

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Problemstellung . . . . .	1
1.2	Stand des Wissens . . . . .	2
1.2.1	Definition der Entgrataufgabe . . . . .	2
1.2.2	Stand der Technik beim Roboterentgraten . . . . .	4
1.2.3	Literaturüberblick über das Roboterentgraten . . . . .	8
1.3	Zielsetzung und Überblick der Arbeit . . . . .	16
<b>2</b>	<b>Kraftregelung von Industrierobotern</b>	<b>20</b>
2.1	Selektive Gelenkmomentenregelung . . . . .	21
2.2	Nachgiebige Impedanzregelung . . . . .	21
2.3	Hybride Positions-/Kraftregelung . . . . .	23
2.4	Korrektive Positions-/Kraftregelung . . . . .	25
2.4.1	Regelungsstruktur . . . . .	25
2.4.2	Kraftregelung bei Robotersteuerungen . . . . .	28
<b>3</b>	<b>Kraftgeregelter Konturverfolgung</b>	<b>31</b>
3.1	Abtasten einer Werkstückkontur . . . . .	34
3.1.1	Konturermittlung . . . . .	35
3.1.2	Regelungskonzept . . . . .	36
3.1.3	Ermittlung der Steifigkeit des Robotersystems . . . . .	38
3.2	Konturverfolgung mit Stützpunkten . . . . .	39
3.2.1	Konturermittlung . . . . .	40
3.2.2	Regelungskonzept . . . . .	41
3.3	Konturverfolgung bei Punktkontakt . . . . .	45
3.3.1	Konturermittlung . . . . .	45

3.3.2	Regelungskonzept . . . . .	46
3.4	Bahngenerierung mittels Konturverfolgung . . . . .	49
3.4.1	Speicherung der Bahn . . . . .	49
3.4.2	Datenreduktion . . . . .	49
<b>4</b>	<b>Wissensbasiertes System</b>	<b>53</b>
4.1	Generelles Wissen über den Entgratprozeß . . . . .	53
4.1.1	Einflußfaktoren auf die Bearbeitungsqualität . . . . .	55
4.1.2	Einflußfaktoren auf die Bearbeitungskraft . . . . .	60
4.2	Wissensakquisition mittels Fuzzy-Modelbildung . . . . .	66
4.2.1	Aufgabenstellung der Fuzzy-Modelbildung . . . . .	67
4.2.2	Verfahren der Fuzzy-Modelbildung . . . . .	68
4.2.3	Ablaufplan der Fuzzy-Modellbildung . . . . .	73
4.2.4	Modellierungsergebnisse . . . . .	74
4.3	Pilotsystemimplementierung . . . . .	77
4.3.1	Prozeßwissensbasis . . . . .	77
4.3.2	Konzeptwissen . . . . .	79
4.3.3	Konturwissen . . . . .	80
4.4	Wissensbasierte Planung für das Roboterentgraten . . . . .	81
4.4.1	Auswahl des Entgratkonzepts . . . . .	82
4.4.2	Festlegung der Prozeßgrößen . . . . .	83
4.5	Kraftregelung des Entgratprozesses . . . . .	85
4.5.1	Kraftregelung in der Normalenrichtung . . . . .	86
4.5.2	Kraftregelung in der Tangentialrichtung . . . . .	87
4.5.3	Ermittlung der Prozeßparameter . . . . .	88
<b>5</b>	<b>Passives Entgratkonzept</b>	<b>90</b>
5.1	Ausgleichsphase mit Normalkraftregelung . . . . .	91
5.1.1	Ausgleich mit eingeschaltetem Werkzeug . . . . .	91
5.1.2	Ausgleich mit ausgeschaltetem Werkzeug . . . . .	92
5.2	Entgraten mit Fuzzy-Überwachung . . . . .	93

5.2.1	Überwachung des Entgratprozesses . . . . .	94
5.2.2	Einführung eines weichen Übergangs . . . . .	96
5.2.3	Berücksichtigung der Meßwert-Schwankung . . . . .	97
5.2.4	Regelungsstruktur . . . . .	99
<b>6</b>	<b>Aktives Entgratkonzept</b>	<b>101</b>
6.1	Graterkennung mittels Konturverfolgung . . . . .	102
6.1.1	Ermittlung der Trajektoriendifferenz . . . . .	104
6.1.2	Graterkennung mit Hilfe von Bedienerwissen . . . . .	106
6.1.3	Datenreduktion . . . . .	108
6.2	Aktives Entgratkonzept I . . . . .	109
6.3	Aktives Entgratkonzept II . . . . .	112
6.3.1	Ausgleich von Positionsungenauigkeiten . . . . .	113
6.3.2	Festlegung der Entgratvorgänge . . . . .	113
6.3.3	Anpassung der Vorschubgeschwindigkeit . . . . .	116
<b>7</b>	<b>Vergleich mit bekannten Entgratkonzepten</b>	<b>119</b>
7.1	Auswahl von bekannten Entgratkonzepten . . . . .	119
7.1.1	Entgratkonzepte nach [Palm 84, Puls 85] . . . . .	119
7.1.2	Entgratkonzepte nach [Jinno 92, Kashiwagi 92] . . . . .	120
7.2	Vergleich der Entgratkonzepte durch Simulation . . . . .	121
7.2.1	Aufbau des Simulationssystems . . . . .	121
7.2.2	Simulationsergebnisse . . . . .	123
7.3	Eigenschaften der Entgratkonzepte . . . . .	131
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>139</b>
<b>A</b>	<b>Pilotsystemimplementierung</b>	<b>142</b>
A.1	Versuchsaufbau . . . . .	142
A.2	Softwarerealisierung . . . . .	143

---

<b>B</b>	<b>Koordinatentransformationen</b>	<b>147</b>
B.1	Koordinatensysteme . . . . .	147
B.2	Positionen und Positionstransformation . . . . .	148
B.3	Bewegungsbahn . . . . .	150
B.4	Kräfte und Krafttransformation . . . . .	151
<b>C</b>	<b>Bestimmung des Kontaktpunkts</b>	<b>152</b>
<b>D</b>	<b>Grundlagen der Fuzzy-Logik</b>	<b>155</b>
D.1	Unschärfe Mengen/Fuzzy-Terme . . . . .	155
D.2	Mengenoperationen . . . . .	156
D.3	Linguistische Variable . . . . .	156
D.4	Komponenten einer Fuzzy-Einheit . . . . .	157
D.5	Realisierungen und Anwendungen . . . . .	160
<b>E</b>	<b>Fuzzy-Modellbildung</b>	<b>162</b>
E.1	Algorithmus des Verfahrens Logik-Prüfen . . . . .	162
E.2	Algorithmus des Verfahrens nach der LMS-Lernregel . . . . .	164
E.3	Geometrische Deutung . . . . .	165
E.4	Vergleich mit konventioneller Modellbildung . . . . .	168
<b>F</b>	<b>Fotografien zu den Laborversuchen</b>	<b>171</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>175</b>