

# Inhaltsverzeichnis

<b>I</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung und Problemstellung</b>	<b>3</b>
1.1	Motivation . . . . .	3
1.1.1	Mikrozerspanprozesse . . . . .	4
1.2	Die skalenbegrenzte Oberfläche . . . . .	5
1.3	Zielsetzung . . . . .	6
1.4	Herangehensweise und Aufbau der Arbeit . . . . .	7
<b>2</b>	<b>Nomenklatur</b>	<b>9</b>
2.1	Der Repräsentationsraum $\mathbb{R}^3$ . . . . .	10
2.2	Kurven und Flächen . . . . .	12
2.3	Basisgrößen der Zerspanung . . . . .	13
<b>3</b>	<b>Erkenntnisstand zur spanenden Formgebung</b>	<b>17</b>
3.1	Materialabtragsmechanismen . . . . .	17
3.1.1	Makroskopische Zerspanmechanismen . . . . .	18
3.1.2	Mikroskopische Zerspanmechanismen . . . . .	19
3.2	Modellierung der Zerspankräfte . . . . .	20
3.2.1	Makroskopische Zerspankraftmodelle . . . . .	20
3.2.2	Mikroskopische Kraftmodelle . . . . .	22
3.3	Visualisierung und physikbasierte Simulation . . . . .	23
3.3.1	Visualisierung . . . . .	23
3.3.2	Co-Simulation . . . . .	24
3.3.3	Visualisierung der Werkstückoberfläche . . . . .	26
3.3.4	Objektrepräsentationen für den Booleschen Materialabtrag . . . . .	27
3.3.5	Die Oberflächenfeingestalt von Mikrofräsprozessen mit Kugelkopffräsern . . . . .	30
3.4	Fazit . . . . .	30
<b>II</b>	<b>Oberflächengenerierung</b>	<b>33</b>
<b>4</b>	<b>Kinematik</b>	<b>35</b>
4.1	Raumkurven . . . . .	35
4.2	Kinematische Ketten für Dreh- und Fräsprozesse . . . . .	40

4.3	Schneidenmodellierung . . . . .	42
4.3.1	Der Schneidenverlauf . . . . .	42
4.3.2	Das Kräftedreibein . . . . .	43
<b>5</b>	<b>Implizite Oberflächenmodellierung</b>	<b>47</b>
5.1	Einleitung . . . . .	47
5.1.1	Die implizite Repräsentation . . . . .	48
5.2	Distanzfelder zur impliziten Oberflächendarstellung . . . . .	48
5.3	Manipulatoren . . . . .	50
5.3.1	Komposition mit R-Funktionen . . . . .	50
5.3.2	Weiche Kompositionen (Blending) . . . . .	52
5.3.3	Affine Transformation . . . . .	53
5.3.4	Bewegungsvolumen (Sweep-Volumen) . . . . .	53
5.3.5	Deformation und Materialfluß . . . . .	56
5.3.6	Modell eines Mikrofräasers . . . . .	57
<b>6</b>	<b>Das Oberflächenmodell</b>	<b>61</b>
6.1	Einleitung . . . . .	61
6.1.1	Bezeichnungen . . . . .	62
6.2	Realisierung des Materialabtrags . . . . .	63
6.2.1	Die Funktion der Spannungsdicke $h$ . . . . .	63
6.2.2	Die Übergangsfunktion $q$ . . . . .	66
6.2.3	Die Aktualisierung des Werkstücks . . . . .	67
6.3	Implementierung einer 2D-Bildraummethode . . . . .	68
<b>7</b>	<b>Das Prozessmodell</b>	<b>71</b>
7.1	Einleitung . . . . .	71
7.1.1	Bezeichnungen . . . . .	73
7.2	Zerspankräfte . . . . .	73
7.2.1	Das Polynom der spezifischen Kraft und der Schnittkraft . . . . .	73
7.2.2	Der resultierende Kraftvektor . . . . .	74
7.2.3	Lineare Regresionsschätzung der Zerspankraft . . . . .	75
7.2.4	Lösen des Minimierungsproblems . . . . .	76
7.2.5	Anwendung des Kraftmodells . . . . .	77
7.3	Das Schwingungsmodell . . . . .	82
7.3.1	Das mechanische System . . . . .	82
7.3.2	Das empirische Schwingungsmodell . . . . .	84
<b>8</b>	<b>Charakterisierung von Mikrotopographien</b>	<b>85</b>
8.1	Einleitung . . . . .	85
8.2	Grundbegriffe für die Oberflächencharakterisierung . . . . .	85
8.2.1	Die Traganteilkurve . . . . .	87
8.3	Oberflächenparameter nach DIN EN ISO 25178 . . . . .	88
8.3.1	Die Höhenparameter . . . . .	89
8.3.2	Die räumlichen Parameter . . . . .	90

8.3.3	Die Hybrid-Parameter . . . . .	91
8.3.4	Parameter für Funktionsoberflächen . . . . .	92
<b>III</b>	<b>Anwendung</b>	<b>95</b>
<b>9</b>	<b>Evaluierung des Modells</b>	<b>96</b>
9.1	Einleitung . . . . .	96
9.2	Das ideale kinematische Profil . . . . .	98
9.3	Das kinematische Profil des Zeilenfräsens mit Störgrößen . . . . .	101
9.3.1	Phasenverschiebung $\phi_0$ . . . . .	101
9.3.2	Schneidkantenversatz $s_v$ . . . . .	104
9.3.3	Rundlauffehler $\rho$ . . . . .	104
9.3.4	Deflektion $\delta$ der Werkzeugspitze . . . . .	104
9.4	Die Topographie der Vollnut und des Gegenlaufräsens . . . . .	108
9.5	Zusammenfassung . . . . .	109
<b>10</b>	<b>Parameteridentifikation und Verifikation der Textur</b>	<b>115</b>
10.1	Einleitung . . . . .	115
10.1.1	Experimente . . . . .	115
10.1.2	Bezeichnungen . . . . .	116
10.2	Parameteridentifikation zur Modellkalibrierung . . . . .	117
10.3	Verifikation des kinematischen Oberflächenprofils . . . . .	119
10.3.1	Daten Vor- und Nachbearbeitung . . . . .	119
10.3.2	Ergebnisse . . . . .	120
10.4	Verifikation der Mikrotopographie . . . . .	125
10.4.1	Daten Vor- und Nachbearbeitung . . . . .	125
10.4.2	Ergebnisse . . . . .	125
10.5	Fazit . . . . .	130
<b>11</b>	<b>Prozessoptimierung</b>	<b>133</b>
11.1	Einleitung . . . . .	133
11.2	Das Optimierungsparadigma . . . . .	133
11.3	Ergebnisse . . . . .	135
11.3.1	Kalibrierung und Validierung des Modells . . . . .	135
11.3.2	Prozessoptimierung . . . . .	137
<b>12</b>	<b>Zusammenfassung, Fazit und Ausblick</b>	<b>139</b>
12.1	Zusammenfassung . . . . .	139
12.2	Fazit und Ausblick . . . . .	142
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>143</b>