



Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	v
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Zielsetzung und Abgrenzung der Untersuchungsfelder	2
1.3 Aufbau der Arbeit	3
2 Stand der Technik	5
2.1 Grundlagen Hauptscheinwerfer	5
2.1.1 Grundlichtverteilungen	5
2.1.2 Optische Systeme	7
2.1.3 Lichtquellen	9
2.2 Sensorgestützte und prädiktive Lichtfunktionen	11
2.2.1 Automatische Leuchtweitenregulierung	11
2.2.2 Dynamisches Kurvenlicht	12
2.2.3 Adaptives Frontbeleuchtungssystem	13
2.2.4 Prädiktive Lichtsteuerung	15
2.3 Kamerabasierte Lichtfunktionen	15
2.3.1 Kamerasysteme	16
2.3.2 Fernlichtassistent	17
2.3.3 Gleitende Leuchtweite	18
2.3.4 Blendfreies Fernlicht	19
2.4 Scheinwerfereinstellung	22
2.4.1 Manuelle und kamerabasierte Lichteinstellung	22
2.4.2 Statistische Befunde zur Scheinwerferfehlstellung	24
2.5 Einfluss der Scheinwerferausrichtung auf die Lichtfunktionen	27
3 Automatisierte Scheinwerfereinstellung	29
3.1 Bekannte Konzepte	29
3.1.1 Überblick über die Kalibrieransätze	30
3.1.2 Untersuchungsergebnisse prototypischer Umsetzungen	32
3.1.3 Wiederholrate des Kalibriervorgangs	35
3.1.4 Integrationsmöglichkeit in bestehende Seriensysteme	37
3.2 Innovativer Ansatz für eine automatisierte Scheinwerfereinstellung	39
3.2.1 Standardisierte Bestimmung der Hell-Dunkel-Grenze	39
3.2.2 Aktive Triangulation und optische Kopplung	40
3.2.3 HDG-basierte automatisierte Scheinwerfereinstellung	42



4	Theoretische Umsetzung der aktiven Triangulation	45
4.1	Mathematische Definitionen	45
4.1.1	Geometrische Orientierung der Hell-Dunkel-Grenze	46
4.1.2	Detektionsbereiche der Fahrerassistenzkamera	47
4.2	Geometriemodell	49
4.2.1	Projektionsflächen	49
4.2.2	Parallaxe zwischen Kamera und Scheinwerfer	50
4.2.3	Testvektoren	52
4.3	Bestimmung der Scheinwerferfehlstellungen	53
4.3.1	Erweiterung des Geometriemodells	54
4.3.2	Berechnungsverfahren	54
4.4	Verifizierung des Berechnungsverfahrens	58
4.4.1	Aufbau der Simulationsumgebung	58
4.4.2	Einfluss des Kameradiskretisierungsgrads	60
4.4.3	Einfluss der Anzahl der charakteristischen Punkte	64
4.4.4	Einfluss der Anordnung der charakteristischen Punkte	66
4.4.5	Einfluss der Detektionsdistanz	67
5	Systemablauf	73
5.1	Adaptiver Bildverarbeitungsalgorithmus	73
5.1.1	Segmentierung und Bildvorverarbeitung	74
5.1.2	Merkmalsextraktion	78
5.2	Systemsteuerung	83
5.2.1	Plausibilitätsprüfung und Tracking	84
5.2.2	Aktivierung und Deaktivierung des Gesamtsystems	86
5.2.3	Scheinwerferansteuerung	87
5.3	Ermittlung und Anpassung der Scheinwerferausrichtung	90
5.3.1	Modellansätze und Berechnungsverfahren	91
5.3.2	Schätzung der Scheinwerferfehlstellung	94
5.3.3	Adaption der Scheinwerferausrichtung	96
6	Experimentelle Untersuchungen	99
6.1	Prototypische Integration	99
6.1.1	Versuchsträger	99
6.1.2	Scheinwerfersysteme	100
6.1.3	Referenzmessverfahren	101
6.2	Voruntersuchungen zur Hell-Dunkel-Grenze	103
6.2.1	Einstelltoleranzen der visuell-manuellen Methode	104
6.2.2	Beurteilung der detektierten Hell-Dunkel-Grenze	107
6.2.3	Geometrische HDG-Änderung und Klassifizierungsverfahren	111
6.3	Anwendung des Kalibrierverfahrens bei einem Serienscheinwerfer	114
6.3.1	Vergleich der verschiedenen Berechnungsansätze	114
6.3.2	Einfluss der Anordnung der charakteristischen Punkte	116
6.3.3	Einfluss der Detektionsdistanz	119
6.3.4	Untersuchung des Kalibrierverfahrens im Verkehrsraum	123
6.4	Adaption des Kalibrierverfahrens auf einen Matrixscheinwerfer	127
6.4.1	Anpassungen im Kalibrierablauf	127
6.4.2	Untersuchungen unter statischen Bedingungen	129



6.4.3	Untersuchungen unter dynamischen Bedingungen	131
6.5	Diskussion der experimentellen Untersuchungsergebnisse	133
7	Empfehlungen für die Serienumsetzung	137
7.1	Anforderungsanalyse und Parametrierung der Kalibrierung	137
7.2	Teststrategie	138
7.3	Zielarchitektur	138
8	Ergebnisse und Ausblick	141
	Anhang	143
A	Berechnungsalgorithmus	143
A.1	Berechnungsverfahren mit explizitem Lösungsweg	143
A.1.1	Lösungsweg für Modellansatz 1	143
A.1.2	Lösungsweg für Modellansatz 2	146
A.2	Newton-Verfahren für Modellansatz 3	151
A.2.1	Newton-Verfahren	151
A.2.2	Anwendung des Newton-Verfahrens	152
B	Versuchsdurchführungen und Messergebnisse	155
B.1	Versuchsdurchführungen	155
B.1.1	Winkelverteilungen der charakteristischen Positionen	155
B.1.2	Probandenstudie und indirekte Leuchtdichtemessung	159
B.2	Messergebnisse	163
B.2.1	Kalibrierergebnisse bei zwei charakteristischen Punkten	163
B.2.2	Unsicherheit der HDG-Detektion	167
B.2.3	Winkelversätze zwischen den einzelnen Hell-Dunkel-Grenzen	169
C	Bildverarbeitung und Messdaten	171
C.1	Bildverarbeitung	171
C.2	Messdaten	172
D	Hardware und Software	175
D.1	Entwicklerkamarasystem	175
D.2	Leuchtdichtekamera	175
D.3	CANLog	176
D.4	Sonstiges	177
	Abkürzungsverzeichnis	179
	Formelzeichen	181
	Literaturverzeichnis	189
	Betreute Arbeiten	201
	Publikationsliste	203
	Lebenslauf	205