

# I Inhaltsverzeichnis

II	Formelzeichen und Abkürzungen.....	v
III	Abbildungsverzeichnis.....	xi
IV	Tabellenverzeichnis.....	xv
1	Einleitung .....	1
2	Stand der Technik.....	3
2.1	Kegelradtriebeproduktion .....	3
2.1.1	Kegelradsatz und Verzahnungsauslegung.....	3
2.1.2	Fertigung von Kegelrädern .....	5
2.1.3	Kegelradtriebemontage.....	9
2.2	Qualitätssicherung in der Kegelradtriebeproduktion .....	11
2.2.1	Qualitätsprüfung der Kegelradgetriebe .....	11
2.2.2	Qualitätsregelung in der Kegelradtriebeproduktion .....	17
2.2.3	Zwischenfazit – Bedarf an Messsystem .....	22
2.3	Machine-Vision-System als Lösungsansatz .....	23
2.3.1	Kamera.....	24
2.3.2	Objektiv .....	28
2.3.3	Beleuchtung .....	30
2.3.4	Schutzeinrichtung .....	31
2.4	Machine-Vision-System zur automatisierten Tragbildprüfung.....	32
2.4.1	Tragbildprüfung mittels Infrarotkamera .....	32
2.4.2	Tragbildprüfung mittels Industrielkamera .....	33
2.4.3	Zwischenfazit – Defizite der betrachteten Ansätze zur Tragbildprüfung .....	34
3	Zielsetzung und Aufbau der Arbeit.....	35
3.1	Zielsetzung .....	35
3.2	Aufbau der Arbeit und Teilforschungsfragen .....	35
4	Anforderungsanalyse und Konzeption des Messsystems .....	37
4.1	Analyse der Randbedingungen und Anforderungen .....	37
4.2	Festlegung des Prinzips zur Tragbildaufnahme.....	39
4.3	Konzept des Messsystemprototyps.....	41
4.4	Zwischenfazit: Anforderungsanalyse und Konzeption des Messsystems .....	43

<b>5</b>	<b>Entwicklung des Messsystemprototyps .....</b>	<b>45</b>
5.1	Auslegung der Komponenten eines Bildaufnahmesystems .....	45
5.1.1	Kamera- und Schnittstellenauswahl .....	45
5.1.2	Objektivauswahl .....	47
5.1.3	Schutzeinrichtungsauswahl .....	48
5.1.4	Auswahl der Beleuchtung .....	49
5.2	Entwicklung der Bildverarbeitungskette .....	49
5.2.1	Bildvorverarbeitung .....	50
5.2.2	Segmentierung .....	51
5.2.3	Merkmalsextraktion und Auswertung .....	52
5.3	Implementierung eines Prototyps .....	53
5.4	Zwischenfazit: Entwicklung des Messsystems .....	54
<b>6</b>	<b>Bewertung des Messsystemprototyps .....</b>	<b>57</b>
6.1	Analyse der Messunsicherheit .....	57
6.1.1	Einflussgröße auf die Messunsicherheit des Prototyps .....	58
6.1.2	Versuchsbedingungen und Versuche .....	60
6.1.3	Optimierung des Farbauftrags .....	63
6.2	Eignungsnachweise für Messsystem und Messprozess .....	65
6.3	Messsystemanalyse .....	66
6.3.1	Verfahren von MSA .....	66
6.3.2	Vorgehensweise des zweiten Verfahrens .....	67
6.4	Zwischenfazit: Bewertung des Messsystemprototyps .....	70
<b>7</b>	<b>Modellbasierter Regelkreis zur Qualitätsregelung .....</b>	<b>73</b>
7.1	Konzeption des Regelkreises .....	73
7.1.1	Hypothesen .....	73
7.1.2	Entwurf des Regelkreises .....	75
7.1.3	Entwurf des Reglers .....	77
7.2	Modellbildung als Ansatz .....	78
7.2.1	Regressionsanalyse .....	79
7.2.2	Künstliche neuronale Netze .....	79
7.3	Experimentelle Untersuchungen .....	81
7.3.1	Definition von Prämissen der Versuche .....	82

7.3.2	Festlegung der Solltragbildlage und Toleranzbereiche .....	84
7.3.3	Statistische Versuchsmethodik zur Untersuchung des Zusammenhangs .....	87
7.4	Modellbildung zur Entwicklung des Reglers .....	93
7.4.1	Auswahl der Modelle .....	93
7.4.2	Überprüfung der Modelle .....	97
7.4.3	Festlegung der Mittelungsverfahren.....	100
7.4.4	Prognoseberechnung .....	101
7.5	Evaluierung und Validierung des Reglers.....	103
7.6	Zwischenfazit: Regelkreis zur Qualitätsregelung .....	106
<b>8</b>	<b>Anwendung des Messsystems zur Qualitätsprüfung .....</b>	<b>109</b>
8.1	Entwicklung der grafischen Benutzeroberfläche.....	109
8.2	Anwendung des Messsystems in der Laufprüfmaschine .....	110
8.3	Anwendung des Messsystems in der Kegelradgetriebemontage .....	112
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>115</b>
<b>V</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>119</b>
<b>VI</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>129</b>