

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	I
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	V
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	IX
<b>Abkürzungen und Formelzeichen</b> .....	XI
<b>1 Einleitung</b> .....	1
<b>2 Problemstellung, Zielsetzung und Vorgehensweise</b> .....	3
2.1 Problemstellung .....	3
2.2 Zielsetzung und Vorgehensweise .....	4
<b>3 Grundlagen und Stand der Forschung</b> .....	7
3.1 Gratbildung .....	7
3.1.1 Gratdefinition, Kenngrößen und Gratgeometrie.....	7
3.1.2 Mechanismen der Gratentstehung .....	10
3.1.3 Einflussgrößen und Gratminimierungsansätze beim Bohren .....	12
3.1.4 Einflussgrößen und Gratminimierungsansätze beim Fräsen.....	20
3.2 Entgraten .....	22
3.2.1 Ungezielt arbeitende Entgratverfahren .....	23
3.2.2 Gezielt arbeitende Entgratverfahren .....	28
3.3 Fazit zum Stand der Technik .....	35
<b>4 Versuchseinrichtung und Auswertungsmethodik</b> .....	37
4.1 Versuchseinrichtungen und Betriebsmittel .....	37
4.1.1 Maschinensystem Hermle C32 U.....	37
4.1.2 Versuchswerkstoffe und Werkstückgeometrie .....	38
4.1.3 Versuchswerzeuge.....	39
4.1.4 Optisches Messsystem Alicona InfiniteFocus XL200 G5.....	40
4.2 Auswertemethodik .....	41
<b>5 Analytische Modellierung zum Entgraten von Kreuzbohrungsverschneidungen</b> .....	43
5.1 Konzeptioneller Entwurf und Voruntersuchungen.....	44
5.2 Deskriptive Modellierung der Verschneidungssituation für Zylinder-Zylinder- Verschneidungen.....	47

5.3	Berechnung der Werkzeugbahn mit definierter Eingriffstiefe in die Verschneidungskontur unter Vermeidung von Schaftkollisionen .....	54
5.3.1	Einführung des Werkzeugeingriffswinkels als Unterscheidungsmerkmal für das geeignete Bahngenerierungsmodell.....	54
5.3.2	Einführung des Bahnberechnungsmodells A „Winkelhalbierende“ .....	58
5.3.3	Einführung des Bahnberechnungsmodells B „orthogonale Abbildung“	59
5.3.4	Synthetische Betrachtung der Teilmodelle A und B und Modellverifikation.....	61
5.3.5	Ermittlung geeigneter Schaftdicken .....	64
5.4	Ermittlung der zulässigen Werkzeuggröße .....	65
5.5	Simulation und experimentelle Validierung der Anwendungsfälle .....	74
5.6	Fazit zum analytischen Berechnungsmodell .....	83
6	<b>Numerische Modellierung zum Entgraten von komplexen Bohrungsaustritten .....</b>	<b>85</b>
6.1	Transfer der relevanten Geometriedaten von CAD nach Matlab zur Datenvorverarbeitung.....	87
6.2	Deskriptive Modellierung der Verschneidungssituation für Zylinder-Freiform-Verschneidungen .....	89
6.3	Modell für kontinuierliche Zylinder-Freiform-Verschneidungen .....	93
6.3.1	Berechnung der Werkzeugbahn für kontinuierliche Zylinder-Freiform-Verschneidungen .....	93
6.3.2	Experimentelle Validierung für kontinuierliche Zylinder-Freiform-Verschneidungen .....	93
6.4	Modell für diskontinuierliche Zylinder-Freiform-Verschneidung mit äußeren Ecken .....	94
6.4.1	Ausgangssituation zur Berechnung der Werkzeugbahn für diskontinuierliche Zylinder-Freiform-Verschneidung mit äußeren Ecken .....	95
6.4.2	Einführung des Bahnberechnungsmodells C „verdrehter Eingriffsvektor“ .....	97
6.4.3	Simulation und experimentelle Validierung für diskontinuierliche Zylinder-Freiform-Verschneidung mit äußeren Ecken .....	99

---

6.5 Modell für diskontinuierliche Zylinder-Freiform-Verschneidung mit inneren Ecken .....	101
6.5.1 Ausgangssituation zur Berechnung der Werkzeugbahn für diskontinuierliche Zylinder-Freiform-Verschneidung mit inneren Ecken .....	103
6.5.2 Einführung des Bahnberechnungsmodells D „Reduzierung der Schneidenexposition“ .....	107
6.5.3 Simulation und experimentelle Validierung für diskontinuierliche Zylinder-Freiform-Verschneidung mit inneren Ecken .....	114
6.6 Fazit zum numerischen Berechnungsmodell.....	119
<b>7 Handlungsempfehlungen und Qualitätsanalyse .....</b>	<b>121</b>
7.1 Vergleichende Betrachtungen zu dem analytischen und dem numerischen Modell.....	121
7.2 Einfluss der Prozessparameter und der Bearbeitungsrichtung .....	123
7.2.1 Einfluss der Drehzahl und der Vorschubgeschwindigkeit bei einer Variation der Sollfasenbreite.....	124
7.2.2 Einfluss der Fräsrichtung Gleich- oder Gegenlauf und der Bearbeitungsrichtung durch Quer- oder Hauptbohrung .....	125
7.3 Einfluss der Interpolationsart auf die Entgratqualität und Bearbeitungsdauer .....	127
7.3.1 Bestimmung geeigneter Inkrementanzahlen für die Diskretisierung der Verschneidungskurve .....	127
7.3.2 Experimentelle Untersuchung und vergleichende Analyse .....	129
7.4 Einsatzgrenzen und Störgrößen des entwickelten Verfahrens .....	131
7.4.1 Simulative Modellgrenzen .....	132
7.4.2 Fertigungstechnische Grenzen durch Prozessstörgrößen.....	132
<b>8 Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>135</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>137</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>139</b>
<b>Lebenslauf.....</b>	<b>149</b>