

Markus Lotz

# **Konstruktion von Messspiegeln hochgenauer Mess- und Positioniermaschinen**

**Beitrag zur Entwicklung  
einer Nanopositionier- und Nanomessmaschine**

Dissertation

*th*  
TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
ILMENAU

Fakultät für Maschinenbau  
Institut für Maschinenelemente und Konstruktion

Berichte aus dem Institut, Band 16  
August 2009

isle

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1	Einführung in die Thematik.....	1
1.2	Zielstellung und Aufbau der Arbeit.....	5
<b>2</b>	<b>Hochgenaue Mess- und Positioniermaschinen.....</b>	<b>7</b>
2.1	Anwendungsfelder.....	7
2.2	Aufbau .....	8
2.2.1	Grundprinzip.....	8
2.2.2	Stand der Technik.....	10
2.2.3	Analyse.....	17
2.3	Messsysteme.....	19
<b>3</b>	<b>Messspiegel.....</b>	<b>22</b>
3.1	Aufbau .....	22
3.2	Werkstoffe .....	26
3.3	Fertigungstechnik .....	27
3.4	Koppelstellen.....	31
3.4.1	Fassung.....	32
3.4.2	Objekt und Objekthalter .....	32
3.4.3	Laserinterferometer und metrologischer Rahmen .....	33
3.5	Einflüsse auf die Messgenauigkeit.....	34
3.5.1	Statische und dynamische Beanspruchung.....	34
3.5.2	Thermische Beanspruchung .....	35
3.5.3	Fertigung.....	35
3.5.4	Messanordnung.....	36
3.6	Problemstellung.....	37
<b>4</b>	<b>Konzeption von Messspiegeln.....</b>	<b>40</b>
4.1	Konstruktiver Entwicklungsprozess.....	40
4.2	Aufgabenpräzisierung.....	42
4.3	Gestaltung von Messspiegeln.....	47
4.3.1	Variation der Anordnung der Laserinterferometer.....	47
4.3.2	Variation von Spiegelflächen und Spiegelträger.....	49
4.3.3	Bewertung der Varianten.....	57
<b>5</b>	<b>Eck-Messspiegel.....</b>	<b>63</b>
5.1	Problemstellung.....	63
5.2	Entwurf und Optimierung.....	65
5.3	Versuchsmuster .....	68
<b>6</b>	<b>Platten-Messspiegel .....</b>	<b>69</b>

6.1	Problemstellung .....	69
6.2	Entwurf und Realisierung .....	70
<b>7</b>	<b>Tetraeder-Messspiegel .....</b>	<b>75</b>
7.1	Eigenschaften .....	75
7.1.1	Messspiegelmaße und Messvolumen .....	76
7.1.2	Koordinatentransformation .....	80
7.1.3	Einfluss auf die Koppelstellen .....	81
7.2	Konzeption .....	84
7.3	Versuchsaufbau .....	85
7.3.1	Randbedingungen .....	85
7.3.2	Entwurf des Tetraeder-Messspiegels .....	86
7.3.3	Vertikalpositioniereinheit .....	89
7.3.4	Funktionsnachweis .....	90
<b>8</b>	<b>Konstruktionsrichtlinie für den Messspiegelentwurf .....</b>	<b>95</b>
8.1	Konzipieren .....	95
8.2	Konstruktionsprinzipien .....	98
8.3	Fertigung und Leichtbau .....	100
8.4	Werkstoffwahl .....	104
8.5	Gestaltung der mechanischen Koppelstellen .....	109
8.5.1	Problemstellung .....	109
8.5.2	Konzeption und Gestaltung .....	110
8.6	Virtual Prototyping .....	116
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>117</b>
9.1	Zusammenfassung .....	117
9.2	Ausblick .....	118
	<b>Thesen der Arbeit .....</b>	<b>121</b>
	<b>Erklärung .....</b>	<b>123</b>
	<b>Verzeichnis der Bilder .....</b>	<b>124</b>
	<b>Verzeichnis der Tabellen .....</b>	<b>128</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>130</b>
<b>Anhang A</b>	<b>Werkstoffe .....</b>	<b>143</b>
A.1	Gläser .....	143
A.2	Glaskeramiken .....	144
A.3	Metallische Werkstoffe .....	145
A.4	Keramiken .....	148

A.5	Weitere Werkstoffe.....	149
A.6	Beschichtungen.....	151
A.7	Vergleich der Werkstoffe .....	152
<b>Anhang B</b>	<b>Fügeverfahren.....</b>	<b>154</b>
B.1	Bonden.....	154
B.2	Löten / Laser-Löten .....	155
B.3	Kitten / Kleben .....	156
B.4	Ansprengen.....	157
<b>Anhang C</b>	<b>Konzeption .....</b>	<b>158</b>
C.1	Messspiegel-Varianten bei unterschiedlichen Anwendungen.....	158
C.2	Vergleich der Messspiegelvarianten.....	161
C.3	Variation der mechanischen Koppelstellen .....	163
<b>Anhang D</b>	<b>Tetraeder-Messspiegel.....</b>	<b>165</b>
D.1	Dimensionierungsgrundlagen.....	165
D.2	Koordinatentransformation der Messachsen .....	172
<b>Anhang E</b>	<b>FEA-Modelle .....</b>	<b>179</b>
<b>Anhang F</b>	<b>Zeichnungen .....</b>	<b>181</b>