

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>i</b>
<b>1 Einführung</b>	<b>1</b>
1.1 Beschreibung und Motivation . . . . .	1
1.2 Zielsetzung und wissenschaftlicher Beitrag . . . . .	3
1.3 Lösungsansätze . . . . .	3
1.4 Aufbau und Kapitelübersicht . . . . .	5
<b>2 Stand der Forschung – Autonomes Fahren</b>	<b>7</b>
2.1 Einführung . . . . .	7
2.2 Forschungsgruppen . . . . .	7
2.2.1 Universität der Bundeswehr, München . . . . .	7
2.2.2 Universität Karlsruhe, Fraunhofer IITB, Karlsruhe . . . . .	8
2.2.3 Università di Parma, Artificial Vision and Intelligent Systems Laboratory (VisLab), Parma, Italien . . . . .	9
2.2.4 Carnegie Mellon University, Pittsburgh, USA . . . . .	11
2.2.5 Stanford University, Stanford, USA . . . . .	12
2.2.6 Weitere Gruppen . . . . .	13
2.3 Verhaltensentscheidung . . . . .	14
2.3.1 Verhaltensentscheidung mittels endlicher Zustandsautomaten . . . . .	14
2.3.2 Verhaltensentscheidung mittels Situationsgraphenbäumen . . . . .	15
2.3.3 Verhaltensentscheidung mittels Fähigkeitennetzen . . . . .	16
2.4 Bahnplanung für Automobile . . . . .	18
2.4.1 Allgemeine Ansätze zur Bahnplanung . . . . .	21
2.4.2 Bahnplanung für Parkmanöver . . . . .	22
2.5 Fazit . . . . .	24
<b>3 Verhaltenssteuerung</b>	<b>27</b>
3.1 Einführung . . . . .	27
3.2 Anforderungen an die Verhaltenssteuerung . . . . .	27
3.3 Entwurf . . . . .	29
3.3.1 Schnittstellen . . . . .	31
3.3.2 Aufbau und Strukturierung des Verhaltensnetzwerkes . . . . .	35
3.3.3 Verhalten der einzelnen Schichten . . . . .	40
3.3.4 Virtuelle Sensoren und Koppelung von Verhalten . . . . .	43

3.3.5	Berechnungsmethoden in der Übersicht . . . . .	45
3.4	Software-System . . . . .	46
3.4.1	Übersicht . . . . .	46
3.4.2	Koordination von Ausführungsfäden . . . . .	49
3.4.3	Testumgebung . . . . .	50
3.5	Akkumulation von Erfahrungswissen . . . . .	51
<b>4</b>	<b>Bahnplanung</b>	<b>53</b>
4.1	Einführung . . . . .	53
4.2	Dynamische Gefahrenkarten . . . . .	53
4.2.1	Hindernisrepräsentation . . . . .	54
4.2.2	Fahrintentionen . . . . .	56
4.3	Bewegungsschätzung nicht klassifizierter Objekte . . . . .	57
4.3.1	Variablendefinitionen . . . . .	59
4.3.2	Dekomposition der Verbundwahrscheinlichkeit . . . . .	60
4.3.3	Filtermodelle . . . . .	61
4.3.4	Berechnung . . . . .	63
4.3.5	Berücksichtigung von Hintergrundwissen . . . . .	65
4.3.6	Filterergebnisse . . . . .	66
4.4	Bahnplanung . . . . .	67
4.4.1	Kürzeste-Weg-Suche . . . . .	69
4.4.2	Gefahren-Minimierung und Verwendung dynamischer Gefahrenkarten . . . . .	80
4.5	Bewegungsplanung . . . . .	83
4.6	Bahnplanung für die Urban Challenge 2007 . . . . .	85
<b>5</b>	<b>Regelung</b>	<b>89</b>
5.1	Einführung . . . . .	89
5.2	Regelungskonzept . . . . .	90
5.3	Versuchsplattform <i>Smart Roadster</i> . . . . .	92
5.4	Umbau und Fahrzeugbereitstellung . . . . .	93
5.4.1	Sicherheitskonzept . . . . .	93
5.4.2	Drive-by-Wire-Umsetzung . . . . .	94
5.5	Längsregelung . . . . .	99
5.5.1	Geschwindigkeitsregler (Tempomat) . . . . .	100
5.5.2	Bremsdruckregelung . . . . .	103
5.6	Querregelung . . . . .	103
<b>6</b>	<b>Ergebnisse und Evaluation</b>	<b>107</b>
6.1	Ergebnisse . . . . .	107
6.1.1	Testumgebung . . . . .	107
6.1.2	Evaluationskriterien und Testszenarien . . . . .	108
6.1.3	Test der Verhaltenssteuerung . . . . .	109
6.2	Evaluation . . . . .	124
6.2.1	Zielsetzung . . . . .	124
6.2.2	Anforderungen . . . . .	126

<b>7 Schlussbetrachtungen</b>	<b>129</b>
7.1 Zusammenfassung . . . . .	129
7.2 Ausblick . . . . .	131
<b>A Paradigmen in der Robotik</b>	<b>133</b>
A.1 Funktionsbasierte, deliberative Ansätze . . . . .	134
A.1.1 Shakey . . . . .	134
A.1.2 NASREM . . . . .	135
A.2 Reaktive, verhaltensbasierte Ansätze . . . . .	137
A.2.1 Subsumption Architecture . . . . .	137
A.2.2 Motor Schemas . . . . .	139
A.3 Hybride Ansätze . . . . .	141
A.3.1 Verhaltensnetzwerke . . . . .	141
A.3.2 JPL Exploratory Robot Architecture . . . . .	143
A.3.3 AuRA-Architektur . . . . .	144
A.4 Fazit . . . . .	145
<b>B Wissensmodellierung und Entscheidungsfindung</b>	<b>147</b>
B.1 Endliche Automaten . . . . .	148
B.2 Petri-Netze . . . . .	150
B.3 Aussagenlogik und Prädikatenlogik . . . . .	151
B.4 Fuzzy-Logik . . . . .	153
B.5 Bayes'sche Netze . . . . .	156
B.6 Entscheidungsbäume . . . . .	158
B.7 Fallbasiertes Schließen . . . . .	159
B.8 Fazit . . . . .	160
<b>C Umfeldkartierung</b>	<b>163</b>
C.1 Quad-Trees . . . . .	163
C.2 Sichtbarkeitsgraph . . . . .	164
C.3 Voronoi-Diagramme . . . . .	164
C.4 Belegtheitskarten . . . . .	166
C.5 Bayesian Occupancy Filter (BOF) . . . . .	169
C.6 Fazit . . . . .	171
<b>D Bahnplanungsalgorithmen</b>	<b>173</b>
D.1 Potenzialfeldmethode . . . . .	173
D.2 Dijkstra . . . . .	175
D.3 A* . . . . .	176
D.4 D* . . . . .	178
D.5 Rapidly-exploring Random-Trees (RRTs) . . . . .	179
D.6 Elastische Bänder . . . . .	180
D.7 Fazit . . . . .	180

<b>E Systemarchitektur des Sonderforschungsbereiches</b>	<b>183</b>
E.1 Systemkomponenten . . . . .	184
E.2 Simulationsumgebung . . . . .	185
E.3 Fahrzeugausstattung . . . . .	186
<b>Literatur</b>	<b>195</b>