

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Literaturübersicht . . . . .	3
1.2	Zielsetzung und Inhalt der Arbeit . . . . .	7
1.3	Anmerkungen zur Schreibweise . . . . .	9
<b>2</b>	<b>Externe Linearisierung von Mehrgrößensystemen</b>	<b>11</b>
2.1	Zustandsgleichungen . . . . .	12
2.2	Externe Linearisierung in Originalkoordinaten . . . . .	13
2.2.1	Eingangs-Ausgangs-Gleichung . . . . .	13
2.2.2	Statische Entkopplungsrückführung . . . . .	15
2.3	Externe Linearisierung in Normalkoordinaten . . . . .	17
2.3.1	Externe und interne Normalkoordinaten . . . . .	18
2.3.2	EA-Normalform der Regelstrecke . . . . .	20
2.3.3	Normalform des ein-/ausganglinearisierten Systems . . . . .	22
2.3.4	Nulldynamik des ein-/ausganglinearisierten Systems . . . . .	24
2.4	Dynamische Entkopplungsrückführung . . . . .	26
2.5	Regelung der entkoppelten Teilsysteme . . . . .	30
2.6	Zur exakten Zustandslinearisierung . . . . .	31
<b>3</b>	<b>Dynamik von Mehrkörpersystemen</b>	<b>32</b>
3.1	Methode der Mehrkörpersysteme . . . . .	32
3.1.1	Modellierungselemente von Mehrkörpersystemen . . . . .	32

3.1.2	Bewegungsgleichungen von Mehrkörpersystemen . . . . .	33
3.2	Dynamik ohne Kontaktbindungen . . . . .	35
3.3	Kontaktbindungen . . . . .	40
3.3.1	Kinematik der Bindungs-Koordinatensysteme . . . . .	41
3.3.2	Kontaktbindungen in absoluten Koordinaten . . . . .	42
3.3.3	Kontaktbindungen in Systemkoordinaten . . . . .	43
3.3.4	Kontaktkräfte . . . . .	46
3.3.5	Beispiele für Kontaktbindungen . . . . .	48
3.4	Dynamik mit Kontaktbindungen . . . . .	51
<b>4</b>	<b>Externe Linearisierung von Mehrkörpersystemen</b>	<b>53</b>
4.1	Ausgangsgrößen . . . . .	54
4.1.1	Lage-Ausgangsgrößen . . . . .	54
4.1.2	Geschwindigkeits-Ausgangsgrößen . . . . .	55
4.1.3	Kontaktkraft-Ausgangsgrößen . . . . .	56
4.2	Externe Linearisierung in Originalkoordinaten . . . . .	57
4.2.1	Eingangs-Ausgangs-Gleichung . . . . .	57
4.2.2	Statische Entkopplungsrückführung . . . . .	60
4.2.3	Regelung der entkoppelten Teilsysteme . . . . .	62
4.3	Externe Linearisierung in Normalkoordinaten . . . . .	62
4.3.1	Externe und interne Normalkoordinaten . . . . .	64
4.3.2	EA-Normalform der Regelstrecke . . . . .	67
4.3.3	Normalform des ein-/ausgangslinearisierten Systems . . . . .	69
4.3.4	Nulldynamik des ein-/ausgangslinearisierten Systems . . . . .	71
<b>5</b>	<b>Bewegungsgeregelte Systeme</b>	<b>72</b>
5.1	Lageregelung einer Radführung . . . . .	72
5.1.1	Bewegungsgleichungen . . . . .	73
5.1.2	Definition der Ausgangsgrößen . . . . .	76

---

5.1.3	Externe Linearisierung in Originalkoordinaten . . . . .	77
5.1.4	Externe Linearisierung in Normalkoordinaten . . . . .	79
5.1.5	Simulationsbeispiele . . . . .	82
5.2	Regelung der Bewegung einer Arbeitsplattform . . . . .	85
5.2.1	Bewegungsgleichungen . . . . .	86
5.2.2	Definition der Ausgangsgrößen . . . . .	88
5.2.3	Bahnregelung, statische Entkopplungsrückführung . . . . .	89
5.2.4	Bahnregelung, dynamische Entkopplungsrückführung . . . . .	94
5.2.5	Kursregelung, dynamische Entkopplungsrückführung . . . . .	99
5.2.6	Simulationsbeispiele . . . . .	104
<b>6</b>	<b>Lage- und Kraftregelung redundanter Roboter</b>	<b>110</b>
6.1	Dynamik von redundanten Robotern . . . . .	111
6.1.1	Bewegungsgleichungen . . . . .	111
6.1.2	Lage- und Kontaktkraft-Ausgangsgrößen . . . . .	112
6.1.3	Funktionale und redundante Ausgangsgrößen . . . . .	113
6.2	Externe Linearisierung in Originalkoordinaten . . . . .	117
6.2.1	Eingangs-Ausgangs-Gleichung . . . . .	118
6.2.2	Inverse Kinematik . . . . .	120
6.2.3	Zielfunktion bei der inversen Kinematik . . . . .	122
6.2.4	Inverse Kinetik . . . . .	123
6.3	Externe Linearisierung in Normalkoordinaten . . . . .	126
6.3.1	Normalkoordinaten . . . . .	126
6.3.2	Normalform des ein-/ausgangslinearisierten Systems . . . . .	127
6.4	Simulationsbeispiele . . . . .	128
6.4.1	Regelung der redundanten Freiheitsgrade durch Potentialkräfte . . .	129
6.4.2	Kombinierte Lage- und Kraftregelung . . . . .	133

---

<b>7</b>	<b>Kinematische Lageregelung von Robotern</b>	<b>137</b>
7.1	Zeitkontinuierliche kinematische Lageregelung . . . . .	138
7.2	Zeitdiskrete kinematische Lageregelung . . . . .	141
7.3	Erweiterte kinematische Lageregelung . . . . .	145
7.4	Simulationsbeispiel . . . . .	149
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>152</b>
<b>A</b>	<b>Abstandsfunktion bei der Kursregelung</b>	<b>155</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>161</b>