klar war, dass Tololo wirklich der Standort würde. An diesem Abend fand in Vicuña ein festliches Dinner statt – zu Ehren der endgültigen Auswahl von Tololo.

»Es war vermutlich die beste Feier, die ich bisher erlebt habe. Während des Dinners gab es zwei besondere Höhepunkte: Captain Muñoz schenkte Mr. Miller eine chilenische Flagge, und das war keine kleine. Der Intendente schlug in seiner Ansprache (mit einer Stimme, die man bis La Serena hören konnte) vor, dass diese Flagge zusammen mit einer amerikanischen Flagge in einer offiziellen Zeremonie auf Tololo gehisst werden solle. Er sprach auch von einem Monument auf der Plaza von Vicuña zu Ehren des Literaturnobelpreises für Gabriela Mistral und von einem weiteren Monument, das an den Tag der Entscheidung für Tololo erinnern sollte.«

Jürgen Stock besorgte eine US-Flagge gleicher Größe bei der Botschaft in Santiago. Die offizielle Flaggenzeremonie war für Sonntag, den 2. Dezember 1962 vorgesehen. Doch wie bekommt man zwei mindestens sechs Meter lange Fahnenmasten auf den Gipfel von Tololo?

»Arturo sagte mir, dass wir ein spezielles Maultier dafür haben. So schlugen wir im Fundo San Carlos zwei sieben Meter hohe Eukalyptus-Stämme. Ich brachte die Masten mit dem Lastwagen nach El Zapal-

lo. Die Masten waren unsere einzige Fracht, und es dauerte nicht lange, diese an unserem Masten-Maultier zu befestigen – jeweils ein Mast auf jeder Seite. Man muss bedenken, dass ein Maultier mit horizontal ausgezogenem Schwanz an einem Ende und der Zunge am anderen nur etwa ein Drittel der Länge der Fracht hat. Aber das war kein Problem. In scharfen Kurven ging das Tier ein paar Mal vor und zurück, bis die Masten die Kurve genommen hatten. Wenn es festhing, üblicherweise hatten sich dann die Masten in einem Busch verfangen, wartete das Tier einfach, bis Arturo ihm aus der Notlage half.«

DEZEMBER 1962 – ERSTES ESO-TEAM IN CHILE

DIE MASTEN WAREN AUFGESTELLT und die Flaggen schon einmal probeweise gehisst. Am 2. Dezember musste die für neun Uhr früh geplante Zeremonie um eine Stunde verschoben werden, weil zunächst Flaute herrschte.

Nach der AURA-Entscheidung für Tololo ging es nun auch für ESO endlich los: Denn wo sollte jetzt die Europäische Südsternwarte entstehen? ESO schickte André Muller und P. McSharry nach Chile, um selbst die Sichtbedingungen zu prüfen. Die beiden sollten vom 6. bis 19. Dezember La Peineta in Augenschein nehmen. Stock schreibt dazu am **4. Dezember**:

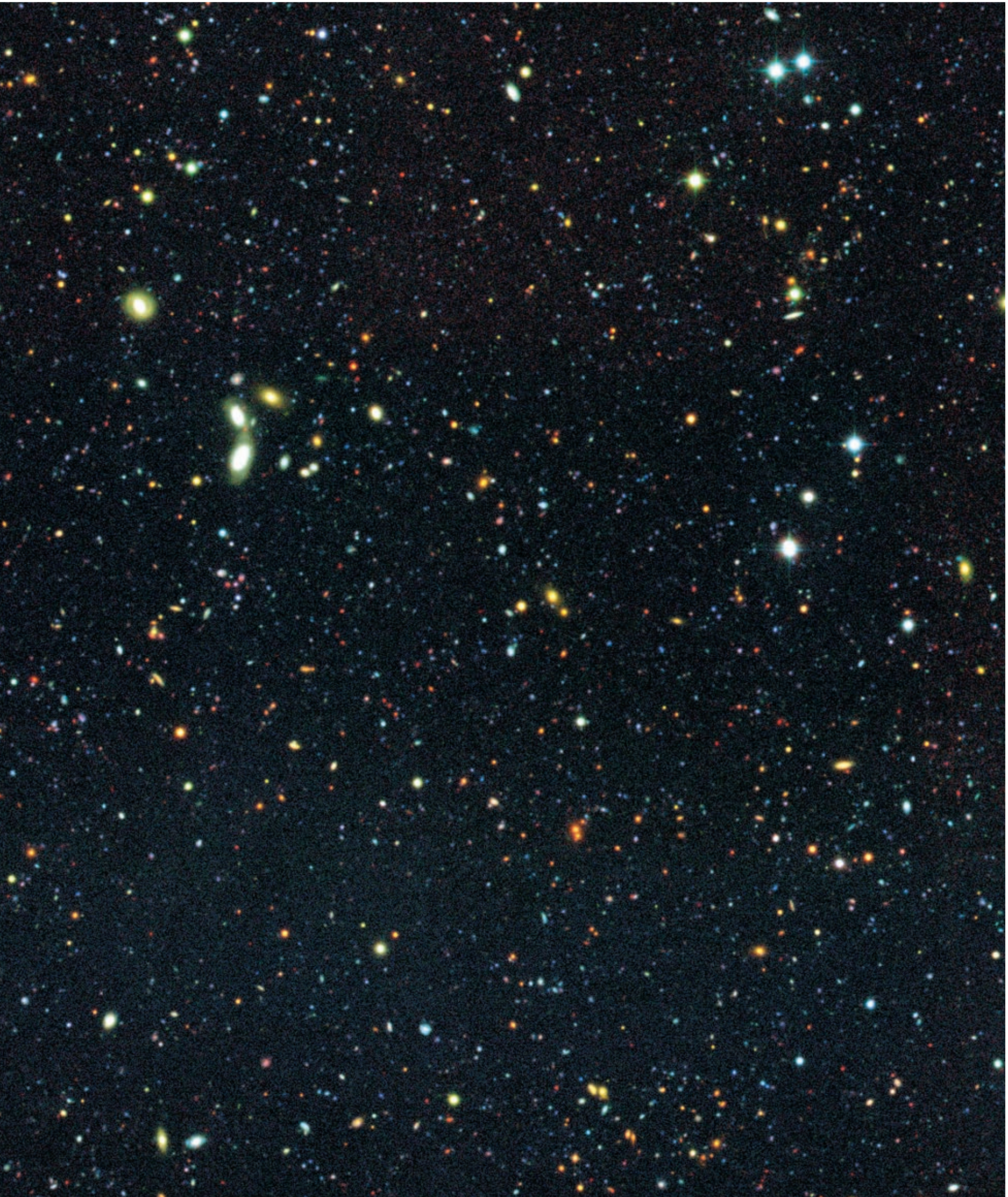
»Um 11 Uhr traf ich in Copiapó ein. Per Funk teilte man uns mit, dass die ESO-Beobachter am folgenden Tag per Flugzeug ankommen werden. ... Man muss sich klar machen, dass ich mich zum ersten Mal wieder in Copiapó befand, seit die Entscheidung für Tololo gefallen war. Diese Aktivitäten gaben der Provinz Atacama neue Hoffnung – somit war es für mich leichter, mich dort wieder blicken zu lassen.«

Da auch Stock La Peineta noch für eine gewisse Zeit für das Programm der Standard-Sterne nutzen wollte, blieb die Organisation zunächst fast unverändert. Die ESO-Beobachter nutzten Logistik und Personal und bekamen am Ende ihren Anteil in Rechnung gestellt.

6. Dezember: »Um 13 Uhr brachen wir nach La Peineta auf. Die Fahrt dauerte vier Stunden. Es war schlicht ein normaler klarer Sommertag. Die ESO-Leute schienen von der phantastischen Aussicht und der guten Durchsicht der Atmosphäre beeindruckt zu sein. Ihr Seeing-Teleskop (ein Spiegelteleskop mit

Das Chandra Deep Field South ist eines der wichtigsten Himmelsfelder für kosmologische Studien. Die beiden Satelliten Chandra und XMM-Newton haben von diesem Gebiet tiefe Röntgenaufnahmen gemacht. Die extrem lang belichtete Aufnahme stammt vom VLT. In dem gesamten Feld sind nicht einmal ein Dutzend Vordergrundsterne unserer Milchstraße zu

sehen (runde blauweiße Flecken mit kreuzförmigem Beugungsmuster). Alle anderen Objekte sind ferne Galaxien, also Systeme, die jeweils viele Millionen oder Milliarden Sterne enthalten. Faustregel: Je kleiner und rötlicher die Objekte erscheinen, desto weiter sind sie entfernt. Viele der dunkelroten Flecken sind frühe Galaxien im noch weniger als zwei Milliarden Jahre alten Kosmos.



25 Zentimetern Durchmesser) war noch nicht eingetroffen. Ich zeigte ihnen, wie man das Boller & Chivens-Doppelteleskop (früher von Stock als Interferometer bezeichnet) nutzt.«

Am **8. Dezember** kam das ESO-Teleskop auf dem Berg an – und die Astronomen konnten Vergleichsbeobachtungen mit dem Doppelteleskop anstellen. Einen Tag später verließ Stock La Peineta und fuhr nach Vicuña, um den Straßenbau für Tololo zu planen.

Am **19. Dezember** verließen die beiden ESO-Beobachter La Peineta und trafen mit Stock am folgenden Tag in Copiapó zum Abendessen zusammen. »Die beiden schienen sehr erfreut zu sein über ihre Beobachtungen auf La Peineta.« Zunächst hatten beide sofort nach Tololo reisen sollen – doch wurde das auf nach Weihnachten verschoben. Am **29. Dezember 1962** brachen Muller, McSharry und Stock von Vicuña nach Tololo auf.

»Wegen der hohen Anzahl von Tieren, die wir brauchten (fünf gesattelte Tiere und fünf Lastenmaultiere), war Paul Alquinta schon am Vorabend zum Fundo San Carlos gegangen und mit den Tieren früh am Morgen nach El Zapallo aufgebrochen. Mittlerweile beluden wir den Laster, der kaum groß genug war, unsere ganze Ausrüstung zu transportieren, die aus dem 25-Zentimeter-Teleskop der ESO-Beobachter, unserem eigenen Doppelteleskop, Gepäck, Verpflegung, Sätteln etc. bestand.«

Abends erreichte die Gruppe die Bergspitze – es war zu spät, das ESO-Teleskop aufzubauen. Immerhin war das Doppelteleskop montiert. »Die Nacht war klar, aber feucht und dunstig mit einer Temperatur unter dem normalen Wert. Offensichtlich liegen diese Bedingungen vor, wenn es in den Tälern ungewöhnlich warm ist.«

Am **30. Dezember** konnten die Beobachtungen dann richtig beginnen. Das 25-Zentimeter-Teleskop war aufgebaut – und die Astronomen konnten Vergleiche mit den anderen Teleskopen anstellen.

»Die Nacht war etwa so wie die vorherige, war die Luftfeuchte etwas geringer. In den ersten Stunden war das Seeing herausragend gut, nach den Daten des 25-Zentimeter-Teleskops – aber nicht ungewöhnlich nach den Daten der übrigen Teleskope. Der Schatten eines Mondes auf Jupiter war sehr schön aufgelöst. Wir haben außerdem Alpha Centauri bei seinem unteren Transit (Zenitdistanz = 89 Grad) beobachtet und hatten ein ziemlich gutes Bild.«

Alpha Centauri gehört zu den hellsten Sternen am Himmel (er ist einer der »Zeiger«-Sterne für das Kreuz des Südens) und ist der uns nach der Sonne nächste Stern am Himmel, der mit bloßem Auge zu sehen ist. Bei der unteren Kulmination zog der Stern nur ganz knapp über dem Südhorizont entlang – er geht von Tololo aus gerade nicht unter. Den Stern dann immer noch gut beobachten zu können, das spricht für die guten Bedingungen jener Nacht – zumal die untere Kulmination von Alpha Centauri am **30. Dezember** auf Tololo noch in die Dämmerung fiel, es also nicht perfekt dunkel war. Auch nur mäßiger Horizontdunst würde das Licht des Sterns verschlucken. Zu Beginn der Nacht war Jupiter zu beobachten – und die Astronomen hatten Glück, dass der Mond Io gerade noch vor Jupiter entlangzog und dabei seinen Schatten auf die Planetenscheibe fiel.

Stock verließ am **31. Dezember 1962** Tololo. Die ESO-Beobachter führten bis zum **13. Januar 1963** ihre Testbeobachtungen durch. Am 12. Januar traf Jürgen Stock sie erneut auf Tololo:

»Während der klaren Nacht machte ich photoelektrische Beobachtungen und hatte viel Kontakt zu den ESO-Beobachtern, die ihr 25-Zentimeter-Spiegelteleskop ebenso wie das Boller & Chivens-Doppelteleskop nutzten. Das Seeing war wechselhaft, und das Doppelteleskop zeigte das gleiche Verhalten wie das 40-Zentimeter-Teleskop – aber das 25-Zentimeter-Teleskop tat das nicht. Wir sprachen über ihre Erfahrungen auf Tololo und La Peineta. Das Seeing war auf Tololo nicht so gut wie auf La Peineta gewesen, wenn man sich auf die Daten des 25-Zentimeter-Teleskops stützt. Bei den Tests der Bildbewegung gab es zwischen beiden Standorten scheinbar keinen großen Unterschied. 14 von 15 Nächten waren klar gewesen. Zudem schienen sie von den angenehmen Lebensbedingungen auf Tololo verglichen mit Peineta beeindruckt zu sein.«

In den folgenden Wochen und Monaten stand für Stock vor allem die Koordination der Bauarbeiten an der Tololo-Straße auf dem Programm. Das ESO-Team war abgereist – und es dauerte noch gut ein Dreivierteljahr, bis sich ESO endgültig für Chile entschieden hatte. Die Auswahl des Standortes La Silla erfolgte dann erst im **Mai 1964**. La Silla liegt nicht im Gebiet von Tololo, sondern neunzig Kilometer nördlich. Aber bei guter Fernsicht ist Tololo von La Silla aus zu sehen.

Happy Birthday, ESO!

Meilensteine der ersten 40 (oder 50?) Jahre

AM 5. OKTOBER 2002 BEGEHT DIE EUROPÄISCHE SÜDSTERNWARTE ESO offiziell den 40. Jahrestag ihrer Gründung. Bei allem Respekt, das ist eher ein virtuelles Jubiläum. Am 5. Oktober 1962 wurde die Gründungsnote im Französischen Außenministerium in Paris hinterlegt – diese Gründung war ein unerhört wichtiger, aber ebenso formaler Vorgang. Allen Ernstes von nur vierzig ESO-Jahren zu sprechen, hieße, ganz wichtige Phasen der Errichtung der Europäischen Südsternwarte nicht zu berücksichtigen.

Ideen einer größeren Südsternwarte waren schon Ende des 19. und zu Beginn des 20. Jahrhunderts aufgekommen. Allerdings waren das zumeist nationale Projekte oder sogar nur Überlegungen einzelner Forschungsinstitute. Walter Baade (1893–1960), einer der großen Astronomen des 20. Jahrhunderts, war 1926 als Rockefeller-Stipendiat für ein Jahr von Hamburg-Bergedorf (dort stand die damals – neben Potsdam – größte Sternwarte Deutschlands) nach Kalifornien gegangen. Bereits 1927 hatte er in einem flammenden Brief die Hamburger Schulbehörde (die für die Sternwarte zuständig war) auf die völlig unzureichenden Bedingungen der deutschen Astronomie hingewiesen – und die Verlagerung des Bergedorfer 1-Meter-Spiegels (damals eines der größten Instrumente weltweit) in südlichere Breiten gefordert. Die Mahnung Baades verhallte bei der Schulbehörde und beim damaligen Bergedorfer Direktor ungehört.

Baade war kurz darauf endgültig in die USA ausgewandert. Im Sommer 1953 bereiste er Europa – und ermahnte seine Kollegen auf dem alten Kontinent, gemeinsam etwas zu unternehmen, um langfristig wieder zur damals weit überlegenen US-Astronomie aufzuschließen. Bei diesem Treffen am 21. Juni 1953 im niederländischen Leiden ist die konkrete Idee einer Europäischen Südsternwarte entstanden. ESO ist also letztlich schon fast fünfzig Jahre alt.

Wem ein informelles Treffen als Gründungsakt zu belanglos ist, der mag sich vielleicht für den 26. Januar 1954 als eigentlichen ESO-Gründungstag erwärmen. An jenem Tag trafen sich in Leiden Astronomen aus sechs europäischen Ländern und unterzeichneten gemeinsam einen konkreten Beschluss, der die Gründung der Europäischen Südsternwarte in den folgenden zehn Jahren zum Ziel hatte. Die Astronomen hatten also erstaunlich schnell und konsequent ihre europäische Einigung vollzogen. Zur zeitlichen Einordnung: Die Römischen Verträge zur Gründung der Europäischen Gemeinschaften wurden erst vier Jahre später, am 25. März 1957, unterzeichnet.

Die Idee einer Europäischen Südsternwarte war und ist überragend – es kommt überhaupt nicht darauf an, ob ESO nun vierzig oder fünfzig Jahre alt ist. Im Zweifelsfall feiere man einfach alle drei Geburtstage ... In diesem Sinne: Happy Birthdays, ESO!

Drei Dinge braucht der Astronom tagsüber nach einer durchbeobachteten Nacht: Schlüssel, Bett, Ruhe. »Schlafende Astronomen – bitte nicht stören!«



Les soussignés, astronomes appartenant aux pays ci-après désignés: Allemagne, Belgique, France, Grande Bretagne, Pays Bas, Suède, réunis à Leyde le 25 et 26 janvier 1954.

Considérant

Que l'astronomie occupe dans la science contemporaine une position essentielle et que diverses branches de la science qui ont récemment bénéficié de ses progrès sont appelées à en bénéficier encore dans l'avenir,

Que l'étude de l'hémisphère céleste austral est beaucoup moins avancée que celle de l'hémisphère boréal, la plupart des grands instruments étant situés dans l'hémisphère terrestre nord, en particulier ceux du Mont Palomar,

Que, par suite, les données sur lesquelles repose la connaissance de la Galaxie sont loin d'avoir la même valeur dans les diverses parties du ciel et qu'il est indispensable de les améliorer et de les compléter là où elles sont insuffisantes,

Que, notamment, il est hautement regrettable que, le noyau galactique du Sagittaire, la plupart des amas globulaires, les Nuages de Magellan, les systèmes extragalactiques de Fornax et de Sculptor, c'est-à-dire des systèmes qui n'ont pas d'équivalent dans l'hémisphère nord, soient presque inaccessibles aux plus grands instruments actuellement en service,

Qu'en conséquence, il n'y a pas de tâche plus urgente pour les astronomes que d'installer dans l'hémisphère austral de puissants instruments, comparables à ceux de l'hémisphère nord, notamment un télescope réflecteur d'au moins 3 m d'ouverture et une chambre de Schmidt de 1,20 m,

Mais que, d'autre part, faute de ressources suffisantes, aucun pays ne semble en mesure d'assurer l'élaboration et la réalisation d'un tel projet, que seule une coopération internationale permettrait de mener à bonne fin,

Que la participation à cette entreprise, de tous les pays adhérant à l'Union Astronomique Internationale, par exemple, entraînerait de grandes complications et qu'il paraît sage de limiter actuellement le nombre des participants à quelques pays voisins formant un groupe restreint,

Que ces pays de l'Europe occidentale, en s'associant pour la construction et le fonctionnement d'un observatoire commun situé en Afrique du Sud, ouvriraient aux astronomes européens un champ de recherches peu exploré et d'une grande richesse,

Que la participation à cette entreprise des six pays susmentionnés paraît indispensable pour en assurer le succès,

Emettent le vœu

Que les organisations scientifiques représentatives de ces six pays recommandent aux autorités qualifiées la construction en Afrique du Sud d'un observatoire commun, doté, notamment, d'un télescope de 3 m d'ouverture et d'une chambre de Schmidt de 1,20 m.

Ont signé:

Prof. O. Heckmann
Directeur de l'Observatoire de Hambourg

O. Heckmann

Prof. A. Unsöld
Directeur de l'Observatoire de Kiel

Albrecht Unsöld

Dr. P. Bourgeois
Directeur de l'Observatoire royal de Belgique

P. Bourgeois

Dr A. Couder
Astronome de l'Observatoire de Paris

A. Couder

Prof. A. Danjon
Directeur de l'Observatoire de Paris

A. Danjon

Prof. R. O. Redman
Directeur de l'Observatoire de Cambridge

R.O. Redman

Prof. J. H. Oort
Directeur de l'Observatoire de Leyde

J.H. Oort

Prof. F. Th. Oosterhoff
Astronome de l'Observatoire de Leyde

F.Th. Oosterhoff

Prof. P. J. van Rhijn
Directeur du Laboratoire Astronomique "Kapteyn"
Groningue

P.J. van Rhijn

Prof. S. Lindblad
Directeur de l'Observatoire de Stockholm

S. Lindblad

Prof. K. Lundmark
Directeur de l'Observatoire de Lund

K. Lundmark

Prof. K. G. Malmquist
Directeur de l'Observatoire d'Uppsala

K.G. Malmquist

Die »wahre« ESO-Gründungsurkunde? Am 26. Januar 1954 unterzeichneten zwölf Astronomen aus sechs europäischen Ländern die Absichtserklärung, eine gemeinsame Südsternwarte zu gründen. Der Text fasst die wissenschaftliche Motivation zusammen und umreißt die gewünschte technische Ausstattung der Sternwarte.



Südafrika 1962



Südafrika 1962



Cerro Morado, 10. Juni 1963



Guest House, Santiago, 1964



Camp Pelicano, Juni 1965



Straßenbau, Juni 1965

1953, 21. Juni Astronomen aus mehreren Staaten Europas diskutieren in Leiden die von dem aus Deutschland stammenden, aber seit Anfang der dreißiger Jahre in den USA arbeitenden Walter Baade geäußerte Idee, dass sich die Astronomen Europas gemeinsam eine Großsternwarte auf der Südhalbkugel bauen. Die Gruppe geht auseinander, um mit den Kollegen in den Heimatländern über das Projekt zu beraten.

1954, 26. Januar Zwölf führende Astronomen aus sechs europäischen Ländern (Belgien, Deutschland, Frankreich, Großbritannien, Niederlande und Schweden) treffen sich im Senatssaal der Universität von Leiden, um die Idee einer Europäischen Südsternwarte genauer zu diskutieren. In ihrem historischen Beschluss äußern sie den Wunsch, dass die wissenschaftlichen Organisationen in den Heimatländern die Einrichtung eines gemeinsamen Observatoriums in Südafrika empfehlen mögen. Dieses Observatorium solle über ein Teleskop mit etwa 3 Metern Öffnung und ein 1,2-Meter-Schmidt-Teleskop verfügen. Das Projekt soll innerhalb der folgenden zehn Jahre umgesetzt werden und wird eine Übereinkunft auf Regierungsebene erfordern. Um das Projekt konkret in Gang zu setzen, wird ein ESO-Komitee (»ESO Committee (EC)«) gebildet.

1954, November Eine erste Rohfassung der ESO-Konvention zwischen den Organisationen wird zur Diskussion gestellt. Zu den wichtigsten Punkten dieses Vorschlags gehört, dass die finanzielle Beteiligung an ESO proportional zur Wirtschaftsstärke eines Landes zu sein hat, aber eine bestimmte Grenze nicht überschreiten darf. Zudem heißt es in dem Vorschlag, dass das Observatorium auf der Südhalbkugel stehen müsse und als Grundausstattung über ein großes optisches Teleskop und ein Schmidt-Teleskop verfügen solle. Später sollen weitere Instrumente hinzukommen. Ein Platz auf der Südhalbkugel ist die ideale Wahl, da die meisten für die Forschung interessanten Objekte von dort zu beobachten sind.

1955–1963 Mehr als sieben Jahre lang untersuchen Europas Astronomen in Südafrika mögliche Standorte für die geplante Südsternwarte. Südafrika war gewählt worden, weil dort einige Staaten Europas bereits Beobachtungsmöglichkeiten hatten – und weil es die besten bis dahin bekannten Sichtbedingungen hatte. Allerdings wird Ende 1963 klar, dass die Bedingungen keineswegs so gut sind und das Observatorium dort nicht gebaut werden kann.

1958 ESO ist zwar noch immer kaum mehr als eine Vision, aber das ESO-Komitee hat bereits ein Instrumenten-Komitee (Instrumentation Committee (IC)) bestellt, das die künftige Ausstattung der Südsternwarte planen soll. Das IC muss dabei vor allem die technischen und finanziellen Aspekte der Instrumentierung berücksichtigen, um so das ESO-Komitee in die Lage zu versetzen, die notwendigen Entscheidungen treffen zu können. Eine der ersten Tätigkeiten des IC ist die Spezifikation der Teleskope der Südsternwarte: 1961 empfiehlt das IC den Bau der Teleskope mittlerer Größe (1 Meter und 1,5 Meter Spiegel-Durchmesser), die beide in der zweiten Hälfte der sechziger Jahre errichtet werden.

1959, März Der US-Astronom Gerard P. Kuiper bereist Chile und lässt gezielte Sichtexpeditionen in Chile planen.

1959, April Jürgen Stock beginnt seine jahrelangen Expeditionen in Chile (für AURA – Association of Universities for Research in Astronomy). Stock zeigt sehr schnell, dass in Chile herausragend gute Bedingungen herrschen.

1962, 5. Oktober Nach vielen Treffen und Debatten über Jahre hinweg wird die Konvention von Belgien, Frankreich, den Niederlanden, Schweden und Deutschland unterzeichnet und am 5. Oktober 1962 im französischen Außenministerium in Paris

hinterlegt. ESO ist damit offiziell gegründet. Die erforderlichen Ratifikationen ziehen sich aber bis 1964 hin. Dann endlich steht ESO auf festen finanziellen Füßen und kann das langfristige Bauprojekt starten.

1962, Oktober ESO wählt das Emblem mit den Buchstaben E, S und O und dem Sternbild »Kreuz des Südens«.

1962, Dezember Im Dezember 1962 und Januar 1963 bereist eine kleine europäische Expedition zwei Berge (La Peineta und Tololo), die Jürgen Stock als besonders geeignet ermittelt hatte.

1963, Juni Eine kleine Gruppe von Mitgliedern des ESO-Komitees führt in Chile weitere Untersuchungen durch. Am 6. Juni bereist die ESO/AURA-Gruppe Santiago und die Gegend von La Serena. Dort arbeitet sie auf zwei Bergen im AURA-Gelände: Tololo und Morado. AURA hatte Morado als Standort der ESO-Sternwarte vorgeschlagen, weil Morado eine große Gipfelfläche und sehr gute, klar dokumentierte Sichtbedingungen hat. Es wird über die mögliche Zusammenarbeit von AURA und ESO diskutiert, sollte sich ESO tatsächlich auf Morado niederlassen.

1963, 15. November Auf einem Treffen des ESO-Komitees legt das »Komitee zur Standortauswahl« einen Vergleich der Bedingungen in Südafrika und Chile vor. Das ESO-Komitee entscheidet schließlich endgültig, dass aufgrund der besseren Beobachtungsbedingungen die Sternwarte in Chile und nicht in Südafrika errichtet werden soll.

1964, Februar ESO schickt eine Gruppe von vier Leuten nach Chile, um nach weiteren möglichen Standorten innerhalb und außerhalb des AURA-Geländes Ausschau zu halten. Mit Helikopter und Wagen werden die Berge Guatulame (südöstlich von Ovalle), Cinchado (ein Berg im AURA-Gelände) und Cinchado-Nord (außerhalb des AURA-Geländes) besichtigt. Letzterer erweist sich als der interessanteste, da er recht gut zu erreichen ist, über ein trockenes Klima verfügt, eine flache Gipfelregion hat und in Regierungsbesitz ist.

1964, 17. April Die Vereinbarung (Convenio) zwischen der chilenischen Regierung und ESO wird vom chilenischen Kongress ratifiziert.

1964, 26. Mai ESO entscheidet sich endgültig für den Berg Cinchado-Nord, der auch unter dem Namen La Silla (»Der Sattel«) bekannt ist, wie ihn die Köhler der Gegend seiner Form wegen nennen. Damit ist klar, dass AURA und ESO sich nicht auf einem gemeinsamen Gelände ansiedeln. La Silla ist 2400 Meter hoch, liegt am Südrand der Atacama-Wüste, etwa 160 Kilometer nördlich von La Serena. Geographische Koordinaten: 29° 15' südlicher Breite, 70° 44' westlicher Länge.

1964, 30. Oktober Zwischen der chilenischen Regierung und ESO wird ein Kaufvertrag über 627 Quadratkilometer Land um den Berg La Silla unterzeichnet. Der Preis ist relativ niedrig und zeigt das Interesse Chiles, eine weitere Großsternwarte am Südrand der Atacama zu etablieren.

Ende 1964 ESO hat ein Büro in Santiago mit fünf Beschäftigten. Zudem wird bereits die Straße vom Basicamp Pelicano am Fuß des Berges hinauf nach La Silla gebaut.

1964, Dezember ESO erwirbt in Santiago das »Guest House«.

1965 Camp Pelicano wird weiter ausgebaut, zudem entsteht ein erstes Camp oben auf La Silla – der Straßenbau geht weiter voran.

1966, 24. März Einweihung der Straße auf den Berg in Anwesenheit des Erzbischofs von La Serena. Auf La Silla besteht nun ein zweites, größeres Camp nahe dem Gipfel.

1967 Baubeginn des chilenischen ESO-Hauptquartiers in Santiago

1967, 24. August Dänemark unterzeichnet die ESO-Konvention.



Santiago de Chile, 1969



Hotel, La Silla, 1969



La Silla, 25. März 1969



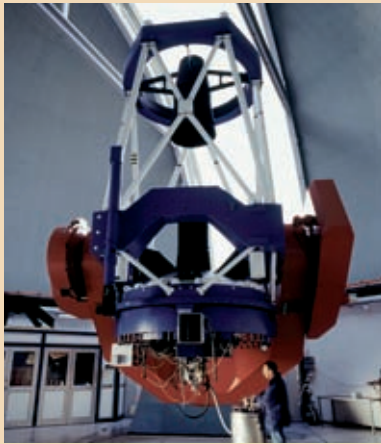
Dänisches 1,5-Meter-Teleskop, 1979



3,6-Meter-Teleskop, 1980



Garching, 1981



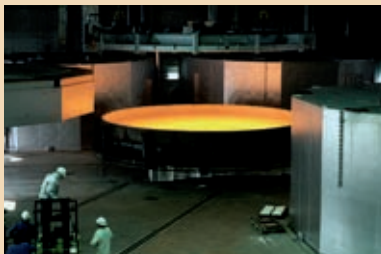
2,2-Meter-Teleskop, 1984



SEST, 1987



NTT, La Silla, 1989



Glühender VLT-Spiegel, 1995

1968, Juni GPO, der große Spektrograph, geht in Betrieb. Die Straße auf La Silla wird zum Standort des künftigen 3,6-Meter-Teleskops verlängert. Ein Vertrag mit der chilenischen Telefongesellschaft ENTEL sorgt für bessere Anbindung an die Umwelt.

1968, September Das Bochum-Teleskop (61 Zentimeter Durchmesser) geht in Betrieb. Zusätzlich zu den komplett ESO gehörenden Teleskopen werden auf dem Berg auch »nationale Teleskope« errichtet, die einzelne Länder bzw. einzelne Institute betreiben. ESO erhält an diesen nationalen Teleskopen als Ausgleich für die Hilfe beim Betrieb auf dem Berg einen gewissen Anteil der Beobachtungszeit.

1969 Die erste Generation von Gebäuden auf dem Berg ist fertig gestellt (Hotel, Wohnräume für die Beschäftigten, Lagerhäuser und Werkstätten), und die Teleskope mittlerer Größe arbeiten bereits.

1969, 25. März Die Sternwarte La Silla wird offiziell eingeweiht. Mehr als 300 Gäste sind anwesend, darunter Chiles Präsident Don Eduardo Frei Montalva, der schwedische Erziehungsminister Olof Palme, Vertreter von AURA und CARSO (Carnegie Southern Observatory auf dem Nachbar-Berg Las Campanas) und viele ESO-Mitarbeiter. Das ESO-Hauptquartier in Santiago wird bezogen.

1970 ESO bildet seine Teleskop-Abteilung auf dem Gelände des Teilchenbeschleunigers CERN in Genf.

1971 Das 1,2-Meter-Schmidt-Teleskop wird aufgestellt – ebenso das ESO-50-Zentimeter-Teleskop sowie sein Zwilling, das dänische 50-Zentimeter-Teleskop oder SAT (Strömgren Automatic Telescope) der Universität von Kopenhagen.

1974, November Einweihung der Flugpiste nahe dem Camp Pelicano. Mit Kleinflugzeugen erfolgt der Transport direkt von Santiago an den Fuß des Berges La Silla.

1976, 7. November Das größte der für die »Grundausstattung« vorgesehenen Teleskope, das 3,6-Meter-Teleskop, hat sein »erstes Licht« (»First Light«). Später dient das 1,4-Meter-CAT (Coudé Auxiliary Telescope) einem hochauflösenden Spektrographen im Gebäude des 3,6-Meter-Teleskops.

1978/1979 Aufbau des niederländischen 90-Zentimeter-Teleskops, das der Sternwarte von Leiden gehört. Dieses Gerät war von der Südstation Leidens in Südafrika nach La Silla umgezogen.

1979, Oktober Als drittes nationales Teleskop geht das dänische 1,5-Meter-Teleskop in Betrieb. In späteren Jahren kommen als weitere nationale Teleskope das Marly 1-Meter-Teleskop (Sternwarte Marseille), das DENIS-Teleskop (Sternwarten der Côte d'Azur und von Paris) und das Genfer 1,2-Meter-Teleskop dazu.

1980 Das Gebäude des ESO-Hauptquartiers in Garching ist fertig gestellt – das neue Zentrum aller ESO-Aktivitäten in Europa.

1981 Einweihung des ESO-Hauptquartiers in Garching in Anwesenheit des Bundespräsidenten Karl Carstens

1982, 1. März Die Schweiz tritt ESO bei.

1982, 24. Mai Italien tritt ESO bei.

1983 ESO und die europäische Raumfahrtagentur ESA schließen das Abkommen, die europäische Koordinationsstelle des Hubble-Weltraumteleskops (Space Telescope/European Coordinating Facility – ST/ECF) bei der ESO einzurichten.

1983 Während die Hauptausbauphase von La Silla praktisch beendet ist, beginnt ESO bereits, sich nach einem noch besseren Standort für die nächste Generation von Teleskopen umzusehen – bereits damals als VLT (»Very Large Telescope«) bekannt.

Eine kleine Beobachtungsgruppe unter ESO-Generaldirektor Lo Woltjer erkundet den Berg Paranal, etwa 600 Kilometer nördlich von La Silla. Seit 1983 betreibt ESO auf

Paranal eine Teststation, um die Wetterbedingungen zu messen – parallel erfolgen solche Messungen auf dem Berg Vizcachas, einem Nachbar-Berg von La Silla. Paranal war bereits Jürgen Stock Anfang der sechziger Jahre als astronomisch sehr günstig aufgefallen – damals verhinderte der Wassermangel die weitere Nutzung des Berges.

1984 Das 2,2-Meter-Teleskop der ESO und der Max-Planck-Gesellschaft geht in Betrieb.

1987, 23. März Das Observatorium La Silla hat einen Logenplatz, um die Supernova 1987A in der Großen Magellanschen Wolke zu beobachten – die hellste seit 1604.

1987 Bau des SEST (Swedish ESO Submillimetre Telescope), des einzigen großen Teleskops (15 Meter Durchmesser) auf der Südhalbkugel, das im Bereich der Submillimeter-Wellen (einem Teil der Infrarot-Astronomie) arbeitet

1987, 8. Dezember Der ESO Council beschließt den Beginn des VLT-Projekts mit Massimo Tarenghi als Projektleiter.

1989, 22. März »First Light« des 3,5-Meter-New Technology Telescope (NTT)

1990, 6. Februar Offizielle Inbetriebnahme des NTT. Feierlichkeiten zeitgleich auf La Silla und in Garching. Zu den Gästen zählen die Forschungsminister aus Belgien, Frankreich, Deutschland und Italien (Toback, Curien, Riesenhuber und Ruberti).

1990, 10. Juli ESO und Portugal unterzeichnen ein Kooperationsabkommen.

1990, Dezember Der ESO-Rat (Council) bestimmt nach Vergleich der Daten von Paranal und Vizcachas Paranal zum Standort des VLT. Die chilenische Regierung schenkt ESO ein etwa 700 Quadratkilometer großes Gebiet um Paranal herum. Die Bauarbeiten beginnen 1991.

1994 350 000 Kubikmeter Felsen sind weggesprengt – so ist eine große Plattform für die Teleskope und das Interferometer entstanden.

1996, 5. September Der chilenische Senat ratifiziert das neue Abkommen zwischen der Republik Chile und ESO.

1996, 4. Dezember Chiles Präsident Eduardo Frei Ruiz-Tagle besucht mit dem schwedischen Königspaar Cerro Paranal zur offiziellen Grundsteinlegung.

1998, 25. Mai Der Bau von Paranal geht zügig voran. Das erste der vier 8,2-Meter-Teleskope (UT1 oder »Antu«) hat »First Light«.

1999, 4. März »First Light« von UT2 oder »Kueyen«

1999, 5. März Offizielle Einweihung des Observatoriums auf Paranal durch Chiles Staatspräsident Frei

2000, 26. Januar »First Light« von UT3 oder »Melipal«

2000, 27. Juni Portugal unterzeichnet das Abkommen zum ESO-Beitritt.

2000, 3. September »First Light« von UT4 oder »Yepun«

2001, März »First Fringes« für das VLT-Interferometer

2001, Oktober Inbetriebnahme der Adaptiven Optik

2001, 6. April Vertreter aus Europa, Japan und Nordamerika unterzeichnen in Tokio eine Resolution über den Bau und Betrieb eines riesigen Teleskops im Millimeter- und Submillimeterbereich (ALMA – Atacama Large Millimeter Array). ESO ist der Brennpunkt für Europas Beteiligung an diesem Projekt.

2002 Der ESO-Haushalt beträgt knapp 97 Millionen Euro. ESO beschäftigt ca. 370 Personen als »International Staff«, davon knapp hundert in Chile. Hinzu kommen ca. 165 Personen »Local Staff« in Chile.

2002, Februar Einweihung der Residencia, des großen Wohn- und Arbeitsgebäudes im Basiscamp

2002, 1. Juli Großbritannien tritt als 10. Mitgliedsland der ESO bei.



UT1, Paranal, 1996



Plattform, Paranal, 1996



Spiegelankunft, Paranal, 1997



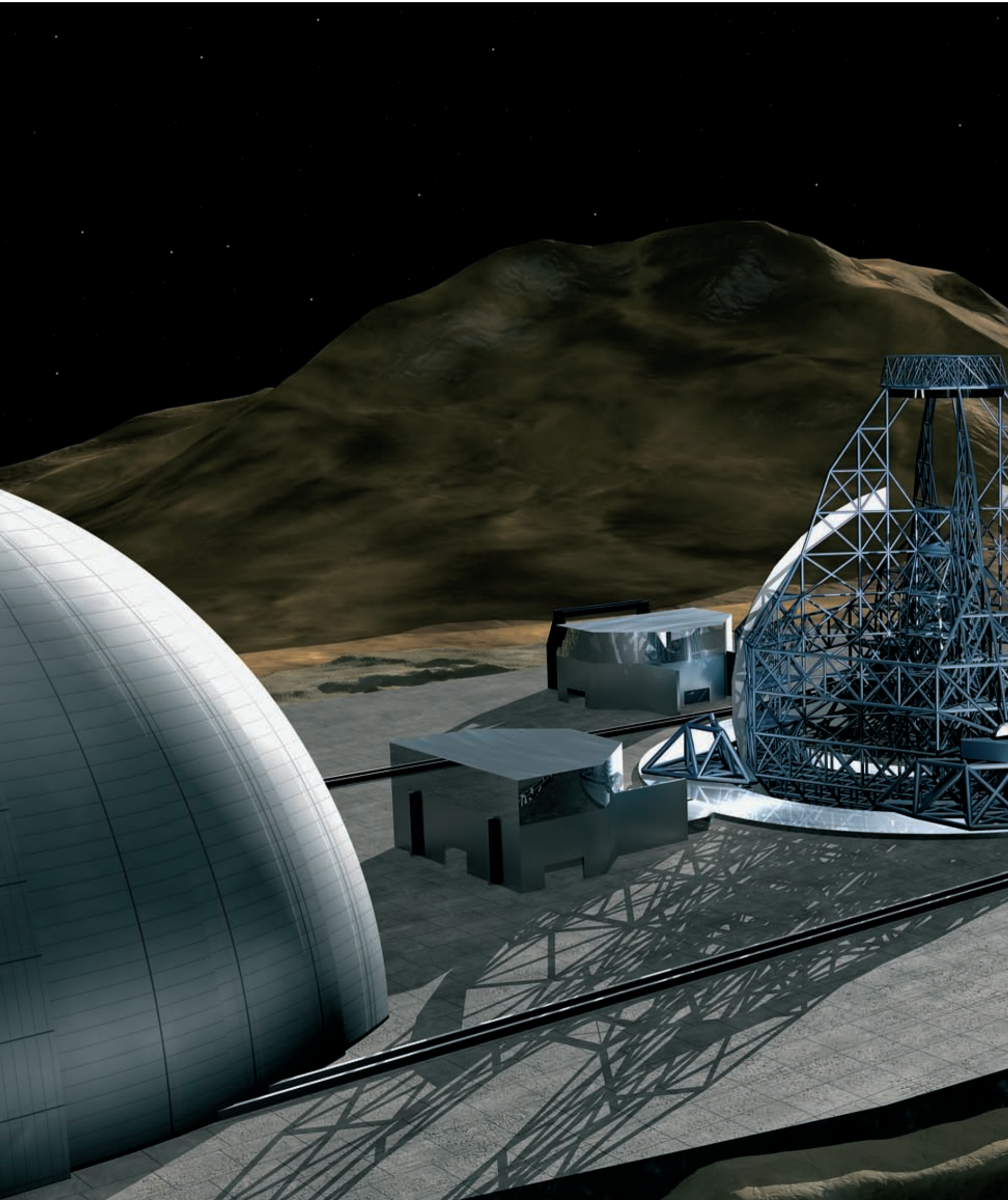
Teleskop-Einbau, Paranal, 1998



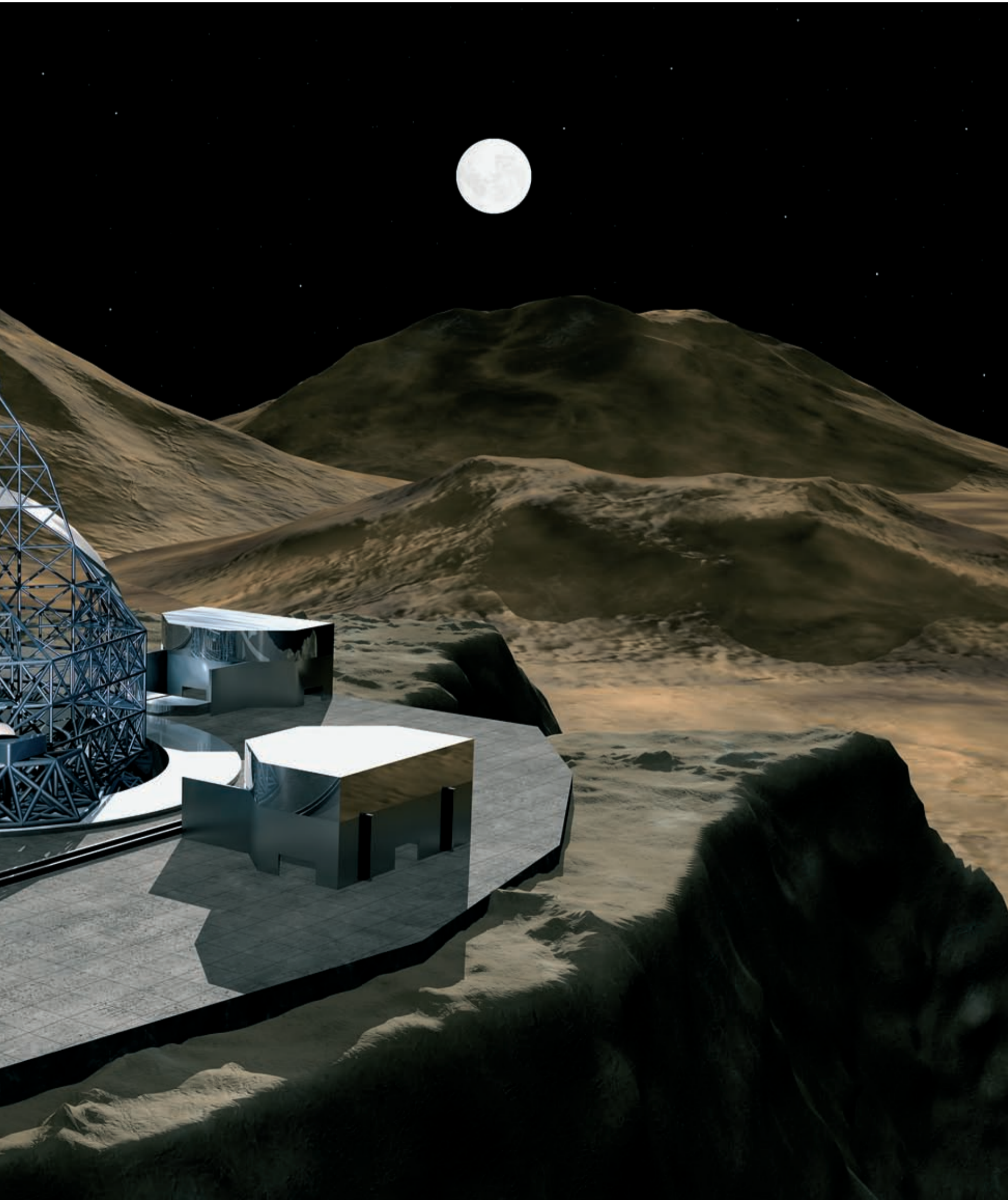
Interferometer, Paranal, 2001



Residencia, Paranal, 2002



Wenig Wissen, viel Rätsel –
die Astronomie in einem goldenen Zeitalter



Seite 202/203:

Die ESO-Zukunft, wie sie sich Herbert Zodet, ESO-Experte für Digitale Bildmedien, ausmalt. Im Jahr 2015 könnte OWL, ein 100-Meter-Teleskop, das All durchdringen. Erste Konzeptstudien laufen. Nach heutiger Schätzung lässt sich OWL für weniger als eine Milliarde Euro realisieren und ist damit immer noch bei weitem kostengünstiger als ein Weltraumprojekt.

DANK DER VIELEN NEUEN TELESKOPE und Instrumente befindet sich die Astronomie in einer neuen Ära: Wieder einmal treiben Beobachtungen die Wissenschaft vom Universum voran. Was sich den Forschern im Kosmos offenbart, lässt allerdings viele ratlos die Stirn runzeln: Jede Antwort führt zu neuen Fragen. Je genauer die Astronomen ins All blicken, desto rätselhafter erscheinen viele kosmische Phänomene. Wie entstehen Sterne und Planeten? Wann und wie haben sich die Galaxien im Kosmos gebildet? Woraus besteht das Universum? Wie ist es zu dem geworden, was es heute ist – und wie wird es sich in Zukunft entwickeln? Die wirklich großen Fragen sind alle noch immer bzw. wieder einmal völlig offen. Kein Grund zur Trauer – gerade zu Zeiten, in denen vieles unklar ist, in denen manche Daten scheinbar keinen Sinn ergeben, ist es unglaublich spannend in der Astronomie. Schon bald werden einige Leute zündende Ideen haben, die die verwirrenden Beobachtungsbefunde zusammenführen. »Bald« heißt bei Astronomen bekanntlich morgen, übermorgen – oder in zehntausend Jahren.

**ERST DAS VLT –
UND DANN?**

AN BEOBACHTUNGSBEFUNDEN wird in den nächsten Jahren und Jahrzehnten kein Mangel herrschen: Das Very Large Telescope wird etwa 2004 seine volle Arbeitsfähigkeit erreichen und dann – ebenso wie andere Großteleskope – Nacht für Nacht unglaubliche Datenmengen liefern. Aber auch das VLT erkundet nur einen winzigen Teil des Kosmos – auch dem VLT bleiben riesige Bereiche des Universums verborgen.

Also denken Ingenieure, Optiker, Mechaniker, Astronomen und alle anderen, die an der Entwicklung und dem Bau einer Sternwarte beteiligt sind, schon jetzt über neue Projekte nach. Da ist Wagemut gefragt – wer technisch und wissenschaftlich nicht aus den Trampelpfaden heraus will, kann kaum Neues entdecken. Auch das VLT war einst eine sehr kühne Idee, die sicher manchem als Fantasterei erschien – und heute auf Cerro Paranal steht. Was kommt nach dem VLT? Wie sehen die nächsten Schritte aus? Womit werden die Astronomen in zehn oder zwanzig Jahren arbeiten?

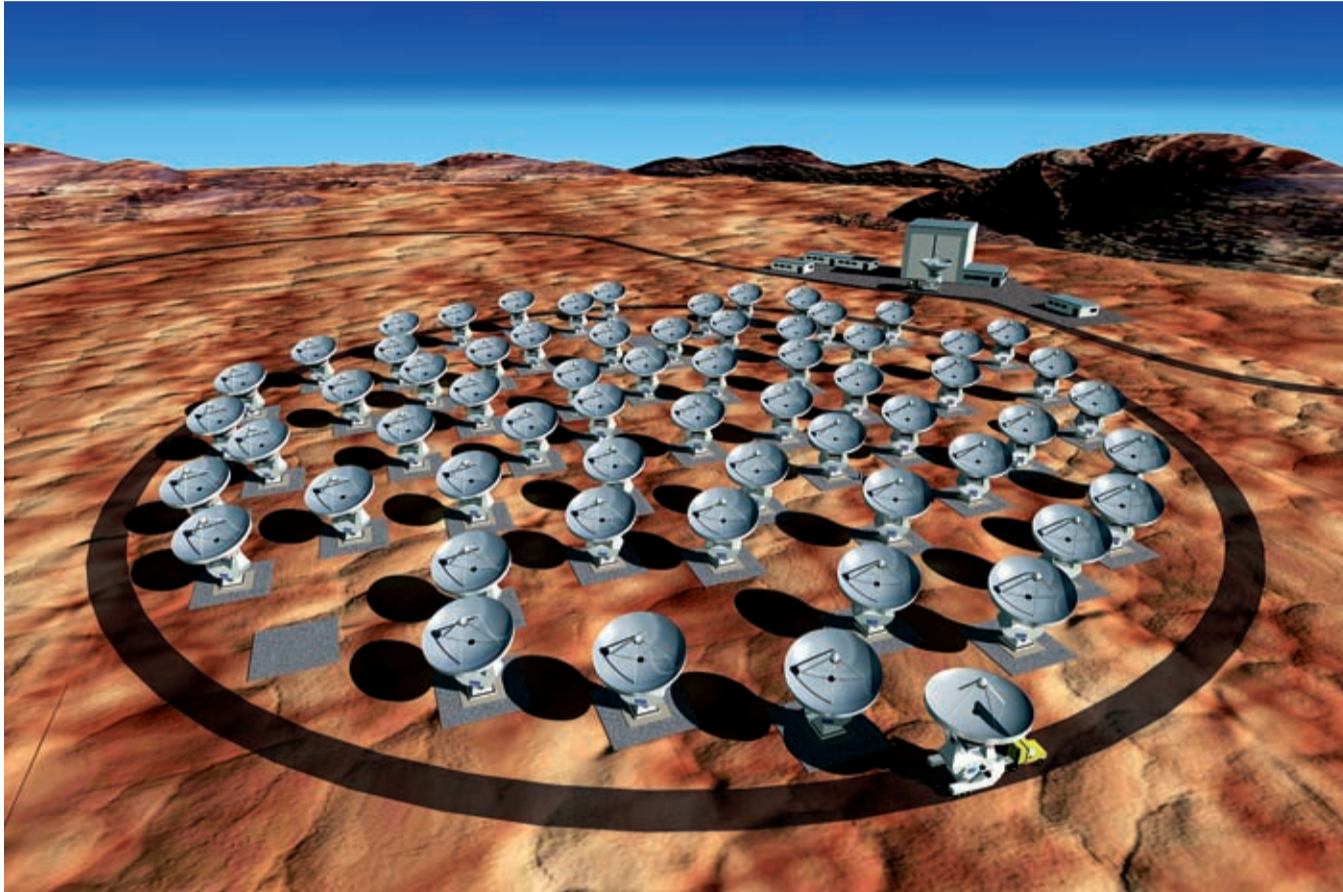
**ALMA UND VLT –
EIN STARKES
DOPPEL**

KONKRET IN PLANUNG IST ALMA, das Atacama Large Millimeter Array. Dieser Verbund von 64 Teleskopschüsseln von je zwölf Metern Durchmesser soll in der Ebene von Chajnantor entstehen, mehr als 5000 Meter hoch in den Anden. Im Millimeterbereich erkunden die Astronomen kurzwellige Radiostrahlung ferner Objekte. Dazu müssen sie entweder in den Weltraum oder in extrem trockene Gebiete auf der Erde



Die Zukunft heute. Mess-Station für ALMA (Atacama Large Millimeter Array) auf der Hochebene Chajnantor in den Anden (gut 5000 Meter über dem Meeresspiegel)

Ab dem Jahr 2009 sollen 64 Teleskopschüsseln mit jeweils zwölf Metern Durchmesser von der Atacama aus nahe Sternentstehungsgebiete und Galaxien am Rand des Kosmos erforschen. Die Teleskope werden nicht immer so dicht beieinander stehen, sondern können, um noch schärfer zu sehen, über zehn Kilometer verteilt sein.



ausweichen – denn der Wasserdampf in der Atmosphäre absorbiert diese Strahlung. Über den Hochanden ist die Luft aber extrem trocken. Läuft alles nach Plan, beginnen 2006 die ersten Beobachtungen – die ganze Anlage soll 2009 vollendet sein.

Mit ALMA blicken die Astronomen tief in dichte Staubwolken und werden so vielleicht endlich der Stern- und Planetenentstehung auf die Schliche kommen. Auch die fernsten Galaxien, die in der Frühphase des Kosmos aufgeleuchtet sind und deren Licht wegen der Ausdehnung des Kosmos weit ins Rote verschoben ist, werden sich ALMAs Blicken kaum entziehen. ALMA und das VLT werden so etwas wie das »Traumpaar« der Astronomen; denn beide Instrumente ergänzen sich ideal, sehen sie doch oft dieselben Objekte vergleichbar gut, aber buchstäblich in anderem Licht. ALMA ist ein gemeinsames Projekt der Europäer und der US-Amerikaner. Auch Japan hat Interesse bekundet – und somit könnte ALMA zum ersten wirklich globalen astronomischen Projekt werden.

IN DER OPTISCHEN ASTRONOMIE ist heute das Very Large Telescope das Maß der Dinge. Doch die Entwicklung bleibt nicht stehen. Irgendwann wird es dem VLT so ergehen wie heute den 1-Meter-Teleskopen – irgendwann wird auch das VLT als »klein« gelten. In den USA wird derzeit an Konzepten für ein 30-Meter-Teleskop gearbeitet. ESO plant sogar einen noch größeren Sprung nach vorn: OWL, das Overwhelmingly Large Telescope (OWL = Eule). Es wäre mit 100 Metern Durchmesser in der Tat überwältigend groß. Für dieses optisch-infrarote Teleskop gibt es bereits Konzeptstudien. Prinzipiell ist so ein Projekt machbar. OWL hätte eine etwa 40-mal bessere Auflösung als das Hubble-Weltraumteleskop und wäre mehrere tausend Mal empfindlicher.

Manche sehen in so einem Projekt eine ähnlich große Revolution der astronomi-

**SPÄHT BALD EINE
EULE INS ALL?**

schen Forschung wie die erste Nutzung eines Teleskops durch Galileo Galilei. OWL könnte die chemischen und physikalischen Bedingungen praktisch im gesamten Kosmos vermessen – die Astronomen wüssten endlich, wie sich diese Bedingungen im Laufe der Entwicklung des Universums verändert haben. OWL könnte jede Supernova in beliebiger Entfernung mit allen Details untersuchen und unmittelbar die Entstehung der ersten Galaxien verfolgen. In der näheren Umgebung könnte es Planeten bei fremden Sternen direkt beobachten und nach Spuren von Leben suchen.

Im Idealfall richten die Astronomen um das Jahr 2020 herum ein 100-Meter-Teleskop an den Himmel. Der 100-Meter-Spiegel würde natürlich nicht mehr aus einem Stück bestehen. Er wäre aus etwa 1500 sechseckigen Segmenten zusammengesetzt. OWL sähe etwa 1000-mal schwächere Objekte als heutige Spitzenteleskope. OWL ist ein Traum. Noch.

**PADERBORN,
PEINE, PARANAL**

ASTRONOMIE IST HEUTE IN VIELEM eine Hightech-Wissenschaft – moderne Großteleskope sind komplexe Maschinen. Diese Geräte werden keineswegs für alle Forschungszweige der Astronomie gebraucht, aber doch für immer mehr: Wenn Menschen mit brillanten Ideen fast genial konstruierte Instrumente benutzen (die Kombination muss stimmen – ein Teleskop allein nützt gar nichts, so gut es auch sein mag), schiebt sich unser Horizont immer weiter hinaus ins All. Natürlich ist das alles nicht umsonst zu haben. Das VLT-Projekt kostet über fünfzehn Jahre verteilt grob 600 Millionen Euro. Der weltweite Spitzenplatz in der Astronomie kostet die ESO (und damit die Steuerzahler in den zehn Mitgliedsstaaten) pro Jahr etwa 40 Millionen Euro. Ob das viel oder wenig ist, muss jeder selbst entscheiden – aber pro Stern ist es sicher ganz wenig.

Den Zauber der Astronomie, die Faszination des Sternenhimmels, das Staunen über die kosmischen Phänomene braucht man nicht zu kaufen. Das alles kann jeder selbst erleben. Dafür muss niemand nach Paranal reisen, das gibt es an jedem Ort der Welt. Um den Kosmos wahrzunehmen, braucht man kein VLT – die bloßen Augen reichen völlig. Allerdings wird dunkler Himmel auf Erden allmählich zum Luxusgut: Die kosmischen Photonen haben alle Mühe, sich gegen die irdische Konkurrenz von Leuchtreklamen, Straßenbeleuchtung, Flutlichtern etc. durchzusetzen. Der um sich greifenden Unsitte, nachts Gärten taghell auszuleuchten, fallen Nacht für Nacht Millionen von Insekten und Vögeln zum Opfer – und Tausende von Sternen.

Wenn Sie, liebe Leser, auf nächtliche Beleuchtung nicht verzichten möchten, so installieren Sie doch Lampen, die das Licht konzentriert nach unten und nicht rundum in alle Richtungen abgeben. Das spart zum einen Geld, denn ohne das sinnlose Ausleuchten des Himmels reicht eine Lampe mit geringerer Wattzahl, und hilft zum anderen der Natur. Während man in einer perfekt dunklen und klaren Nacht über Paranal bis zu 6000 Sterne am Himmel sieht, ist in vielen bewohnten Gegenden Europas kaum noch ein Dutzend Sterne am Firmament auszumachen.

Wir leben in einem Licht-Smog, der uns verschleiert und die Wunder des Universums aus unserem Alltag verdrängt. Da passieren Milliarden Lichtjahre von uns entfernt die geheimnisvollsten Dinge, und wir laufen Gefahr, das alles wegen astronomisch vieler Kunstlichter in läppischer Entfernung nicht mehr mitzubekommen. Müssen Sie nach 206 Seiten nicht zugeben, dass das sehr schade wäre? Also: Machen Sie mit – entschleiern auch Sie den Kosmos! Licht aus, Augen an den Himmel und dann immer geradeaus in die Unendlichkeit.

Die Zwillingsterne Castor und Pollux und der helle Planet Jupiter versinken hinter Paranal. In mondloser Nacht ist vom Basiscamp aus nichts von den Teleskopen auf der Plattform zu erkennen. Erst diese Langzeitbelichtung (die auch ein den Berg hinabfahrendes Auto erwischt hat) zeigt die Einzelheiten. Rosige Aussichten für die Astronomie!



BILDNACHWEIS

Volker Beckmann (INTEGRAL Science Data Centre/Sternwarte Genf), BeppoSAX: 132

California Institute of Technology (George Djorgovsky): 106/107; 110

John E. Carlstrom (mit BIMA Berkeley-Illinois-Maryland Association und OVRO Owen Valley Radio Observatory) und ROSAT: 117

DASI, University of Chicago (John E. Carlstrom): 124; 125

ESA: 109; 116 (H. Böhringer)

ESA/Claude Niccolier: 21

ESO (New Technology Telescope): 67 (João Alves); 79 (Fernando Comerón); 83 (Leonardo Testi, Leonardo Vanzani); 137

ESO (Schmidt-Teleskop): 55; 84/85; 97; 140; 171; Nachsatz

ESO (Very Large Telescope): 28; 59; 69 (Ralph Neuhäuser); 71 (Mark McCaughrean); 76/77 (Mark McCaughrean, Morten Andersen); 80 (Mark McCaughrean, João Alves, Hans Zinnecker, Francesco Palla); 86; 90; 96 Einklinker; 96; 101; 103; 104 links; 104 rechts (Markus Feldt und NAOS- und CONICA-Konsortia); 112 (Günther Hasinger); 114 (Patrick Petitjean); 115 (George Miley); 123; 126 (Yannick Mellier); 131; 133 (G. Rupprecht); 183 (R. Fosbury, R. Hook); 194 (EIS)

ESO (Wide Field Imager, 2,2-m-Teleskop von ESO und Max-Planck-Gesellschaft): 2; 12 (Emmanuel Galliano); 16; 36; 48 (Dietrich Baade); 113 (J. Eisloffel); 118/119 (Fernando Comerón); 128; 186 (Mischa Schirmer)

ESO (1,2-m-Euler-Teleskop): 66

ESO (3,6-m-Teleskop): 22 (Richard West); 32 (Richard West); 68; 89; 134/135 (S. Laustsen, J. Surdej)

ESO Historical Photographs Archives: 142/143 (Otto Heckmann); 144 (J. Dommanget); 146 (Adriaan Blaauw); 150 (Adriaan Blaauw); 151 (Eric Maurice); 160/161 (Frank K. Edmondson); 197; 198 (alle); 199, 1. und 3. von oben

Gemini North Telescope/Colin Aspin: 75

Gemini South Telescope: 149; 178

Hans Hermann Heyer, ESO: Vorsatz; 29; 31; 41 oben; 42 beide; 43; 52; 92/93; 157; 200, 1. und 2. von oben

Hubble Space Telescope (NASA/ESA): 76 Einklinker; 91; 100; 139; 191

Gerhard Hüdepohl: 11; 15; 38/39; 45; 47; 50/51

Ed Janssen, ESO: 4, Karte

Dirk Lorenzen: 4, 1. und 3. von oben; 23; 25 links; 25 rechts; 41 unten; 49; 56; 62/63; 120; 155; 175; 196; 204; 207

Claus Madsen, ESO: 8/9; 18/19; 24 oben; 35; 140; 147; 148; 153; 199, 4. und 5. von oben; 200, 3. bis 5. von oben; 201, 3. von oben

Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik/ESA: 108; 111

Thomas Preibisch (Max-Planck-Institut für Radioastronomie, Bonn) und Hans Zinnecker (Astrophysikalisches Institut Potsdam): 72

Royal Observatory Edinburgh (UK Schmidt/Anglo Australian Observatory): 65

Jürgen Stock: 4, unten links; 145; 154; 165 (alle); 166; 167

Massimo Tarenghi, ESO: 201, 6. von oben

Tom Theuns (Max-Planck-Institut für Astrophysik, Garching): 127

Washington University, St. Louis, Missouri: 87 (Sachiko Amari); 88 links (Tom Bernatowicz); 88 rechts (Sachiko Amari)

Hans Zinnecker und Mark McCaughrean (Astrophysikalisches Institut Potsdam): 60 (mit VLT); 61 beide

Herbert Zodet, ESO: 4, 2. von oben, unten rechts; 24 Mitte; 24 unten; 27 beide; 94 beide; 95; 105; 142 oben; 201, 1., 2., 4. und 5. von oben; 202/203; 205

Vorsatz-Foto:

Brüten in der Atacama. ESO-Fotograf Hans Hermann Heyer hat auf seinen Streifzügen durch die Atacama dieses Gelege einer Seemöwe entdeckt – gut 25 Kilometer von der Küste entfernt. Im Hintergrund Paranal mit der Plattform.

IMPRESSUM

Umschlaggestaltung von eStudio Calamar unter Verwendung von vier Farbaufnahmen der Europäischen Südsternwarte ESO

Mit 153 Farbfotos und 33 s/w-Fotos

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme
Ein Titelsatz für diese Publikation ist bei der Deutschen Bibliothek erhältlich

Bücher · Kalender · Spiele · Experimentierkästen · CDs · Videos
Natur · Garten & Zimmerpflanzen · Heimtiere · Pferde & Reiten · Astronomie · Angeln & Jagd · Eisenbahn & Nutzfahrzeuge · Kinder & Jugend

KOSMOS Postfach 10 60 11
D-70049 Stuttgart
TELEFON +49 (0)711-2191-0
FAX +49 (0)711-2191-422
WEB www.kosmos.de
E-MAIL info@kosmos.de

Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier

© 2002, Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co., Stuttgart
Alle Rechte vorbehalten
ISBN 3-440-09246-1

Lektorat und Redaktion: Harro Schweizer, Berlin
Gestaltungskonzept: eStudio Calamar
Satz und Layout: Prill Partners | producing, Berlin
Reproduktion: LVD GmbH, Berlin
Produktion: Siegfried Fischer, Stuttgart
Printed in Germany / Imprimé en Allemagne
Druck und Bindung: Appl Druck, Wemding

Nachsatz-Foto:

Brüten im Kosmos. Aus der nierenförmigen Wolke Barnard 68 bilden sich innerhalb der nächsten paar hunderttausend Jahre Sterne und Planeten. Die markante Dunkel- oder Molekülwolke steht 500 Lichtjahre entfernt in einem

dichten Sternfeld mitten in der Milchstraße im Sternbild Schlangenträger, nahe dem Zentrum unserer Galaxis. Die Sonne und unser Planetensystem sahen vor gut 4,5 Milliarden Jahren vermutlich ganz ähnlich aus.