

# Inhaltsverzeichnis

<b>Formelverzeichnis</b>	<b>xi</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>xiv</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Stand der Technik und Forschung</b>	<b>4</b>
2.1 Navigation in der mobilen Robotik . . . . .	4
2.2 Lenkungen in der Bahnfolgeregelung . . . . .	7
2.2.1 Lenkungsarten in der Fahrzeugtechnik . . . . .	7
2.2.2 Kinematische Modelle und deren Anwendungsbereiche . . . . .	8
2.2.3 Fehlermodell und seine Erweiterungen . . . . .	14
2.3 Regelung linearer und nichtlinearer Systeme . . . . .	15
2.3.1 Beschreibung und Stabilität dynamischer Systeme . . . . .	15
2.3.2 Methoden zur Regelung . . . . .	19
2.3.3 Weitere Verfahren im Regelkreis . . . . .	29
2.3.4 Beurteilung der Performance von Regelungen . . . . .	33
2.4 Literaturübersicht zu Bahnfolgeregelungen . . . . .	34
2.4.1 Klassischer Regelungspunkt . . . . .	34
2.4.2 Beliebiger Regelungspunkt . . . . .	38
2.5 Vorgehensmodelle in der Produkt- und Software-Entwicklung . . . . .	39
<b>3 Forschungsfrage</b>	<b>43</b>
3.1 Definition der Forschungsfrage . . . . .	43
3.2 Methodisches Vorgehen bei der Beantwortung der Forschungsfrage . . . . .	45
<b>4 Roboter in Simulation und Erprobung</b>	<b>47</b>
4.1 Simulationsumgebungen zur Analyse der Regelkreismodule . . . . .	47
4.2 Roboter zur Validierung der Entwurfsmethode . . . . .	50
4.3 Einsatz von Software-Module und -Bibliotheken . . . . .	54
<b>5 Evaluation der Module im Regelkreis von Bahnfolgeregelungen</b>	<b>55</b>
5.1 Vorausschaulänge . . . . .	55
5.2 Vorsteuerung . . . . .	58
5.3 Bahnregler . . . . .	61
5.3.1 Nichtlineare Regelgesetze . . . . .	62
5.3.2 Zustandsraumbasierte Regelungen . . . . .	65
5.3.3 Stationäre Genauigkeit durch Integratoren . . . . .	67
5.3.4 Reglervergleich . . . . .	69
5.4 Bahnplanung . . . . .	71

---

5.5	Adaptive Module . . . . .	72
5.5.1	Zentrale Verfahren der adaptiven Regelung . . . . .	72
5.5.2	Geschwindigkeitsadaption . . . . .	73
5.5.3	Störgrößenbeobachter . . . . .	75
5.5.4	Parameterschätzung . . . . .	76
<b>6</b>	<b>Vorgehen beim Entwurf einer Bahnfolgeregelung</b>	<b>79</b>
6.1	Analysephase . . . . .	79
6.2	Implementierungssphase . . . . .	82
6.3	Testphase . . . . .	86
<b>7</b>	<b>Validierung der Entwurfsmethode</b>	<b>88</b>
7.1	Ankoppeln an Anbaugeräte mit einem Ackermann-gelenkten Traktor . . . . .	88
7.2	Navigation mit einem differentialgelenkten Entmistungsroboter . . . . .	95
7.3	Fahren eines Y-Zyklus mit einem knickgelenkten Radlader . . . . .	98
7.4	Diskussion . . . . .	103
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Hinweis für die Praxis</b>	<b>105</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>		<b>108</b>
<b>Anhang</b>		
<b>A</b>	<b>Bahnfolgeregler für beliebige Regelungspunkte</b>	<b>121</b>
A.1	LQ-Regelung mit exakter Zustandslinearisierung . . . . .	121
A.2	Pure-Pursuit . . . . .	124
A.3	Sliding-Mode-Regler . . . . .	127
<b>B</b>	<b>Vorsteuerung in der Bahnfolgeregelung</b>	<b>129</b>
B.1	Ackermann-Lenkung . . . . .	129
B.2	Differentiallenkung . . . . .	131
B.3	Knicklenkung . . . . .	133