

Doppelrefraktor Potsdam

Bewertung der Objektive

800/12 000
und
500/12 500

Prüfbericht
mit
kurzem Überblick über die historischen
Qualitätsaussagen

erstellt durch

4H Jena Engineering GmbH
Gebhard Kühn
2003

DOPPELREFRAKTOR POTSDAM..... 1

<i>BEWERTUNG DER OBJEKTIVE</i>	1
1 PRÜFGEGENSTAND	3
2 HISTORISCHER ÜBERBLICK	3
2.1 HARTMANN´SCHES PRÜFERGEBNISS VON 1905	5
2.2 WEITERE HISTORISCHE QUALITÄTSAUSSAGEN	6
3 PRÜFAUFBAU	7
3.1 WELLENFRONTSENSOR	7
3.2 INTERFEROMETER	7
4 PRÜFUNG VOR SÄUBERUNG	9
4.1 80CM-OBJEKTIV	9
4.2 50CM-OBJEKTIV	10
5 PRÜFERGEBNIS NACH SÄUBERUNG	11
6 VERGLEICH UND BEWERTUNG DER QUALITÄTSAUSSAGEN	11
6.1 80CM-OBJEKTIV	11
6.2 50CM-OBJEKTIV	12
7 LITERATUR	12
8 ANLAGEN	13
8.1 ANLAGE 1	13
8.2 ANLAGE 2	14

1 Prüfgegenstand

Die Instandsetzung des Doppelrefraktors Potsdam beinhaltet die Säuberung der Objektive und die Sanierung der Fassungelemente. Dazu müssen die Objektive in ihre Einzelteile zerlegt werden.

Die Prüfung soll zum einen die Qualität der historischen Objektive bezeugen und zum anderen den Nachweis erbringen, daß durch die Eingriffe bei der Säuberung keine Verschlechterung der Qualität aufgetreten ist.

Zu prüfen sind die von C.A. Steinheil Söhne in München hergestellten Objektive

800/12 000 , Nr. 47000; fotografisch, Hauptwellenlänge 425 nm
und

500/12 500 visuell, Hauptwellenlänge 550 nm

vor und nach der Säuberung der Linsen und der Fassungsanierung. In der Anlage 2 wird die Fassungsart des Objektives 800/12000 beschrieben.

2 Historischer Überblick

Der historische Überblick wurde aus den *Jahresberichten des Astrophysikalischen Observatoriums Potsdam* [1] und aus dem Artikel von J. Hartmann [2] entnommen. Sie werden hier nur stichpunktartig wiedergegeben.

1897	April	Baubeginn des Kuppelgebäudes	
1898	Oktober	Dr. Hartmann wird als Observator eingestellt	
1899	Frühjahr	Kuppelgebäude fertig	
1899	Mai	Abschluß der Refraktoraufstellung	
1899	7. Juni	Einbau der Objektive und 1. Prüfung	
		Prüfung des 50cm-Objektives	Sternscheibchen klein und rund
		Prüfung des 80cm-Objektives mit Korrektionslinse	Rand- u. Mittenstrahlen haben eine kürzere Brennweite, Sternscheibchen ist gleichmäßig rund, jedoch zu groß (\varnothing 680 μ m) und unscharf
		1. Zustand	Auch die Untersuchung mit Spektrograph ergibt Zonenfehler. Die extrafokale Messung (48 Punkte) ergibt sphärische Aberration
1899	26.8.	Feierliche Einweihung	
1900	Mai	Dr. Steinheil korrigiert das 80cm-Objektiv vor Ort in 3 Arbeitsgängen	Eine 5cm breite Randzone hat noch zu kurze Brennweite.
		2. Zustand	

		50cm-Objektiv	Bis auf eine schmale Randzone ist das Objektiv vorzüglich.
1903	Oktober	80cm-Objektiv wird abgebaut und nach München gebracht	
1904	April	Die Korrektur des 80cm-Objektiv ist abgeschlossen	zunächst Polierkorrektur, es entsteht starker Astigmatismus, deshalb Schleifen Abnahme durch Dr. Hartmann in München
1905	Mai	Einbau des 80cm-Objektives	Sternscheibchen jetzt schärfer und intensiver , kein Hof mehr, wird jetzt besser eingeschätzt als das 50cm-Obj.
		3. Zustand	Die extrafokale Messung (96 Punkte) ergibt kaum noch Zonenfehler, aber einen starken unregelmäßigen Astigmatismus. Hartmann: „ Die Korrektur kann noch nicht als beendet angesehen werden“ Er fordert eine Lokalretusche! Die extrafokale Messung wird durch eine fotografische Foucaultsche Messerschneidenmethode am Himmel bestätigt und ergänzt („Fokogramme“). Das Objektiv ist für astrometrische Zwecke nicht verwendbar, da die Lichtverteilung im Fokus nicht symmetrisch ist. Sternscheibchen Ø 180 µm
1907		Dr. Hartmann schließt die Prüfung des 80cm-Objektives ab	Veröffentlichung in Zeitschrift für Instrumentenkunde 1909
1912	Dezember	B. Schmidt erhält das 50cm-Objektiv zur Korrektur von Zonenfehlern	
1913	Oktober	Dr. Steinheil führt nochmals eine Korrektur des 80cm-Objektives in München durch	Prof. Wilsing gibt die Größe des Brennfleckes mit 0.05mm an
		4. Zustand	
1915		B. Schmidt säubert das 50cm-Objektiv und verkittet die Linsen in der Fassung	
1924		80cm-Objektiv	Münch bemerkt eine Dezentrierung
1926		80cm-Objektiv	Das Objektiv hat seine Zentrierung verloren (122) [1].
1926	Nov./Dez.	Dr. Steinheil zentriert das 80cm-Objektiv	Danach stellen sich Spannungen heraus.
1926	Dezember	Die Spannungen am 80cm-Objektiv konnten durch Änderung der Fassung behoben werden	
1929		80cm-Objektiv	Münch stellt fest, daß die Spannungen sich nicht beseitigen lassen, wenn die Zentrierung erhalten werden soll.
1940	November	Das 80cm-Objektiv wird nach Jena gebracht.	Die Verspannung wird von ZEISS bestätigt.
1941		ZEISS optimiert die Lage der Linsen in der Fassung.	Nur ein Teil der unrunder Bildform stammt von Spannungen. Hauptursache ist Inhomogenität in der Flintlinse.
1942	November	Das 80cm-Objektiv wird wieder eingebaut.	Bei Abblendung auf 70cm ist das Bild 1.3`` groß.
1953		Für beide Objektive werden Hartmannblenden hergestellt.	
1956		E. Rolf (Rathenow) berechnet mehrere Korrektionsysteme für das 80cm-Objektiv.	

1959 E. Rolf berechnet ein dreilinsiges
Zusatzsystem zur Achromatisierung des
80cm-Objektives und konstruiert
Werkzeuge zur vorspannenden
Verformung von Rohoptik.

Aus den Aufzeichnungen ist zu erkennen, wie schwierig es war, die Objektive, insbesondere das 80cm-Objektiv, in die gewünschte Spezifikation zu bringen.

Nicht zuletzt hat man aus diesen Gründen auf den Bau weiterer so großer Objektive verzichtet.

2.1 Hartmann'sches Prüfergebniss von 1905

Dr. Hartmann hat 1907 in *Publ. des Astrophys. Obs. zu Potsdam. Bd.XV.2* [3] die Prüfergebnisse zum 80cm-Objektiv (3. Zustand) veröffentlicht. In der Tabelle XXXII auf Seite 87 und 88 hat er die astigmatischen Verschiebungen für 96 Objektivpunkte aufgelistet. Hartmann selbst hat seine Ergebnisse in einem Gradientenfeld Fig. 1 dargestellt und visuell bewertet. Er konnte Dr. Steinheil genau sagen, wie das Objektiv zu korrigieren ist.

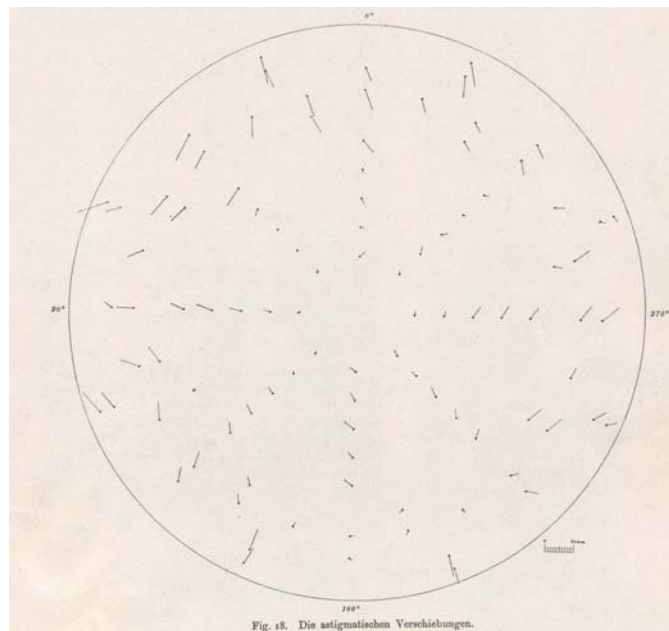


Fig. 1

Wir möchten die Messung von 1907 nach heutigen Kriterien bewerten:
Dazu stellen wir zunächst die astigmatischen Verschiebungen in einem Spotdiagramm Fig. 2 dar.

15.6 μm
134.0 μm



Fig.2

Der innere Kreis kennzeichnet den Durchmesser für die Beugungsgrenze ($15.6\mu\text{m}$). 80% der Spots fallen in einen Kreis von $134\mu\text{m}$ (äußerer Kreis, 2.3 arcsec), d.h., das Objektiv ist weit davon entfernt, beugungsbegrenzt zu sein.

Im weiteren soll die Wellenfront aus den Hartmann'schen Daten ermittelt werden. Dazu hat Dr. Weßlau [4] eine Berechnung angestellt. Die vom ihm ermittelte Wellenfront ist in Fig.3 dargestellt. Der 1905 erwähnte unregelmäßige Astigmatismus ist in Fig.3 gut zu erkennen.

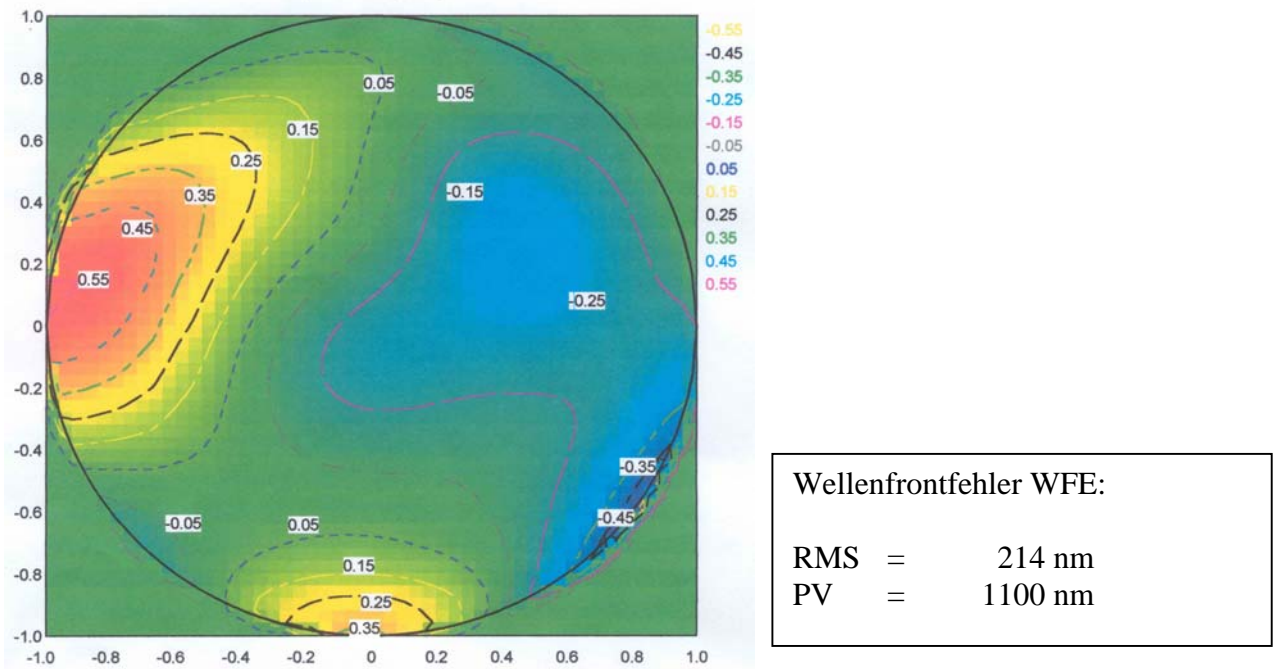
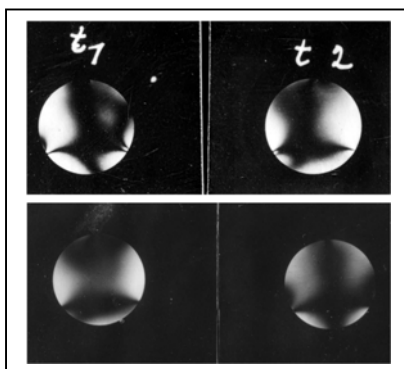


Fig. 3

2.2 Weitere historische Qualitätsaussagen

1913 wurde das 80cm-Objektiv nochmals in München einer Korrektur unterzogen. Danach gab Prof. Wilsing den Brennfleck mit 0.05mm an.

1941/42 wird das große Objektiv von ZEISS untersucht und bezüglich der Fassung und Lage der Linsen zueinander optimiert. Dazu ist das abschließende interne Protokoll (s. Anlage 1) erhalten.



Das Ergebnis wird durch die nebenstehenden Aufnahmen dokumentiert. Die obige Aufnahme zeigt den Anlieferungszustand und die untere Aufnahme den optimierten Zustand. Die Kronlinse wurde um 90° gedreht, und die Anstellkräfte der Zentrierbacken wurden optimiert. Danach wird der Zerstreungskreis bei Abblendung auf 70cm mit 1.3arcsec ($75\mu\text{m}$) angegeben.

Fig. 4 Objektiv zw. Polarisatoren 0° , 45°

3 Prüfaufbau

3.1 Wellenfrontsensor

Zunächst wurde versucht, die Prüfung mit dem Wellenfrontsensor von ZEISS WFS 30/∞ durchzuführen. Damit hätte man die Ergebnisse am besten mit denen von Hartmann vergleichen können. Da das 80cm-Objektiv aber für den Wellenlängenbereich 400nm bis 450nm korrigiert ist, waren die Spots auf der CCD stark chromatisch verschmiert. Bei entsprechend schmalbandiger Filterung reichte die Empfindlichkeit der CCD nicht mehr aus.

3.2 Interferometer

Die Objektive wurden, wie in Fig. 5 gezeigt, in einem interferometrischen Prüfaufbau vermessen. Die Objektive wurden an den Tubus angesetzt. Dies hatte zum einen den großen Vorteil, daß die Originalhalterung zur Anwendung kam und zum andern konnten durch den Tubus die Luftturbulenzen über den langen optischen Weg (ca. 25m) beruhigt werden.

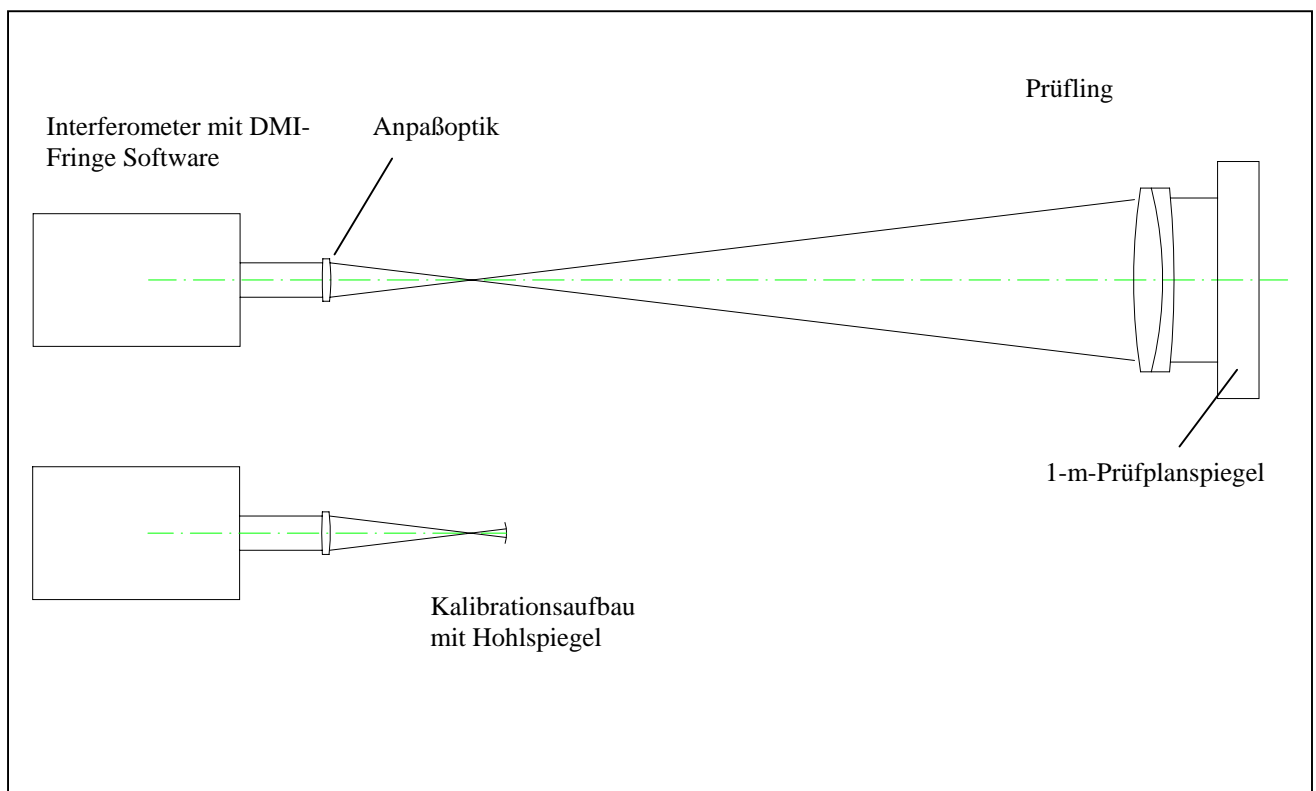


Fig. 5

Die Prüfung wurde bei einer Wellenlänge von 632.8 nm (HeNe-Laser) durchgeführt. Die Einflüsse von der Anpaßoptik und dem Prüfplanspiegel sind eingeeicht bzw. können vernachlässigt werden.

Da der Strahl bei der Prüfung den Prüfling zweimal durchläuft, müssen die Meßergebnisse halbiert werden. Dies ist im Meßprotokoll berücksichtigt.

Es wurden jeweils 5 Meßsätze zu je drei Bildeinzügen aufgenommen. Die Meßsätze werden gemittelt und von dem Keilfehler (Ebenenausgleich) befreit. Der Kalibrierungsmeßsatz, der ebenso entstanden und bearbeitet worden ist, wird von dem Prüf-Meßsatz abgezogen.

Das Ergebnis wird von einem eventuell vorliegenden Fokus befreit und wird dargestellt. Der Wellenfrontfehler (WFE) wird berechnet.

Der tatsächliche Prüfaufbau ist in den Fig. 6 und Fig. 7 zu sehen.

Interferometermodul

Anpaßoptik

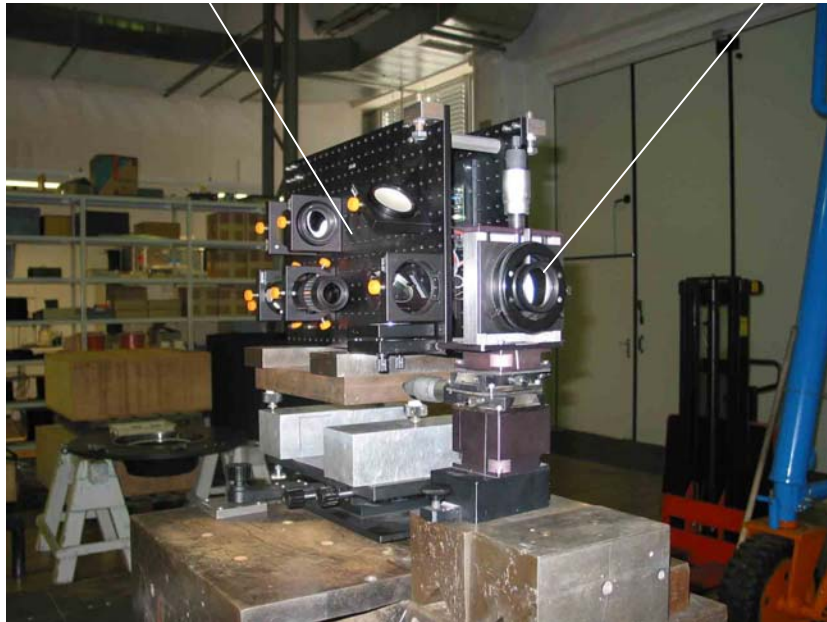


Fig. 6



Fig. 7

Refraktor-Tubus

Prüf-
planspiegel

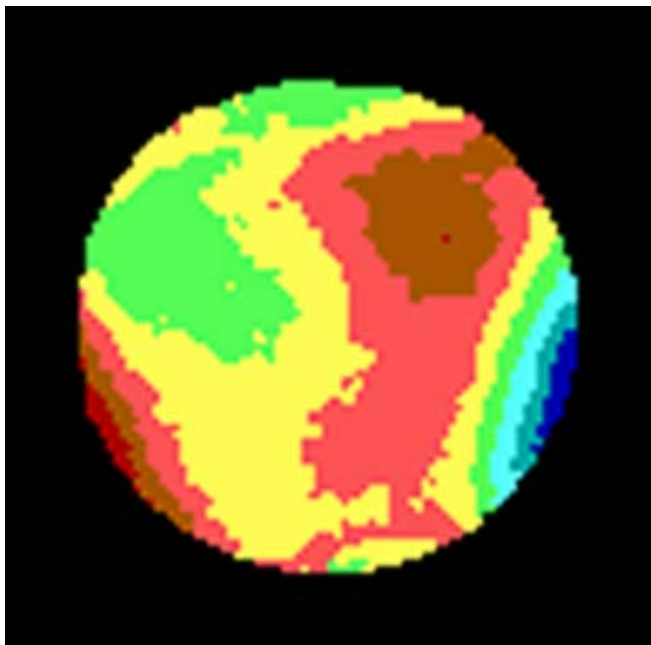
Die Messungen wurden nachts durchgeführt, weil die sonstigen Arbeiten in der Halle ruhten.

4 Prüfung vor Säuberung

4.1 80cm-Objektiv

In Fig. 8 ist die gemessene Wellenfront dargestellt. Das Prüfergebn ist auf einfachen Durchgang reduziert.

Meßfile 80_10.cal , gemittelt aus 80_10.int bis 80_14.int
Kalibrierungsfile C01 , gemittelt aus C01.int bis C05.int



Wellenfrontfehler WFE:	
RMS	= 151 nm
PV	= 1099 nm

Fig. 8

Da das Objektiv für den Wellenlängenbereich 400nm bis 450nm berechnet und die Interferometermessung mit einer Wellenlänge von 632.8nm durchgeführt wurde, entsteht bei der Messung ein systematischer Fehler. Dieser Fehler wirkt sich als sphärische Aberration A_{40} aus. Er wurde berechnet und von dem gemessenen Wert abgesetzt.

$$\text{RMS} = \lambda/2\pi * \text{SQR}(\Sigma A^2), \quad A^2 = A_{\text{gem}}^2 + A_{40}^2, \quad A_{40} = 0.75222$$

Somit ist der Wellenfrontfehler für das 80cm-Objektive

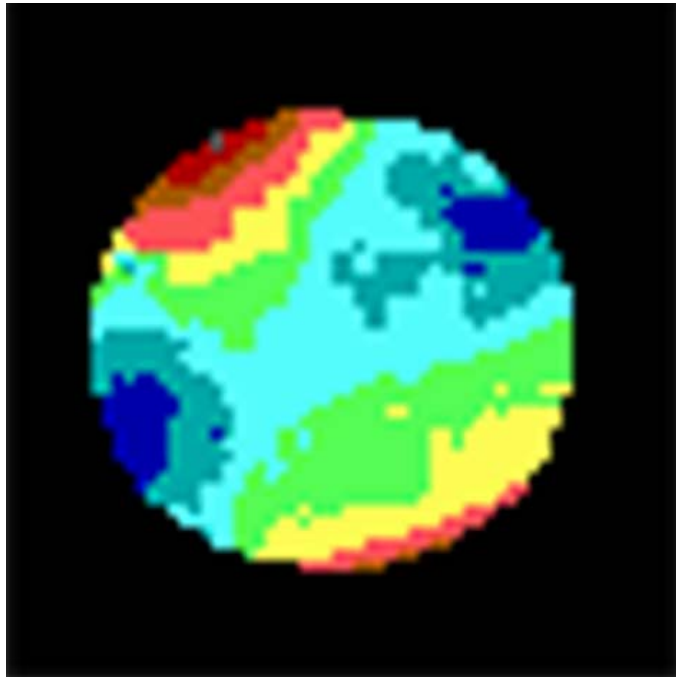
$$\text{RMS} = 130 \text{ nm} \approx \lambda/3$$

4.2 50cm-Objektiv

In Fig. 9 ist die gemessene Wellenfront dargestellt. Das Prüfergebn ist auf einfachen Durchgang reduziert.

Meßfile 50_15.cal , gemittelt aus 50_15.int bis 50_19.int

Kalibrierungsfile C15 , gemittelt aus C15.int bis C19.int



Wellenfrontfehler WFE:

RMS = 74 nm

PV = 853 nm

Fig. 9

Das 50cm Objektiv ist für den sichtbaren Spektralbereich ($\lambda = 550 \text{ nm}$) korrigiert.

Somit ist der Wellenfrontfehler für das 50cm-Objektive

$$\mathbf{RMS = 74 \text{ nm} \approx \lambda/7}$$

Das Ergebnis entspricht einer Definitionshelligkeit von ca. 28%.

5 Prüfergebnis nach Säuberung

6 Vergleich und Bewertung der Qualitätsaussagen

6.1 80cm-Objektiv

Aussage von	Original Angaben	Reduziert zum Vergleich	
		100% Zerstreuungskreis	Wellenfrontfehler
1899 1. Zustand	Sternscheibchen rund und gleichmäßig starke Zonenfehler	680 μm	-
1905 3. Zustand	unregelmäßiger Astigmatismus Fokus nicht symmetrisch kaum Zonenfehler	180 μm	unregelmäßiger Ast.
1907 3. Zustand	Hartmann, Gradientenfeld	220 μm	unregelmäßiger Ast. RMS 214 nm
1913 4. Zustand	Zerstreuungskreis 0.05 mm	50 μm	-
1942 5. Zustand	Zerstreuungskreis 1.3''	75 μm	-
2003	Interferometermessung		unregelmäßiger Ast. RMS 130 nm

1905 bemerkt Dr. Hartmann bedauernd: „Die Korrektur kann noch nicht als beendet angesehen werden“. So ist es bis heute geblieben, welches sicher an der zu schwachen Fassung liegt, wie es 1942 von ZEISS angemerkt wurde. Es mußte immer zwischen guter Zentrierung und nicht zu starker Verspannung gewählt werden.

Die Arbeit von Dr. Hartmann [2] kann von heutigen Optikern nur mit großer Bewunderung gelesen werden. Dort wird der „Hartmantest“ für das 80cm-Objektiv erstmalig beschrieben und mit den Meßergebnissen gezielt eine Lokalretusche durchgeführt.

6.2 50cm-Objektiv

Aussage von	Original Angaben	Reduziert zum Vergleich	
		100% Zerstreuungskreis	Wellenfrontfehler
1899	Sternscheibchen klein und rund	-	-
1900	bis auf eine schmale Randzone ist das Objektiv vorzüglich	-	-
2003		-	RMS 74 nm

Das 50cm-Objektiv wurde schon bei der ersten Beurteilung als gut eingeschätzt. Später war man sich nicht mehr so sicher, sonst hätte man nicht das Objektiv Bernhard Schmidt zur Korrektur übergeben. Aus heutiger Sicht ist ein RMS-Wert von 74 nm (DH ca. 28%) nicht befriedigend.

7 Literatur

- [1] Jahresberichte des Astrophysikalischen Observatoriums Potsdam
- [2] „Die Korrektur des Potsdamer 80cm-Objektives“
J. Hartmann
Zeitschrift für Instrumentenkunde XXIX. Jahrgang Juli 1909
- [3] Publ. des Astrophys. Obs. zu Potsdam. Bd.XV.2
- [4] Dr. Weßlau, ehemals Zeiss, Astro
unveröffentlichte Berechnung

8 Anlagen

8.1 Anlage 1

Prüfbefund bei Ablieferung des 80cm-Objektiv, Nov. 1942

ZPrüf 1095/42

Betrifft: Steinheil-Objektiv Nr. 47000, ϕ 800 / $f = 12000$

Eing. As (Prof. Kienle, Potsdam)

20.11.1942 Auftrag: 8511 11611

Prüfungsbefund bei Ablieferung des Objektivs, November 1942.

Auf Grund des Ergebnisses der Versuche ZPrüf 52/42 wurden die Linsen so zusammgelegt, wie sie das günstigste Bild ergeben hatten. Gegenüber der ursprünglichen Lage blieb die Flintlinse unverändert, die Kronlinse wurde um 90° gedreht. Diese Stellung wurde markiert durch Kreise mit Diamant auf der Flintlinse hinter der grossen ausgeschliffenen Muschel auf der Kronlinse, sowie auf den Fassungsteilen an der entsprechenden Stelle.

Bei senkrechter Stellung des Objektivs wurden die Sternbilder (Sterngrösse 0,1 mm, $\lambda = 546 \text{ m}\mu$) photographiert und 2,5 x vergrössert. Der zur Autokollimation benutzte Planspiegel hat einen Durchmesser von 700 mm.

Bild 1: Grobfokussierung. Die Aufnahmen liegen 10 bzw. 25 mm vom visuell ermittelten Fokus nach intra und extra.

Bild 2: Feinfokussierung in 1 mm - Schritten.

Bild 3: Aufnahmen im Fokus bei verschiedenen Belichtungszeiten.

Ferner:

Bild 4 und 5: Spannung (Schwingungsrichtung des Polarisators 0° u. 45°)

Bild 6: Schneide. wenden !

23. NOV. 1942 *
Obj. Nr. 1546/42

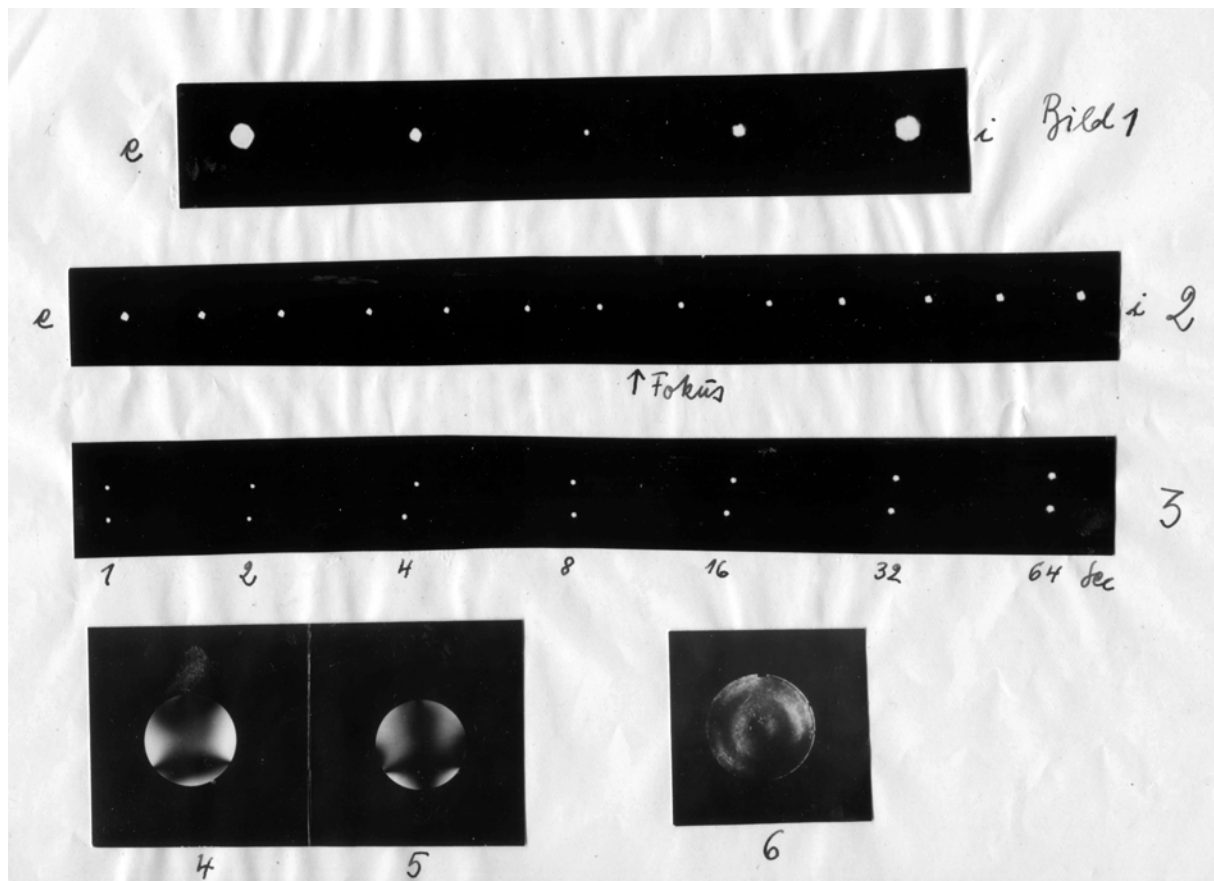
Die den Bildern 1, 4, 5, 6 entsprechenden Aufnahmen in ursprünglicher Linsenstellung sh. ZPrüf 52/42, Aufnahmen t. Der Vergleich zeigt eine merkliche Verbesserung des Bildes in Bezug auf Regelmässigkeit. Die Verbesserung ist darauf zurückzuführen, dass sich ursprünglich die Fehler der beiden Linsen zum grössten Teil addierten, während sie sich in der jetzigen Lage teilweise aufheben.

Der Einfluss der Fassung ist nur sichtbar an 3 kleinen Einbuchtungen im extrafokalen Bild, vergl. ZPrüf 52/42, Aufnahmen w' (gleiche Lage der Linsen, jedoch ungefasst in Band-Aufhängung).

ZPrüf/19.11.1942./Dr.Wf./N.

Verteilt an: Prof. J. Astro 2x
OAs
ZPrüf

Carl Zeiss
Zentrale Prüfabteilung
Wf
A. Kienle



8.2 Anlage 2

In dem internen ZEISS-Protokoll ZPrüf 52/42 vom 23.1.1942 wird folgendes zur Fassung bemerkt:

Lagerung der Kronlinse : Vollaufgabe auf Silberring
Lagerung der Flintlinse : 3 Stanniolblättchen auf Kronlinse gekittet : 1,2 dick, 9 breit, 21 lang
Zentrierbacken der Fassung: 15 breit, 64 lang

Im Objektiv liegt die Zerstreungs-(Flint-)linse nach Unendlich.

Gewichte:
Flintlinse 99 kg
Kronlinse 84 kg
Fassung 107 kg
Summe 290 kg