

# Inhaltsverzeichnis

## Content

<b>Formelzeichen und Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>iii</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Stand der Technik in Forschung und Industrie .....</b>	<b>3</b>
2.1 Geometrisches und kinematisches Verhalten von Werkzeugmaschinen.....	3
2.2 Geometrische Kalibrierung von Werkzeugmaschinen.....	7
2.2.1 Messtechnische Erfassung der Maschinengeometrie.....	7
2.2.2 Unsicherheit bei der Messwerterfassung.....	16
2.2.3 Steuerungstechnische Korrektur geometrischer Fehler an Werkzeugmaschinen.....	18
2.3 Thermo-elastisches Verhalten von Werkzeugmaschinen.....	20
2.3.1 Grundlagen des thermo-elastischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen.....	20
2.3.2 Messung des thermo-elastischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen	
21	
2.3.3 Modellierung und Korrektur des thermo-elastischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen.....	27
2.4 Unscented Kalman Filter .....	33
2.4.1 Unscented Kalman Filter zur Parameterschätzung .....	33
2.4.2 Zeitupdate des Unscented Kalman Filters .....	35
2.4.3 Messupdate des Unscented Kalman Filters .....	38
2.5 Defizite im Stand der Technik .....	40
<b>3 Zielsetzung, Aufgabenstellung und methodischer Forschungsansatz.....</b>	<b>41</b>
3.1 Zielsetzung und Aufgabenstellung .....	41
3.2 Methodischer Forschungsansatz .....	41
<b>4 Messmethode zur prozessaktuellen Erfassung des geometrischen Maschinenzustands .....</b>	<b>45</b>
4.1 Messaufbau und Messablauf .....	45
4.1.1 Definition der Baugruppen und ihrer Anforderungen.....	45
4.1.2 Baugruppe Messkopf .....	47
4.1.3 Baugruppe Messrahmen .....	49
4.1.4 Baugruppe Einhausung .....	52
4.1.5 Signalverarbeitung der PSD .....	53
4.1.6 Vorstellung der Demonstratormaschine .....	54
4.2 Aufbau des Messmodells .....	56

4.2.1	Messablauf und Messstrategie.....	56
4.2.2	Auswertung der thermo-elastischen Fehler.....	58
4.3	Bestimmung der Messunsicherheit .....	63
4.3.1	Vorgehen zur Bestimmung der Messunsicherheit der PSD.....	63
4.3.2	Längenmessunsicherheit der PSD-Messung.....	65
4.3.3	Monte Carlo Simulation der Messunsicherheit.....	77
4.4	Validierung der Messmethode.....	81
4.4.1	Validierung der Strahlsegmente .....	81
4.4.2	Validierung der thermo-elastischen Maschinenfehler.....	83
4.5	Kapitelfazit.....	85
<b>5</b>	<b>Ergänzende, lernende Modellierung des thermo-elastischen Verhaltens .....</b>	<b>87</b>
5.1	Aufbau des lernenden Modells .....	87
5.2	Unscented Kalman Filter zur PT1 Parameterschätzung.....	90
5.3	Parametrierung des thermo-elastischen Modells .....	93
5.3.1	Auswahl der Eingangsdaten.....	93
5.3.2	Vorverarbeitung der Eingangsdaten.....	95
5.3.3	Konfiguration des Unscented Kalman Filter .....	98
5.4	Experimentelle Validierung des lernenden Modells.....	101
5.5	Kapitelfazit.....	106
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>107</b>
6.1	Zusammenfassung.....	107
6.2	Ausblick .....	108
<b>7</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>115</b>
7.1	Methodik zur Generierung zufälliger thermo-elastischer Fehler .....	115
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>117</b>