

Mirror Round Robin – 2005/2006

Horia Costache

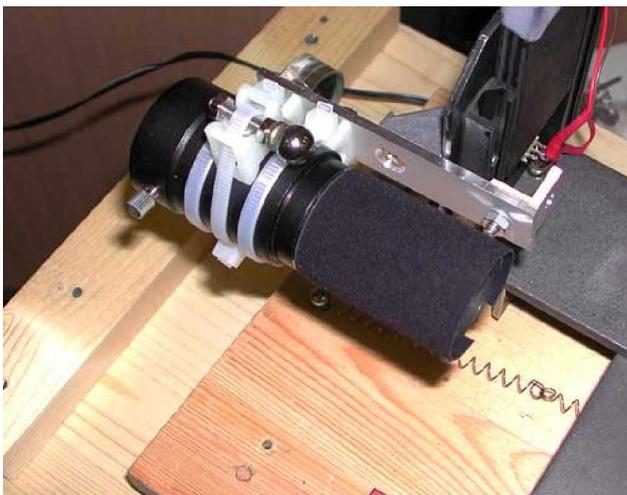
Messeinrichtung

Gemessen wurde nach Foucault, mit folgendem Gerät:



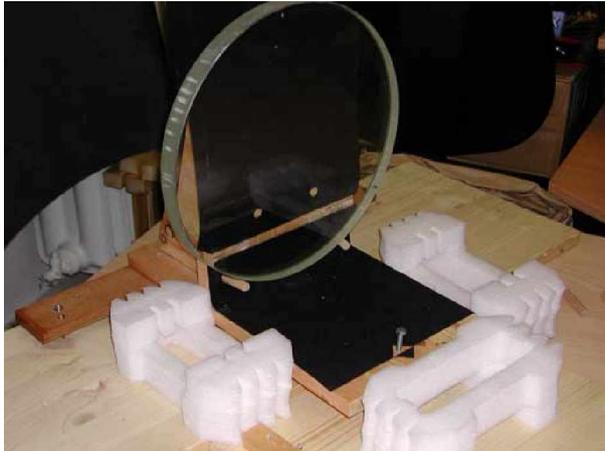
Das Gerät ist nach Texereau gebaut. Die Längs-Bewegung wird über einer M6 Schraube gesteuert. Man kann die Schnittweite sowohl anhand der Skala auf dem Drehknopf (Links im Bild) als auch auf der Messuhr ablesen. Die seitliche Bewegung wird durch das Einschwenken des Kreuzes mit Hilfe einer M1,5 Schraube durchgeführt (Rechts unten im Bild).

Die Hülse einer Barlow-Linse dient als Aufnahme für Okulare:



Die kleine Stahlkugel über der Hülse wird von einer LED in ca. 40cm Abstand von vorne beleuchtet und eignet sich als gute Lichtquelle für den Sterntest.

Der Spiegel wird auf eine einfache Halterung gestellt, welche an drei Punkten auf dem Tisch aufliegt:



Die zwei Holzdübel, welche den Spiegel halten, sind etwas nach innen geneigt. Damit liegt der Spiegel nur mit der vorderen Kante auf und wird leicht nach hinten, gegen die Rückplatte gedrückt. Die Idee stammt vom Texereau. Die dabei entstandene Verformung soll keinen nennenswerten Einfluss auf die Messung haben, da diese nur über einem waagerechten Durchmesser stattfindet. Das ist die erste Annahme, die ich durch den Vergleich mit den Ergebnissen der anderen Teilnehmer prüfen möchte.

Spiegel­daten:

Aktiver Durchmesser:	302 mm
Radius:	2942 mm

Messung

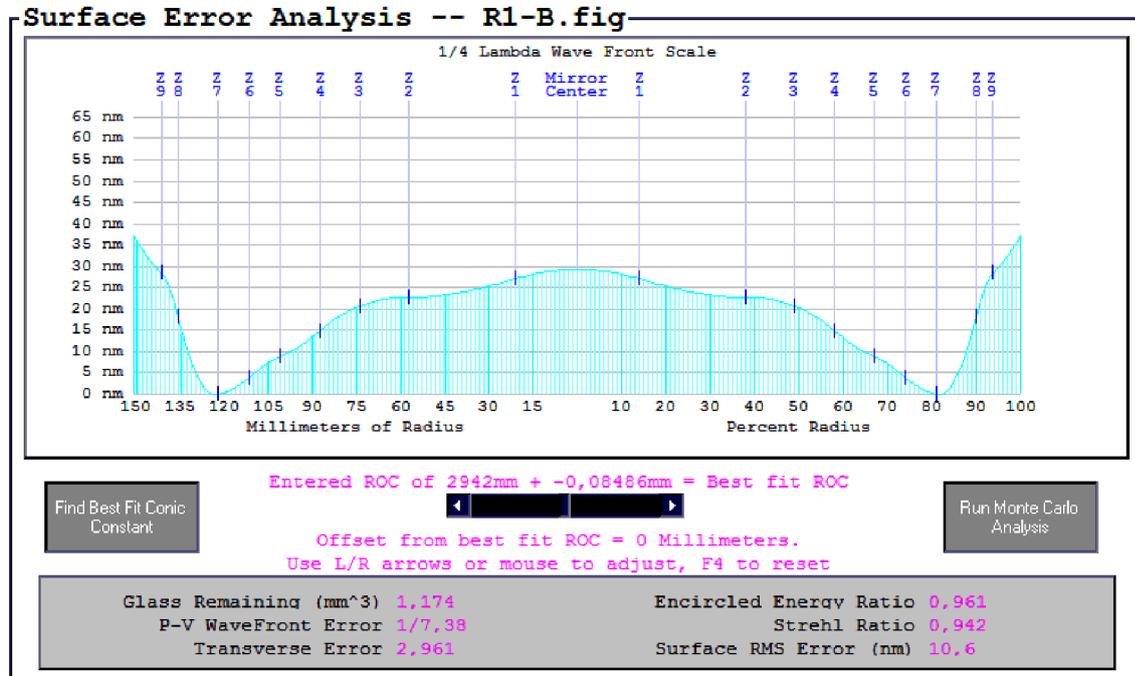
Alle Messungen sind fotografisch durchgeführt worden. Dabei wurde der Spiegel über 4 Diameter, bei 0° , 45° , 90° und 135° geprüft. Pro Richtung sind drei Messreihen aufgenommen, in jeweils 0,2 mm Schritten für die Schnittweite. Für eine normale Messung ist das zu dicht. Da aber der Spiegel nur einige Tage zur Verfügung steht, habe ich mich entschlossen lieber zu viele Fotos zu machen als zu wenige.

Die Zonenradien sind mit der FoucaultXL-Software ermittelt und dann mit FigureXP ausgewertet.

Die Ergebnisse dieser Auswertung, für 0° , 45° , 90° und 135° sind weiter unten abgebildet. FigureXP zeichnet die Abweichung der Spiegeloberfläche von einer idealen Parabel in nm. Dabei wird die ideale Parabel (best fit) so ermittelt, dass der RMS-Wert der Abweichung minimiert (und entsprechend der beste Strehl-Wert erreicht wird). Alle Lambda-Werte beziehen sich auf ein Lambda von 520nm und sind als Wellenfront-Fehler zu verstehen.

Und jetzt die FigureXP Auswertungen:

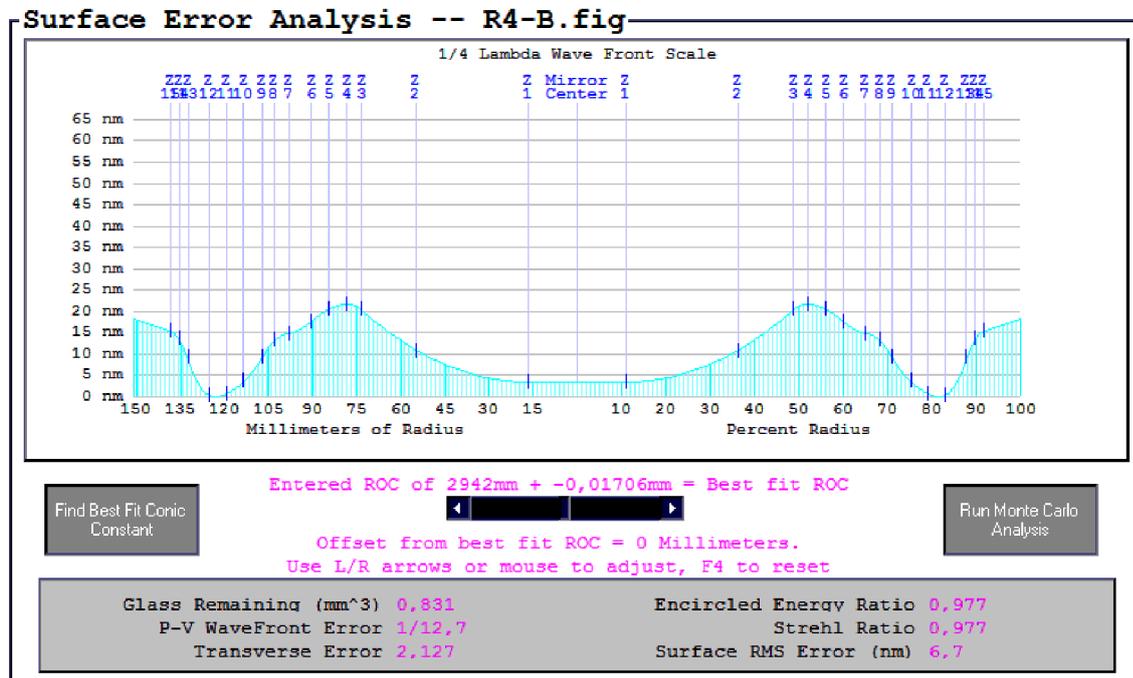
Reihe 1 – Ausrichtung 0°



Units are in Millimeters. Light source is Moving.
Mirror Diameter = 302 Best fit Radius of Curvature = 2941,915 Desired deformation = -1

Zone	Effective Radius	Average Knife Reading	Ideal Knife Reading	Difference	Zone Delta	Ideal Zone Delta	% Zonal Correction
1	21,000	0,000	0,000	0,000			
2	57,500	0,400	0,487	-0,087	0,400	0,487	82%
3	74,000	0,800	0,856	-0,056	0,400	0,369	108%
4	87,500	1,200	1,226	-0,026	0,400	0,371	108%
5	101,000	1,600	1,659	-0,059	0,400	0,432	92%
6	111,500	2,000	2,038	-0,038	0,400	0,379	105%
7	122,500	2,400	2,475	-0,075	0,400	0,437	91%
8	136,000	2,800	3,068	-0,268	0,400	0,593	67%
9	141,500	3,200	3,328	-0,128	0,400	0,259	154%

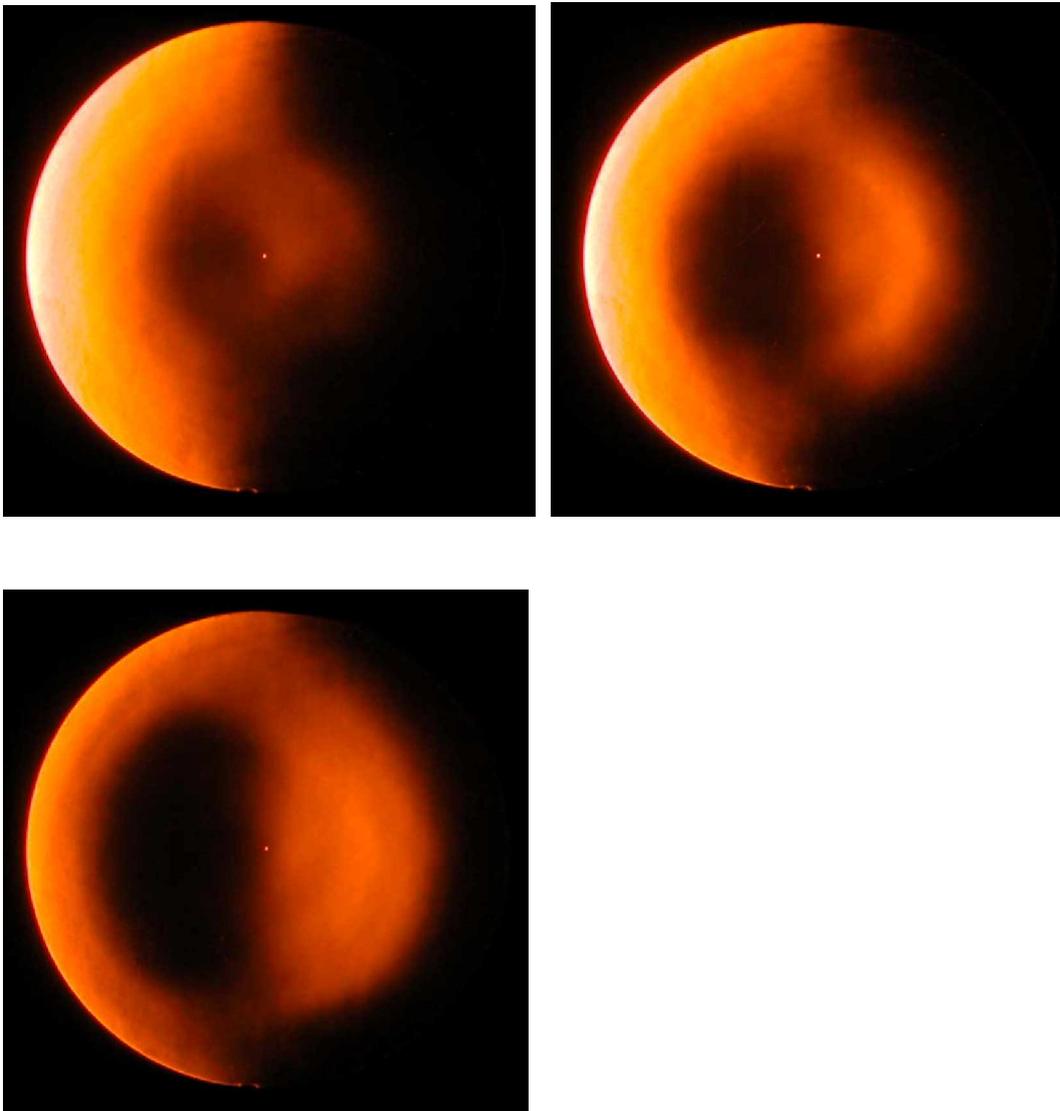
Reihe 4 – Ausrichtung 135°



Units are in Millimeters, Light source is Moving.
Mirror Diameter = 302 Best fit Radius of Curvature = 2941,983 Desired deformation = -1

Zone	Effective Radius	Average Knife Reading	Ideal Knife Reading	Difference	Zone Delta	Ideal Zone Delta	% Zonal Correction
1	16,500	0,000	0,000	0,000			
2	55,000	0,400	0,468	-0,068	0,400	0,468	85%
3	73,500	0,800	0,872	-0,072	0,400	0,404	99%
4	78,500	1,000	1,001	-0,001	0,200	0,129	155%
5	84,500	1,200	1,167	0,033	0,200	0,166	120%
6	90,500	1,400	1,346	0,054	0,200	0,178	112%
7	98,200	1,600	1,593	0,007	0,200	0,247	81%
8	103,000	1,800	1,757	0,043	0,200	0,164	122%
9	107,000	2,000	1,900	0,100	0,200	0,143	140%
10	114,000	2,200	2,162	0,038	0,200	0,263	76%
11	119,300	2,400	2,373	0,027	0,200	0,210	95%
12	125,300	2,600	2,622	-0,022	0,200	0,249	80%
13	132,500	2,800	2,937	-0,137	0,200	0,315	63%
14	135,500	3,000	3,074	-0,074	0,200	0,137	146%
15	138,500	3,200	3,214	-0,014	0,200	0,140	143%

Für die Beurteilung der Spiegelqualität, füge ich noch einige Fotos aus der Reihe 4 ein (die leichte Drehung ist durch die Positionierung der Kamera entstanden):



Man sieht die sehr gut polierte Oberfläche und den Hauch einer Zone bei ca. 65 mm Radius.

Um den Spiegel nach Kratzern zu untersuchen, habe ich auch einige Fotos mit ganz eingeschwenkter Schneide und sehr langen Belichtungszeiten gemacht. Das sieht dann so aus:



Der Spiegel ist frei von Kratzern.

Bearbeitung und Ergebnisse

Anhand der oben präsentierten Ergebnisse, würde man auf einen sehr, sehr guten (Reihe 1, mit Strehl = 0,94) bis traumhaften (Reihe 3, mit Strehl = 0,98) Spiegel schließen können.

Gleichzeitig entsteht die Frage:

Welche Bedeutung hat die Tatsache, dass das Programm bei der Berechnung der „best fit“ Parabel, verschiedene Abweichungen von dem angegebenen Radius von 2942 mm gefunden hat, für die Qualität des Spiegels?

Die Fakten:

<i>Reihe</i>	Abweichung [mm]
Reihe1	-0,08486
Reihe2	-0,09783
Reihe3	-0,01590
Reihe4	-0,01706
Mittelwert:	-0,05391

Es gibt aber für den ganzen Spiegel nur ein „best fit“ Paraboloid. Als Radius (RoC – Radius of Curvature) für dieses Paraboloid wird der Durchschnittswert der Radien der einzelnen Reihen benutzt. Dies ist eine etwas pessimistische Annahme, d.h. das beste Paraboloid würde letztendlich etwas bessere Ergebnisse für den Spiegel liefern. Die Abweichung ist aber verschwindend gering.

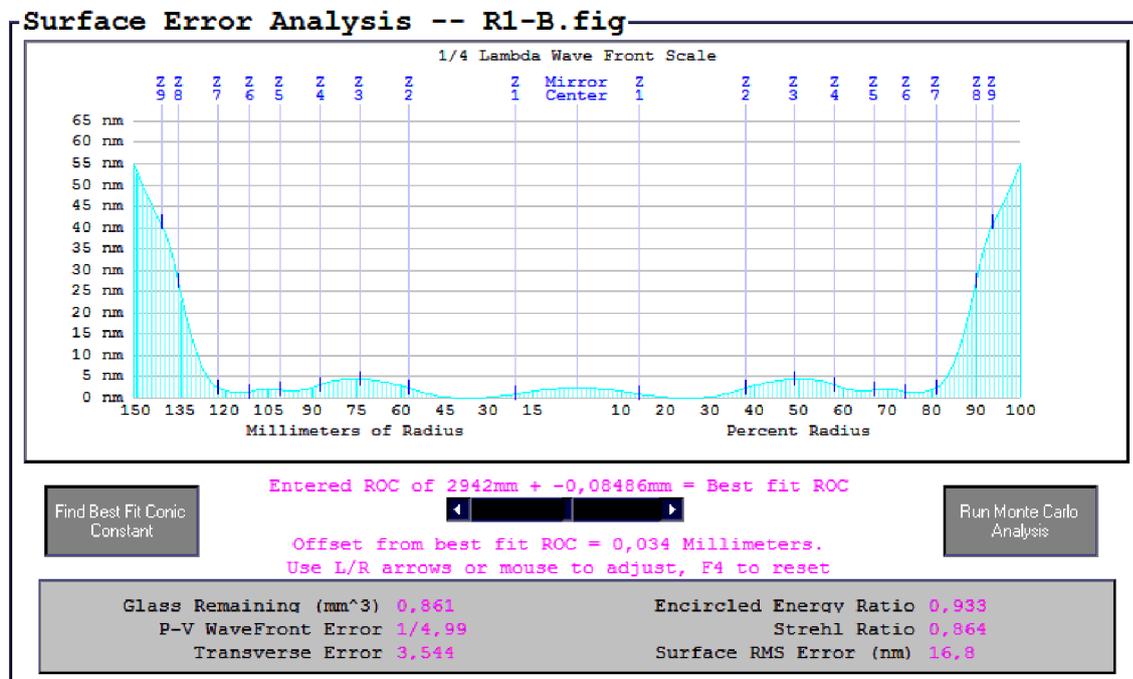
Das ist die zweite Annahme, die ich durch den Vergleich mit den Ergebnissen der anderen Teilnehmer prüfen möchte.

Der Durchschnittswert wird dann in FigureXP durch den Slider „Offset from best fit RoC“ eingestellt. Als Mittelwert dafür wurde -0,05mm benutzt:

Reihe	Abweichung [mm]	Mittelwert[mm]	Offset [mm]
Reihe1	-0,08486 mm	-0,05	+0,034
Reihe2	-0,09783 mm	-0,05	+0,048
Reihe3	-0,01590 mm	-0,05	-0,034
Reihe4	-0,01706 mm	-0,05	-0,033

Die Ergebnisse für ein gemeinsames Paraboloid als Referenz sehen jetzt so aus:

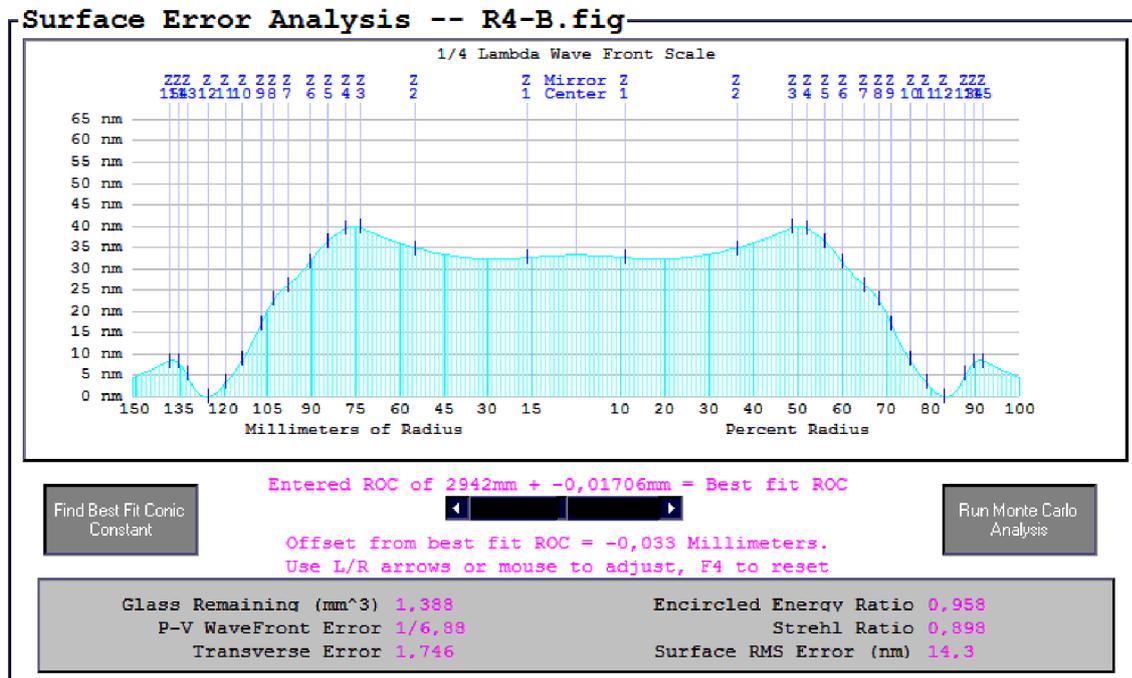
Reihe 1 – Ausrichtung 0°



Units are in Millimeters, Light source is Moving.
Mirror Diameter = 302 Best fit Radius of Curvature = 2941,915 Desired deformation = -1

Zone	Effective Radius	Average Knife Reading	Ideal Knife Reading	Difference	Zone Delta	Ideal Zone Delta	% Zonal Correction
1	21,000	0,000	0,000	0,000			
2	57,500	0,400	0,487	-0,087	0,400	0,487	82%
3	74,000	0,800	0,856	-0,056	0,400	0,369	108%
4	87,500	1,200	1,226	-0,026	0,400	0,371	108%
5	101,000	1,600	1,659	-0,059	0,400	0,432	92%
6	111,500	2,000	2,038	-0,038	0,400	0,379	105%
7	122,500	2,400	2,475	-0,075	0,400	0,437	91%
8	136,000	2,800	3,068	-0,268	0,400	0,593	67%
9	141,500	3,200	3,328	-0,128	0,400	0,259	154%

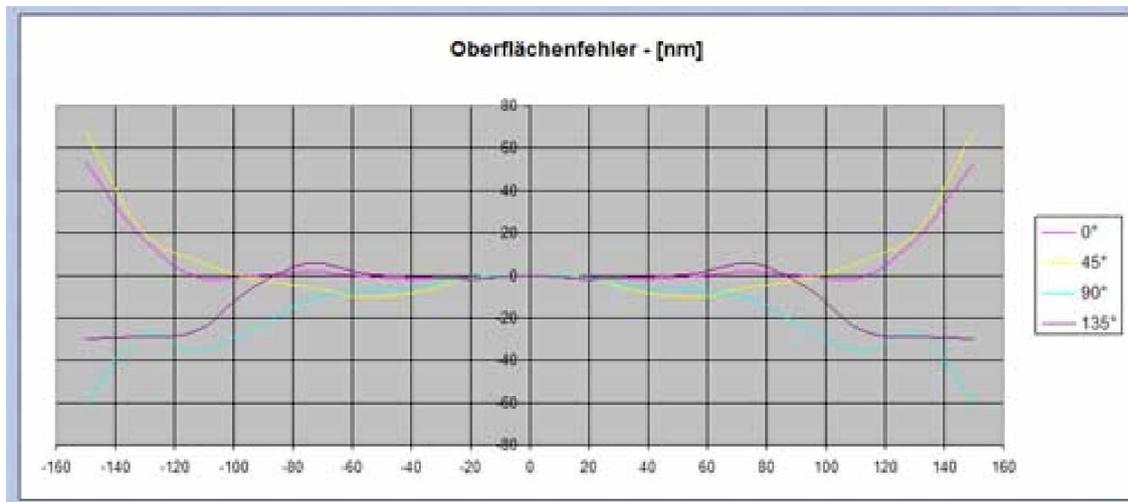
Reihe 4 – Ausrichtung 135°



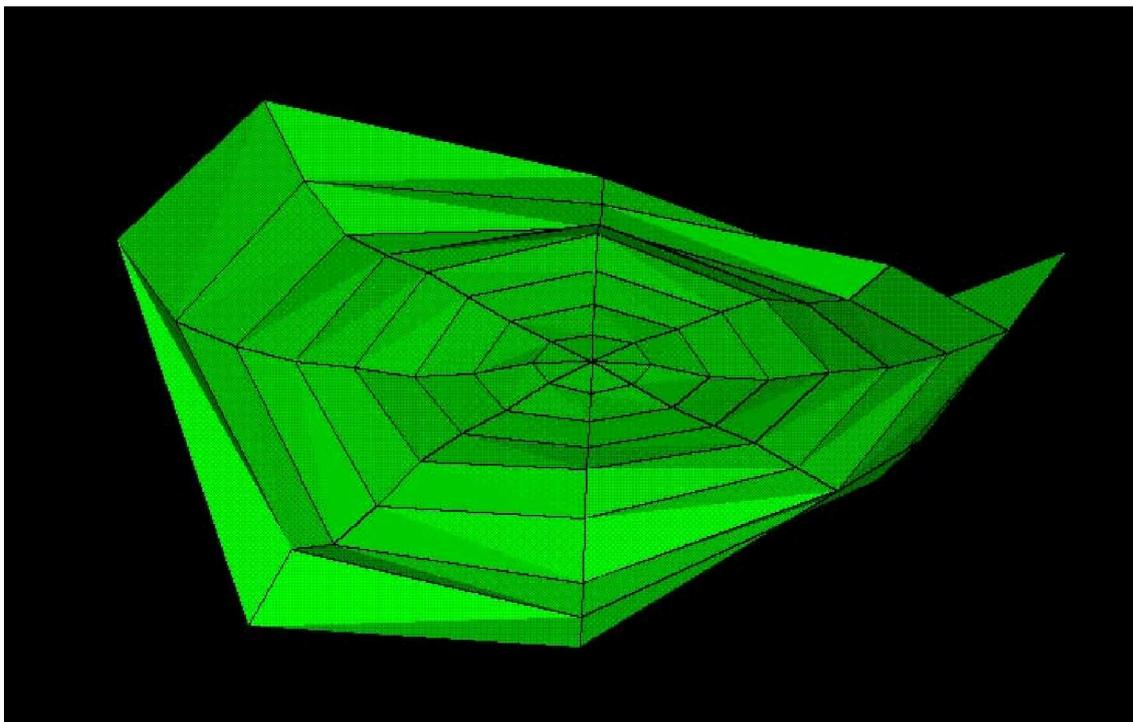
Units are in Millimeters, Light source is Moving.
Mirror Diameter = 302 Best fit Radius of Curvature = 2941,983 Desired deformation = -1

Zone	Effective Radius	Average Knife Reading	Ideal Knife Reading	Difference	Zone Delta	Ideal Zone Delta	% Zonal Correction
1	16,500	0,000	0,000	0,000			
2	55,000	0,400	0,468	-0,068	0,400	0,468	85%
3	73,500	0,800	0,872	-0,072	0,400	0,404	99%
4	78,500	1,000	1,001	-0,001	0,200	0,129	155%
5	84,500	1,200	1,167	0,033	0,200	0,166	120%
6	90,500	1,400	1,346	0,054	0,200	0,178	112%
7	98,200	1,600	1,593	0,007	0,200	0,247	81%
8	103,000	1,800	1,757	0,043	0,200	0,164	122%
9	107,000	2,000	1,900	0,100	0,200	0,143	140%
10	114,000	2,200	2,162	0,038	0,200	0,263	76%
11	119,300	2,400	2,373	0,027	0,200	0,210	95%
12	125,300	2,600	2,622	-0,022	0,200	0,249	80%
13	132,500	2,800	2,937	-0,137	0,200	0,315	63%
14	135,500	3,000	3,074	-0,074	0,200	0,137	146%
15	138,500	3,200	3,214	-0,014	0,200	0,140	143%

Jetzt können die vier Kurven direkt miteinander verglichen werden. Dabei verschiebt man sie derart, dass der Nullpunkt in der Spiegelmitte liegt:



Hier als 3D-Darstellung:



Man sieht ganz deutlich, dass der Spiegel leicht astigmatisch ist.

Beurteilung

Um ein Urteil über den Spiegel fällen zu können, brauchen wir mindestens dessen Strehl-Wert.

Die RMS- und Strehl-Werte der einzelnen Reihen sind:

Reihe	RMS-Oberfläche W [nm]	Strehl Wert SR
Reihe 1	16,8	0,864
Reihe 2	20,7	0,801
Reihe 3	14,2	0,899
Reihe 4	14,3	0,898

Daraus kann ein gesamter RMS-Wert errechnet werden:

$$W = \sqrt{(W_1^2 + W_2^2 + W_3^2 + W_4^2)/4} = 16,7 \text{ nm}$$

Bezogen auf eine Wellenlänge $\lambda = 520\text{nm}$, ergibt das ein Strehl-Wert (Astigmatismus mit eingeschlossen) von:

$$SR = \frac{1}{\exp\left(2\pi \frac{2W}{\lambda}\right)} = 0,85$$

Bei einer Messtoleranz für den RMS-Wert von +/- 10% erhält man

$W = 12 \dots 17,1$ nm auf der Oberfläche

und

$SR = 0,82 \dots 0,87$

Fazit

Das Ergebnis der Untersuchung ist, dass man über einen guten Spiegel verfügt. Der vorhandene Astigmatismus wird nur bei sehr hoher Vergrößerung zu sehen sein.

Mit einem Fangspiegel passender Qualität (sinnvoll ist hier maximal 30nm RMS auf der Oberfläche), einer gut durchdachten und gut konstruierten Spiegelzelle, sowie Feinheiten wie Lichtschutz und Belüftung, wird ein sehr gutes Newton realisierbar sein.