

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>2</b>
1.1	Kundenwünsche an die Lichtfunktionen .....	2
1.2	Aktive Scheinwerfersysteme .....	3
1.3	Überblick .....	4
<b>2</b>	<b>Stand der Technik</b> .....	<b>5</b>
2.1	EU-Rahmenvorgaben .....	5
2.2	Adaptive Systeme in der Kraftfahrzeuglichttechnik .....	5
2.3	AFS – Adaptive Frontlighting System – Gesetzgebung .....	7
2.4	Klassifizierung von aktiven Scheinwerfern .....	7
2.5	Lichttechnische Scheinwerferfunktionen .....	8
2.6	Historie der Scheinwerferentwicklung .....	13
2.7	Lichtquellen .....	14
2.8	Scheinwerfertechnologien .....	17
2.8.1	Reflexionstechnik .....	19
2.8.2	Projektionstechnik .....	21
2.8.3	Leuchtweitenregelung .....	23
2.9	Dimensionierung von konventionellen Scheinwerfern .....	23
2.10	Dimensionierung von nichttraditionellen Optiken für Scheinwerfer .....	24
2.10.1	TIR Linse .....	24
2.10.2	Compound Parabolic Concentrator (CPC) .....	25
2.11	Literatur- und Patentanalyse .....	25
2.11.1	Variable Scheinwerfersysteme .....	25
2.11.2	Kurvenlicht-Scheinwerfer .....	26
2.11.3	Head-up Displays .....	27
<b>3</b>	<b>Aufgabenstellung und Lösungssystematik</b> .....	<b>28</b>
3.1	Defizite heutiger Lichtverteilungen und Scheinwerfer .....	28
3.2	Zielstellung an aktive Scheinwerfer .....	28
3.3	Zukünftige Scheinwerferlichtfunktionen .....	30
3.3.1	Straßensituationsabhängiges Licht AFS+ [HF] .....	30
3.3.2	Verkehrssituationsabhängiges Licht COL [HF] .....	31
3.3.3	Markierendes Licht MKL [HF] .....	31

3.3.4	Fahrerspezifisches Licht DSL [NF].....	32
3.3.5	Displaylicht DSY [NF].....	32
3.3.6	Kommunikationsfunktion COM [NF].....	32
3.4	Lichttechnische Anforderungen an Scheinwerferlichtverteilungen .....	34
3.5	Anforderungsanalyse des Scheinwerferumfeldes / der Sensorik .....	38
3.5.1	Vertikale Scheinwerfereinstellung .....	41
3.5.2	Horizontale Scheinwerfereinstellung .....	42
3.6	Anforderungsanalyse des mechatronischen Scheinwerfersystems .....	43
3.7	Funktionsanalyse des aktiven Scheinwerfers .....	45
3.8	Funktionsstruktur.....	47
<b>4</b>	<b>Generierung von Scheinwerferkonzepten .....</b>	<b>50</b>
4.1	Lösungsgenerierung – Methodik.....	50
4.2	Konzeptideenbeschreibung .....	51
4.3	Bewertung der Scheinwerferkonzepte.....	65
4.4	Morphologie der Lösungselemente .....	71
4.5	Kombination der Lösungselemente.....	75
4.6	Konzentration auf 4 Hauptkonzepte (K2-K5) und 1 Nebenkonzzept (K7) .....	77
4.6.1	Digitale Projektion K2.....	77
4.6.2	Analoge Projektion K3.....	78
4.6.3	Scannender Scheinwerfer K4 .....	79
4.6.4	LCoS-Scheinwerfer K5 .....	79
4.6.5	Flexprisma K7 .....	81
4.7	Etendu� – Helmholtz-Lagrange’sche Invariante .....	82
<b>5</b>	<b>Synthese .....</b>	<b>83</b>
5.1	Projektoren .....	83
5.2	LCoS-Scheinwerfer .....	83
5.2.1	Funktionssynthese .....	83
5.2.2	Modularisierung .....	90
5.2.3	Dimensionierung .....	91
5.2.4	Konstruktiver Aufbau .....	92
5.2.5	Lichttechnische Leistungsfähigkeit LCoS-Scheinwerfer .....	95
5.3	DMD-Scheinwerfer .....	97
5.3.1	Funktionssynthese .....	97

5.3.2	Modularisierung .....	99
5.3.3	Dimensionierung .....	109
5.3.4	Konstruktiver Aufbau des DMD-Scheinwerfers .....	120
5.3.5	Lichttechnische Leistungsfähigkeit des DMD-Scheinwerfers .....	123
5.4	AMD-Scheinwerfer .....	125
5.4.1	Funktionssynthese .....	125
5.4.2	Modularisierung .....	130
5.4.3	Dimensionierung .....	133
5.4.4	Konstruktiver Aufbau .....	139
5.4.5	Lichttechnische Leistungsfähigkeit AMD .....	144
5.5	Scannender Scheinwerfer .....	148
5.5.1	Funktionssynthese .....	148
5.5.2	Modularisierung .....	149
5.5.3	Dimensionierung .....	154
5.5.4	Konstruktiver Aufbau .....	164
5.5.5	Lichttechnische Leistungsfähigkeit scannender Scheinwerfer .....	168
5.6	Flexprisma .....	170
5.6.1	Funktionssynthese .....	170
5.6.2	Modularisierung .....	177
5.6.3	Dimensionierung .....	179
5.6.4	Konstruktiver Aufbau .....	185
5.6.5	Lichttechnische Leistungsfähigkeit Flexprisma .....	186
5.7	Funktionsanalyse der Hauptkonzepte .....	189
5.8	Grob-Risikoanalyse der Hauptkonzepte .....	194
5.9	Bewertung der Hauptkonzepte .....	195
<b>6</b>	<b>Untersuchung der Leistungsfähigkeit der Prototypen .....</b>	<b>199</b>
6.1	Einbindung des Scheinwerfers in das Kfz-Umfeld .....	199
6.1.1	Lichtfunktionen und deren Sensorik .....	199
6.1.2	Sensorik - CAN-Bus-Ansteuerung und dessen Auswertung .....	203
6.2	Aufbau eines statischen Lichtverteilungsdemonstrators .....	203
6.3	Umsetzung der Konzepte ins dynamische Fahrzeugumfeld .....	204
6.4	Gesetze .....	208
6.5	Lichttechnische Analyse der aufgebauten Konzepte .....	209
6.5.1	Effizienzbetrachtung .....	209

6.5.2	Lichtverteilungen.....	217
6.6	Lichtfunktionsanalyse .....	225
6.7	Vergleich mit Konkurrenztechnologien – Head-up-Display.....	228
6.8	Temperaturuntersuchungen der Konzepte.....	229
6.9	Vibrationsanalyse des DMD-Scheinwerferkonzepts.....	231
6.10	Aufbau und Fertigung der innovativen Optikkonzepte.....	234
6.11	Gesamtbewertung der aktiven Scheinwerferkonzepte .....	234
6.12	Bewertung der aktiven Scheinwerfer im Vergleich zu AFS-Scheinwerfern.....	236
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>239</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>242</b>
8.1	Konstruktionsmethodik .....	242
8.2	Scheinwerfer.....	243
8.3	Bewertung von Scheinwerferlichtverteilungen .....	253
8.4	Sensorumgebung und Displays .....	255
8.5	Sonstige Angaben.....	256
8.6	Optik und Lichttechnik.....	256
8.7	Promotionsbegleitende Diplom- und Studienarbeiten .....	258
8.8	Eigene Veröffentlichungen und Schutzrechtsanmeldungen.....	259
8.9	Fremde Schutzrechtsveröffentlichungen .....	260
8.10	Glossar.....	265
<b>9</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>270</b>
9.1	Bewertung der Hauptkonzepte im Detail .....	270
9.2	Offene technologische und physiologische Fragen.....	272