

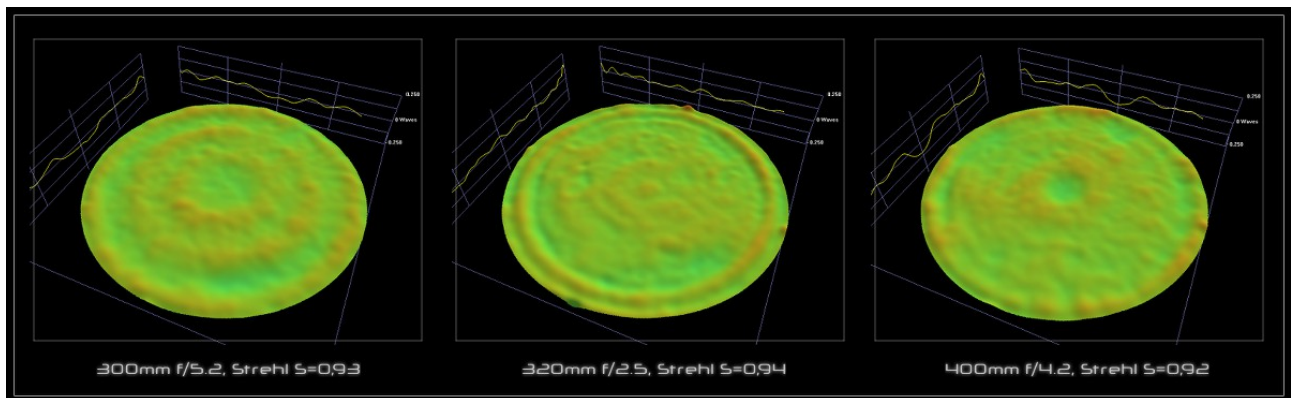
Spacewalk Telescopes

Spiegeloptiken aus eigener Fertigung (10/2019)

Parabolspiegel von Spacewalk Telescopes

Hier bei "Spacewalk Telescopes" werden nicht nur die Teleskope selbst gefertigt, sondern auch die darin verbauten Hauptspiegel-Optiken. 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 gekannte Eindrücke von Mond, Planeten und DeepSky Objekten liefert.

Die Parabolspiegel sind aber auch separat mit einem Durchmesser von 300mm bis 635mm und variablen Öffnungsverhältnissen erhältlich. Jedem Hauptspiegel liegt ein interferometrisches Prüfprotokoll bei, welches genauen Aufschluss über die optische Qualität liefert.



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 Aluminium- Beschichtung ausgeliefert, die mit einer SiO- Schutzschicht haltbarer gemacht wird. Der Reflexionsgrad der Beschichtung liegt bei 92% im UV- Bereich (380nm), bei 92-93% 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. Ein Diagramm finden Sie auf der Homepage.

Spacewalk Telescopes

Spiegeloptiken aus eigener Fertigung (10/2019)

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. Fällt 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.

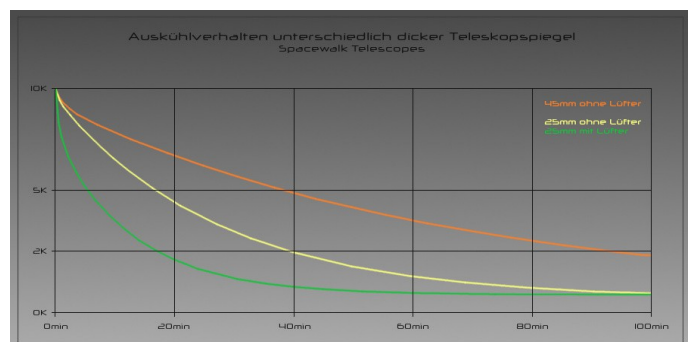
Doch nicht nur am Anfang der Beobachtungsnacht kommt dieser negative Effekt zum Tragen. Denn auch während der Nacht kühlt sich die Luft im Normalfall immer weiter ab, bis am frühen Morgen die tiefsten Temperaturen erreicht werden. Der Spiegel muss sich also auch während der Nacht immer an die sinkenden 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 bzw. 45mm 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 -

Spacewalk Telescopes

Spiegeloptiken aus eigener Fertigung (10/2019)

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.

Unter realen Bedingungen ist der oben beschriebene Effekt übrigens sogar noch ein wenig größer, denn die Luft kühlt sich ja insbesondere in den Abendstunden relativ zügig ab. Die Differenz von Temperatur Spiegel/Umgebung wird in diesem Fall also weniger schnell kleiner als oben beschrieben. Während das für einen dünnen Spiegel keine große Hürde darstellt, ist ein dicke Spiegelrohling hier noch mehr im Nachteil.

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 $f/2.9$
- Randdicke 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.

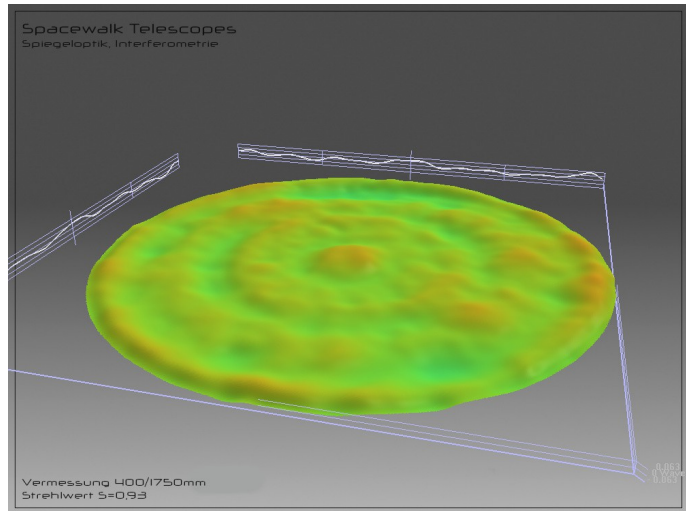
Spacewalk Telescopes

Spiegeloptiken aus eigener Fertigung (10/2019)

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.

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 (10/2019)

Interferometrische Vermessung von Fremdspiegeln und Spiegelretusche

Sie haben ein Teleskop und sind unzufrieden mit der Sternabbildung? Sie möchten deshalb gerne wissen, wie es um die optische Qualität des Hauptspiegels bestellt ist und welchen Strehlwert dieser tatsächlich hat?

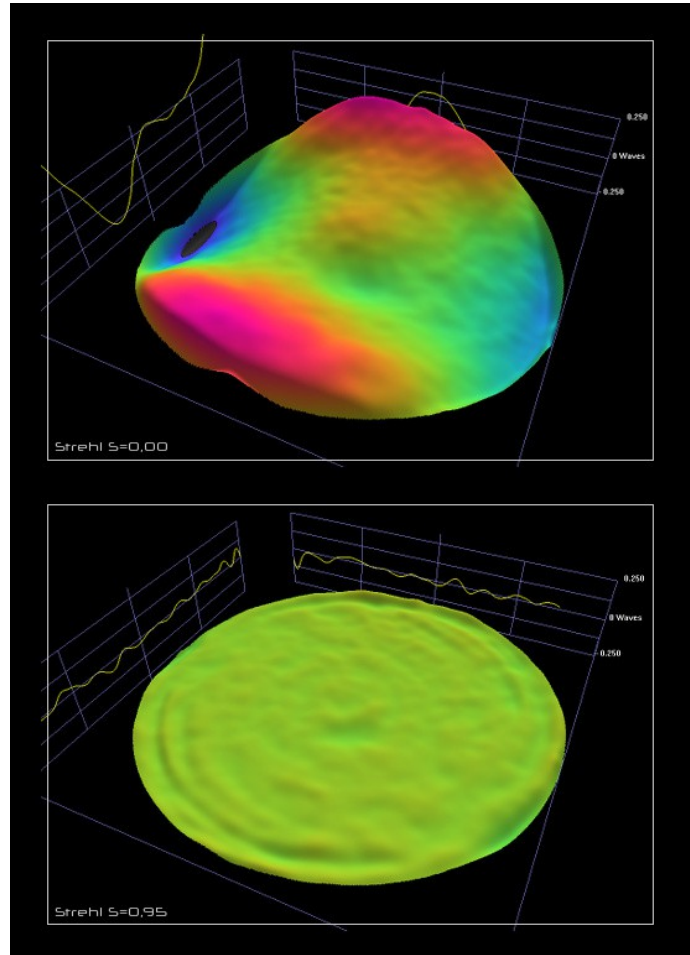
Dann können Sie den Hauptspiegel gerne nach vorheriger Absprache (per EMail) gut verpackt in einem stabilen Karton zusenden, damit er interferometrisch vermessen werden kann. Ein Prüfprotokoll mit allen relevanten Daten und erklärenden Worten zur Auswertung erhalten Sie im Anschluss an die Messung.

Wenn Sie mit den Werten Ihres Spiegels nicht zufrieden sind, dann haben Sie die Möglichkeit, ihn nach einer eingehenden Beratung hier bei "Spacewalk Telescopes" optimieren zu lassen.

Das bedeutet, dass die reflektierende Aluminiumschicht entfernt und die Oberfläche mit kleinen Tools überpoliert wird. Dabei können sowohl Astigmatismus, eine fehlerhafte Über- oder Unterkorrektur oder auch ein Zentralberg und umlaufende Zonen korrigiert werden. Bei dieser Prozedur bleiben Durchmesser und Brennweite unverändert. Das heißt, Sie können den Spiegel nach der Neubeschichtung wieder problemlos in Ihr Teleskop einbauen, ohne dass Sie daran irgendwelche Umbauten vornehmen müssten.

Gerade bei großen Spiegeln ist es tatsächlich oftmals günstiger, den Spiegel optimieren und neu beschichten zu lassen, als einen neuen Spiegel zu kaufen.

Und wenn die Beschichtung sowieso erneuert werden muss, warum dann bei dieser Gelegenheit nicht noch ein wenig Geld in eine solche Optimierung investieren?



Beispiel für eine Spiegel- Optimierung

Wie aus einem ehemals sehr schlechten, astigmatischen Spiegel eine tolle Optik werden kann, zeigt eindrucksvoll das Beispiel einer erfolgreichen Spiegeloptimierung durch "Spacewalk Telescopes":

Der Kunde hatte das Teleskop gebraucht erworben und war sehr unzufrieden mit der Abbildung. Nach der Erstmessung war relativ schnell klar, warum das Teleskop keine scharfen Bilder zeigen konnte. Der Spiegel wies einen extrem starken Astigmatismus von fast 3.000 Nanometern Höhe auf. Daraus resultierte ein Strehlwert von $S=0,00$.

Im weiteren Verlauf wurde zunächst der Astigmatismus korrigiert und anschließend die Oberfläche geglättet. Die Vermessung nach Abschluss der Optimierung ergab einen Strehlwert von $S=0,95$.

Spacewalk Telescopes

Spiegeloptiken aus eigener Fertigung (10/2019)

An dieser Stelle noch ein kurzer Hinweis in eigener Sache:

Wenn Ihnen daran gelegen ist, den Spiegel im Anschluss an die Erstmessung retuschieren zu lassen, weil Sie damit Ihrem Teleskop zu einer erstklassigen Optik verhelfen möchten, dann sind Sie hier bei mir an der richtigen Adresse und ich freue mich auf Ihre Anfrage!

Wenn Sie aber Ihren Teleskopspiegel nur deshalb vermessen lassen wollen, um ihn im Zweifelsfall bei einem anderen Händler reklamieren zu können, dann senden Sie den Spiegel zur Vermessung bitte an eine andere Firma! Sie werden mit dem von mir erstellten Protokoll keinen Umtausch oder gar eine Rücknahme ihres Spiegels durchsetzen können.

Ich bin ebenfalls der falsche Ansprechpartner, wenn es darum geht, einen günstigen "handverlesenen" Spiegel von einem der großen Teleskop- Händler zu bekommen. Auch in diesem Fall wenden Sie sich bitte an eine andere Firma oder noch besser:

Kaufen Sie am besten gleich einen qualitativ hochwertigen Spiegel hier bei "Spacewalk Telescopes". Mehr dazu finden Sie in der Navigationsleiste unter dem Menüpunkt "Parabolspiegel".