

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 112 (1994)  
**Heft:** 12

**Artikel:** Hubble-Reparatur erfolgreich: erste Bilder nach der Reparatur sind scharf  
**Autor:** Schmidt, Men J.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-78405>

### **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:** 16.01.2026

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

# Hubble-Reparatur erfolgreich

Erste Bilder nach der Reparatur sind scharf

**Die Astronauten der Space-Shuttle-Mission STS-61 mit der Raumfähre Endeavour haben ganze Arbeit geleistet. In einer elftägigen Mission vom 2. bis zum 13. Dezember des vergangenen Jahres wurde das 1990 gestartete Weltraumteleskop Hubble gewartet und gleichzeitig der Fehler im Hauptspiegel mit einer «Kontaktlinse» korrigiert. Die ersten Testbilder nach der Reparatur zeigen, dass die Mission ein voller Erfolg war. Massgeblich Anteil am Gelingen des Unternehmens hatte auch der Schweizer Astronaut Claude Nicollier.**

Am 2. Dezember 1993, einen Tag später als geplant, hob die Raumfähre Endeavour mit sechs Astronauten und

VON MEN J. SCHMIDT, GOSSAU

einer Astronautin an Bord zur wohl herausforderndsten bemannten Mission seit der Mondlandung ins All. Ziel des Unternehmens war die Wartung und Reparatur des Weltraumteleskops Hubble. In fünf Aussenbordeinsätzen mit je zwei Astronauten mussten verschiedene Komponenten am Instrument ausgetauscht oder ersetzt werden.

## «Kurzichtiges» Weltraumteleskop

Bei der Inbetriebnahme des Weltraumteleskops Hubble (HST) im Sommer 1990 stellten die Fachleute fest, dass der Hauptspiegel falsch geschliffen worden war. Zwar war der Fehler minim (fünzigmal weniger als die Stärke eines menschlichen Haares), genügte aber, dass statt 80 Prozent des einfallenden Lichtes nur noch etwa 30 Prozent richtig gebündelt wurde. Die Folge waren verschwommene Bilder, die nur mit Hilfe von aufwendigen Computerprogrammen in einigermaßen scharfe Darstellungen verwandelt werden konnten. Trotz des Fehlers erzielte das Teleskop bessere Ergebnisse, als sie je mit einem anderen irdischen Teleskop möglich sind. Dennoch entschlossen sich die Verantwortlichen bei der amerikanischen Raumfahrtsbehörde Nasa und der Europäischen Weltraumorganisation ESA, bei der ersten Wartungsmission auch den optischen Fehler zu korrigieren.

Warum ein solches Unterfangen? Warum ein Instrument verbessern, das weltweit bereits als bestes anerkannt wird? In der Tat war dies schon immer vorgesehen gewesen. Das HST war bei

der Planung in den siebziger Jahren für einen fünfzehnjährigen Betrieb ausgelegt worden. Dadurch war von Anfang an klar, dass in Abständen von drei bis fünf Jahren Wartungsflüge durchgeführt werden müssen. Um das Instrument auch in der Erdumlaufbahn warten zu können, ist es modular aufgebaut. Insgesamt 49 Bausteine ermöglichen es, dass defekte Komponenten ausgetauscht oder durch technologisch fortschrittlichere ersetzt werden können.

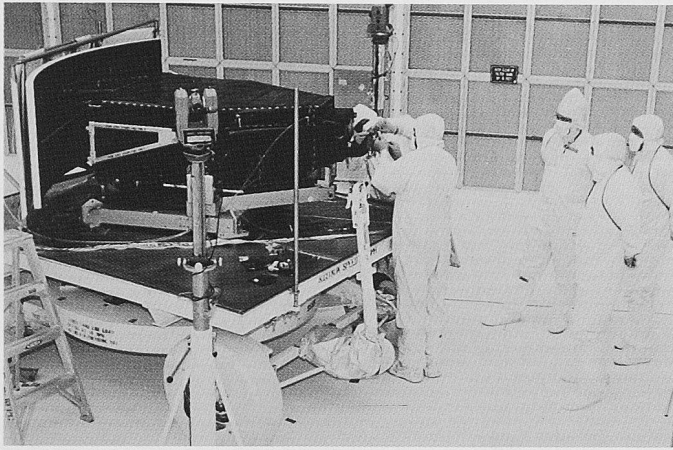
Somit wurde für den ersten Wartungsflug auch die Korrektur des Hauptspiegels vorgesehen, wodurch eine beträchtliche Leistungssteigerung zu erwarten war. Dabei sollte die Weitwinkel-Planetenkamera durch ein technologisch verbessertes Modell 2 (WF/PC-2) ersetzt werden, in welchem der Fehler des Hauptspiegels berücksichtigt und entsprechend korrigiert war.

Ausserdem sollte der Solargenerator, eine Entwicklung der Europäischen Weltraumorganisation ESA, ausgetauscht werden. Die ersten Erfahrungen mit dem HST haben gezeigt, dass der Solargenerator Vibrationen auf das Teleskop ausübt, wenn das HST aus dem Erdschatten heraustritt und der Solargenerator vom Sonnenlicht erwärmt wird. Um diesen Schwingungen begegnen zu können, beschloss die ESA, die Solarpaneele zu modifizieren. So wurden die Metallführungsstangen, die sich seitlich am eigentlichen Solargenerator befinden, mit einer Isolations-schicht versehen. Dadurch dehnen sich die Stangen infolge des ständigen



Die Raumfähre nähert sich dem havarierten Weltraumteleskop. Kurze Zeit später wird es durch Claude Nicollier mit dem Manipulatorarm erfasst und in die Ladebucht gehoben (Bild: Nasa/Archiv Schmidt)





Die Weitwinkel-Planetenkamera 2 wird vor dem Start mit der Raumfähre nochmals gründlich überprüft. Sie verfügt über eine Optik, die den Fehler des Hauptspiegels des Hubble-Weltraumteleskops kompensiert (Bild: Nasa/Archiv Schmidt)



Die Astronautencrew für die STS-61-Hubble-Wartungsmission: (v.l.n.r) Story Musgrave, Richard O. Covey, Claude Nicollier, Jeffrey A. Hoffman, Kenneth D. Bowersox, Kathryn C. Thornton und Thomas D. Akers (Bild: Nasa/Archiv Schmidt)

Temperaturwechsels zwischen Tag und Nacht nicht mehr so stark. Ausserdem wurden die Solarflächen am Ende des Führungsrahmens mit kleinen Federn versehen, um zu verhindern, dass Spannungen der Flächen auf das Teleskop übertragen werden.

In den drei bisherigen Betriebsjahren hat das Teleskop einen beträchtlichen Verschleiss erfahren, mit dem man allerdings gerechnet hatte. Es hatte drei von insgesamt sechs Lageregelungskreisen eingebüsst, so dass keine Redundanz mehr gegeben war. Auch war einer der Sternsensoren zur genauen

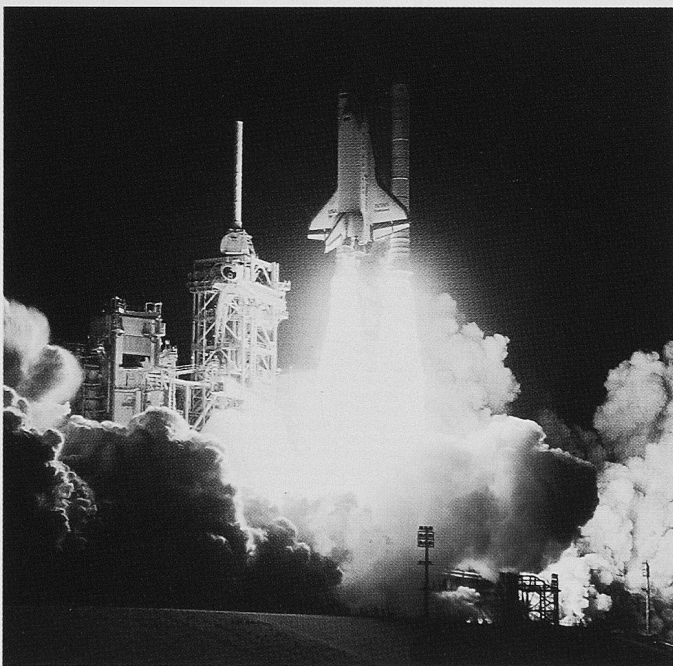
Ausrichtung des Instruments ausgefallen, und einer der Nachführmotoren für die Ausrichtung des Solargenerators hatte Zeichen von Altersschwäche gezeigt. Ausserdem arbeitete das Spektrometer für hohe Auflösung nicht mehr einwandfrei, und die Magnetometer waren ebenfalls wartungsbedürftig.

Alle diese Ausfälle und Funktionsstörungen hatten allerdings die Gesamtleistung des Teleskops nur wenig beeinträchtigt. Die kritischen Elemente des Satelliten sind alle doppelt vorhanden. Doch fehlten zum Beispiel für

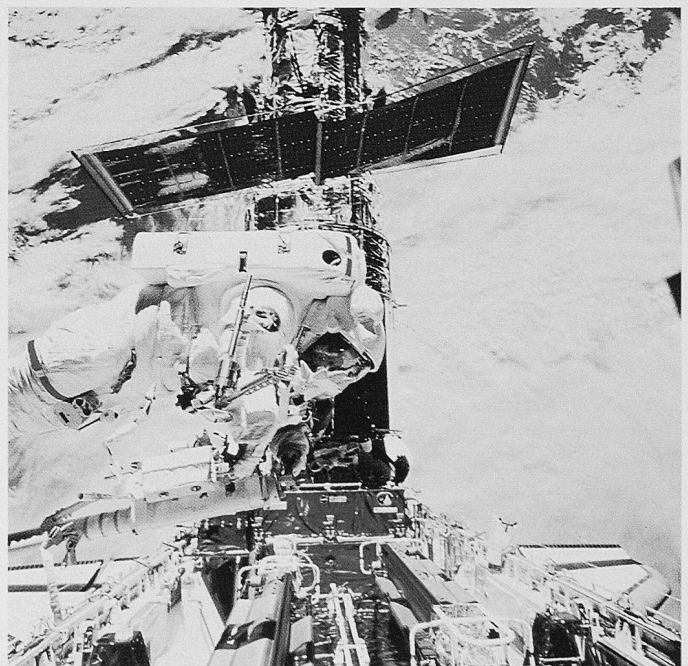
die Kreisel nun die Ersatzeinheiten. Dadurch wurde ein Wartungsflug notwendig.

### Erfolgreiche Wartung und Reparatur

Die Besatzung der Raumfähre Endeavour bestand aus sieben erfahrenen Astronauten, nämlich dem Kommandanten *Richard O. Covey* (47 Jahre, 3 Missionen), dem Piloten *Kenneth Bowersox* (37 Jahre, 1 Flug), dem Missionsspezialisten *Claude Nicollier* (49



Am 2. Dezember 1993 um 4:27:00 Uhr Ortszeit (10:27:00 MEZ) hob die Fähre Endeavour mit sechs Astronauten und einer Astronautin an Bord vom Raumflughafen in Cape Canaveral ab. Mit dabei war auch der Schweizer Astronaut bei der ESA Claude Nicollier (Bild: Nasa/Archiv Schmidt)



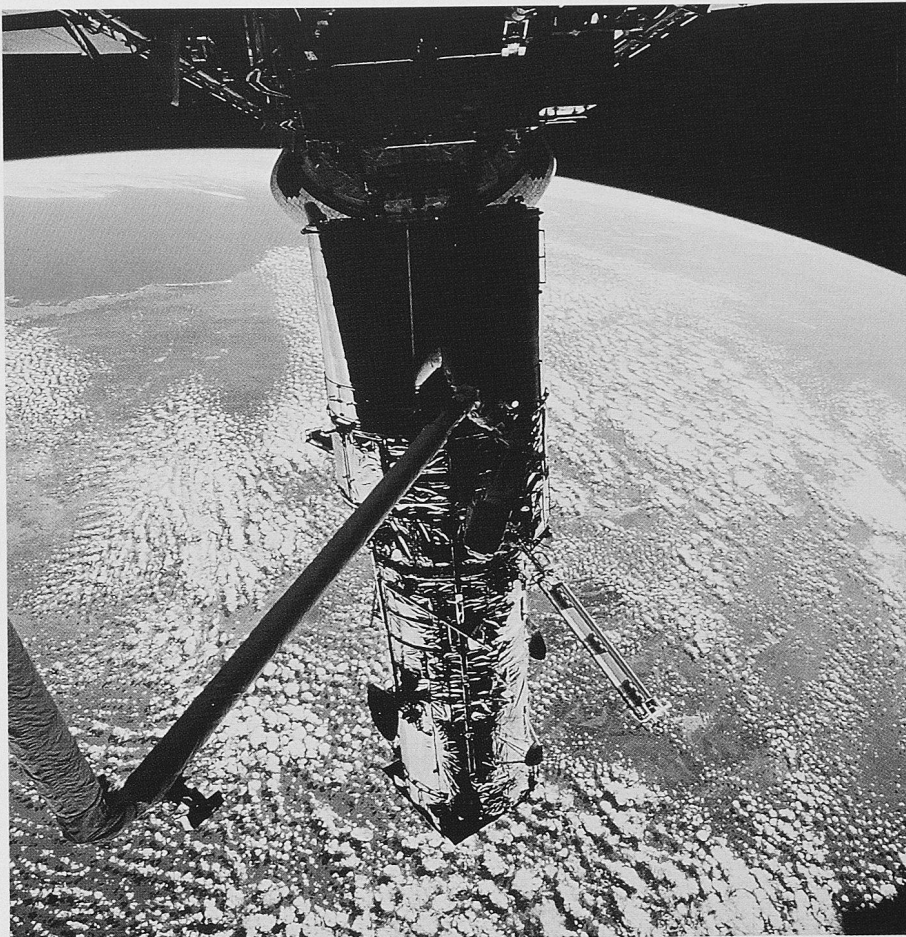
Astronautin Kathryn Thornton ist am Ende des Manipulatorarms auf einer kleinen Plattform festgeschnallt und wird von Claude Nicollier zu den entsprechenden Stellen des Teleskops manövriert, um die defekten Teile auszutauschen. Hier wird der Solargenerator ausgewechselt (Bild: Nasa/Archiv Schmidt)



Jahre, 1 Flug) und den vier «Weltraummechanikern», die gleichzeitig auch als Missionsspezialisten ausgebildet sind, nämlich *Story Musgrave* (58 Jahre, 4 Flüge), *Kathryn Thornton* (41 Jahre, 2 Flüge) und *Jeffrey Hoffman* (49 Jahre, 3 Flüge).

Die Mission wurde nach einem genauen Zeitplan durchgeführt, und alle Vorgaben wurden innerhalb der vorgegeben Zeit erledigt. Dies allein stellt schon einen grossen Erfolg dar, denn schon zu Beginn des Raumfluges hatte die Nasa damit gerechnet, dass es möglicherweise Probleme und Verzögerungen geben könnte. Deshalb waren von Anfang an zwei zusätzliche Aussenbordeinsätze durch zwei Astronauten eingeplant worden. Diese mussten aber nicht ausgeführt werden, weil innerhalb der fünf durchgeführten alle Aufgaben perfekt gelöst werden konnten.

Claude Nicollier spielte bei der Mission eine Schlüsselrolle. Er wurde als Bordingenieur eingesetzt, was heisst, dass er für den Aufstieg, das Rendezvous mit dem Teleskop, das Einfangen des HST und die Manöver mit dem Greifarm verantwortlich war. Pünktlich am zweiten Missionstag konnte Nicollier das 14 Meter lange und über 11 Tonnen schwere Instrument mit dem Manipulatorarm ergreifen und in die Ladebucht heben. In der Folge wurde der Greifarm zu einer Art Hebebühne umfunktioniert, so dass ein Astronaut auf einer kleinen Plattform am Ende des Greifarms stand und von Claude Nicollier zu den schadhafte Stellen am Teleskop gesteuert wurde. Dies war eine sehr anspruchsvolle Arbeit, die viel Fingerspitzengefühl erforderte, denn ein Fehler in der Manipulation des Greifarms hätte schwere Folgen haben und den arbeitenden Astronauten gefährden können. Als die Mission abgeschlossen war, hatten in fünf «Weltraumspaziergängen»



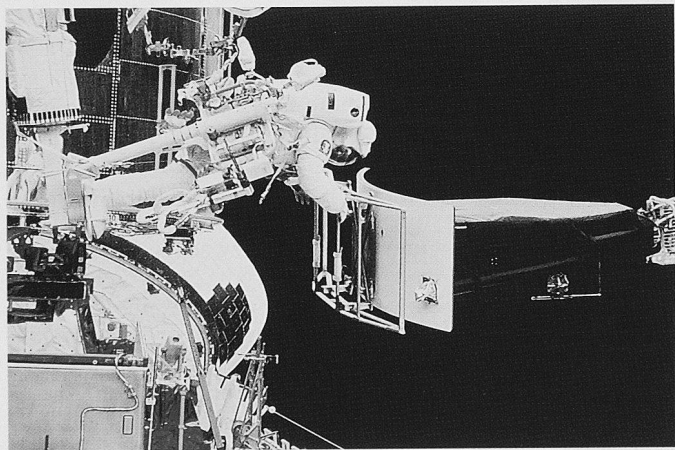
Der neue Solargenerator ist montiert und wird nun gerade vom Teleskop um 90 Grad herausgeklappt, um nachher die Solarzellenflächen auszurollen. Fast 600 Kilometer tiefer ist Australien zu erkennen (Bild: Nasa/Archiv Schmidt)

jeweils zwei Astronauten nicht nur eine «Kontaktlinse» für das HST montiert, sondern auch den Solargenerator ausgetauscht, die Weitwinkel-Planetenkamera durch eine modernere ersetzt, vier Kreisel ausgetauscht, den Nachführmotor für den Solargenerator repariert, Störungen im Spektrometer für hohe Auflösung behoben, die Bordcompu-

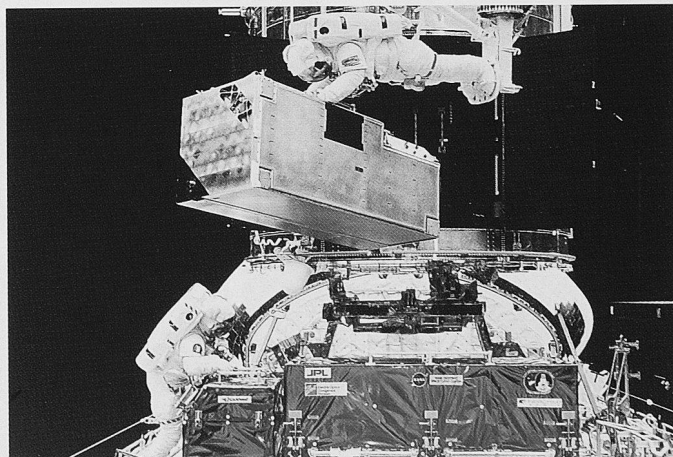
tersoftware ergänzt und die Magnetometer repariert.

### Endlich scharfe Bilder

Die verantwortlichen Ingenieure bei der Raumfahrtsbehörde Nasa rechneten frühestens zwei Monate nach der

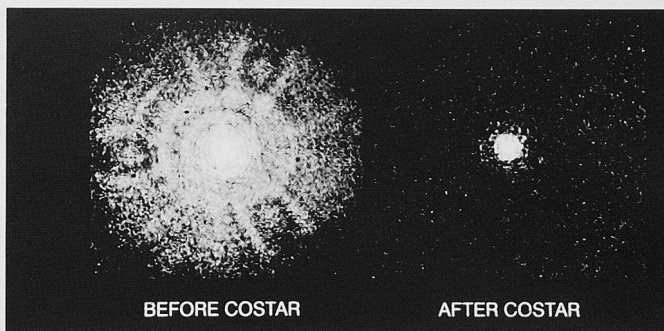
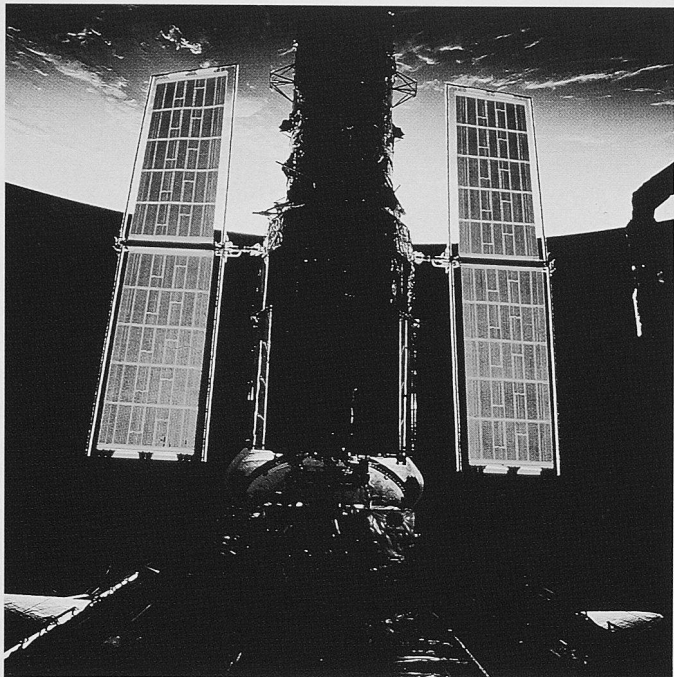


Astronaut Jeff Hoffmann wechselt die Weitwinkel-Planetenkamera aus (Bilder: Nasa/Archiv Schmidt)



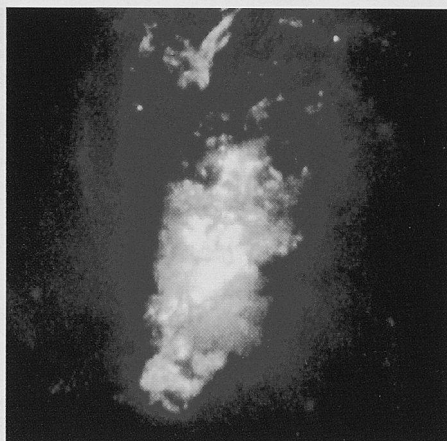
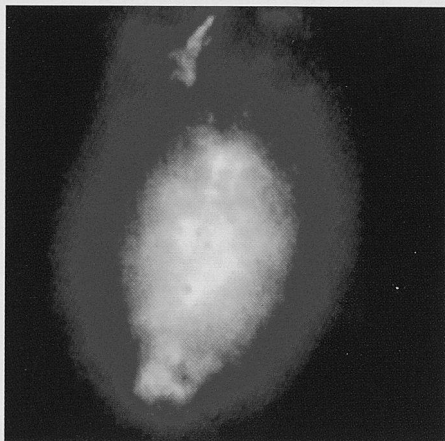
Kathryn Thornton hebt die Korrekturoptik Costar, eine Box von der Grösse einer Telefonzelle, aus dem Container in der Ladebucht. Mit Hilfe des Manipulatorarms führt Claude Nicollier die Astronautin zur Einbauöffnung am Teleskop. Links unten ist Thomas Akers zu erkennen



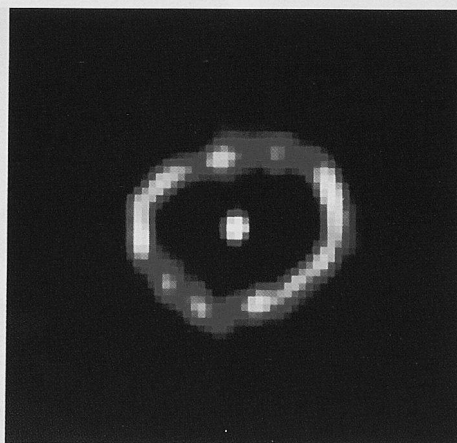
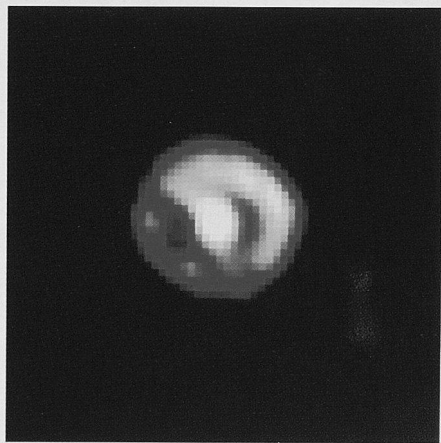


Wie Tag und Nacht: der Unterschied zwischen einem abgebildeten Stern vor und nach der Reparatur, aufgenommen mit der Kamera für lichtschwache Objekte FOC der Europäischen Weltraumorganisation ESA (Bild: Nasa/ESA/Archiv Schmidt)

Die Wartungs- und Reparaturarbeiten sind beendet, der neue Solargenerator ist entfaltet und das Teleskop zur Entlassung in die Umlaufbahn bereit (Bild: Nasa/Archiv Schmidt)



Der Kern einer Galaxie, aufgenommen mit der FOC-Kamera, zeigt die Steigerung des Detailreichtums nach der Korrektur der fehlerhaften Optik des Weltraumteleskops. Die Korrektur des Hauptspiegels war somit erfolgreich (Bild: Nasa/ESA/Archiv Schmidt)



Bereits mit dem unkorrigierten Weltraumteleskop wurde festgestellt, dass der Stern Nova Cygni 1992 seine Gashülle in den Weltraum abgestossen hat. Das korrigierte Bild rechts zeigt die Situation viel deutlicher, und ausserdem ist die inzwischen erfolgte Expansion der Hülle deutlich zu sehen (Bild: Nasa/ESA/Archiv Schmidt)

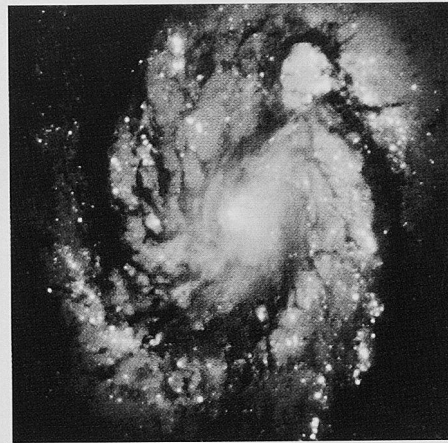
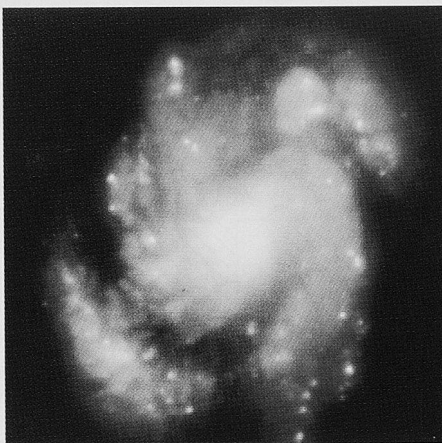
Reparaturmission mit den ersten Ergebnissen des korrigierten Teleskops. Doch haben die Astronauten offensichtlich die Module so sorgfältig ins Teleskop eingebaut, dass nur geringe Justierarbeiten notwendig waren. Somit konnten bereits nach fünf Wochen die ersten Bilder nach der erfolgten Korrektur gezeigt werden. Zur Demonstration der Leistungssteigerung des HST wurde ein Stern gezeigt, der vor der Reparatur und danach aufgenommen wurde. Dabei wird deutlich, dass nun das einfallende Licht auf einen Punkt fokussiert wird, der nur 0.1 Bogensekunden gross ist. Zum Vergleich: Ein erdgebundenes Grossteleskop kann auf diese kleine Fläche nur ein 1/10 des Lichtes fokussieren. Vor dem Einbau der Korrekturoptik Costar (Corrective Space Telescope Axial Replacement) in das HST zeigten die Bilder rund um den Stern ein Halo von mehr als einer Bogensekunde Durchmesser, wodurch das Bild unscharf erschien.

Die Kamera für lichtschwache Objekte (FOC = Faint Object Camera), die von der Europäischen Weltraumorganisation ESA dem Weltraumteleskop beige-steuert wurde, hat noch zwei weitere Objekte zu Testzwecken aufgenommen. Dazu gehört die Nova Cygni 1992, ein Stern, welcher seine äussere Gashülle in den Weltraum abgestossen hat. Während frühere (unkorrigierte) Aufnahmen des HST mit der Kamera für lichtschwache Objekte nur undeutlich die heisse Gaswolke rund um den Stern zeigen, ist die in den Raum expandierende Gaswolke auf den neuesten FOC-Aufnahmen in aller Schärfe zu sehen.

Ebenfalls ist die Qualitätssteigerung bei Aufnahmen von Galaxienkernen zu er-

kennen, und dies sowohl mit der FOC-Kamera wie auch mit der WF/PC-2. Während frühere Bilder in Ansätzen einzelne Sterne in Randzonen erkennen liessen, so können nun Hunderte von Einzelsternen und Sternhaufen in aller Deutlichkeit erkannt werden. Mit dreijähriger Verspätung kann nun mit dem Weltraumteleskop Hubble das ursprünglich angestrebte Forschungsprogramm in Angriff genommen werden. Dabei ist in den nächsten Jahren mit einer Fülle von neuen Daten, Entdeckungen und Erkenntnissen zu rechnen. Nun kann man wirklich bis zum Rande des Universums auch im optischen Bereich vorstossen und dabei etwas über die Geburt und Entwicklung des Kosmos in Erfahrung bringen.

Adresse des Verfassers: M. J. Schmidt, Kirchstrasse 56, 9202 Gossau



Am Beispiel der Galaxie M 100 wird der Unterschied zwischen Bildern des Weltraumteleskops vor und nach der Hauptspiegelkorrektur besonders deutlich. Links ist das Zentrum der Galaxie nur undeutlich zu erkennen, während das Bild rechts nach dem Einbau der neuen Weitwinkel-Planetenkamera sogar ganze Sterngruppen erkennen lässt (Bild Nasa/Archiv Schmidt)

## Vollzugseffizienz spart Kosten und Energie

### 10 Thesen zu einem idealen Vollzugsmodell

**Anlässlich eines Seminars in Bern präsentierten das Bundesamt für Energiewirtschaft und eine interkantonale Arbeitsgruppe weitreichende Verbesserungsmöglichkeiten beim Vollzug der Energievorschriften bei Hochbauten. Hierbei stützten sie sich auf eine umfassende Untersuchung über die Wirkung der verschiedenen Vollzugsmechanismen in 8 Kantonen. Eine klare Abhängigkeit ist zwischen den Vollzugsanstrengungen der einzelnen Akteure und der Mängeldichte bei den rund 270 in der ganzen Schweiz untersuchten Gebäuden auszumachen. Je besser der Vollzug organisiert ist, desto eher werden die Anforderungen eingehalten. Die Forderung an die Behörde kann dabei leicht auf einen Nenner gebracht werden: mehr Beratung statt Kontrolle. Allerdings kann es nicht Aufgabe der Behörde sein, den (Energie-) Planer zu ersetzen.**

Das energiepolitische Programm des Bundes umfasst eine Reihe von Massnahmen, die gemeinsam mit den

VON ANDREAS BAUMGARTNER,  
ZÜRICH

Kantonen zu realisieren sind. Neben der Festlegung energietechnischer Anforderungen, der Forschung, Ausbildung, Information, Finanzhilfe usw. kommt vor allem dem Vollzug der energietechnischen Massnahmen im Gebäudebereich eine zentrale Bedeutung zu. Dem Vollzug wird auch beim Aktionsprogramm «Energie 2000» grosse Bedeutung zugemessen. Ziel der Untersuchung (vgl. Kasten 2) war deshalb eine Dokumentation der bestehenden

Vollzugssysteme sowie eine Mängel-evaluation der energetischen Vorschriften im Hochbau. Sie sollte zeigen, in welchen Fällen Projekt- oder Ausführungsmängel festgestellt werden können und ob diese mit Verbesserungen beim Vollzugsablauf oder der Gesetzgebung vermindert werden können. Im Vordergrund stand dabei die konkrete Ausführungskontrolle von rund 270 Hochbauten im Rohbaustadium bzw. kurz vor dem Bezug.

#### Vollzug fördert die «Baukultur»

Der äusserliche Zweck des Vollzuges ist die Einhaltung der Vorschriften. Grundsätzlich geht es jedoch um die energetische Verbesserung der Bauten

und damit um die Reduktion der Umweltbelastungen durch die Bereitstellung, Verteilung und Nutzung der Energie. Der Wärmeschutz der Neubauten ist seit etwa 1975 stark verbessert worden, und es ist nicht zu erwarten, dass eine hypothetische Aufhebung der energetischen Anforderungen zu einem Hochschnellen von deren spezifischem Energieverbrauch führen würde. Eine Aussenwand wird heute automatisch mit 10 cm gedämmt und nicht mehr mit 2 bis 4 wie noch 1970. Angemessene Vorschriften und deren Vollzug fördern aber die «Baukultur» in Richtung mehr Komfort mit weniger Energie und weniger Schadstoffen, auch indem sie Fachverbände und deren Normengebung entsprechend beeinflussen. Sie unterstützen aber auch Planer und Bauherren und lenken korrigierend die eher uneinsichtigen, nur auf wirtschaftliche Aspekte bedachten Bauleute.

#### 30 Milliarden Bauvolumen – ein enormes Spar- und Beratungspotential

Das jährliche Hochbauvolumen in der Schweiz beträgt rund 30 Milliarden Franken; mit Ausnahme der «Schwarzbauten» wird dieses gesamte Volumen in das (energetische) Bewilligungs-prozedere eingeschleust und gelangt damit in den Einflussbereich der Behörde. Hierbei geht es nun darum, in einem iterativen Prozess die guten Lösungen zu finden und die angesprochene Baukultur in die gewünschte Richtung zu fördern. Dass dieses Vorgehen funk-