
Inhaltsverzeichnis

I	Abkürzungsverzeichnis	V
II	Abbildungsverzeichnis	IX
III	Tabellenverzeichnis	XIII
1	Einleitung	1
1.1	Automatisierte PKW im End-of-Line-Bereich	1
1.2	Zielsetzung	4
1.3	Forschungskonzeption	5
1.4	Aufbau der Arbeit	7
2	Bestehende Ansätze der visuellen Hinderniserkennung	9
2.1	Aufgabenstellung im Kontext des End-of-Line-Bereichs	9
2.2	Klassische Methoden der Bildverarbeitung zur Hinderniserkennung	12
2.2.1	Optischer Fluss	13
2.2.2	Bildklassifizierung	15
2.2.3	Tiefenbildprädiktion	17
2.2.4	Direkter Bildvergleich	19
2.2.5	Zusammenfassende Bewertung bestehender Ansätze	21
2.3	Anomaliedetektion in Kamerabildern	24
2.3.1	Halb-überwachtes Lernen	24
2.3.2	Lerntransfer	30
2.3.3	Kontextabhängigkeit von Hindernissen	34
2.3.4	Kontextabhängige Normalitätsmodelle	36
2.4	Zwischenfazit	40
3	Lösungshypothese und zu leistende Arbeit	43
3.1	Defizit in Theorie und Praxis	43
3.2	Lösungsansatz und -hypothese	44
3.3	Herleitung der Lösungsmodule	46
3.4	Formale und inhaltliche Anforderungen an die Lösung	49
3.4.1	Formale Anforderungen	49
3.4.2	Inhaltliche Anforderungen	50
3.5	Erkenntnisse dieser Arbeit	53

4	Entwicklung der Hinderniserkennung	57
4.1	Gesamtarchitektur	57
4.2	Merkmalsextraktion	58
4.2.1	VGG-Netz	59
4.2.2	ResNet	60
4.2.3	MobileNet	60
4.3	Anomaliemodell	63
4.3.1	Multivariate Gauß-Verteilung	63
4.3.2	Univariate Gauß-Verteilung	65
4.3.3	Einstellen des Arbeitspunktes	65
4.3.4	Balanced Distribution	68
4.4	Kontextmodellierung	69
4.4.1	Räumlicher Kontext	69
4.4.2	Zeitlicher Kontext	71
4.5	Nachverarbeitung	74
4.5.1	Sicherheitszone	76
4.5.2	Rezeptives Feld	77
4.5.3	Schwellwertmethode	77
4.6	Benchmark-Algorithmen	79
4.6.1	Semantische Segmentierung	79
4.6.2	Tiefenbildschätzung	80
4.7	Zusammenfassung	80
5	Datensätze und Implementierung	83
5.1	Simulationsdaten	83
5.1.1	Simulationsumgebung	84
5.1.2	Virtueller Datensatz	86
5.2	Realdaten	88
5.2.1	Datenaufzeichnung	89
5.2.2	Realer Datensatz	90
5.3	Implementierung	90
5.3.1	Implementierung der Anomaliedetektion	90
5.3.2	Implementierung der Benchmark-Algorithmen	92
5.4	Zusammenfassung	93
6	Auswahl des Klassifikators	95
6.1	Leistungsmetriken	95
6.2	Merkmalsextraktion	98

6.3	Anomaliemodelle	100
6.4	Nachverarbeitung	105
6.5	Rechenzeit	106
6.6	Kontextmodellierung	107
6.6.1	Räumlicher Kontext	107
6.6.2	Zeitlicher Kontext	110
6.7	Zwischenfazit	112
7	Validierung der Hinderniserkennung	115
7.1	Vergleich mit konkurrierenden Ansätzen	115
7.1.1	Hindernisse	115
7.1.2	Neue Objekte	117
7.1.3	Camouflage	118
7.1.4	Schwebende Objekte	119
7.1.5	Visuelle Störungen	120
7.1.6	Beleuchtungsunterschiede	122
7.1.7	Verunreinigter Boden	125
7.1.8	Zwischenfazit	125
7.2	Feldversuche	127
7.2.1	Übertragbarkeit der Ergebnisse	127
7.2.2	Dynamisches Normalitätsmodell	128
7.3	Fazit	131
8	Zusammenfassung und Ausblick	133
8.1	Zusammenfassung	133
8.2	Diskussion zur funktionalen Sicherheit	134
8.3	Ausblick	136
A	Übersicht der verwendeten Künstlichen Neuronalen Net- ze als Merkmalsextraktoren	154