

Inhaltsverzeichnis

Vorwort..... iii

Abkürzungsverzeichnis.....ix

Bildverzeichnis xiii

Tabellenverzeichnis xxiii

1 Einleitung 1

 1.1 Motivation und Hintergrund1

 1.2 Zielsetzung..... 2

 1.3 Vorgehensweise und Überblick der Arbeit..... 3

2 Grundlagen der autonomen Navigation und Perzeption mobiler Systeme 5

 2.1 Navigation autonomer Systeme in Industrie, Verkehr und Forschung..... 5

 2.1.1 Navigation fahrerloser Transportfahrzeuge in industriellen Anwendungen 7

 2.1.2 Navigation autonomer Automobile in strukturierter Umgebung 8

 2.1.3 Stand der Forschung zur Navigation autonomer Systeme in gering und unstrukturierter Umgebung.....11

 2.2 Sensorik zur Erfassung der Umgebung für die sichere autonome Navigation 13

 2.2.1 2D-Kameras zur Bildgewinnung von Farbinformationen..... 13

 2.2.2 3D-Kameras zur Bildgewinnung von Tiefeninformation..... 15

 2.2.3 Weitere Sensorik zur Gewinnung von Abstandsinformationen der Umgebung 17

 2.3 Methoden der Lokalisierung als weitere Befähiger der autonomen Navigation 18

 2.3.1 Odometrie zur Messung der Eigenbewegung und Koppelung .19

 2.3.2 Navigationssatellitensystem zur Peilungslokalisierung und Navigation..... 20

3 Mobilitätshilfen und Assistenzsysteme für sehbeeinträchtigte Personen 23

 3.1 Die menschliche optische Wahrnehmung und Fähigkeit zur Kompensation durch sensorische Substitution 23

3.2	Mobilitätsförderung und -hilfen für sehbeeinträchtigte Personen	29
3.3	Stand der Technik und Forschung von Assistenzsystemen für sehbeeinträchtigte Personen	30
3.3.1	Einteilung von Assistenzsystemen für sehbeeinträchtigte Personen	31
3.3.2	Kommerziell verfügbare Assistenzsysteme für Orientierung und Mobilität	32
3.3.3	Aktuelle Forschungsansätze von Assistenzsystemen für die Navigation sehbeeinträchtigter Personen.....	36
4	Konzeption eines Assistenzsystems zur Navigation sehbeeinträchtigter Personen in gering strukturierter Umgebung.....	43
4.1	Zusammenfassung des Stands der Technik und Forschung und Ableitung bestehender Defizite.....	43
4.2	Konzeption eines Assistenzsystems zur Navigation in gering strukturierter Umgebung.....	48
5	Verlaufsklassifizierung und Segmentierung von Wegen in gering strukturierter Umgebung	53
5.1	Grundlagen künstlicher neuronaler Netze als Methode der robusten Datenverarbeitung.....	53
5.1.1	Architekturen und Parameter künstlicher neuronaler Netze...	53
5.1.2	Strukturierung des Datensatzes und grundlegendes Vorgehen zur Anwendung eines künstlichen neuronalen Netzes	59
5.2	Wegverlaufsklassifizierung mittels faltender neuronaler Netze als effiziente Methode der Wegerfassung und Navigationsunterstützung	61
5.3	Binäre semantische Wegsegmentierung mittels künstlicher neuronaler Netze zur robusten Navigation.....	65
5.3.1	Architekturen von faltenden neuronalen Netzen zur Segmentierung von Bildern	65
5.3.2	Entwicklung einer Architektur und Hyperparametersatz eines künstlichen neuronalen Netzes zur robusten binären Wegsegmentierung	69
5.4	Methoden zur Steigerung der Effizienz des trainierten Modells.....	75
6	Segmentierung von Hindernissen in gering strukturierter Umgebung.....	79
6.1	Berechnung von Disparitätskarten als Ergebnis der Stereobildgebung und Grundlage für die Hindernissegmentierung..	79

6.2	Bodensegmentierung und dynamische Rollkompensation zur Datensatzerstellung für die Hinderniserfassung mittels Stereokameras	83
6.2.1	V-Disparitäts-Methode zur Segmentierung des Bodens	83
6.2.2	Bildbasierte Kompensation der Rollbewegung der Stereokamera.....	86
6.3	Binäre semantische Hindernissegmentierung mittels künstlicher neuronaler Netze zur sicheren Navigation.....	89
6.3.1	Semi-automatische Datensatzerstellung binär segmentierter Hindernisbilder	89
6.3.2	Entwicklung einer Architektur und Hyperparametersatzes eines künstlichen neuronalen Netzes zur robusten binären Wegsegmentierung.....	90
6.4	Hinderniskartierung mittels weiterer Sensormodalitäten zur Steigerung der Robustheit.....	98
6.4.1	Erfassung und Kartierung von lokalen Hindernissen mittels 3D-RADAR-Sensorik.....	98
6.4.2	Erfassung und Kartierung von lokalen Hindernissen mittels 3D-Ultraschallsensorik	101
7	Orchestrierung der Datenverarbeitung zur Navigation in gering strukturierter Umgebung.....	105
7.1	Multimodale Positionsbestimmung und Fusionierung zur robusten kontinuierlichen Lokalisation.....	105
7.2	Modulare hierarchische Kostenkarten zur Fusionierung von Wegverlaufs- und Hindernisinformationen	107
7.3	Globale und lokale Pfadplanung zur Navigation	114
7.4	Orchestrierung der Verarbeitungsschritte und Generierung von Navigationsanweisungen.....	116
8	Assistenzsystem für die Navigation sehbeeinträchtigter Personen in gering strukturierter Umgebung.....	121
8.1	Systemarchitektur und Konzeption des Assistenzsystems	121
8.1.1	Auswahl und Integration der eingebetteten Hardwarekomponenten des Assistenzsystems.....	121
8.1.2	Modulare Softwarearchitektur zur Integration von Umgebungsinterpretation und Navigation	127
8.2	Evaluation der Weg- und Hinderniskartierung im Rahmen von Labortests	128
8.2.1	Evaluation der Wegkartierung	128
8.2.2	Evaluation der Hinderniskartierung	131

8.3	Evaluation der gesamten Navigation im Rahmen von Feldtests	133
8.4	Evaluation des multimodalen Feedbacks im Rahmen einer Probandenstudie	137
9	Zusammenfassung und Ausblick	147
10	Summary and Outlook	151
11	Anhang	153
12	Literaturverzeichnis	161