

# Inhaltsverzeichnis

<b>Formelzeichen- und Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>ix</b>
<b>1     <b>Einleitung .....</b></b>	<b>1</b>
1.1   Motivation und Handlungsbedarf .....	2
1.2   Zielsetzung und Aufbau der Arbeit .....	4
1.3   Einordnung der Arbeit .....	5
<b>2     <b>Stand der Forschung und Technik .....</b></b>	<b>7</b>
2.1   Robust Design .....	7
2.1.1   Robust Design in der Produktentwicklung .....	8
2.1.2   Robust Design Optimierung .....	10
2.1.3   Robust Design für Mechanismen .....	12
2.1.4   Ishikawa-Diagramm .....	14
2.1.5   Klassifizierung von Unsicherheiten .....	15
2.2   Toleranzmanagement .....	16
2.2.1   Statistische Grundlagen .....	18
2.2.2   Rechnerinterne Erzeugung von Zufallszahlen .....	20
2.2.3   Toleranzspezifikation .....	21
2.2.4   Toleranzanalyse .....	23
2.2.5   Toleranzrepräsentation .....	27
2.2.6   Beitragsleisteranalyse .....	29
2.2.7   Einbindung fertigungsspezifischer Abweichungsinfor- mationen .....	33
2.2.8   Metamodellierung .....	34
2.3   Validierung und Verifikation .....	35
2.3.1   Vorgehen bei der Validierung .....	36
2.3.2   Ähnlichkeitskennzahlen .....	39
2.3.3   Validierung im Kontext des Robust Design .....	42
2.3.4   Messtechnische Grundlagen .....	44
<b>3     <b>Ableitung des Handlungsbedarfs .....</b></b>	<b>47</b>
3.1   Fazit zum Stand der Forschung .....	47
3.2   Handlungsbedarf aus industrieller Sicht .....	48
3.3   Handlungsbedarf für den Einsatz und die Validierung virtueller Absicherungsmethoden für Mechanismen im Kontext des Robust Design .....	54

<b>4</b>	<b>Einsatz und Validierung virtueller Absicherungsmethoden für Mechanismen .....</b>	<b>57</b>
4.1	Einflussanalyse .....	59
4.2	Nennmaßoptimierung für abweichungsbehaftete Mechanismen .....	61
4.2.1	Formulierung des Optimierungsproblems .....	61
4.2.2	Auswahl und Anwendung eines Optimierungsalgorithmus.....	63
4.2.3	Auswertung der Ergebnisse.....	66
4.3	Durchführung der Toleranzanalysen .....	67
4.3.1	Eingangsgroßen der Toleranzanalyse .....	68
4.3.2	Hybride Toleranzrepräsentation .....	70
4.3.3	Ergebnisinterpretation und Handlungsmöglichkeiten....	71
4.4	Validierung von Toleranzanalysen für Mechanismen .....	73
4.4.1	Entwicklung eines Validierungsprüfstands .....	75
4.4.2	Vorgehen bei der Validierung.....	77
4.4.3	Aufbereitung der Primärdaten.....	79
4.4.4	Auswahl und Bestimmung einer geeigneten Ähnlichkeitskennzahl zur Quantifizierung der Vorhersagegüte .....	81
4.4.5	Anpassung des Toleranzanalysemodells.....	83
4.5	Einbindung spezifischer Abweichungsinformationen.....	84
4.6	Beitragsleisteranalyse .....	88
4.7	Zielabgleich und weitere Schritte .....	89
<b>5</b>	<b>Praktische Umsetzung des Vorgehens .....</b>	<b>91</b>
5.1	Einflussanalyse .....	92
5.2	Nennmaßoptimierung der Röntgenblendenkinematik.....	94
5.2.1	Formulierung des Optimierungsproblems .....	94
5.2.2	Anwendung eines Optimierungsalgorithmus und Ergebnisinterpretation .....	97
5.3	Toleranzanalysemodelle der Röntgenblendenkinematik.....	99
5.3.1	Hybrides Toleranzanalysemodell .....	100
5.3.2	Hybrides Toleranzanalysemodell mit Lochspiel .....	102
5.3.3	Toleranzanalysemodell auf Basis von Skin Model Shapes.....	102

5.4	Validierung der Toleranzanalyse .....	105
5.4.1	Beschreibung des Prüfstands .....	105
5.4.2	Bestimmung der Messunsicherheit des Prüfstands .....	107
5.4.3	Ergebnisse und Interpretation der Prüfstandunter- suchungen .....	108
5.4.4	Vergleich der Ergebnisse und Bestimmung der Ähnlichkeitskennzahlen .....	111
5.4.5	Gegenüberstellung der Ähnlichkeitskennzahlen und Bewertung der Toleranzanalysemodelle .....	114
5.5	Abgleich mit den geforderten Qualitätszielen und poten- tielle Maßnahmen zur Zielerreichung .....	115
5.6	Diskussion der Ergebnisse und des Vorgehens .....	119
6	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>123</b>
7	<b>Summary and outlook.....</b>	<b>127</b>
8	<b>Anhang .....</b>	<b>131</b>
8.1	Messwerte und Kombinationen der Hebel .....	131
8.2	Standardunsicherheit der Wiederholversuche.....	136
8.3	Ähnlichkeitskennzahlen und deren Korrelationen.....	137
8.3.1	Ähnlichkeitskennzahlen für unterschiedliche Simulationen .....	137
8.3.2	Korrelationen der Ähnlichkeitskennzahlen.....	143
8.4	Eingesetzte Hard- und Software .....	146
8.5	Ausgewählte Prüfstandskomponenten .....	147
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>149</b>