



# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>v</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>ix</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation und Zielstellung . . . . .	2
1.2 Öffentliche Sicht der Thematik . . . . .	5
1.3 Struktur der Arbeit . . . . .	5
<b>2 Stand der Technik</b>	<b>7</b>
2.1 Positionsschätzung im Automobil . . . . .	7
2.1.1 Koppelortung . . . . .	8
2.1.2 Karteneinpassung . . . . .	10
2.1.3 Referenzsystem . . . . .	11
2.2 Kartierung im Automobil . . . . .	11
2.3 Positionsschätzung und Kartierung in der Robotik . . . . .	12
<b>3 Lösungsansatz zur modellbasierten Lokalisierung und Kartierung</b>	<b>17</b>
3.1 Lokalisierungsmodul . . . . .	17
3.1.1 Parameterraum . . . . .	19
3.1.2 Absolute Lokalisierung . . . . .	20
3.1.3 Relative Lokalisierung . . . . .	22
3.2 Probabilistische Verfahren . . . . .	22
3.2.1 Partikel-Filter . . . . .	24
3.2.2 Unscented-Kalman-Filter . . . . .	27
3.2.3 Winkelschätzung . . . . .	28
3.3 Kartierungsmodul . . . . .	29



3.3.1	Extraktion von Linien als Bildmerkmale . . . . .	29
3.3.2	Linienverfolgung über Bildsequenzen . . . . .	29
3.3.3	Ablegen von Merkmalen . . . . .	30
3.3.4	Hierarchische Kartierung . . . . .	31
3.4	Stufenkonzept . . . . .	31
3.5	Zusammenfassung . . . . .	32
<b>4</b>	<b>Fahrzeuglokalisierung</b>	<b>33</b>
4.1	Absolute Lokalisierung . . . . .	33
4.1.1	Strukturmerkmale der urbanen Umgebung . . . . .	34
4.1.1.1	Vorverarbeitung des Kartenmaterials . . . . .	35
4.1.1.2	Kombination von Bild- und Modellinformation . . . . .	36
4.1.1.3	Analyse der Schätzmethodik und Strukturmerkmale . . . . .	37
4.1.2	Bewertung in der Bodenebene . . . . .	38
4.1.3	Realisierungsvariante des Partikel-Filters . . . . .	39
4.1.4	Anforderungen an das Gütemaß . . . . .	44
4.2	Tracking-Verfahren . . . . .	46
4.3	Zusammenfassung . . . . .	47
<b>5</b>	<b>Merkmalskartierung</b>	<b>49</b>
5.1	Merkmalsdetektion . . . . .	49
5.1.1	Kantenextraktion . . . . .	50
5.1.2	Kantenverfolgung durch Stützpunkte . . . . .	50
5.1.3	Sammeln von Kanten in „Schläuchen“ . . . . .	53
5.1.4	Kombination von extrahierten Kanten . . . . .	55
5.1.5	Kombination von verfolgten und extrahierten Kanten . . . . .	55
5.1.6	Steigerung der Robustheit für die Merkmalserkennung . . . . .	56
5.2	3D-Rekonstruktion . . . . .	58
5.2.1	Zwei-Geraden-Rekonstruktion . . . . .	58
5.2.2	Steigerung der Genauigkeit von 3D-Rekonstruktionen . . . . .	59
5.2.3	Kombination mehrerer 3D-Rekonstruktionen . . . . .	59
5.3	Merkmalsablage . . . . .	61
5.3.1	Hierarchische Kartenergänzung . . . . .	63
5.3.1.1	Lokale Karte . . . . .	64



5.3.1.2	Globale Karte . . . . .	64
5.3.2	Gütekriterium . . . . .	65
5.4	Zusammenfassung . . . . .	66
<b>6</b>	<b>Versuchsaufbau und -durchführung</b>	<b>67</b>
6.1	Softwarekomponenten . . . . .	67
6.1.1	Datenquellen . . . . .	68
6.1.2	Allgemeine Vorverarbeitung . . . . .	70
6.1.3	Ausgabe . . . . .	70
6.2	Teststrecke . . . . .	70
6.3	Versuchsträger . . . . .	71
6.3.1	GPS-Empfänger . . . . .	72
6.3.2	Raddrehzahlsensor . . . . .	74
6.3.3	Gyrosensor . . . . .	76
6.3.4	Integrierte Gyrosensoren im Navigationssystem . . . . .	77
6.3.5	Inertialsensoren im Automobil . . . . .	78
6.3.6	Monovideo-Kamera . . . . .	78
6.3.7	Referenzbox . . . . .	80
6.4	Simulierte Sensordaten . . . . .	82
6.5	Kartenmaterial . . . . .	82
6.5.1	Zusatzdatenbank mit Gebäudegrundrissen . . . . .	84
6.5.2	Gauß-Krüger-Koordinatensystem . . . . .	86
<b>7</b>	<b>Versuchsauswertung</b>	<b>89</b>
7.1	Ergebnisse der Merkmalskartierung . . . . .	89
7.2	Ergebnisse der Lokalisierungsmethodiken . . . . .	94
7.2.1	Analyse der Bildbewertung . . . . .	94
7.2.2	Analyse des Trackingverfahrens . . . . .	95
7.3	Ergebnisse der gleichzeitigen Kartierung und Lokalisierung . . . . .	98
7.3.1	Analyse der Bewertung in der Bodenebene . . . . .	98
7.3.2	Lokalisierung mittels Referenzdaten . . . . .	102
7.3.3	Lokalisierung mittels künstlicher Rauschdaten . . . . .	104
7.3.4	Sequentielle Gewichtung . . . . .	110
7.4	Analyse von Lokalisierungsserien . . . . .	116



7.4.1	Bestimmung der optimalen Partikelanzahl . . . . .	116
7.4.2	Bestimmung der optimalen Gütefunktion . . . . .	120
7.5	Lokalisierung mittels realer Sensordaten . . . . .	121
7.6	Zusammenfassung . . . . .	128
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>129</b>
<b>A</b>	<b>Datenbank eines Navigationssystems</b>	<b>133</b>
A.1	WGS84-Referenzsystem . . . . .	136
<b>B</b>	<b>Dichteanalyse verschiedener Gewichtsfunktionen</b>	<b>139</b>
<b>C</b>	<b>Zusätzliche Visualisierungen</b>	<b>149</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>151</b>