



Jens Rieken (Autor)

## Ein Beitrag zur 3D-Umfeldwahrnehmung für automatisierte Straßenfahrzeuge im urbanen Raum



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/8319>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,  
Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Beitrag und Methodik der Arbeit . . . . .	3
1.2	Struktur der Arbeit . . . . .	7
1.3	Verwendete Terminologie . . . . .	9
<b>I</b>	<b>Systemkonzeption</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>Der Stadtpilot als Anwendungsfall automatisierter Fahrfunktionen</b>	<b>15</b>
2.1	Projektbeschreibung und Zielsetzung . . . . .	16
2.2	Darstellung der Funktionalen Systemarchitektur . . . . .	19
2.3	Beschreibung der Anwendungsszenarien . . . . .	24
2.4	Zusätzliche Szenarien durch Streckenerweiterung . . . . .	28
2.5	Beispiele für Grenzszenarien für die Umfeldwahrnehmung . . . . .	29
2.6	Zusammenfassung . . . . .	30
<b>3</b>	<b>Ableitung von Wahrnehmungsfertigkeiten</b>	<b>31</b>
3.1	Fertigkeiten, Fähigkeiten und graphenbasierte Relationen . . . . .	31
3.2	Fertigkeiten zur Umfeldwahrnehmung . . . . .	34
3.3	Architektonische und technische Randbedingungen . . . . .	41
3.4	Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse . . . . .	42
<b>4</b>	<b>Entwurf der Umfeldwahrnehmung</b>	<b>45</b>
4.1	Stand der Forschung zu Modellierungsansätzen . . . . .	45
4.2	Wahrnehmung mittels hochauflösender Lasersensorik . . . . .	60
4.3	Laserbasierte Umfeldwahrnehmung des Projekts Stadtpilot . . . . .	64
4.4	Abschluss der Systemkonzeption und Ergebnisdiskussion . . . . .	72
<b>II</b>	<b>Systemrealisierung</b>	<b>75</b>
<b>5</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>79</b>
5.1	Funktionsprinzip eines Lasersensors zur Distanzmessung . . . . .	79
5.2	Sensorspezifikation Velodyne HDL-64E S2 . . . . .	81
5.3	Daten-Repräsentation und Scan-Generierung . . . . .	82
<b>6</b>	<b>Punktwolken-Vorverarbeitung</b>	<b>87</b>
6.1	Klassifikation der Bodenoberfläche . . . . .	89
6.2	Klassifikation bodennaher Strukturen . . . . .	99

6.3	Konvertierung in eine Multi-Volumen-Repräsentation . . . . .	107
6.4	Punktwolken-Segmentierung . . . . .	110
6.5	Segmentbasierte Beweglichkeitsschätzung . . . . .	121
<b>7</b>	<b>Modellierung des stationären Umfelds</b>	<b>127</b>
7.1	Grundlagen . . . . .	129
7.2	Identifikation des eigenen Beitrags . . . . .	135
7.3	Besondere Aspekte des eingesetzten Frameworks . . . . .	136
7.4	Repräsentierte Merkmale im stationären Umfeldmodell . . . . .	139
7.5	Merkmals-Abstraktion und Gitterfusion . . . . .	150
7.6	Weiterführende Extraktion von Merkmalen . . . . .	155
7.7	Zusammenfassung und Kritik . . . . .	156
<b>8</b>	<b>Modellierung des beweglichen Umfelds</b>	<b>159</b>
8.1	Identifikation des eigenen Beitrags . . . . .	161
8.2	Das Objektmodell zur Repräsentation beweglicher Elemente . . . . .	161
8.3	Hypothesengenerierung . . . . .	167
8.4	Objektverfolgung . . . . .	174
8.5	Zusammenfassung und Kritik . . . . .	191
<b>III</b>	<b>Systembewertung</b>	<b>195</b>
<b>9</b>	<b>Grundlagen und Stand der Forschung</b>	<b>199</b>
9.1	Metriken für objektbasierte Repräsentationen . . . . .	201
9.2	Erzeugung von Referenzdaten . . . . .	206
9.3	Anwendbarkeit öffentlich verfügbarer Datensätze und Leistungsvergleiche . . . . .	208
9.4	Fazit . . . . .	210
<b>10</b>	<b>Versuchsdurchführung</b>	<b>213</b>
10.1	Bemerkungen zum Aufbau des Versuchssystems . . . . .	213
10.2	Definition der zu bewertenden Szenarien . . . . .	214
10.3	Eingesetzte Referenzdaten und Metriken . . . . .	220
<b>11</b>	<b>Versuchsergebnisse</b>	<b>225</b>
11.1	Szenarien „Folgen einer mehrstreifigen Straße“ und „Fahrstreifenwechsel“ . . . . .	225
11.2	Szenario „Abbiegen durch entgegenkommenden Verkehr“ . . . . .	236
11.3	Szenario „Annäherung an einen Verkehrsknotenpunkt“ . . . . .	237
11.4	Szenario „Folgefahrt auf einer nicht ebenen Fahrbahn“ . . . . .	239
11.5	Szenarienübergreifende Aspekte . . . . .	240
11.6	Zusammenfassung und Fazit . . . . .	246

---

<b>IV</b>	<b>Schlussteil</b>	<b>251</b>
<b>12</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>253</b>
12.1	Rekapitulation im Kontext der Forschungsfragestellungen . . . . .	253
12.2	Offene Punkte und weiterführende Fragestellungen . . . . .	256
	<b>Anhang</b>	<b>263</b>
<b>A</b>	<b>Koordinatensysteme &amp; Transformationen</b>	<b>263</b>
A.1	Koordinaten- und Achsensysteme . . . . .	263
A.2	Koordinatentransformationen . . . . .	265
<b>B</b>	<b>Gitterbasierte Modellierung</b>	<b>269</b>
B.1	Konzept zum latenzminimalen Zugriff auf Gittermodelle . . . . .	269
B.2	Konvertierungsvorschriften für die Tristate-Darstellung . . . . .	272
B.3	Belegungsschätzung durch ein binäres Bayes'sches Filter . . . . .	273
<b>C</b>	<b>Objektverfolgung</b>	<b>277</b>
C.1	Grundlagen rekursiver Zustandsschätzung . . . . .	277
C.2	Definition der eingesetzten Bewegungsmodelle . . . . .	283
<b>D</b>	<b>Systemkonfiguration zur Evaluation</b>	<b>289</b>
<b>E</b>	<b>Parameter der Algorithmen</b>	<b>291</b>
	<b>Abkürzungen und Nomenklatur</b>	<b>295</b>
	<b>Eigene Veröffentlichungen</b>	<b>299</b>
	<b>Betreute studentische Arbeiten</b>	<b>301</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>303</b>