

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Das Maschinenelement Welle	5
2.1	Wellen und Achsen - zentrale Maschinenelemente	6
2.2	Wellen im Verbrennungsmotor	7
2.2.1	Die Kurbelwelle	8
2.2.2	Fertigung von Kurbelwellen	10
2.3	Mess- und Prüfaufgaben an Kurbelwellen	13
2.3.1	Integrationsgerade der Fertigungsmesstechnik	16
2.3.2	Automatisierte Mess- und Prüftechnik für Kurbelwellen	17
2.4	Zwischenfazit	23
3	Motivation und Zielsetzung der Arbeit	25
3.1	Die deutsche Automobil- und Zuliefererindustrie als Innovationstreiber	25
3.1.1	Die Rolle der Fertigungsmesstechnik in der Automobilindustrie	27
3.1.2	Entwicklungstrends der Fertigungsmesstechnik in der Automobilindustrie	28
3.2	Zielsetzung	29
3.2.1	Wellenmessung mit Röntgenstrahlung	30
3.2.2	Forschungsfragen	31
3.3	Forschungsdesign	31
3.3.1	Modellbildung	34
4	Physikalische Modellbildung und technische Gestaltung	37
4.1	Das physikalische Modell	37
4.1.1	Elektromagnetische Wellen	37
4.1.2	Röntgenstrahlung	38
4.1.3	Interaktion von Röntgenstrahlung und Materie	42
4.1.4	Modellierung der Verschmutzung	44

4.1.5	Detektion von Röntgenstrahlung	48
4.2	Das technische Modell	49
4.2.1	Der Versuchsaufbau und die Komponenten	50
4.2.2	Röntgenquelle	50
4.2.3	Detektor	54
4.2.4	Rundtisch und Linearachse	57
5	Methoden und Algorithmen des Messsystems	59
5.1	Das Signal des Detektors	60
5.1.1	Kenngößen des Detektorbildes	60
5.2	Bildvorverarbeitung	63
5.2.1	Filterung defekter Pixel	64
5.2.2	Hell-Dunkelbildabgleich	65
5.3	Algorithmen zur Kantenerkennung	66
5.4	Entwicklung des Kantenmodells	68
5.4.1	Kantendetektion basierend auf Polynominterpolation	71
5.4.2	Kantendetektion auf Basis der Sigmoidfunktion	72
5.5	Bildnachbearbeitung - Entfernung der Restexzentrizität	74
5.6	Das geometrische Modell	75
5.6.1	Zusammenhang zwischen den Abständen des Systems und der Schat- tenbreite	76
5.7	Kalibrierung des Systems	77
5.7.1	Justierung des Systems	78
5.7.2	Kalibrierung durch exzentrische Drehung	80
5.7.3	Kalibrierung durch definierte Systemzustände	85
5.8	Algorithmen zur Eingrenzung der Kontur	86
5.8.1	Gefilterte Rückprojektion	87
5.8.2	Tangentiales Eingrenzen	87
5.8.3	Polygonschnittverfahren	88
6	Bewertung des Messsystems	91
6.1	Methoden zur Abschätzung der Messunsicherheit des Systems	91
6.1.1	Messunsicherheitsbestimmung anhand von kalibrierten Werkstücken	93
6.1.2	Messnormale	95
6.2	Bestimmung der Messunsicherheit	96
6.2.1	Bestimmung der Messunsicherheit am Messnormal S5	97

6.2.2	Bestimmung der Messunsicherheit unter Einfluss von Taunelfehler und Exzentrizität	98
6.2.3	Bestimmung der Messunsicherheit an Stufennormalen	100
6.2.4	Bestimmung der Messunsicherheit der Rundheit	101
6.3	Messreihen zur Robustheit des Systems	105
6.3.1	Durchmesserbestimmung von hartgedrehten Messnormalen	105
6.3.2	Bestimmung der Fase eines Vergrößerungsnormals	106
6.4	Messungen an Messnormalen mit Verschmutzungen	108
6.4.1	Definiert verschmutzte Messnormale	109
6.4.2	Undefiniert verschmutzte Messnormale	112
6.5	Interpretation der Ergebnisse	114
6.6	Entwicklungspotenzial	116
6.6.1	Variation der Beschleunigungsspannung	116
6.6.2	Variation der Zeilenmittelung	117
6.6.3	Variation der Anzahl der aufgenommenen Bilder	118
6.6.4	Technologische Weiterentwicklungen	119
7	Zusammenfassung und Fazit	123