

# Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzfassung</b>	<b>III</b>
<b>Abstract</b>	<b>V</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>IX</b>
<b>Symbolverzeichnis</b>	<b>XI</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Problemstellung und Motivation . . . . .	1
1.2 Zielsetzung der Arbeit . . . . .	6
1.3 Gliederung und Überblick . . . . .	9
<b>2 Stand der Forschung</b>	<b>11</b>
2.1 Assistenzsysteme in der Logistik . . . . .	11
2.1.1 Ladungsdetektion mit Ultraschallsensoren . . . . .	12
2.1.2 IMOTRIS: Laderaumüberwachung . . . . .	13
2.1.3 TU-Dortmund: Ladungsüberwachung . . . . .	15
2.1.4 Forschungsprojekt - „Das Staplerauge“ . . . . .	17
2.1.5 Der Paketroboter . . . . .	19
2.2 Sensortechnologien zur 3D-Tiefenmessung . . . . .	21
2.2.1 Stereokamerasysteme . . . . .	22
2.2.2 Triangulation . . . . .	26
2.2.3 Time-of-Flight . . . . .	29
<b>3 Theoretische Grundlagen der Bildverarbeitung und Fusionsansätze</b>	<b>35</b>
3.1 Grundlagen der digitalen Bildverarbeitung . . . . .	35
3.2 Raumabbildung mittels Tiefendaten . . . . .	36
3.2.1 Datenstrukturen . . . . .	36
3.2.2 Merkmale von Punktwolken . . . . .	40
3.3 Segmentierungsverfahren . . . . .	42
3.3.1 Kantenbasierte Segmentierung . . . . .	45
3.3.2 Region Growing . . . . .	54
3.3.3 RANSAC . . . . .	55
3.3.4 K-Means Verfahren . . . . .	57
3.3.5 Mean-Shift Verfahren . . . . .	59
3.3.6 Zusammenfassende Betrachtung . . . . .	61
3.4 Fusionsprinzipien und -konzepte . . . . .	62
<b>4 Konzeptionierung des Demonstratorsystems</b>	<b>67</b>
4.1 Systemkonzept . . . . .	67

4.2	Technisches Konzept des Systems zur Ladegutüberwachung . . . . .	74
4.2.1	Kamerasystem . . . . .	75
4.2.2	Beschleunigungswertaufnehmer . . . . .	83
4.3	Integrationskonzept in ein Nutzfahrzeug . . . . .	84
<b>5</b>	<b>Sensordatenfusion zur Ladungsüberwachung</b>	<b>87</b>
5.1	Softwarearchitektur . . . . .	87
5.2	Anwendungsspezifische Methoden der Bildverarbeitung . . . . .	89
5.2.1	Vorverarbeitung der Bilddaten . . . . .	89
5.2.2	Analyse der 2D-Bilddaten . . . . .	91
5.2.3	Segmentierung der 3D-Bilddaten . . . . .	99
5.3	Profil der Beschleunigungsdaten . . . . .	104
5.4	Implementierter Fusionsansatz . . . . .	108
<b>6</b>	<b>Evaluation der Laborversuche und Messfahrten</b>	<b>115</b>
6.1	Testszenarien unter Laborbedingungen . . . . .	115
6.1.1	Bewertung der Tiefenauflösung des Kamerasystems . . . . .	116
6.1.2	Translationsdetektion des Messobjekts . . . . .	120
6.1.3	Rotationsdetektion des Messobjekts . . . . .	125
6.2	Messfahrtanalyse . . . . .	127
6.2.1	Schwingungsabhängigkeit des Kamerasystems im Fahrbetrieb . . . . .	129
6.2.2	Verschiebungsdetektion . . . . .	130
6.3	Diskussion der Ergebnisse . . . . .	133
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>137</b>
7.1	Zusammenfassung . . . . .	137
7.2	Ausblick . . . . .	139
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>143</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>157</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>159</b>
<b>A</b>	<b>Anhang</b>	<b>161</b>
A.1	3D-Sobel Operator . . . . .	161
A.2	Ergebnistabelle der Tiefenaufösung der Kinect . . . . .	161
A.3	Messfahrten mit dem Demonstratorsystem . . . . .	165