

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungen und Formelzeichen .....</b>	<b>XI</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation .....	1
1.2 Zielstellung und Aufbau der Arbeit.....	2
<b>2 Nanomessmaschinen .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Systematisierung und Eingrenzung .....</b>	<b>4</b>
2.2 Nanomessmaschine NMM-1 mit taktilem Sensor.....	5
2.3 Hauptfunktionen von Nanomessmaschinen .....	7
<b>3 Messkreise von Nanomessmaschinen .....</b>	<b>12</b>
3.1 Allgemeines.....	12
3.2 Messkreisstruktur .....	16
3.3 Vektoriell Messkreismodell .....	19
3.4 Analyse von Funktionsabweichungen im Messkreis .....	23
3.4.1 Mechanisches Koppelsystem .....	23
3.4.2 Abweichungen interferenzoptischer Messsysteme .....	28
3.4.3 Abweichungen von Sensor und Messobjekt .....	30
<b>4 Gestaltung von Messkreisen .....</b>	<b>32</b>
4.1 Konzeption von Messkreisen .....	32
4.2 Prinzip der Messkreisgestaltung.....	36
4.3 Minimierung statischer mechanischer Störgrößen und deren Übertragungsfunktion.....	40
4.4 Minimierung dynamischer mechanischer Störgrößen und deren Übertragungsfunktion.....	42
4.4.1 Messabweichungen durch Schwingungen .....	42
4.4.2 Anregung von Schwingungen .....	44
4.4.3 Anordnung sensitiver Elemente .....	45
4.4.4 Grundforderung nach maximalen abgestimmten Eigenfrequenzen .....	46
4.5 Minimierung thermischer Störgrößen und deren Übertragungsfaktoren .....	59
4.6 Werkstoffauswahl.....	66
<b>5 Messrahmen für Demonstrator einer Nanomessmaschine.....</b>	<b>68</b>
5.1 Funktion und Messanordnung der universellen Nanomessmaschine.....	68
5.2 Allgemeine Variantenfindung für Messrahmen .....	71
5.3 Spezielle Anforderungen an den Demonstrator .....	79
5.4 Gestaltvarianten für den Messrahmen des Demonstrators .....	82
5.5 Variantenauswahl und Realisierung des Messrahmens.....	88
<b>6 Konzeption der tetraedrischen Messanordnung .....</b>	<b>97</b>
6.1 Tetraedrische Messanordnung.....	97

6.2	Abschätzung der Messunsicherheit .....	100
6.3	Konzeption von Messanordnungen .....	106
6.4	Labora Aufbau mit Tetraeder-Messanordnung .....	111
<b>7</b>	<b>Vergleich zwischen horizontaler und tetraedrischer Messanordnung .....</b>	<b>120</b>
7.1	Funktionelle Kriterien .....	120
7.2	Metrologische Kriterien .....	121
7.3	Konstruktive Kriterien .....	123
7.4	Zusammenfassung .....	125
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>126</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>129</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>136</b>
	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>140</b>
<b>Anhang A</b>	<b>Stand der Technik .....</b>	<b>141</b>
A.1	PTB Nanometerkomparator .....	141
A.2	Photomaskenmessgerät LMS IPRO .....	142
A.3	Molecular Measuring Machine .....	143
A.4	Long-Range Scanning Stage .....	144
A.5	3D-Mikromesseinrichtung .....	145
A.6	Koordinatenmessgerät Zeiss M400 .....	146
A.7	Small Coordinate Measuring Machine .....	147
A.8	Ultra Precision Coordinate Measuring Machine .....	148
A.9	Nano Coordinate Measuring Machine .....	149
A.10	Ultrahigh Accurate 3D Profilometer .....	151
<b>Anhang B</b>	<b>Funktionsstruktur der NMM-1 .....</b>	<b>153</b>
<b>Anhang C</b>	<b>Modellierung mit der Finite-Elemente-Methode .....</b>	<b>156</b>
<b>Anhang D</b>	<b>Eigenfrequenzen eines Biegebalkens .....</b>	<b>157</b>
<b>Anhang E</b>	<b>Messung der Eigenfrequenzen eines Messspiegelmodells .....</b>	<b>159</b>
<b>Anhang F</b>	<b>Abweichungen interferenzoptischer Messsysteme .....</b>	<b>162</b>
F.1	Frequenzstabilität von He-Ne-Lasern .....	162
F.2	Brechzahlchwankungen von Luft .....	162
F.3	Optische Gläser .....	163
F.4	Sonstige Interferometerabweichungen .....	164