



Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	iii
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Zielsetzung	2
1.3 Aufbau	3
2 Stand der Technik	5
2.1 Kraftfahrzeugscheinwerfer	5
2.1.1 Lichtverteilungen	5
2.1.2 Optische Systeme	6
2.1.3 Leuchtmittel	8
2.1.4 Pixellichtsysteme	9
2.1.5 Systemanwendung	12
2.2 Fahrerassistenzkamera	15
2.2.1 Optische Einkopplung	15
2.2.2 Kamerasensoren	16
2.2.3 Systemanwendung	18
2.3 Kamerabasierte Lichtassistenz	19
2.3.1 Funktionen zur Szenenbeleuchtung	20
2.3.2 Funktionen zur Umfeldkommunikation	23
3 Bildbasierte Tiefenwahrnehmung	26
3.1 Scheinwerfergestützte Fahrerwahrnehmung	26
3.2 Bildbasierte Rekonstruktionsmethoden	28
3.2.1 Stereo Vision	28
3.2.2 Motion Stereo	30
3.2.3 Aktive Triangulation	30
3.2.4 Methodenvergleich	31
3.3 Klassifizierung der Aktiven Triangulation	33
3.4 Anwendung der Aktiven Triangulation	35
4 Scheinwerfergestützte Aktive Triangulation	39
4.1 Mathematische Beschreibung	39
4.2 Fehlerbetrachtung	42
4.3 Systemanforderungen	45
4.4 Systemablauf	46



5	Modellgetriebene Tiefenrekonstruktion	48
5.1	Koordinatensysteme	48
5.2	Geometrisches Kameramodell	49
5.3	Geometrisches Scheinwerfermodell	52
5.4	Initialkalibrierung	54
5.4.1	Ebenenlage in Fahrzeugrelation	54
5.4.2	Ebenenlage in Kamerarelation	58
5.4.3	Betrachtung der Weltkoordinaten	59
5.4.4	Modellierung der Abstrahlcharakteristik	59
5.4.5	Berechnung des Scheinwerferbrennpunktes	60
5.5	Online-Rekalibrierung	62
5.5.1	Berechnung von Projektionstrajektorien	63
5.5.2	Abstrahlcharakteristik im Kameramodell	64
5.5.3	Projektionsendpunkte im statischen Fall	66
5.5.4	Projektionsendpunkte im dynamischen Fall	67
5.5.5	Berechnung der Scheinwerferfehlstellungen	69
5.6	Triangulation	71
6	Bildbasierte Merkmalsdetektion und Aktivierung	74
6.1	Projektionen	74
6.2	Regelbasierte Merkmalsextraktion	75
6.2.1	Simulative Vorverarbeitung	76
6.2.2	Einschränkung des Bildbereichs	79
6.2.3	Filterung im Frequenzraum	84
6.2.4	Eckpunktdetektion	86
6.2.5	Merkmalszuordnung	89
6.3	Datengetriebene Merkmalsextraktion	93
6.3.1	Flickerbetrachtungen von gedimmten Lichtverteilungen	93
6.3.2	Generierung der Datenmenge	96
6.3.3	Netzarchitektur	98
6.3.4	Trainingsprozess	99
6.4	Systemseitige Funktionsaktivierung	101
6.4.1	Vektorfeldbetrachtung	101
6.4.2	Schwellwertbildung	102
7	Experimentelle Untersuchungen	106
7.1	Online-Rekalibrierung	106
7.2	Bildverarbeitung	119
7.3	Triangulation	135
7.4	Diskussion der Untersuchungsergebnisse	145
8	Weiterführende Handlungsempfehlungen	148
8.1	Applikation auf Serienarchitektur	148
8.2	Automatisierte Datenakquisition	149



8.3	Interpretation der datengetriebenen Verarbeitung	150
8.4	Berücksichtigung hochauflösender Scheinwerttechnologien	151
9	Ergebnisse und Ausblick	153
10	Fazit	156
Anhang A	Methoden & Algorithmen	157
A.1	Bildbasierte Indirekte Tiefenrekonstruktion	157
A.2	Stereobasierte Bildpunktrekonstruktion	160
A.3	Subpixel Kantendetektor (nach Trujillo-Pino et al.)	162
A.4	Optischer Fluss (nach Brox et al.)	164
Anhang B	Messergebnisse	165
B.1	Rekalibrierung	165
B.2	Bildverarbeitung	170
B.3	Triangulation	173
Anhang C	Hardware und Software	177
C.1	Entwicklerkamarasystem	177
C.2	Leuchtdichtemesskamera	178
C.3	Projektorsystem	178
C.4	Softwareumgebungen	179
	Abbildungsverzeichnis	180
	Tabellenverzeichnis	182
	Nomenklatur	183
	Literaturverzeichnis	191
	Betreute Arbeiten	216
	Publikationen	217
	Patentschriften	218
	Lebenslauf	220