

Zeitschrift:	Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Herausgeber:	Schweizerische Astronomische Gesellschaft
Band:	48 (1990)
Heft:	241
Artikel:	Hubble's Hauptspiegel hat eine falsche Form
Autor:	Schwarzschild, Bertram
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-898907

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: 21.02.2026

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

Hubble's Hauptspiegel hat eine falsche Form

BERTRAM SCHWARZSCHILD (Physics Today, August 1990, S. 17)

Als vor 10 Jahren die beiden Spiegel des Hubble-Raumteleskops geschliffen, poliert und beschichtet wurden, gab man sich grosse Mühe zu erreichen, dass ihre Oberflächen von der gewünschten Form rotationssymmetrischer Hyperboloide nicht mehr als 100 Å abweichen sollten (0,1 Nanometer). In gewissem Sinne wurde diese sehr weitgehende Fordeung eingehalten¹⁾. Die aus der Umlaufbahn übermittelten Bilder von Sternen scheinen zu bestätigen, dass der 2,4-m Hauptspiegel und der 30 cm-Sekundärspiegel des Cassegrain-Systems (Abb. 1) der Form perfekter achsensymmetrischer Hyperboloide so nahe als nur wünschbar kommen.

Das Problem ist leider nur, dass der Hauptspiegel ein Hyperboloid mit unrichtigem Parameter zu sein scheint. Die Form einer solchen optischen Oberfläche wird üblicherweise durch ihre sogenannte «Kegelkonstante» festgelegt, die den Wert $-\varepsilon^2$ hat, wobei ε die Exzentrizität der betreffenden Hyperbel ist. Die für den Schliff verwendete Kegelkonstante scheint um 1% falsch zu sein, ein enormer Fehler, der einer mittleren Abweichung von 3000 Å (eine halbe Wellenlänge) von der gewünschten Form entspricht. An seinem Rand weist der Spiegel damit einen Fehler von vollen 2 Mikron auf (zu flach).

Daraus ergibt sich eine wesentliche Beeinträchtigung der Bildqualität infolge sphärischer Aberration (Überkorrektur). Die Grossfeld- und Planetenkamera, Hubble's wichtigstes Element, ist für eine nur beugungsbegrenzte Auflösung von 0,08 Bogensekunden im sichtbaren Wellenlängen-Bereich ausgelegt – eine Größenordnung besser als was wegen der Atmosphären-Unruhe mit ergebundenen Teleskopen erreichbar ist. Aber 2 Monate nach dem Start wurde klar, dass keine Stellung des beweglichen Sekundärspiegels zu finden war, die eine scharfe Fokussierung ergeben hätte.

Ein Fall nach Lehrbuch. Es sah ganz wie ein typischer Fall von sphärischer Aberration aus. Die Bilder von Sternen wiesen zwar ein helles Zentrum von weniger als 0,1 Bogensekunden auf, aber dieses war immer von einem 10 mal grösseren Halo umgeben. Das scharfe Zentrum bewahrt einen gewissen Rest von beugungsbedingter Auflösung, enthält aber nur 15% des Sternlichts, sodass das Hubble-Teleskop im jetzigen Zustand für die meisten Fälle von Abbildung nicht besser ist als ein irdisches Fernrohr in grosser Höhe.

Bei Verwendung eines einzelnen Spiegels gibt man die- sem, um sphärische Aberration zu vermeiden, die Form eines Paraboloids. Die Ritchey-Chrétien- Cassegrain-Konfiguration des Hubble, an sich bekannt, erreicht dasselbe Ziel mit 2 Hyperboloid-Spiegeln, da eine solche Kombination mathematisch einem Paraboloid gleichwertig ist. Sie hat jedoch den grossen Vorteil, im achsennahen Bereich weit weniger Komafehler aufzuweisen als ein Paraboloid. Dies wird aber nur dann erreicht, wenn für beide Spiegel ganz bestimmte Kegelkonstanten eingehalten werden. Weicht einer (oder beide) von dieser Bedingung ab, so leidet die Qualität der Abbildung.

Welcher Spiegel ist fehlerhaft? Falls die sphärische Überkorrektur durch einen Fehler in der Form des Sekundärspiegels verursacht würde, so wäre aus theoretischen Gründen zu erwarten gewesen, dass außerdem in den peripheren Bildteilen etwas Koma entstehen würde, allerdings so schwach, dass sie wegen der vorhandenen Unschärfe von Auge kaum

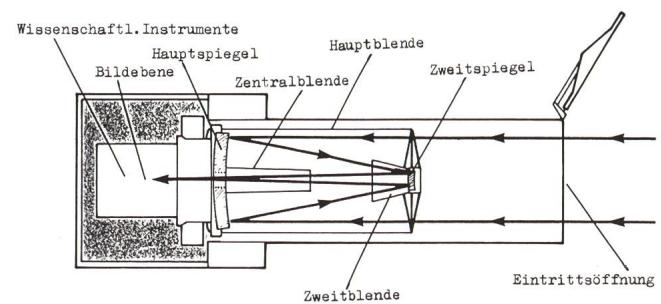


Abb. 1. Das Hubble-Teleskop

Radien der Spiegel: 11,04 und 1,358 m, Abstand 4,906 m, Abstand Zweitspiegel bis Brennebene 6,406 m, Brennweite des ganzen Systems 57,9 m, Öffnungsverhältnis 1:24.

wahrgenommen worden wäre. Hingegen würde sich auch eine sehr geringe Asymmetrie durch interferometrische Untersuchung peripherer Bilder von Sternen bemerkbar machen. Diese Methode konnte in der Tat mit Hilfe der von den drei Feinführungs-Sensoren am Bildrand der Grossfeld-Kamera erzeugten Stern-Bilder angewendet werden. Es ergab sich, dass mit grosser Wahrscheinlichkeit kein Komafehler vorhanden war, dass also die sphärische Aberration allein dem Hauptspiegel anzulasten war. Dies wurde kurz darauf auch durch «computer fits» der von der Kamera für lichtschwache Objekte gelieferten Bilder bestätigt.

Man kann deshalb recht sicher sein, dass der Hauptspiegel ein praktisch ideales Rotationshyperboloid darstellt, allerdings mit einer unrichtigen Kegelkonstante. Er ist, laut einer Zusammenfassung durch Senator A. Gore anlässlich eines hearings, «sehr genau falsch» (perfectly wrong).

Fehlerbehebung. Eine Korrektur an der Gestalt des Hauptspiegels während des Fluges ist natürlich nicht möglich, wogegen es relativ einfach sein sollte, anlässlich des für 1993 geplanten Besuchs des Hubble in der Nähe der Bildebene ein zusätzliches optisches Element (einen Spiegel wegen der Benutzung im UV) anzubringen, das eine sphärische Unterkorrektur gleicher Grösse erzeugt und damit den jetzigen Fehler kompensiert. Eine für diesen Besuch vorgesehene verbesserte Grossfeld-Kamera ist ja bereits im Bau und könnte leicht für diesen Zweck noch abgeändert werden.

(Gekürzte Übersetzung: W. LOTMAR)

Unterdessen sind in «Sky & Telescope», October 1990, drei weitere Artikel von L.J. Robinson (Hubble's Troubles), R. Tresch Fienberg (Picking Up The Pieces) und R.W. Sinnett (HST-s Magnificent Optics: What Went Wrong?) zu diesem Thema erschienen, aus denen folgendes hervorgeht:

– Der sogenannte Null-Korrektor, das Hilfsinstrument, welches während des Arbeitsvorganges zur Überprüfung der Spiegelform verwendet worden war, wies bei der jetzigen Nachprüfung einen Fehler von 1 mm im Abstand der beiden Spiegel auf, aus denen er aufgebaut ist. Das entspricht einer Verfälschung der Konuskonstante vom korrekten Wert $\varepsilon = -1.0023$ auf den falschen

Wert-1.012. Das ist ziemlich genau der Wert von ϵ , den man aus der beobachteten Grösse der sphärischen Aberration erschlossen hatte. Wieso dieser Fehler bei Perkin-Elmer unbeachtet blieb, ist schleierhaft. Dabei hatte die Firma vorsichtshalber zwei Nullkorrekturen ganz verschiedener Bauart hergestellt, von denen dann aber nur einer benutzt wurde! Hierzu A. Meinel: Wenn als Zwischenprüfung ein Foucault- oder Hartmann-Test konventioneller Art vorgenommen worden wäre, wie ihn jeder Amateur-Spiegelschleifer und bis in die Siebzigerjahre auch die Industrie für die grossen Spiegel verwendet haben, so wäre der Fehler des Hauptspiegels ohne weiteres zu sehen und korrigierbar gewesen. Im übrigen seien sphärische Fehler bei grossen Teleskopen schon öfters aufgetreten; man habe sie jeweils stillschweigend durch Nacharbeiten am Sekundärspiegel behoben und in der Literatur nicht davon gesprochen.

– Das Hubble-Teleskop ist durch den Fehler nicht gänzlich unbrauchbar geworden, da seine verschiedenen Instrumente sehr ungleich von diesem betroffen werden. Das neue Gebiet der UV-Spektroskopie beispielsweise, von der Erde aus unmöglich, kann ohne weiteres ange-

gangen werden, allerdings mit 3-fach längeren Belichtungszeiten. Die Zeit bis 1993 kann durch diese und andere Forschungsprojekte voll ausgenutzt werden, wobei allerdings die sehr sorgfältig geplante Versuchsfolge völlig zerstört wird.

- Es ist wahrscheinlich, dass sich die Bildschärfe durch ein bekanntes Computerverfahren merklich verbessern lässt, was schon bald zu erwarten ist.
- Zum Schluss noch ein in den amerikanischen Medien erschienenes Inserat:

ZU VERKAUFEN

94 Zoll-Reflektor, fabrikneu, kaum gebraucht. Optik wäre zu überholen. Neuwert \$ 1 1/2 Milliarden. Abzugeben gegen guten 6-Zöller, oder als Occasion. Vom Empfänger zu holen. NASA, Washington

W. LOTMAR 3028 Spiegel/Bern

1) Siehe hierzu einen Artikel von C.R. O'Dell in «Physics Today» April 1990, S. 32.

Rosat späht nach Röntgensternen

MEN J. SCHMIDT

Grösstes Röntgenteleskop der Welt soll den Himmel nach Röntgenquellen durchmustern

Planmäßig am 1. Juni um 23.47 Uhr MESZ erfolgte der Start des deutschen Forschungssatelliten ROSAT von Cape Canaveral aus mit einer amerikanischen Delta II Rakete. ROSAT soll den Himmel nach Röntgenquellen durchmustern und einen Himmelsatlas im Röntgenbereich erstellen.

Der Start verzögerte sich um 13 Minuten, weil ein ziviles Flugzeug durch die Sicherheitszone flog. Am vergangenen 1. Juni wurde endlich das grösste Röntgenteleskop der Welt auf eine Erdumlaufbahn transportiert. Nur 14 Tage später sendete der Satellit das erste Röntgenbild zur Erde. ROSAT, so der Name des astronomischen Teleskops, ist eine Gemeinschaftsproduktion der Bundesrepublik Deutschland, der amerikanischen Raumfahrtsbehörde NASA und von Grossbritannien.

ROSAT (ROentgenSATellite) ist das bisher ehrgeizigste Projekt der noch jungen Radioastronomie. Es handelt sich dabei um das grösste, je gebaute Teleskop zur Registrierung von Röntgensternen. Das insgesamt 2.4 Tonnen schwere Forschungsgerät wurde im Rahmen des nationalen deutschen Weltraumprogramms im Auftrag des Bundesministers für Forschung und Technologie (BMFT) unter der Programmleitung der Deutschen Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DLR) Köln-Porz, von den Firmen Dornier GmbH Friedrichshafen, als Hauptauftragnehmer, und der Messerschmitt-Bölkow-Blohm GmbH (MBB) Ottobrunn, im Unter-

Erstes Bild des Röntgenteleskops auf ROSAT: Es zeigt einen Sechs-Minuten Schnappschuß auf einem Ausschnitt von zwei Grad Durchmesser in der Großen Magellan'schen Wolke mit verschiedenen Röntgenquellen. Foto: MPE.

