

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Scheinwerfertechnik und Sensorsysteme im Fahrzeug.....	1
1.2 Ziel und Aufbau der Arbeit.....	1
2 Visuelle Wahrnehmung im Straßenverkehr	3
2.1 Menschliches Auge und Wahrnehmung	3
2.1.1 Schwellenkontrast	4
2.1.2 Aufbau des Auges	5
2.1.3 Wahrnehmung	7
2.1.4 Blickverhalten	7
2.1.5 Blendung	9
2.1.6 Folgen der nächtlichen Sichteinschränkung.....	14
2.2 Stand der Kraftfahrzeug-Lichttechnik	17
2.2.1 Abblendlichtverteilung.....	17
2.2.2 Xenon-Scheinwerfer.....	19
2.2.3 Automatische und dynamische Leuchtweitenregulierung	20
2.2.4 Adaptives Kurvenlicht.....	22
2.3 Vertikale Straßengeometrie.....	25
2.3.1 Eigenschaften	25
2.3.2 Einfluss auf die Wirkung des Abblendlichtes	30
2.4 Verbesserungspotential durch vertikale Anpassung der Lichtverteilung	36
3 Sensorsystem zur Ermittlung der vertikalen Straßenkrümmung	41
3.1 Auswertung der Fahrzeugdynamik	41
3.1.1 Nickbewegungen der Fahrzeugkarosserie.....	42
3.1.2 Gier- und Wankbewegung bei Kurvenfahrt	46
3.1.3 Geometriemodell zur Bestimmung der vertikalen Straßenkrümmung	48
3.1.4 Plausibilitätsprüfung.....	50
3.2 Erfassung der Fahrzeugumgebung.....	51
3.2.1 Ultraschallsensoren	51
3.2.2 Radar- und Lidarsensoren	51

3.2.3	Kamerasensor	53
3.2.4	Geometriemodell zur Bestimmung der vertikalen Straßenkrümmung	55
3.3	Gespeicherte Daten	57
3.3.1	Ortsbestimmung	57
3.3.2	Digitale Karten	57
3.3.3	Geometriemodell zur Bestimmung der vertikalen Fahrbahnkrümmung.....	58
4	Anpassung der Lichtverteilung an die vertikale Straßenform.....	61
4.1	Forderungen der Verkehrsteilnehmer an eine Fahrzeuglichtverteilung.....	61
4.1.1	Forderungen des Fahrers	62
4.1.2	Forderungen der anderen Verkehrsteilnehmer	64
4.2	Geometrische Betrachtung	67
4.3	Entwicklung der Verstellstrategie zur adaptiven Leuchtweitenregulierung	70
5	Wirkung der adaptiven Leuchtweitenregulierung.....	81
5.1	Geometrische Berechnungen und Simulation	81
5.2	Untersuchungen an der Modellstraße	89
5.2.1	Erkennbarkeit von Objekten.....	90
5.2.2	Blendung des Gegenverkehrs.....	95
5.3	Nachtfahrten im realen Straßenverkehr	102
5.3.1	Erkennbarkeitsentfernung von Objekten.....	103
5.3.2	Blickverhalten des Fahrers	110
5.3.3	Subjektive Bewertung der Leuchtweitenregulierung	119
5.4	Schlussfolgerungen	126
6	Zusammenfassung und Ausblick	129
6.1	Zusammenfassung.....	129
6.2	Ausblick	130
7	Literaturverzeichnis	133
8	Anhang.....	143
8.1	Verteilung von Kuppen- und Wannennadien	143
8.1.1	Route zur Aufzeichnung der Kuppen- und Wannennadien	143

8.1.2	Ausgewählte Verteilungen von Kuppen- und Wannennadien.....	144
8.2	Einfluss der vertikalen Straßenkrümmung auf die Wirkung der Lichtverteilung..	147
8.2.1	Vertikale Straßenkrümmung und Leuchtweite	149
8.2.2	Abstand der Hell-Dunkel-Grenze zur Fahrbahnoberfläche	151
8.3	Fahrwerkmodell und Kalmanfilter.....	152
8.3.1	Einspurmodell des Fahrwerks	152
8.3.2	Erweiterung des Einspurmodells.....	153
8.3.3	Kalmanfilter	157
8.3.4	Integration des Fahrwerkmodells in den Kalmanfilter.....	159
8.4	Simulation der Blendbeleuchtungsstärken und Leuchtdichten.....	162
8.4.1	Simulationsmodell.....	163
8.4.2	Berechnung der Winkelkoordinaten.....	165
8.4.3	Berechnung der Beleuchtungsstärken am Fahrerraue	168
8.4.4	Berechnung der reflektierten Leuchtdichten	170
8.4.5	Validierung.....	173
8.4.6	Simulierte Beleuchtungsstärken und Leuchtdichten	183
8.5	Messung des Blickverhaltens mit dem Eye-Tracking-System.....	191
8.6	Ausschnitt aus dem Fragenkatalog	197