

**Zeitschrift:** Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft  
**Herausgeber:** Schweizerische Astronomische Gesellschaft  
**Band:** 50 (1992)  
**Heft:** 249

**Artikel:** Zehn Meter : das Keck-Teleskop auf Hawaii kurz vor der Vollendung  
**Autor:** Alean, J.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-898991>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 23.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**



# Zehn Meter

## Das Keck-Teleskop auf Hawaii kurz vor der Vollendung

VON J. ALEAN

Neuentwicklungen von astronomischen Instrumenten haben immer wieder zu spektakulären Entdeckungen und Erkenntnissen geführt, die das Weltbild jeweils nachhaltig veränderten. Ein solch bedeutsamer Schritt war die Entwicklung des achromatischen Linsenobjektives. Mit einem vortrefflichen Refraktor Joseph von Fraunhofers gelang Friedrich Wilhelm Bessel 1838 erstmals die Bestimmung einer Sternparallaxe und damit die erste echte Entfernungsmessung eines Sterns. Die detaillierte Erforschung des interstellaren und extragalaktischen Raumes erfolgte aber erst mit Hilfe grosser Spiegelteleskope.

### Grosse Reflektoren

Die Frage nach der Natur der Galaxien wurde mit den gewaltigen Spiegelteleskopen beantwortet, die George W. Ritchey und George E. Hale zu Beginn dieses Jahrhunderts in den USA entwickelten und bauten. Mit dem 1917 vollendeten 2.5 Meter-Hooker-Teleskop auf dem kalifornischen Mount Wilson gelangen trotz mangelhafter Empfindlichkeit der damaligen Fotoplatten Aufnahmen, die Sterne benachbarter Galaxien zeigen. Die extragalaktische Natur der Spiralnebel war bewiesen, und mit Hilfe der Perioden-Leuchtkraft-Beziehung der Cepheiden waren bald einmal die Distanzen der Sternsysteme bestimmt.

Während man für den Spiegel des Hooker-Teleskops noch gewöhnliches Glas verwendete, wagte Hale für den 5 Meter-Reflektor von Mount Palomar den Einsatz des neuartigen Materials Pyrex, dessen sehr geringer Ausdehnungskoeffizient den Schliff vereinfachte und garantierte, dass sich die Form bei der nächtlichen Abkühlung nicht allzu sehr veränderte. Während das Hooker-Teleskop schon längst eingemottet ist (allerdings nicht zuletzt wegen der katastrophalen Lichtverschmutzung durch die Millionenstadt Los Angeles), arbeitet das zu Ehren seines Erbauers als "Hale-Reflektor" bezeichnete Instrument bis zum heutigen Tag einwandfrei.

Es hat bereits über 13'000 Beobachtungsnächte hinter sich und gestattete seinen Benutzern, wichtige Kapitel der neueren Astronomiegeschichte zu schreiben: Mit ihm und seinen Spektrographen wies Edwin P. Hubble die Fluchtbewegung der Galaxien nach, die ihrerseits dazu verwendet werden kann, selbst die Distanzen zu den allerfernsten Sternsystemen abzuschätzen.

Seit der Inbetriebnahme des 5 Meter-Reflektors im Jahr 1948 (die Hale übrigens nicht mehr miterlebte) wurden jahrzehntelang keine weiteren Teleskope gebaut, die es an Leistungsstärke übertrafen, wenn auch inzwischen Instrumente der 4 Meter-Klasse in Arizona, Hawaii, Spanien, Chile und Australien stehen. Die weiteren Fortschritte der Astronomie basierten in erster Linie auf der Erschliessung neuer Spektralbereiche (Radio- und Infrarotastronomie, Satelliten-Observatorien: UV-, Röntgen-, und Gammaastronomie). Zudem wurde die Leistungsfähigkeit bestehender

Teleskope durch den Einsatz von Lichtverstärkern und neuer Sensoren um ein bis zwei Grössenordnungen gesteigert. Die Lichtempfindlichkeit moderner CCD-Chips übertrifft diejenige fotografischer Filme bei weitem, so dass die Astronomen aus einem Fernrohr ungleich mehr herausholen können als noch vor einigen Jahren.

Ende der achtziger Jahre ist allerdings wieder Bewegung in die Szene des Baus optischer Teleskope gekommen. 5 Meter gilt nicht mehr als unüberwindbare Grenze, und wenn alles gut geht, werden wir innerhalb des nächsten Jahrzehnts die Vollendung von mindestens 9 Observatorien mit Instrumenten von mehr als 6.5 Metern Öffnung erleben [3]. Das erste von ihnen, das 10 Meter-Keck Teleskop auf Hawaii steht kurz vor der Vollendung.

### Neue Wege im Teleskopbau

Die Herstellung solcher Riesenteleskope ermöglichen trotz der seit 1949 enorm gestiegenen Baukosten in erster Linie die folgenden vier Neuerungen:

- 1) Unkonventionelle Herstellungstechniken für die Hauptspiegel;
- 2) der Einsatz aktiver Optik;
- 3) Leichtbauweise und
- 4) azimutale Montierungen.

Das Gewicht und die Brennweite des Hauptspiegels bestimmen das Gewicht des Teleskoptubus, dieser wiederum das der Montierung, und die Dimensionen von allem zusammen die Grösse der Kuppel. Grosse Teleskope sind nur dann einigermaßen erschwinglich, wenn der Primärspiegel möglichst leicht ist und ein möglichst grosses Öffnungsverhältnis, also eine kurze Brennweite hat.

Geringes Gewicht lässt sich durch zwei grundverschiedene Strategien erzielen: Entweder, man baut den Primärspiegel als "Sandwich" verschiedener, hohler Einzelkomponenten zu konventioneller Dicke auf, die eine genügende Formsteifigkeit ergibt. Oder man macht ihn zwar so dünn, dass er sich je nach Lage um viel zu grosse Beträge durchbiegt, drückt ihn aber mit Hilfe zahlreicher mechanischer Tragstempel in der Fassung immer wieder in die richtige Form. Ein solches System wird als "aktive Optik" bezeichnet.

Der zweite Weg wurde erstmals für das New Technology Telescope (NTT) der Europäischen Südsternwarte (ESO) in Chile begangen. Sein 3.58 Meter grosser Primärspiegel ist nur 24 Zentimeter dick (Durchmesser zu Dicke-Verhältnis 15:1 statt wie üblich etwa 6:1) und liegt auf 75 beweglichen, axialen Stempeln. Natürlich muss ein Bildanalysator dauernd die Deformation messen, damit ein Computer die notwendigen Befehle zur "Rückverbiegung" geben kann.

Das NTT wurde durch das sehr grosse Öffnungsverhältnis von 1:2.2 zusätzlich verbilligt. Dank der kurzen Baulänge genügt eine Kuppel, die weitaus kleiner ist als beim benachbarten, älteren 3.6 Meter-Teleskop der ESO. Mechanisch weitaus weniger anspruchsvoll (und damit natürlich





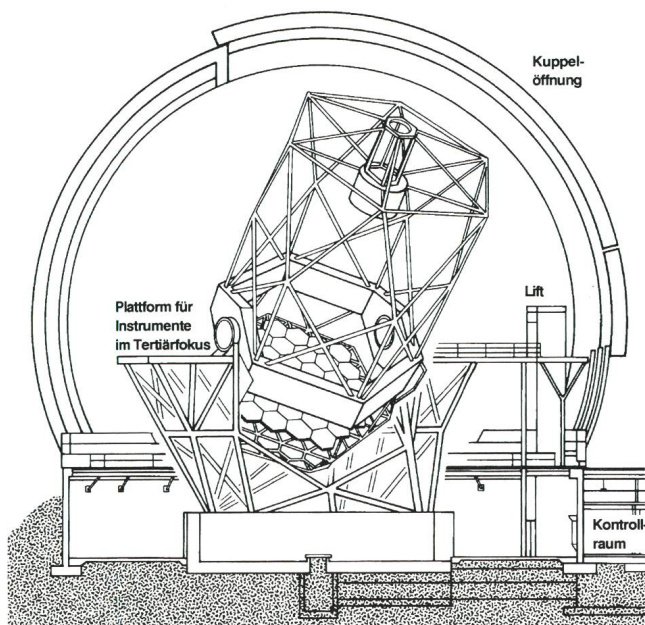
billiger) ist auch die azimutale Montierung, wenn sie auch das – ebenfalls computergesteuerte – Nachführen um zwei Achsen und mit variabler Geschwindigkeit erforderlich macht. Tatsächlich kostete das NTT "nur" 24 Millionen Deutsche Mark, statt 70 Millionen bei seinem gleich grossen, älteren Nachbarn (für eine detaillierte Beschreibung des NTT siehe [1]). Man bekommt also heutzutage mehr Teleskop für sein Geld als früher.

Grosse Spiegel kleiner Oeffnungsverhältnisse werden neuerdings im Schleudergussverfahren hergestellt [4]: Die Form mit dem glutflüssigen Spiegelrohling dreht sich um ihre senkrechte Achse. Weil sich dann bereits eine parabolische Oberfläche einstellt, muss man nachher nicht tonnenweise Glas herausschleifen, um die bei kurzer Brennweite stark konkave Oberfläche zu erzielen. 8 Meter-Spiegel wurden so möglich, und bereits im Bau ist das Very Large Telescope (VLT) der ESO. Es wird aus vier identischen Einzelteleskopen bestehen, die man entweder separat oder zusammengeschaltet verwenden kann, einerseits um das Lichtsammelvermögen eines einzigen 16 Meter-Instruments zu simulieren und andererseits, um optische Interferometrie zu ermöglichen [9].

### Optisches Zusammensetzspiel

Einen ganz und gar anderen Weg begehen die Konstrukteure des W. M. Keck-Teleskops, das demnächst als grösstes der Welt (bis zur Vollendung des VLT der ESO) "Erstes Licht" feiern wird. Es ist ein Gemeinschaftsprojekt der University of California und dem California Institute of Technology. 70 der auf rund 94 Millionen US\$ geschätzten Kosten stammen aus einer zweckgebundenen Spende der W. M. Keck Foundation.

Bild 1) Querschnitt durch die Kuppel und schematische Zeichnung des 10 Meter-Teleskops. Leicht verändert nach [2]. Die Bilder 4, 5 und 6 entstanden von der oberen, durch den Lift zugänglichen Plattform aus bei horizontaler Lage des Teleskops.



Von Anfang an war geplant, den Zehnmeterspiegel nicht aus einem Block zu formen, sondern aus sechseckigen Segmenten zusammenzusetzen. Ein erster Vorteil dieser Technik ist, dass für die 36 Spiegelteile Glasdicken von 75 Millimetern genügen, also nicht viel mehr als bei einem grossen Amateurfernrohr. Wie wir oben gesehen haben, kann dadurch das gesamte Instrument sehr leicht gebaut werden. Zwar wird es schlussendlich doch 298 Tonnen auf die Waage bringen – das ist aber weniger als Dreiviertel des Gewichts des Hale-Teleskops auf Mount Palomar, dessen 5 Meter-Spiegel ja "nur" einen Viertel soviel Licht sammelt wie "Keck".

Ein zweites Plus besteht darin, dass einige zusätzliche Spiegelsegmente "auf Vorrat" hergestellt werden können. Diese Reservesegmente können zum Beispiel dann eingesetzt werden, wenn die anderen neu verspiegelt werden müssen. Ein Schaden an irgend einem Segment wird zudem nie den ganzen Spiegel ruinieren, selbst wenn das Teleskop mit weniger als der vollen Anzahl und damit mit etwas verminderter Lichtstärke operieren müsste (ganz abgesehen davon wissen die Techniker auf Hawaii bis heute nicht, wie sie auch nur den 8 Meter-Spiegel des zukünftigen Japanischen Nationalen Teleskops "en bloc" auf den Mauna Kea befördern sollen, wo er dereinst dem "Keck" Gesellschaft leisten soll).

Das technische Wunderwerk hat allerdings auch seinen Preis, sonst würden ja bereits alle Grossteleskope wie das "Keck" zusammengestückt. Als grösste Hürde erwies sich erwartungsgemäss der Schliff der Segmente (die, nebenbei bemerkt, natürlich alle asphärische und asymmetrische Oberflächen haben müssen, da sie ja allesamt abseits der optischen Achse des Teleskops installiert werden). Weil man nach dem Schleifen diejenigen Restflächen abschneiden muss, die aus dem kreisförmigen einen hexagonalen Spiegel machen, entstehen im Glas Spannungen, die seine Form besonders am Rand verändern. Dieses Problem wurde schlussendlich dadurch gemeistert, dass man dem Glas arge Gewalt antat: Die Spiegelrohlinge werden beim Schliff derart vorgespannt, dass sie mehr oder weniger in die richtige Form zurückspringen, wenn man sie nach dem Schliff loslässt. Ganz stimmt es zwar auch dann noch nicht, doch kann man mittels 30 Spannfedern in jeder der 36 Spiegelaufhängungen die Segmente noch besser zurechtbiegen.

Das beschriebene Prozedere lässt wohl jedem Optiker die Haare zu Berge stehen, doch haben erste Tests mit neun provisorisch installierten Segmenten ergeben, dass 80% des einfallenden Lichtes innerhalb eines Kreises von nur 0.5 Bogensekunden Durchmesser abgebildet wird. Das dürfte genügen, die Bildqualität auf dem Mauna Kea ausser in ganz besonderen Fällen völlig ausnützen zu können. Was ihm in der Nacht der Nächte an Schärfe vielleicht doch noch abgehen wird, dürfte das Instrument durch seine brachiale Lichtgewalt wettmachen.

Selbstverständlich ist die "Keck"-Optik aktiv. Die 14.4 Tonnen Glas ruhen auf 108 axialen Stempeln (Bilder 2 und 6). 168 Sensoren messen nicht nur Deformationen in Längsrichtung, sondern auch die seitlichen Abstände der Segmente (die betragen im Durchschnitt nur 3 Millimeter). Sie arbeiten rein mechanisch, d.h. die Deformation wird nicht optisch an einem Referenzstern bestimmt. Tatsächlich notwendig wären nur 63 Sensoren, viele dienen der zusätzlichen Sicherheit. Das Teleskop würde weiterfunktionieren, wenn gleich Dutzende ausfallen würden, doch



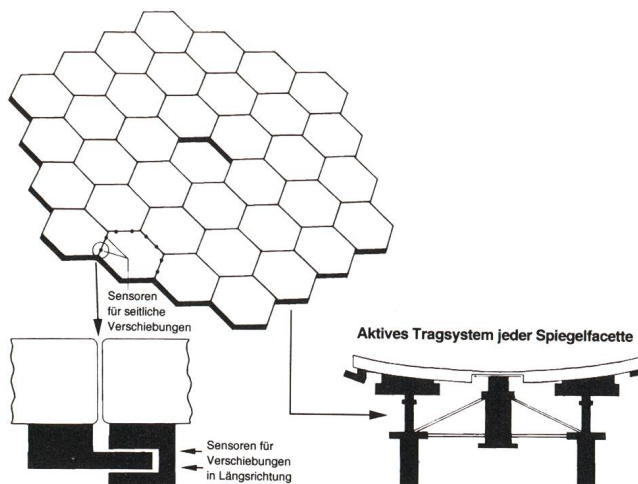


Bild 2) Schematische Darstellung des Primärspiegels (links oben) und des Tragsystems jeder der 36 Spiegelfacetten (rechts unten).

dürften selbstverständlich nicht alle 12 eines Einzelsegmentes gleichzeitig streiken. Der Kontrollcomputer liest alle Sensoren zweimal pro Sekunde ab. Nach dem Schwenken des Teleskops (und der dadurch verursachten Verbiegung) drückt er das Spiegelmosaik mit Hilfe der motorisierten axialen Stempel innerhalb von höchstens 10 Sekunden in die richtige Form zurück.

Eben erst vollendet wurde der 1.45 Meter grosse Sekundärspiegel (man stelle sich einen Fangspiegel von diesem Kaliber vor!), der mit seiner extrem stark konvexen Oberfläche zusammen mit dem  $f/1.75$ -Hauptspiegel ein  $f/15$ -Öffnungsverhältnis liefert [6]. Ein planer, auf einem kurzen Turm vor dem Hauptspiegel fixierter Tertiärspiegel fängt das Licht auf der Höhe der Elevationsachse der Montierung ab und wirft es quer wahlweise durch die eine oder andere Seite auf eine "Nasmyth-Plattform" wo schwere Spektrographen aufgebaut werden können.

### Augenschein auf dem Mauna Kea

Der Autor hatte 1988 erstmals anlässlich eines Hawaii-Aufenthaltes die Gelegenheit, den Gipfel des Mauna Kea zu besuchen. Damals war eben erst die Kuppel des Keck-Observatoriums fertig, doch glich der Ort noch einer Grossbaustelle. Auch war die Zufahrtsstrasse ab dem 2800-Meter-Niveau zwar breit angelegt, aber noch nicht asphaltiert.

1991 erfolgte ein zweiter Besuch im Anschluss an die totale Sonnenfinsternis vom 11. Juli (über die unsäglichen Wetterbedingungen und was man von Hawaii aus als Amateur von diesem Ereignis noch sehen konnte, wurde bereits in [10] berichtet). Besucher werden nur nach vorgängiger, schriftlicher Anmeldung empfangen (Korrespondenz ist zu richten an: California Association for Research in Astronomy; The W.M. Keck Observatory and Keck Telescope; P.O. Box 220, Kamuela, HI 96743, Hawaii/USA).

Trotz des grossen Andranges als Folge der amateurastronomischen (und auch professionellen) "Invasion" Hawaiis im Zusammenhang mit der Finsternis wurden wir äusserst zuvorkommend und grosszügig behandelt. Offensichtlich ist

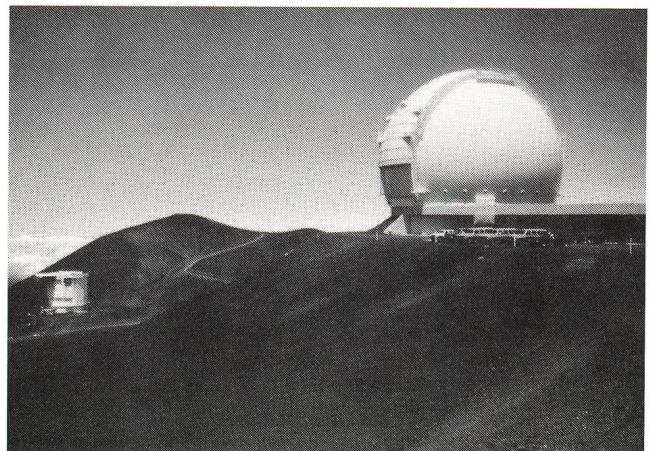
man sich des Wertes von astronomischer Öffentlichkeitsarbeit voll bewusst, selbst bei dieser Institution, die nicht in erster Linie durch staatliche (und daher letztlich durch Steuer-) Gelder finanziert wird.

Am Morgen des 17. Juli empfängt uns Frau Mary-Beth Murrill in ihrer Eigenschaft als "Communications Assistant" in der Unterkunft der Astronomen, dem Hotelkomplex von Hale Pohaku auf 2800 Metern über Meer. In amerikanisch unkomplizierter Manier stellt man sich mit Vornamen vor, und nach einer Verschnaufpause aus Rücksicht auf die Atemfrequenz der nicht höhenadaptierten Flachlandbewohner werden wir im allradgetriebenen Auto bergwärts kutschiert. Auf der inzwischen asphaltierten Strasse sind übrigens Privatautos vorerst noch zugelassen, sofern sie ebenfalls mit Vierradantrieb ausgerüstet sind. Diese Einschränkung wird wohl eher zur Eindämmung des Verkehrs als aus einer technischen Notwendigkeit heraus gemacht. Die Fahrt jedenfalls führt durch eine bald einmal wüstenartige, von kleineren und grösseren, farbenprächtigen Vulkankegeln übersähten Landschaft bergan. In der Gipfelregion findet man sich umgeben von rund einem Dutzend weiss und silbrig glänzender Observatorien, die dem Ganzen ein äusserst futuristisches Gepräge verleihen.

Das Keck-Observatorium steht nicht auf dem höchsten Gipfel des Mauna Kea. Jener wird aus Rücksicht auf den Glauben der polynesischen Einheimischen frei gehalten. Der zweithöchste Schlackenkegel ist zudem bereits vom "Canada-France-Hawaii-" und vom "United Kingdom Infrared-Telescope" besetzt. Die paar wenigen Höhenmeter werden aber das "Keck" in keiner Weise benachteiligen, es verfügt praktisch rundherum über einen Nullhorizont, und der Blick schweift aus 4150 Metern Meereshöhe unbehindert über die Scharen kleiner Passatwölkchen, die für diese Tageszeit unterhalb von rund 3000 Metern typisch sind (Bild 3). Darüber wölbt sich ein fast schwarzblauer Himmel - und einmal mehr fragen wir uns, weshalb das Wetter ausgerechnet am 11. Juli...

Jetzt aber treten wir unter der massigen Kuppel in das Gebäude ein, besuchen kurz den mit Batterien von Computern besetzten Kontrollraum und benützen schliesslich voller Spannung den Lift zum Kuppelgang. Nachdem die

Bild 3) Das Kuppelgebäude des Keck-Teleskops. Links unten ist das Maxwell-Submillimeterradioteleskop erkennbar. Damit es von terrestrischen Störsendern möglichst gut geschützt ist, steht es in einer Mulde statt auf einem der Kratergipfel.







Türe aufgeht, werde ich von einem völlig unerwarteten Sinneseindruck völlig überwältigt: Hier ist es also, aber wir stehen nicht neben, sondern mitten drin, im Teleskop! So enorm gross, doch gleichzeitig spinnenartig filigran und damit "durchsichtig" ist das Gerät, und so eng umschliesst es die Kuppel, dass man immer derart nahe daran steht, dass es tatsächlich den Anschein macht, als stünde man nicht neben, sondern im Innern des Teleskops. Verstärkt wird die Sinnestäuschung noch dadurch, dass das Instrument in horizontaler Lage parkiert wird: Zu gross ist die Spiegelöffnung, und alle Versuche mit einem Abdecksystem für den Primärspiegel schlugen fehl, so dass man ihn heute lieber offen lässt. Damit er möglichst wenig verstaubt, soll das Gerät natürlich nur dann nach oben "blicken", wenn es auch beobachtet.

Wie bei einem Spiegelteleskop üblich, sieht man den Hauptspiegel erst auf den zweiten Blick, und zwar einfach deshalb, weil er so gut reflektiert. Neun Segmente sind bei unserem Besuch bereits montiert (Bild 4), bei der Niederschrift dieses Berichtes (November 1991) sind es bereits 18 (Bild 5). Glücklicherweise habe ich ein Ultraweitwinkel-Objektiv dabei und kann so wenigstens die Primärspiegelzelle als ganzes auf den Film bannen. Was 10 Meter Durchmesser bedeuten, wird mir schliesslich auf zweierlei Arten klar: Erstens, als ich meine Begleiter bitte, sich hinter der Spiegelaufhängung als "Vergleichsobjekte" zu postieren und zweitens, als wir mit dem Lift Stockwerke abwärts fahren und danach immer noch quer in den "Tubus" hineinschauen. Frau Murrill gibt noch einige Erklärungen ab, doch dürfte sie sich bereits daran gewöhnt haben, dass Besucher angesichts dieses Riesenapparates kaum mehr zuhören und mit Stativ und Kamera versuchen, wenigstens einige Erinnerungen im Bild festzuhalten.

Schliesslich geht unser Rundgang zu Ende, und wir konfrontieren unsere Gastgeberin mit dem Gedanken, dass wir vom Mauna Kea zu Fuss hinunterzumarschieren gedenken. Sie findet dieses Vorhaben ziemlich seltsam, doch wollen wir natürlich noch bei den anderen Observatorien mindestens einen "äusserlichen" Augenschein nehmen. Danach wandern wir noch zu jenem merkwürdigen, kleinen See, der sich auf etwas über 4000 Metern Höhe hinter einem Schlackenkegel verborgen hält. Erstaunlicherweise leben am

Ufer dieses höchstgelegenen Gewässers der Vereinigten Staaten Massen von Marienkäfern, und sogar einige Miniatur-Löwenzahnblüten bringen etwas zusätzliche Farbe in die ziemlich unwirtliche Landschaft. Schliesslich marschieren wir vorbei an Lavafelsen, die von eiszeitlichen Gletschern überschiffen wurden und sogar entlang von Moränen talwärts. Immer mehr Blumen bringen uns zu Bewusstsein, dass wir uns doch nicht im Weltraum, sondern immer noch auf Mutter Erde befinden.

### Zukunftsmusik

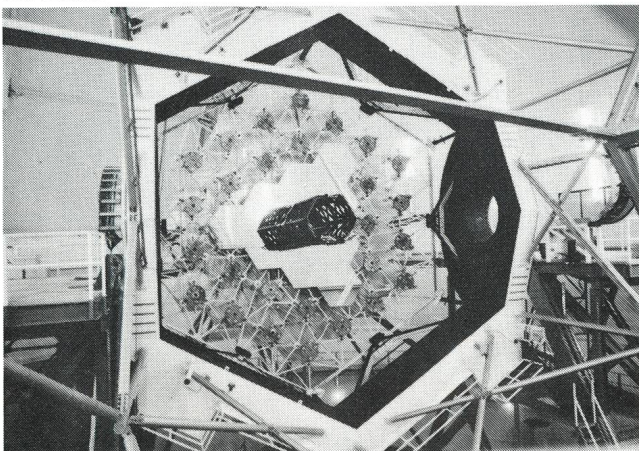
Noch bevor "Keck I" mit allen 36 Segmenten "Erstes Licht" hat, sind die Vorbereitungen für den Bau eines Zwillingengerätes, dem "Keck II" in Gang [5]. Die Bildqualität, die "Keck I" mit nur neun provisorisch installierten Spiegelsegmenten bereits erreichte, stärkte das Vertrauen in die neuartige Technik derart, dass bereits Gelder für das weitgehend identische Nachfolgeinstrument bereitgestellt wurden. Es wird mit dem ersten für optische Interferometrie zusammengeschaltet werden können, analog zu den vier 8 Meter-Teleskopen des VLT der ESO. Unabhängig von dieser Möglichkeit wird ein solcher Druck auf die verfügbare Beobachtungszeit erwartet, dass man gar nicht genug "Kecks" haben kann, um die Bedürfnisse der Astronomen zu befriedigen. Die Inbetriebnahme könnte, wenn alles gut geht, schon 1996 erfolgen. Beide zusammen hätten dann mehr Lichtsammelvermögen als die zehn grössten, derzeit bereits installierten Teleskope der Welt!

Und schliesslich stelle man sich vor, dass jedes der beiden 10 Meter-Instrumente "nur" etwa ein Fünfzehntel dessen kostet, was für das Hubble-Weltraumteleskop ausgegeben wurde, bevor seine optische Defizienz erkannt wurde. Letztere wird ja im günstigsten Fall eine, vielleicht aber sogar mehrere teure "Rettungsaktionen" in Form von Space Shuttle-Flügen notwendig machen. Oben bei den "Kecks" ist zwar die Luft auch schon dünn, aber man kann immer noch in Hemdsärmeln daran flicken, sollte einmal etwas schiefgehen.

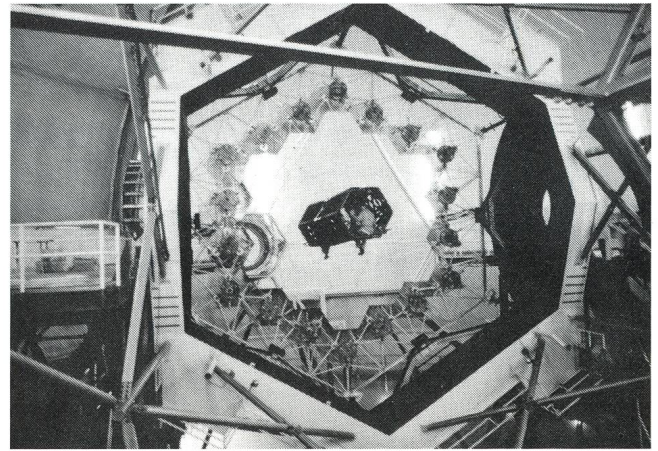
### Dank

Der zweite Besuch auf Hawaii wurde durch die Gottfried R. Friedli-Stiftung, Bülach, massgeblich unterstützt.

*Bild 4) Blick von vorne gegen den Primärspiegel. Es sind auf dieser Aufnahme vom Juli 1991 erst 9 der 36 Segmente eingebaut (vergleiche Bild 5). Die Sekundärspiegelzelle ist rechts ausserhalb des Bildes.*



*Bild 5) Ähnliche Ansicht wie bei Bild 4, aber einige Monate später. Nun sind 18 Segmente montiert. Im Tertiärfokus sitzt ein Techniker! Aufnahme Keck-Observatorium.*





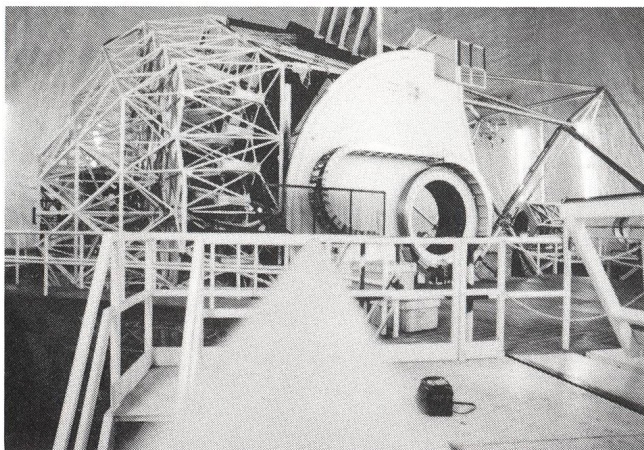


Bild 6) Blick von "hinten rechts," gegen das Teleskop. Die gitterartige Struktur links ist die Spiegelzelle mit den motorisierten, axialen Stempeln. Das grosse, runde Loch etwas rechts der Mitte ist die Elevationsachse, durch die das Licht vom Tertiärspiegel zum Nasmyth-Fokus gelangt. Zwischen und unter den beiden Leuchtstoffröhren (rechts) ist die Aufhängung des Sekundärspiegels erkennbar.

#### Auswahl bestehender und geplante Grossteleskope

Daten unter anderem aus [3]

Gerät	Hauptspiegel- durchmesser	Kommentare
Hale-Teleskop, Mt. Palomar, Kalifornien	5.08 Meter	Öffnungsverhältnis des Hauptspiegels 1:3.3, seit 1948 in Betrieb
Selentschuk-Observatorium, UdSSR	6 Meter	Öffnungsverhältnis des Hauptspiegels 1:4, azimutale Montierung, problematische optische Qualität, seit 1976 in Betrieb
New Technology Telescope, La Silla, Chile	3.58 Meter	European Southern Observatory; Öffnungsverhältnis des Hauptspiegels 1:2.21, Leichtbauweise, azimutale Montierung, aktive Optik, seit 1989 in Betrieb
Keck Teleskop Mauna Kea, Hawaii	10 Meter	Spiegel aus 36 Segmenten, Öffnungsverhältnis des Hauptspiegels 1:1.751, azimutale Montierung; teilweise fertiggestellt
Very Large Telescope, Cerro Paranal, Chile	4 x 8.2 Meter (entspricht einem 16m-Teleskop)	European Southern Observatory; 4 identische Teleskope mit dünnen, aktiven Glaskeramiksiegeln, zusammenschaltbar.
Columbus, Mt. Graham, Arizona	2 x 8.4 Meter	Italien / Ohio State University / University of Arizona; zwei identische Spiegel aus Borsilikat und mit einer Sandwich- und Wabenstruktur
Magellan	8 Meter	Carnegie Institution / John Hopkins University / University of Arizona, Spiegel aus Borsilikat und mit einer Sandwich- und Wabenstruktur
NOAO - Nord	8 Meter	USA / Grossbritannien / Kanada, Spiegel aus Borsilikat und mit einer Sandwich- und Wabenstruktur
NOAO - Süd	8 Meter	USA / Grossbritannien / Kanada, Spiegel aus Borsilikat und mit einer Sandwich- und Wabenstruktur
Japanisches Nationales Grossteleskop	8 Meter	National Astronomy Observatory of Japan, Öffnungsverhältnis des Hauptspiegels 1:1.81, dünner, aktiver Hauptspiegel
MMT - Konversion	6.5 Meter	Erstz der vier zusammen montierten Spiegel des Multiple Mirror Telescope durch einen einzigen Spiegel aus Borsilikat und mit einer Sandwich- und Wabenstruktur
Deutsches Grossteleskop	12 Meter	Zentraler 8-Meter-Spiegel mit 2 Meter breitem Kranz von Spiegelteilen, azimutale Aufstellung in einem Gebäude, das sich mit dem Teleskop dreht.

#### Literatur:

- [1] GOCHERMANN J., Das ESO-NTT: ein Teleskop der neuen Generation, Sterne und Weltraum September 1988, S. 516ff.
- [2] SINNOT R.W., The Keck Telescope's Giant Eye, Sky & Telescope, Juli 1990, S. 15ff.
- [3] MARTIN B., HILL J.M., ANGEL R., The New Ground-based Optical Telescopes, Physics Today, März 1991
- [4] JACOBSEN A. UND MÜLLER R., 50 Quadratmeter höchste Präzision, Sterne und Weltraum Januar 1990, S. 20ff.
- [5] Sky & Telescope, August 1991, S. 119
- [6] Sky & Telescope, Oktober 1991, S. 349
- [7] Sky & Telescope, November 1991, S. 456
- [8] Lexikon der Astronomie, Herder Verlag, Freiburg im Breisgau, 1989
- [9] CRAMER N., Le VLT sera au Paranal, Orion Februar 1991, S.7&8
- [10] ALEAN J., BAER T., Versteckspiel mit den Wolken - Die totale Sonnenfinsternis vom 11. Juli 1991 in Hawaii, Orion Februar 1992.

Adresse des Autors

DR. JÜRG ALEAN

Kasernenstrasse 100, 8180 Bülach

#### Daten zum Keck-Teleskop

Literatur [2]

##### Hauptspiegel

Effektiver Durchmesser:	9.82 Meter
Maximaler Durchmesser:	10.95 Meter
Spiegeloberfläche:	75.76 Quadratmeter
Form:	Konkaves Hyperboloid, sechseckig
Anzahl Segmente:	36
Seitliche Abstände der Segmente:	3 Millimeter
Krümmungsradius:	35 Meter
Gesamtes Glasgewicht:	14.4 Tonnen
Axiale Tragstempel:	108 (3 pro Segment)
Deformationssensoren:	168 (6 bis 12 pro Segment)
Deformations-Messzyklus:	0.5 Sekunden
Dauer der Neueinstellung der Form nach dem Schwenken:	10 Sekunden

##### Einzelne Segmente

Toleranz der Brennweite:	0.2 Millimeter
Form:	hexagonal
Grösster Durchmesser:	1.8 Meter
Dicke:	75 Millimeter
Glas:	Schott Zerodur
Gewicht:	400 Kilogramm

##### Sekundärspiegel

Form:	Konvexes Hyperboloid, rund
Durchmesser:	1.4 Meter
Krümmungsradius:	4.73 Meter
Distanz vom Hauptspiegel:	15.4 Meter
Resultierender Bildmassstab:	0.7 Bogensekunden pro Millimeter
Nutzbarer Bildfelddurchmesser:	0.33 Grad

##### Montierung

Art:	azimutal
Gewicht mit Teleskop:	298 Tonnen

##### Kuppel

Höhe:	31 Meter
Breite:	37 Meter
Gewicht:	700 Tonnen
Austausch der Innenluft:	in 5 Minuten

##### Standort

Lage:	Mauna Kea, 4150 Meter über Meer
Mittlere Windgeschwindigkeit:	25 km/h
Jahresmitteltemperatur:	0 Grad Celsius
Anzahl klare Nächte pro Jahr:	250
Typische relative Luftfeuchtigkeit:	unter 10%
Bildschärfe (Seeing):	besser als 1 Bogensekunde für mindestens die Hälfte der Zeit



**CELESTRON**

# Super-Spezial-Angebot

gültig bis  
31. Mai 1992

## 20% Rabatt

auf folgende Geräte:

	Verkaufspreis	<i>Spezialpreis</i>
<b>CELESTRON COMPUSTAR 8</b> (Brennweite 2030 mm • Spiegel ø 203 mm • f/10)	11 500.—	<b>9 200.—</b>
<b>CELESTRON TUBUS 14"</b> (Brennweite 3910 mm • Spiegel ø 356 mm • f/11)	16 500.—	<b>13 200.—</b>
<b>CELESTRON C14</b> (Brennweite 3910 mm • Spiegel ø 356 mm • f/11)	25 900.—	<b>20 720.—</b>
<b>CELESTRON COMPUSTAR 14</b> (Brennweite 3910 mm • Spiegel ø 356 mm • f/11)	36 900.—	<b>29 520.—</b>

**Zubehör gemäss aktueller Preisliste**

Für weitere Informationen wenden Sie sich bitte an den CELESTRON-Händler Ihrer Region oder an die Generalvertretung für die Schweiz:

**proastro****P. WYSS PHOTO-VIDEO EN GROS**Dufourstr. 124  
8034 ZürichTelefon 01 383 01 08  
Telefax 01 383 00 94**Der****CELESTRON**

**Händler Ihrer Region  
gibt Ihnen gerne  
weitere Informationen.**

**Ramstein Optik AG**Sattelgasse 4  
Basel  
061 261 58 88**Daniel Baumann**Rue du Château 10  
La Sarraz  
024 53 10 59**Brillen Trotter AG**Martin-Disteli-Str. 46  
Olten  
062 26 23 10**Bärtschi Optik AG**Zeitglockenlaube 4  
Bern  
031 22 77 44**Muller de Malm  
Optique SA**Place St-François 4  
Lausanne  
021 312 85 31**Optik Walz AG**Unterer Graben 1  
St. Gallen  
071 22 63 01**Droguerie-Photo  
Ledermann SA**Rue du Canal 24  
Bienne  
032 22 41 51**Ottico  
P. Michel**Via Nassa 9  
Lugano  
091 23 36 51**Schwarz-Gloor  
Opticien SA**Rue du Lac 48  
Yverdon-les-Bains  
024 21 22 60**Ottico Michel**Corso S. Gottardo 32  
Chiasso  
091 44 50 66**Ecker AG**Kapellplatz 10  
Luzern  
041 51 29 30**Kochoptik AG**Bahnhofstrasse 11  
Zürich  
01 221 23 50Generalvertretung  
für die Schweiz:**proastro****P. WYSS PHOTO-VIDEO EN GROS**Dufourstr. 124 Tel. 01 383 01 08  
8034 Zürich Fax 01 383 00 94**Photo Hall SA**Confédération 5  
Genève  
022 310 14 24**Valcentre Optique**Rue de la Poste 3  
Martigny  
026 22 54 54**Foto Shop Schaerer**Pelikanstrasse 8  
Zürich  
01 221 21 44