



*Spacewalk Telescopes, Inhaber Christian Busch, Lauterburger Strasse 1, 76187 Karlsruhe*

## Herstellung einer Referenzsphäre

Eine Referenzsphäre wird benötigt, um Plan- bzw. Fangspiegel nicht nur testen, sondern auch herstellen zu können.

Hierzu wird im Allgemeinen der Ritchey-Common Test verwendet, bei dem der Fangspiegel in seiner späteren Einbaulage mit Hilfe einer Sphäre getestet wird. Setzt man im Krümmungsmittelpunkt eine Messerschneide ein, lassen sich auf der Oberfläche Zonenfehler erkennen. Mit einem Pinhole lässt sich zudem der Krümmungsradius des Planspiegels bestimmen.

Für meine eigenen Messungen werde ich allerdings ein Interferometer verwenden.

### **Dimensionierung**

Da ich für meine Zwecke Fangspiegel mit einer kleinen Achse von 165mm benötige, habe ich mich entschieden, eine Sphäre mit 205mm Durchmesser zu fertigen. Da ich hiermit natürlich auch kleine Fangspiegel vermessen möchte, durfte die Brennweite nicht zu groß werden, damit ich die Streifen des Interferogramms noch ohne Qualitätsverlust abfotografieren kann. Wird die Brennweite hingegen zu klein, ist die Sphäre schwieriger auf eine hohe Strehlzahl zu bringen. Daher habe ich mich für ein Öffnungsverhältnis von  $f/7$  entschieden. Die genauen Daten der Sphäre sind:

$D = 204\text{mm}$   
 $f = 1447\text{mm}$

### **Schleifen und Polieren**

Geschliffen habe ich mit einem Glastool gleicher Größe. Glas hat den Vorteil, dass sehr feine Körnungen noch ausgeschliffen werden und damit die Polierzeit auf ein Minimum reduziert wird. Die Brennweite der Sphäre habe ich nur sehr sporadisch kontrolliert, da es letztlich nicht darauf ankam, die angestrebte Brennweite auf den Zentimeter genau zu treffen.

Die Politur erfolgte mit einem 18cm Pechtool. Um den Polierstatus zu beurteilen, gibt es mehrere Methoden:

- umgedrehtes Okular mit Taschenlampe
- Test mit einem roten Laserpointer
- Auflichtmikroskop

Ich habe mich für letzteres entschieden, da es hiermit möglich ist, den Fortschritt anhand von Bildern zu dokumentieren. Wie üblich, polierte die Mitte zuerst aus, der Rand folgte nach.



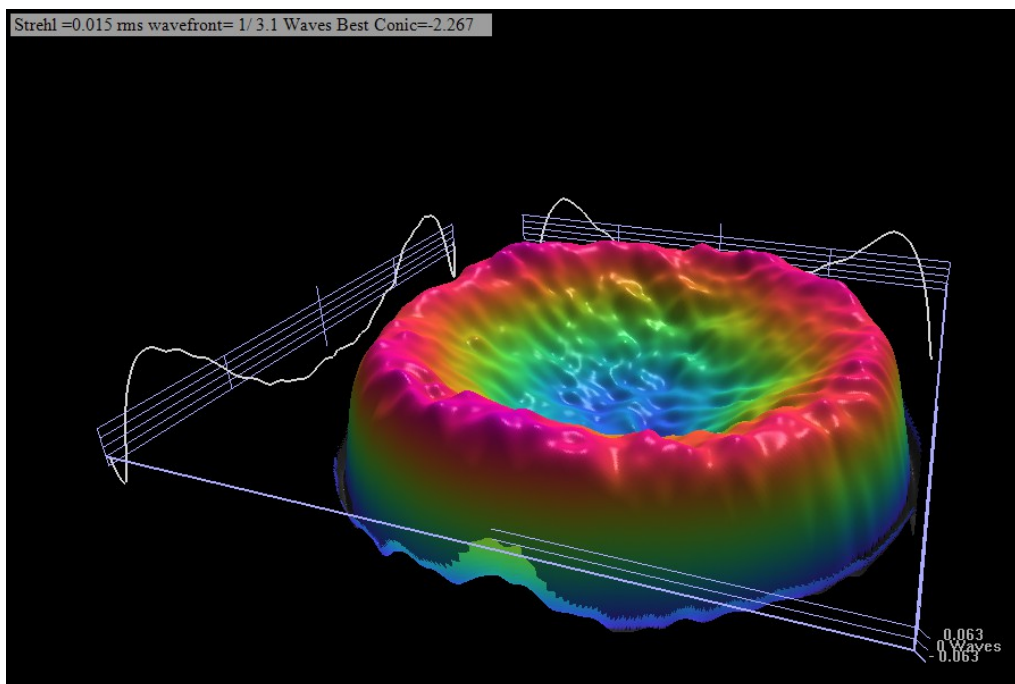
*Spacewalk Telescopes, Inhaber Christian Busch, Lauterburger Strasse 1, 76187 Karlsruhe*

## Die erste Vermessung

Nachdem der Spiegel auspoliert war, habe ich ihn interferometrisch vermessen.

Dazu wurde er in den Teststand gestellt und zwei Reihen à 4 Interferogramme in der  $0^\circ$  und der  $90^\circ$  Stellung aufgenommen. Das ist in der Regel ausreichend für einen ersten Eindruck. Gegen Ende, wenn es um die letzten kleinen Feinheiten geht, sollten dann allerdings wesentlich mehr Interferogramme aufgenommen und gemittelt werden.

Das Ergebnis der ersten Messung sah folgendermaßen aus:

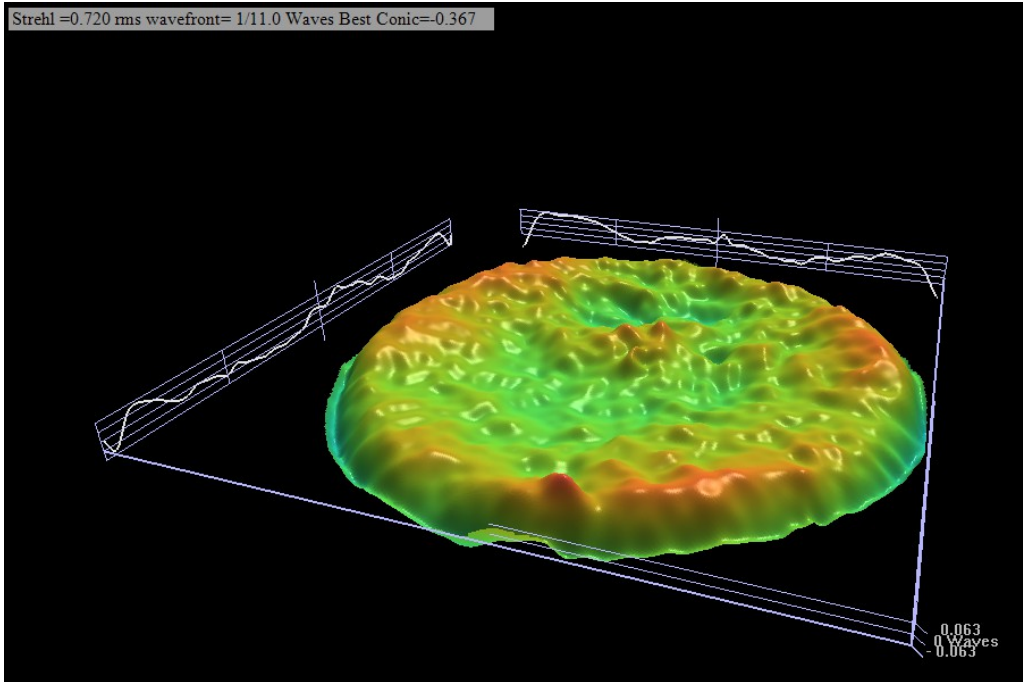
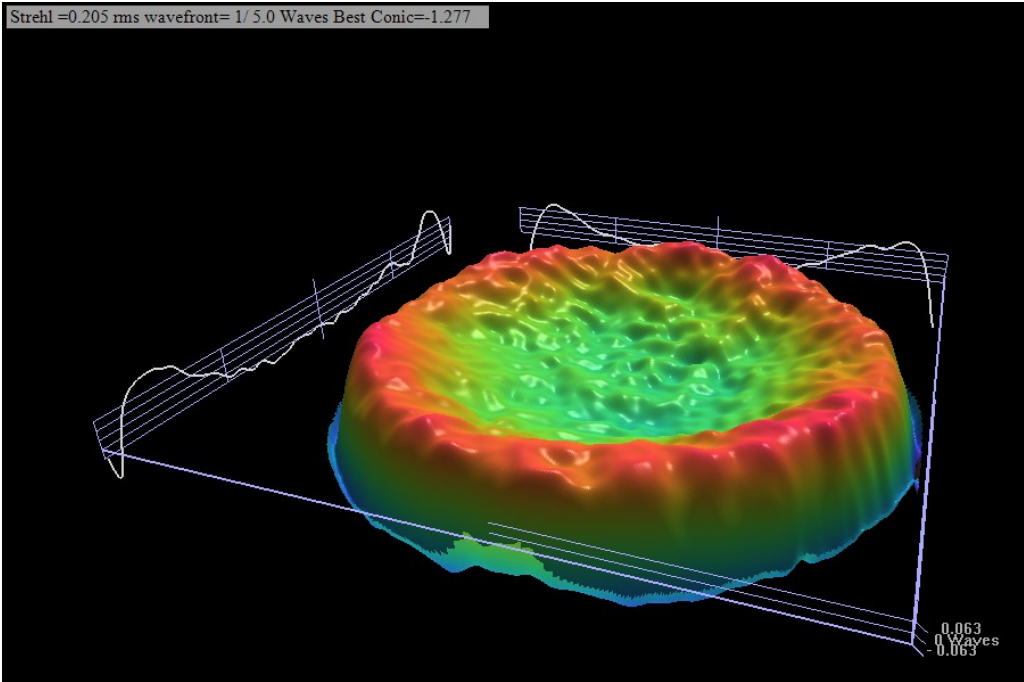


Das Ergebnis war erst einmal alles andere als erfreulich. Die konische Konstante lag bei  $cc = -2,27$ . Der Spiegel war also hoffnungslos überkorrigiert, da für die Sphäre die konische Konstante bei  $cc = 0$  liegen sollte. Der Strehl von  $S = 0,015$  sagt ebenfalls aus, dass die Sphäre in diesem Zustand für die Vermessung von Fangspiegeln nicht taugen würde.

Der weitere Plan sah nun vor, die konische Konstante in Richtung der Null zu drücken. Dazu wurde weiterhin das 18cm Tool verwendet. Die Striche waren kurz und erfolgten zentral über die Mitte.

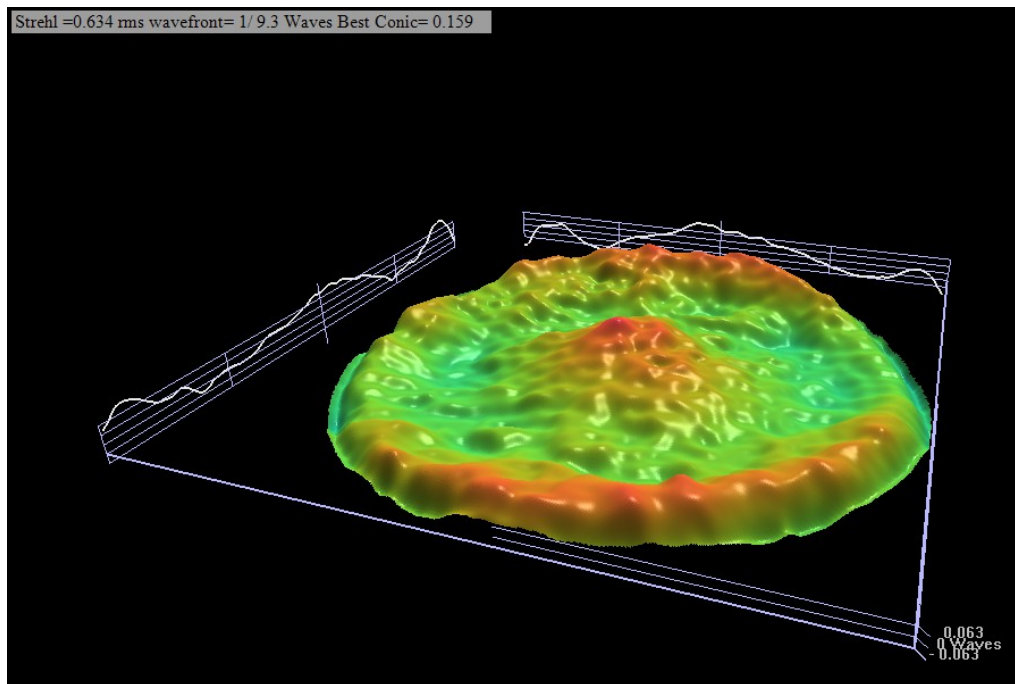
Nach 15min erfolgte die erste Kontrolle, ob diese Strichführung das gewünschte Ergebnis bringt. Da sie es tat, wurden weitere Sessions durchgeführt. Ein paar der Zwischenergebnisse möchte ich im Folgenden präsentieren:

Spacewalk Telescopes, Inhaber Christian Busch, Lauterburger Strasse 1, 76187 Karlsruhe





*Spacewalk Telescopes, Inhaber Christian Busch, Lauterburger Strasse 1, 76187 Karlsruhe*



Mit der letzten der insgesamt 7 Sessions, die jeweils nur 20min dauerten, konnte ich erreichen, dass die konische Konstante wieder im positiven Bereich lag. Ich näherte mich der gewünschten Form nämlich lieber von einem unterkorrigierten Zustand.

Der Strehlwert lag bei  $S=0,634$ . Das ist schon ganz passabel, für eine Sphäre allerdings immer noch sehr weit von der Bewertung „gut“ entfernt. Die Hauptfehler sind zum einen die Unterkorrektur, dann eine erhabene Randzone, ein Berg in der Mitte und ein leichter Astigmatismus.

Diese ganzen Fehler mussten nun im weiteren Verlauf behoben werden. Da nach meiner Erfahrung ein Fullsize- Tool diese Fehler bei der manuellen Politur nicht beheben kann, richtete ich mein Arsenal an kleinen und sehr kleinen Polierern her. Der Durchmesser variierte zwischen 20mm und 60mm. Je nach Form und Größe der abzutragenden Strukturen kommt mal dieser und mal jener zum Einsatz.

Dabei ist zu beobachten, dass kleine Polierer recht aggressiv sind, so dass sie nicht zu lange oder mit zu viel Druck angewendet werden sollten. Die Polierzeiten sind Erfahrungswerte, die ich im Laufe der Zeit gewonnen habe.

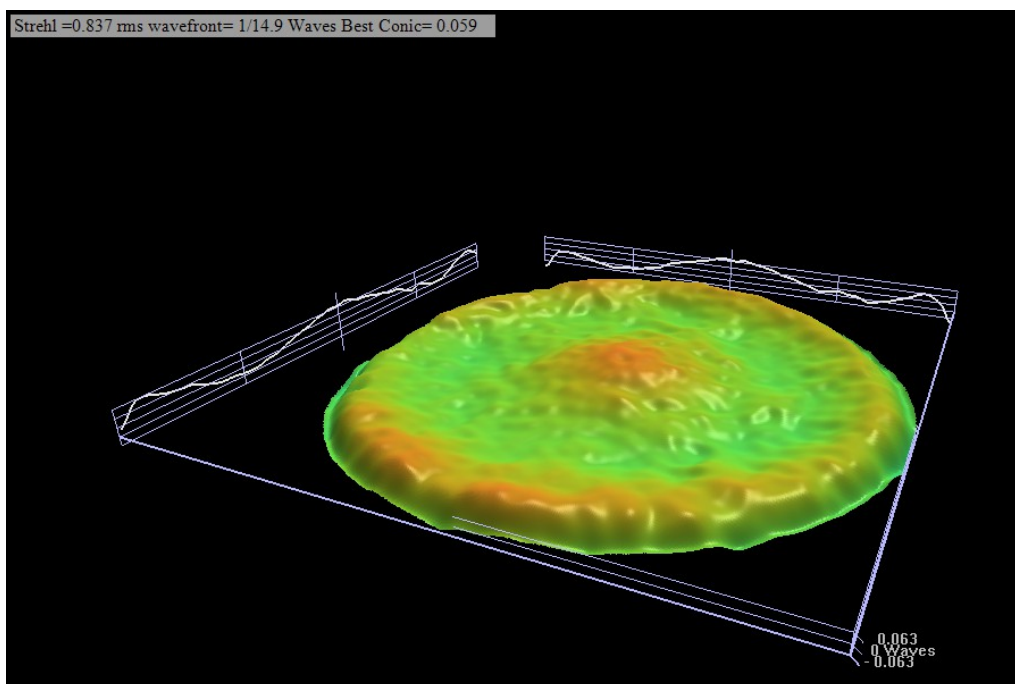


*Spacewalk Telescopes, Inhaber Christian Busch, Lauterburger Strasse 1, 76187 Karlsruhe*

## Session 1

In der ersten Session habe ich ein wenig auf den beiden Asti- Ohren herumpoliert, um eine geschlossene, gleichhohe Zone zu bekommen. Der Zentralberg wurde ebenfalls bearbeitet, um die konische Konstante zu verändern.

*Ergebnis:*



Das Ergebnis dieser ersten Session konnte sich sehen lassen. Der Strehl schoss auf  $S=0,84$  hoch.

Der Astigmatismus ist zwar noch leicht zu sehen, aber nicht mehr so ausgeprägt wie zuvor. Die Randzone macht nun einen viel ruhigeren Eindruck.

Je flacher das Profil wird, umso besser nähert sich die konische Konstante dem gewünschten Wert von  $cc=0$  an, hier liegt sie nun schon bei  $cc=+0,06$ . Bei der Sphäre ist es am Anfang relativ schwer zu entscheiden, auf welcher Seite der konischen Konstante man sich befindet. Durch die vorangegangenen Sessions war dies aber in diesem Fall kein Problem.



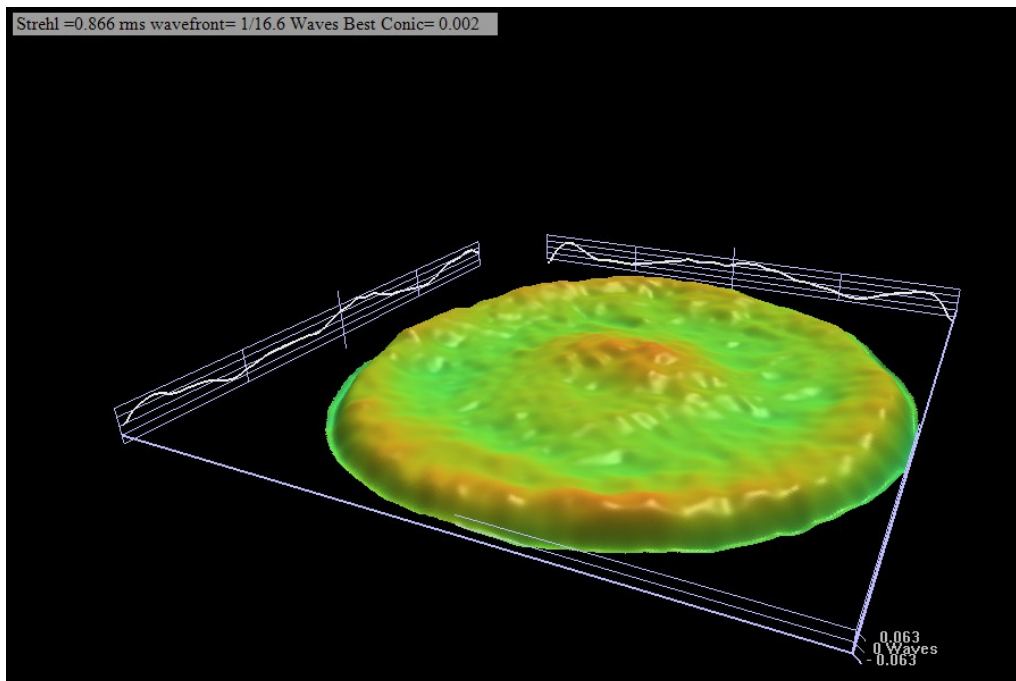


Spacewalk Telescopes, Inhaber Christian Busch, Lauterburger Strasse 1, 76187 Karlsruhe

## Session 2

Weil Session 1 so gut funktioniert hat und die zu bearbeitenden Strukturen die gleichen sind, gab es eine Wiederholung von Session 1.

Ergebnis:



Anhand der Farben lässt sich schon erkennen, dass die Strukturen nun weniger hoch sind. Der Strehlwert ist ebenfalls leicht auf  $S=0,87$  angestiegen.

Die konische Konstante liegt nun ziemlich genau bei  $cc=0$ , so dass es im Folgenden nur noch darum ging, die Randzone und den Rest des Zentralbergs gleichzeitig so abzutragen, dass sich die Konstante nicht mehr groß ändert.

Der Astigmatismus ist nach Session 2 kaum noch vorhanden.

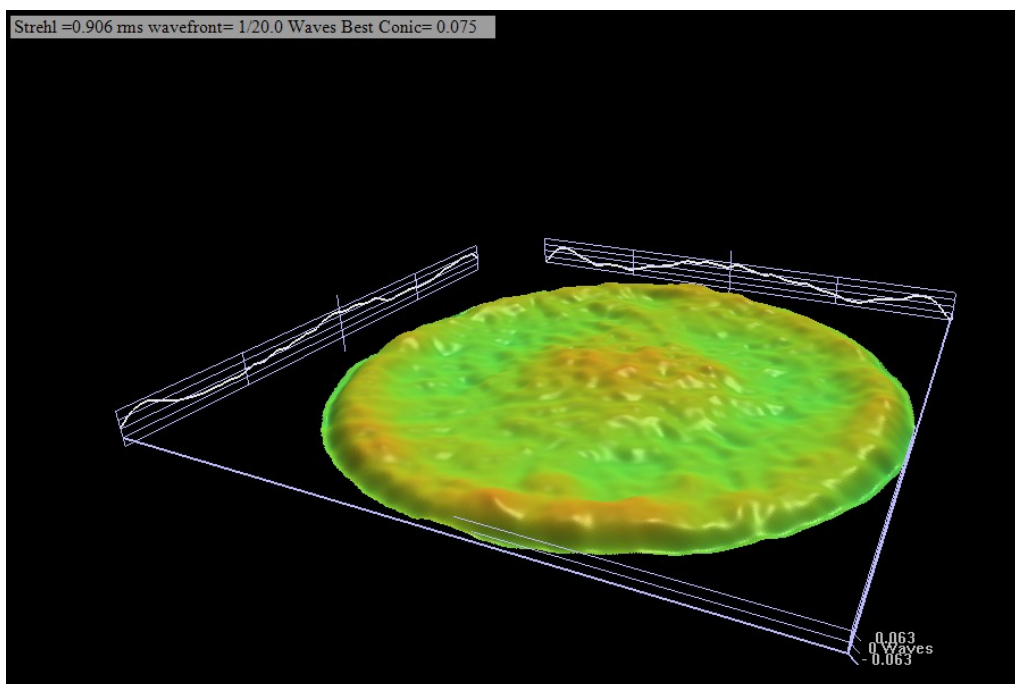


*Spacewalk Telescopes, Inhaber Christian Busch, Lauterburger Strasse 1, 76187 Karlsruhe*

### Session 3

Nach einer kleinen Politur der noch erhabenen Stellen des Astigmatismus wurden die ersten kompletten Runden auf der Randzone gedreht. Der hintere Teil des Zentralbergs sollte ebenfalls ein bisschen korrigiert werden.

*Ergebnis:*



Die Auswertung zeigt, dass auch Session 3 erfolgreich war. Der Strehl hat die magische Grenze von  $S=0,9$  durchbrochen.

Der Astigmatismus ist so gut wie weg und die Randzone weist ein gleichmäßiges Erscheinungsbild auf. Alles in allem sind die Abweichungen nun endlich rotationssymmetrisch, was das Polieren in den folgenden Sessions vereinfacht.

In diesem Stadium darf man allerdings nicht mehr zu lange polieren. Wie oben schon angedeutet, sind gerade kleine Polierer recht aggressiv, so dass die Dauer der Anwendung an manchen Stellen teilweise unter 30 Sekunden lag.

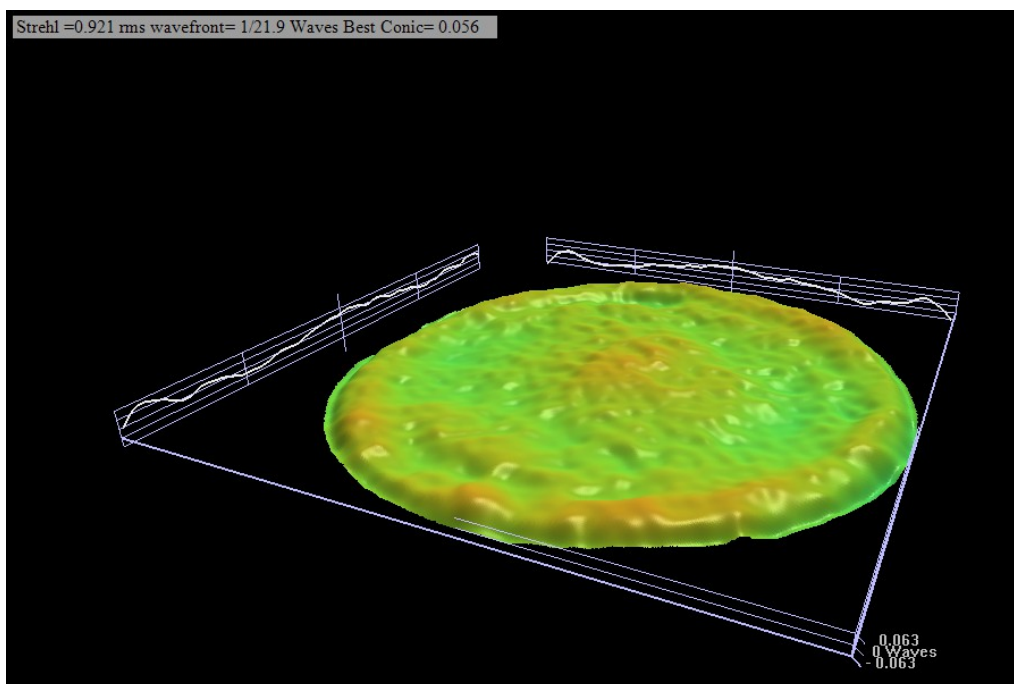


*Spacewalk Telescopes, Inhaber Christian Busch, Lauterburger Strasse 1, 76187 Karlsruhe*

#### **Session 4**

Auch in Session 4 sollten wieder die Randzone und der Zentralberg simultan bearbeitet werden. Die Dauer wurde um 20% reduziert, um nicht über das Ziel hinauszuschießen und evtl. an einer Stelle ein Loch hineinzupolieren.

*Ergebnis:*



Das Ergebnis zeigt wieder eine leichte Verbesserung des Strehlwertes auf  $S=0,92$ . Das mag für ein Teleskopspiegel ein sehr gutes Ergebnis sein, für eine Referenzsphäre allerdings ist das noch nicht gut genug. Schließlich soll sie allen Vermessungen von Planspiegeln zu Grunde liegen.

Gerade der innere Bereich ist noch ein wenig unruhig. Einen Berg kann man das im Zentrum eigentlich nicht mehr nennen, es ist vielmehr ein erhabenes Plateau.

Die Randzone hat sich ebenfalls weiter abgeflacht und gliedert sich an einigen Stellen schon recht sanft in den äußersten Rand mit ein.



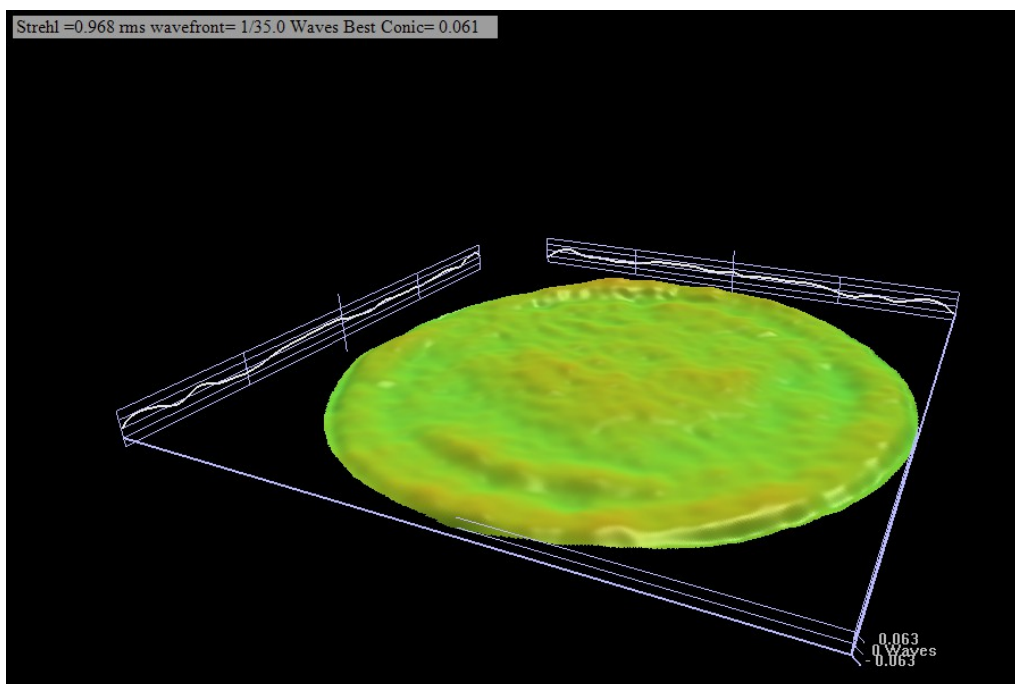


*Spacewalk Telescopes, Inhaber Christian Busch, Lauterburger Strasse 1, 76187 Karlsruhe*

## Session 5

Wie in Session 4 schon erwähnt, sollte der innere Bereich ein wenig beruhigt werden. Geplant war außerdem, die Randzone weiter abzutragen. Dabei sollte vorsichtig vorgegangen werden, um nicht unter das Nullniveau zu kommen.

*Ergebnis:*



Für die Auswertung wurden nun insgesamt 16 Interferogramme in den Stellungen 0°, 90°, 180° und 270° gemittelt. In diesem Stadium ist es immens wichtig, genau zu wissen, wie die Spiegeloberfläche aussieht. Nur so poliert man an den richtigen Stellen.

Der Strehl ist nach dieser Session auf  $S=0,97$  gestiegen.

Der zentrale Bereich des Spiegels ist deutlich ruhiger geworden und könnte schon zur Vermessung von Planspiegeln herangezogen werden. Die Randzone ist bei der 8-Uhr-Stellung kaum noch zu erkennen – einige Überbleibsel sind aber übrig.

Man beachte auch die Struktur in der 6-Uhr-Position zwischen der Mitte und der Randzone, die sich während der letzten 3 Sessions immer mehr aus dem Rauschen heraushebt. Letztlich ist das ein gutes Zeichen für die Konstanz und Richtigkeit der interferometrischen Vermessung.

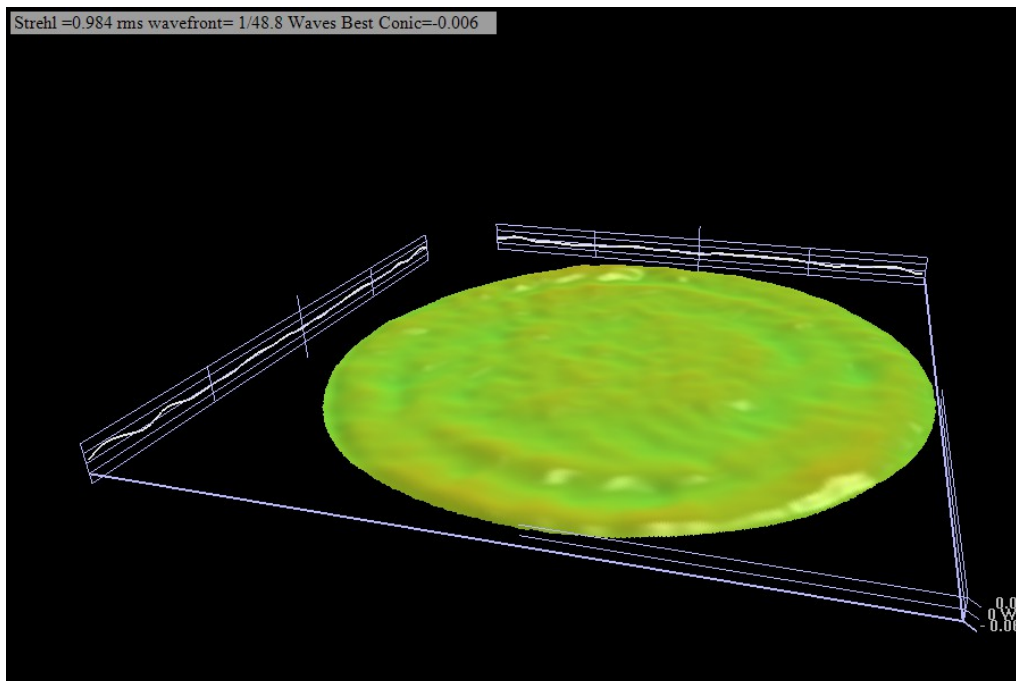


*Spacewalk Telescopes, Inhaber Christian Busch, Lauterburger Strasse 1, 76187 Karlsruhe*

## Session 6

Trotz eines Strehls von  $S=0,97$  war noch ein wenig Platz für Verbesserungen. Während die Mitte mit sehr wenig Druck nur noch kurz poliert werden sollte, konnten die verbleibenden Teile der Randzone mehr Zuwendung vertragen. Auch der Bogen, der sich in den letzten Sessions zwischen der Mitte und der Randzone bemerkbar gemacht hatte, war ein Fall für das Minitool.

*Ergebnis:*



Der Strehl ist nochmal leicht auf  $S=0,984$  gestiegen.

Die Oberfläche ist nun sehr eben und weist keine größeren Erhöhungen mehr auf. Die konische Konstante liegt nun mit  $cc=-0,006$  ebenfalls sehr nahe am gewünschten Optimum von  $cc=0$ .

Es lassen sich zwar immer noch leichte Zonenfehler erkennen, die sind aber so gering, dass es sich nicht mehr lohnt, diese noch verbessern zu wollen. Vielmehr steigt ab nun die Gefahr, das Ergebnis zu verschlechtern.

Aus diesem Grund ist das auch das Endergebnis!



*Spacewalk Telescopes, Inhaber Christian Busch, Lauterburger Strasse 1, 76187 Karlsruhe*

## **Fazit und Ausblick**

Alles in allem ist die Sphäre sehr gut gelungen. Betrachtet man verschiedene innere Bereiche, die zur Vermessung der Fangspiegel herangezogen werden, so ergeben sich folgende Strehlwerte:

- D= 205mm mit S=0,984
- D= 150mm mit S=0,988
- D= 100mm mit S=0,990
- D= 50mm mit S=0,994

Damit kann die Sphäre uneingeschränkt zur Messung von Plan und Fangspiegeln verwendet werden.

Nach der Beschichtung mit Aluminium und dem Einbau in den Teststand können die ersten Versuche hierzu beginnen. Diverse Fangspiegel unterschiedlicher Größen liegen hierzu schon bereit – es bleibt also weiterhin spannend.

Christian Busch  
Spacewalk Telescopes