

Inhaltsverzeichnis

Kurzzusammenfassung.....	v
Abstract	ix
1 Einleitung.....	1
1.1 Mikrotechnische Messtechnik	1
1.2 Mikrotechnische 3D Formmessung.....	4
1.3 Anforderungen an das optische Messsystem.....	8
2 Stand der Technik - Optische Messtechnik	11
2.1 Interferometrie	12
2.2 Laufzeitverfahren.....	14
2.3 Konfokale Mikroskopie.....	18
2.4 Triangulation	20
2.5 Strukturierte Beleuchtung.....	23
2.6 Defizite bei der optischen 3D Formmessung	24
3 Entwurf eines Messsystems zur 3D Formmessung	27
4 Aufbau des 3D Messsystems.....	29
4.1 Das optische Sensorsystem.....	31
4.2 Bildverarbeitung	36
4.3 Positionierung.....	37
5 Methoden und Verfahren.....	41
5.1 Messprinzip	41
5.2 Identifikation	43
5.3 Lokalisierung.....	50
5.4 Kalibration des optischen Sensorsystems.....	55
5.5 Aufnahme einer 3D Teilmessung	61
5.6 Aufnahme einer interpolierten 3D Teilmessung	63
5.7 Erhöhung des dynamischen Messbereichs	65
5.8 Berechnung von 3D Formelementen zur Kalibration des 3D Messsystems	67
5.8.1 Filterung der Messdaten.....	67
5.8.2 Ebenen.....	67

5.8.3	Kugeln.....	68
5.9	Kalibration des 3D Messsystems.....	74
5.9.1	Rückführung des optischen Sensorsystems auf eine Kalibrierkugel	75
5.9.2	Einmessung der Kalibriereinheit.....	76
5.9.3	Einmessung des Goniometers	79
5.9.4	Allgemeine Transformationsvorschrift für Messpunkte	81
6	Qualifizierung des 3D Messsystems.....	83
6.1	Messung der Wiederholgenauigkeit	83
6.1.1	Bidirektionale Positioniergenauigkeit.....	83
6.1.2	Unidirektionale Positioniergenauigkeit.....	86
6.1.3	Statische Wiederholgenauigkeit des optischen Sensorsystems mit aktiver Achs-Regelung	88
6.1.4	Statische Wiederholgenauigkeit des optischen Sensorsystems ohne die Achs-Regelung	89
6.2	Untersuchung der Kalibrierdaten.....	91
6.3	Messgenauigkeit des optischen Sensorsystems	96
6.4	Modellierung des Messfehlers des 3D Messsystems	98
6.5	Untersuchung einer interpolierten Messung.....	100
6.6	Messen mit angepasster Beleuchtung.....	102
6.7	Herstellung von Kalibrierkörpern.....	106
6.8	Wiederholmessung der Kalibrierkugel	109
7	Beispielmessung	113
8	Zusammenfassung, Diskussion und Ausblick	117
9	Anhang.....	125
9.1	Homogene Transformationen	125
9.2	Hauptkomponentenanalyse.....	128
9.3	Ausgleichsrechnung.....	131
9.3.1	Lineare Ausgleichsrechnung.....	131
9.3.2	Nichtlineare Ausgleichsrechnung	132
9.3.3	Gauß-Newton-Verfahren	133
9.3.4	Levenberg-Marquardt-Verfahren	134
9.4	Orthogonal Distance Fitting	136

10	Abbildungen	139
11	Tabellen	144
12	Symbolik	145
12.1	Akronyme und Abkürzungen	145
12.2	Grundlegende Symbolik	146
12.3	Variablen und Parameter	147
13	Eigene Vorträge und Veröffentlichungen	149
14	Literatur	149