

# Spacewalk Telescopes

## Spiegeloptiken aus eigener Fertigung

### Parabolspiegel von Spacewalk Telescopes

Spacewalk Telescopes fertigt nicht nur Teleskope selbst, sondern auch die darin verbauten Hauptspiegeloptik. Auf diese Weise ist es möglich, eine durchgehend hohe optische Qualität der Teleskope zu gewährleisten, die sich in kontrastreichen als auch scharfen Bildern äußert und nie gekante Eindrücke von Mond, Planeten und DeepSky Objekten liefert.

Zu jedem Hauptspiegel wird ein interferometrisches Prüfprotokoll erstellt.

Alle Parabolspiegel sind auch entweder separat oder als Optikset mit einem hochwertigen Fangspiegel von einem renommierten Hersteller aus den USA erhältlich. Wer also zum Beispiel sein Teleskop gerne selbst bauen möchte und hierfür noch einen passenden Hauptspiegel oder ein sogar Optikset sucht, der ist hier genau richtig.



Die Vermessung und Überarbeitung von bereits vorhandenen Optiken ab einer Öffnung von 400mm runden das Portfolio ab.

### Trägermaterial

Als Trägermaterial für Spiegeloptiken in Teleskopen kommen nur wenige Glassorten in Frage. Wichtig ist nicht nur, dass der Spiegel schnell auskühlt, sondern beim Auskühlen auch die Form hält. Der Ausdehnungskoeffizient sollte also so klein wie möglich sein.

Hier gibt es deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Trägermaterialien. Zum Beispiel hat die Glassorte „BK7“, welche oftmals bei günstigen Teleskopspiegeln zum Einsatz kommt, einen Ausdehnungskoeffizienten von  $7.1 \times 10^{-6}/K$ , während er bei „Pyrex“ und „Borofloat 33“ bei  $3.2 \times 10^{-6}/K$  liegt, also nur halb so groß ist. Sehr teure Gläser wie Zerodur haben sogar einen Ausdehnungskoeffizienten von nur  $0.1 \times 10^{-6}/K$ , also ein Wert, der 30-fach niedriger liegt als der von Pyrex. Daher eignen sie sich besonders gut für die Herstellung von Prüfgläsern.

Da Pyrex nur schwer zu bekommen ist, verwendet Spacewalk Telescopes für seine Spiegeloptiken aus Eigenfertigung bis 18" Öffnung die Glassorte „Borofloat 33“, für größere Optiken von 20" bis hin zu 25" hingegen das Trägermaterial „Supremax“ der Firma Schott aus Mainz. Beide Sorten haben einen identischen Ausdehnungskoeffizienten wie „Pyrex“ und verziehen sich während des Auskühlprozesses am Beginn einer Beobachtungsnacht deswegen auch nur halb so stark wie günstige Teleskopspiegel aus „BK7“.

Bis zu einer Spiegelgröße von 455mm liegt die Randdicke der Glasrohlinge bei 25mm, darüber werden die Optiken aus 31mm bzw. 34mm starken Rohlingen gefertigt. Andere Dicken des Trägermaterials sind auf Anfrage erhältlich.

### Beschichtung

Alle Spiegel werden mit einer Aluminiumbeschichtung ausgeliefert, die zusätzlich mit einer SiO- Schutzschicht haltbarer gemacht wird. Der Reflexionsgrad der Beschichtung liegt bei 94% im UV- Bereich (380nm), bei 92% im visuellen Bereich (550nm) und fällt im Nahen Infrarot (800nm) auf 87% ab. Damit erreichen die Spiegeloptiken über das gesamte Spektrum der beobachtenden Astronomie einen sehr hohen Reflexionsgrad und liefern helle und kontrastreiche Bilder.

# Spacewalk Telescopes

## Spiegeloptiken aus eigener Fertigung

### Das Auskühlverhalten von Spiegeloptiken

Wird das Teleskop am Anfang der Nacht von der warmen Wohnung nach draußen gebracht oder nach einer langen Fahrt aus dem Auto auf der Beobachtungswiese aufgebaut, ist der Spiegel meist deutlich wärmer als die Umgebungstemperatur. Besonders im Winter können hierbei schnell Temperaturunterschiede von mehr als 20 Grad Kelvin (K) auftreten. Je größer die Differenz zwischen Spiegel und Umgebungstemperatur ist, desto länger dauert es, bis man mit der Beobachtung des Himmels beginnen kann.

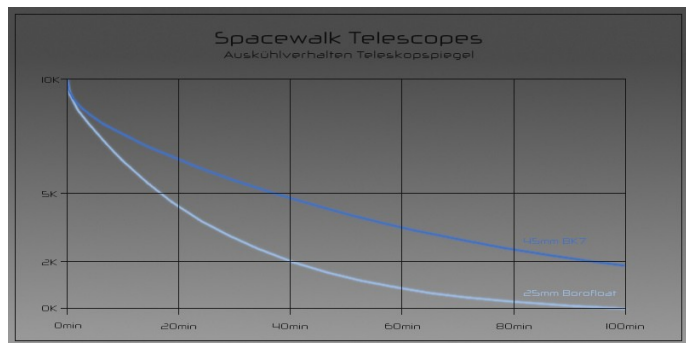
Denn wenn der Spiegel wärmer als die Umgebung ist, bildet sich oberhalb des Spiegels eine Warmluftblase aus, die einen anderen Brechungsindex als die umgebende Luft hat. Füllt nun Sternlicht auf den Hauptspiegel, so muss es auch durch diese Warmluftblase hindurch. Da diese nicht statisch und unbeweglich über dem Spiegel liegt, sondern sich durch Wind oder Luftverwirbelungen immer wieder verformt, wird die Wellenfront dauernd gebrochen und verzerrt. Im Teleskop äußert sich das durch sehr unruhige, zitternde Bilder und aufgeblasene Sterne. Erst wenn der Spiegel fast die Umgebungstemperatur angenommen hat, werden die Bilder deutlich ruhiger und schärfer - das Teleskop kann endlich seine volle Leistungsfähigkeit abrufen.

Doch nicht nur am Anfang der Beobachtungsnacht kommt dieser negative Effekt zum Tragen. Denn auch während der Nacht kühlt sich die Luft im Normalfall immer weiter ab, bis am frühen Morgen die tiefsten Temperaturen erreicht werden. Der Spiegel muss sich also auch während der Nacht immer an die sinkenden Temperaturen anpassen. Geschieht das nicht schnell genug, bildet sich über dem Spiegel wieder das unerwünschte Warmluftpolster aus und es treten abermals verwaschene Bilder auf. Dieser Effekt der Warmluftblase über dem Hauptspiegel wird auch als „Teleskop- oder Spiegel- Seeing“ bezeichnet und hat nichts mit dem atmosphärischen Seeing zu tun, ist aber genauso so schädlich und setzt die Leistungsfähigkeit eines Teleskops deutlich herab.

### Vorteil dünner Teleskopspiegel

Es ist natürlich einleuchtend, dass ein sehr dünner Spiegel sich wesentlich schneller an die Außentemperatur angleicht als ein deutlich dickerer Spiegel mit gleicher Öffnung. Hohe Vergrößerungen sind meist dann möglich, wenn die Differenz von Spiegeltemperatur und Umgebungstemperatur weniger als 2K (Grad Kelvin) beträgt.

Der Anschaulichkeit wegen soll an dieser Stelle ein mit dem „Mirror Cooling Calculator“ simuliertes Diagramm vorgestellt werden, das exemplarisch das Auskühlverhalten von zwei unterschiedlich dicken Spiegeln mit einer Randdicke von 25mm (hellblaue Kurve) bzw. 45mm (dunkelblaue Kurve) gegenüberstellt. In diesem Diagramm ist das Auskühlverhalten zu Beginn der Nacht zu sehen. Beide Spiegel weisen am Anfang einen Temperaturunterschied von 10 Grad Kelvin (10K) zur Lufttemperatur auf. Zur Vereinfachung nimmt die Temperatur in dieser Simulation im Verlauf der Nacht nicht ab, sondern verharrt auf einem konstanten Wert.



Es ist deutlich zu erkennen, dass ein 16" Spiegel aus „Borofloat33“ mit einer Randdicke von 25mm schon nach 40min höchste Vergrößerungen zulässt, während der 45mm dicke Spiegel aus „BK7“ erst nach 95 Minuten soweit ist und damit mehr als doppelt so lange zum Auskühlen benötigt. Man gewinnt im direkten Vergleich also fast eine Stunde an Beobachtungszeit hinzu. Aus genau diesem Grund sind sämtliche Teleskopspiegel von Spacewalk Telescopes sehr dünn - 25mm bei allen Spiegeln bis 455mm Durchmesser, 31mm bei Spiegelgrößen bis 550mm und 34mm bei 635mm Optikdurchmesser.

Damit ist die Optik natürlich auch schwieriger zu fertigen und zu vermessen, aber der Mehraufwand lohnt sich.

# Spacewalk Telescopes

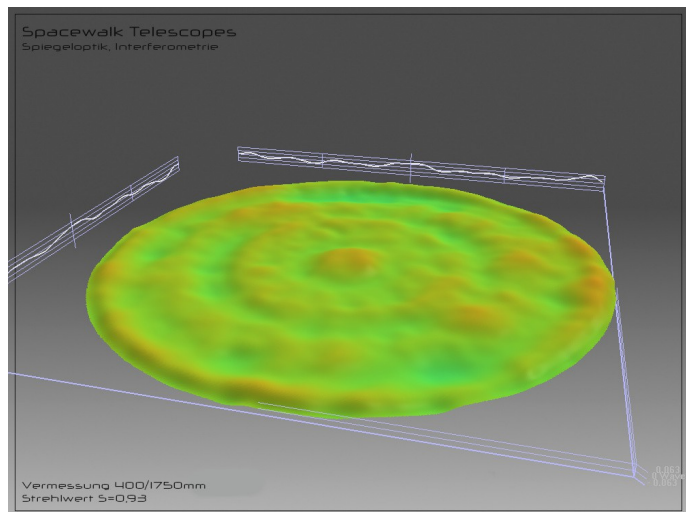
## Spiegeloptiken aus eigener Fertigung

### Qualitätssicherung und interferometrische Vermessung

Um einen hohen optischen Qualitätsstandard sichern zu können, werden die Spiegeloptiken aus eigener Fertigung vom ersten Moment an immer wieder überprüft und vermessen.

Das beginnt schon mit dem Planschleifen der Rückseiten, damit der Spiegel absolut plan auf der Spiegelhalterung aufliegt und sich beim weiteren Schleifen und Polieren des Spiegels kein Astigmatismus ausbildet, der dann wieder aufwändig herauspoliert werden müsste. Auch während des Schleifprozesses wird die Oberfläche des Spiegels nach jeder Körnung auf kleine Löcher (sogenannte Pits) kontrolliert, um das vollständige Ausschleifen der Körnung sicherstellen zu können. Der Fortschritt der Politur wird mit einem Auflichtmikroskop überwacht, damit die Anzahl der Pits auf ein Minimum reduziert werden kann.

Wenn es an die Formgebung der Parabel geht, kommt ein Interferometer zum Einsatz, mit dem die Oberfläche ständig kontrolliert wird. Fehler wie Astigmatismus, steile Zonen oder ein Zentralberg lassen sich damit ebenso sicher ausschließen wie eine Über- oder Unterkorrektur.



Am Ende steht eine umfassende interferometrische Prüfung der Spiegeloberfläche an, in der viele Interferogramme in verschiedenen Spiegelpositionen gemittelt und ausgewertet werden. Nur so ergibt sich ein umfassendes Bild über die genaue Leistungsfähigkeit der Optik. All diese Informationen fließen in ein Prüfprotokoll ein, das jeder Spiegeloptik beiliegt, die von Spacewalk Telescopes gefertigt wird.

Wenn Sie sich für ein Optikset entscheiden, bekommen Sie zum Prüfprotokoll des Hauptspiegels auch noch eine interferometrische Auswertung des Fangspiegels dazu, die mit einem sogenannten „Zygo“ erstellt wird.

### Zugesicherte Optische Qualität

Jeder Spiegel bis 500mm Öffnung wird so lange bearbeitet, bis er einen Strehlwert von über  $S=0,90$  hat und damit den zugesicherten Wert von  $S=0,85$  um 0,05 Strehlpunkte übertrifft.

Der Grund für dieses Vorgehen liegt darin begründet, dass jede interferometrische Messung natürlich auch mit Messunsicherheiten und Messfehlern behaftet ist - auch wenn oft so getan wird, als würde die Interferometrie exakte und unumstößliche Werte liefern. Zu diesen Fehlern zählen Vibrationen, leichte Abweichungen in der Lagerung und Ausrichtung des zu vermessenden Spiegels, systemische Fehler des Interferometers oder auch Luftverwirbelungen, die den Strehlwert beeinflussen können. Das bedeutet, dass jede interferometrische Messung vom wahren Strehlwert nach oben oder unten abweichen kann.

Damit Sie als Kunde immer auf der sicheren Seite sind, werden die Spiegel einfach besser gemacht als sie es sein müssten. Ganz einfach! Natürlich erscheinen Werte von 0,85 bzw. 0,90 in Zeiten der Hyperinflation der Strehlwerte erst einmal recht niedrig. Aber das sind sie nicht - denn auch wenn die Messungen nicht DIN- zertifiziert sind oder dergleichen, so sind sie doch ehrlich und nach bestem Wissen durchgeführt.

Doch Strehlwert hin- oder her: Bisher ist noch einziger Spiegel zurückgekommen, weil der Kunde unzufrieden damit gewesen wäre. Ganz im Gegenteil - ich werde oft auf Messen von Kunden angesprochen, die mir mitteilen, wie zufrieden sie mit der optischen Abbildung sind.

**Auch das kann ein Indiz für die Qualität eines Spiegels sein - ganz ohne Zahlen und Messungen.**

# Spacewalk Telescopes

## Spiegeloptiken aus eigener Fertigung

Noch ein paar kurze Worte zum Thema Kratzer: trotz sorgfältigem Arbeiten kann es passieren, dass sich während der Politur oder Parabolisierung ein winzig kleines Stückchen Pech von der Polierschale löst und einen sehr feinen Kratzer erzeugt. Manche dieser Kratzer sind so dünn, dass sie erst in Erscheinung treten, wenn der Spiegel mit Aluminium bedampft worden ist.

Es kann also in Ausnahmefällen vorkommen, dass der fertige Spiegel den ein oder anderen sehr feinen Kratzer aufweist. Diese haben aber absolut keinen Einfluss auf die optische Qualität. Sie sind daher ausschließlich kosmetischer Natur - allerdings auch nur bis zur ersten Beobachtungsnacht, denn danach dominieren Staub und Pollen die Spiegeloberfläche.

Oder um es mit Fraunhofer zu sagen: Teleskope sind zum Durchsehen - nicht zum Ansehen...

## Standard- Spiegelgrößen und Optik- Sets

Die lieferbare Größe für Newtonspiegel von Spacewalk Telescopes reicht von 300mm bis maximal 635mm. Dazu passend ist ein Fangspiegel lieferbar, der von einem renommierten Hersteller aus den USA stammt. Er ist von der Größe auf den Hauptspiegel abgestimmt und hat eine Oberflächenqualität besser  $\lambda/10$ .

Den Grundpreis für die angebotenen Standardgrößen sowie den Aufpreis für ein Optikset finden Sie in der Preisliste.

Andere Brennweiten als die hier angegebenen fragen Sie bitte gesondert an, da hierfür je nach Wunsch ein gewisser Aufpreis berechnet werden muss.

Durchmesser [mm]	300	355	400	455	500	550	635
Brennweite [mm]	1350	1600	1700	1900	2000	2100	2200
Spiegeldicke [mm]	25	25	25	25	31	31	34
Trägermaterial	Borofloat	Borofloat	Borofloat	Borofloat	Supremax	Supremax	Supremax
Fangspiegel [mm]	66	79	89	102	102	120	160

## Sonderanfertigungen

Wenn Sie für ein eigenes Teleskop- Projekt einen Hauptspiegel oder ein Spiegelset bestehend aus Primär- und Sekundärspiegel benötigen, so können Sie sich gerne mit Wünschen zu Ihrer Sonderanfertigung an Spacewalk Telescopes wenden - egal ob sie einen langbrennweitigen Teleskopspiegel für ein Planetentelekop benötigen oder einen Spiegel mit einer sehr kurzen Brennweite für ein Foto- Newton.

Vieles ist machbar, dennoch müssen folgende Einschränkungen beachtet werden:

- Hauptspiegeldurchmesser 300mm bis 635mm
- Brennweite maximal 2.200mm
- Öffnungsverhältnis nicht schneller als  $f/2.9$
- Randidicke 20...57mm

Bestellen Sie bitte frühzeitig, da zum Fertigungsprozess der Spiegel auch noch die Lieferzeiten für die Spiegelrohlinge bzw. für die Beschichtung eingerechnet werden müssen und Ihre Sonderanfertigung zusammen mit den Standard-Chargen der anderen Teleskopspiegel gefertigt wird und nicht direkt nach Eingang der Bestellung.

Die Lieferzeiten können also durchaus auch mal 9 Monate betragen.

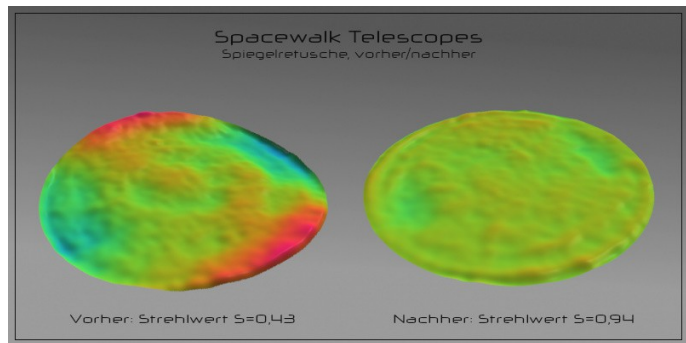
# Spacewalk Telescopes

## Spiegeloptiken aus eigener Fertigung

### Interferometrische Vermessung von Fremdspiegeln und Spiegelretusche

Sie haben ein Teleskop und sind unzufrieden mit der Abbildung? Sie möchten gerne wissen, wie es um die optische Qualität des Hauptspiegels bestellt ist? Dann können Sie den Hauptspiegel gerne nach vorheriger Absprache zusenden, damit er interferometrisch vermessen werden kann. Ein Prüfprotokoll mit allen relevanten Daten erhalten Sie selbstverständlich dazu.

Wenn Sie mit den gemessenen Werten Ihres Spiegels nicht zufrieden sind, dann haben Sie die Möglichkeit, ihn im Anschluss an die Vermessung von „Spacewalk Telescopes“ retuschieren zu lassen. Dabei bleiben Durchmesser und Brennweite natürlich unverändert. Das heißt, Sie können den Spiegel nach der Neubeschichtung wieder problemlos in Ihr Teleskop einbauen und ab sofort scharfe und kontrastreiche Bilder genießen.



An dieser Stelle vielleicht noch der Hinweis, dass sich eine solche Spiegelretusche eigentlich erst ab einer Spiegelgröße von 400mm lohnt, weil die Neubeschichtung natürlich auch nicht ganz billig ist.

Wie ein ehemals sehr schlechter, astigmatischer Spiegel nach einer Spiegelretusche aussehen kann, zeigt die nachfolgende Abbildung: