

**Hochpräzise Bestimmung der Form-
und Orthogonalitätsabweichungen
einer Spiegelecke und Untersuchung
des Verhaltens unter
veränderlichen Umweltbedingungen**

Haifeng Xu



Universitätsverlag Ilmenau
2018

Impressum

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Angaben sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Diese Arbeit hat der Fakultät für Maschinenbau der Technischen Universität Ilmenau als Dissertation vorgelegen.

Tag der Einreichung: 2. Juni 2017

1. Gutachter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Eberhard Manske
(Technische Universität Ilmenau)

2. Gutachter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Tino Hausotte
(Universität Erlangen-Nürnberg)

3. Gutachter: Dr.-Ing. Denis Dontsov
(SIOS Meßtechnik GmbH, Ilmenau)

Tag der Verteidigung: 30. November 2017

Technische Universität Ilmenau/Universitätsbibliothek

Universitätsverlag Ilmenau

Postfach 10 05 65

98684 Ilmenau

<http://www.tu-ilmenau.de/universitaetsverlag>

readbox unipress

in der readbox publishing GmbH

Am Hawerkamp 31

48155 Münster

<http://unipress.readbox.net>

ISBN 978-3-86360-171-3 (Druckausgabe)

URN urn:nbn:de:gbv:ilm1-2017000501

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	XI
Abkürzungen und Formelzeichen	XIV
1 Einleitung und Überblick	1
2 Stand der Technik	5
2.1 Großflächige Topographiemessung	6
2.2 Absolute Kalibrierung des Referenzspiegels eines Fizeau-Interferometers	11
2.3 Bestimmung der Orthogonalitätsabweichung	16
2.4 Kapitelzusammenfassung	21
3 Entwicklung von Verfahren zur Messung und Charakterisierung der Messspiegel einer Raumpiegelecke.....	23
3.1 Aufbau und Funktionsweise des Messsystems	25
3.2 Charakterisierung der Topographie durch Rauheitskennwerte	29
3.3 Absolutverfahren zur Kalibrierung des Referenzspiegels	31
3.3.1 Klassischer Drei-Platten-Test	31
3.3.2 Drei-Platten-Test zur flächenhaften Absolutprüfung des Referenzspiegels.....	39
3.4 Absolutverfahren zur Kalibrierung des Referenzspiegels in vertikaler Messrichtung	47
3.5 Subapertur-Stitching-Verfahren für großflächige Topographiemessung	55
3.5.1 Stitching-Software „SmartStitching“	57
3.6 Kapitelzusammenfassung.....	65
4 Topographiemessung einer Raumpiegelecke der NMM-1.....	66
4.1 Raumpiegelecke der NMM-1	66
4.2 Messprozess für Topographiemessung einer NMM-1-Raumpiegelecke.....	69
4.3 Auswertung und Analyse der Messwerte.....	71
4.4 Einfluss der Gewichtskraft auf die z-Spiegelplatte der Raumpiegelecke	76
4.4.1 Untersuchung der Kriechvorgänge der z-Spiegelplatte bei konstanter statischer Belastung	78
4.4.2 Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen mit unterschiedlichen Messobjektmassen	80
4.5 Kapitelzusammenfassung.....	81

5	Topographiemessung einer Raumpiegelecke der NPMM-200	83
5.1	Messprozess für Topographiemessung der x- und y-Spiegelfläche	84
5.1.1	Darstellung des Messablaufs	85
5.1.2	Auswertung und Analyse der Messdaten	88
5.2	Messprozess für großflächige Topographiemessung der z-Spiegelfläche	92
5.2.1	Darstellung des Messablaufs	93
5.2.2	Auswertung und Analyse der Messdaten	96
5.2.3	Untersuchung der Langzeitstabilität der z-Spiegelfläche über einen Zeitraum von drei Jahren	102
5.3	Kapitelzusammenfassung	103
6	Bestimmung der Orthogonalitätsabweichung der Spiegelflächen einer Raumpiegelecke der NMM-1	105
6.1	Messprinzip und Messaufbau	105
6.2	Absolute Messfahren zur Kalibrierung von Pentaprismen	110
6.3	Justageprozeduren und zugehörigen Parametern	114
6.4	Ergebnis und Auswertung	119
6.5	Kapitelzusammenfassung	121
7	Bestimmung der Orthogonalitätsabweichung der Spiegelflächen einer Raumpiegelecke der NPMM-200	122
7.1	Bestimmung der Orthogonalität der xy-Spiegelflächen	122
7.1.1	Messtechnische Verifikation des Algorithmus zur Winkelmessung	126
7.2	Bestimmung der Orthogonalität der xz-/ yz-Spiegelflächen	129
7.3	Kapitelzusammenfassung	133
8	Abweichungsanalyse des Messsystems zur Bestimmung der Formabweichungen einer NPMM-200-Raumpiegelecke	135
8.1	Abweichungsanalyse des Messsystems zur Topographiemessung	135
8.1.1	Messabweichungen bedingt durch Fizeau-Interferometer	136
8.1.2	Messabweichungen bedingt durch die Referenzplatte	140
8.1.3	Messabweichungen bedingt durch das Subapertur-Stitching-Verfahren	145
8.1.4	Gesamte Messunsicherheit der Topographiemessung	153
8.2	Abweichungsanalyse des Messsystems zur Winkelmessung	154
8.2.1	Messabweichungen bedingt durch Führungsabweichungen des Mehrkoordinaten-Direktantriebssystems	154
8.2.2	Messabweichungen bedingt durch den Pyramidalfehler	157
8.2.3	Messabweichung bedingt durch den Kalibrierabweichungen der Pentaprismen	159
8.2.4	Gesamte Messunsicherheit der Winkelmessung	161
8.3	Kapitelzusammenfassung	162

9	Zusammenfassung	163
	Anhang A: Topographische Korrekturdaten einer NMM-1-Raumspiegelecke	166
	Anhang B: Ergebnisse der Untersuchungen mit unterschiedlichen Messobjektmassen.....	169
	Anhang C: Topographische Korrekturdaten einer NPMM-200-Raumspiegelecke	171
	Literaturverzeichnis	172