



Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	7
1. Einleitung	13
1.1. Motivation	13
1.2. Ziel und Struktur der Arbeit	14
2. Stand der Technik	17
2.1. Elektrooptische Grundlagen	17
2.1.1. Optische Messgrößen	17
2.1.2. Lichtemittierende Diode	18
2.2. Bewertungsverfahren als Entscheidungsstütze zur Auslegung einer Systemarchitektur	19
2.2.1. Entscheidungsprobleme und -theorie	20
2.2.2. Bekannte Bewertungsverfahren der Softwarearchitektur	23
2.2.3. Multikriterielle Analysemethoden	25
2.3. Analytic Hierarchy Process (AHP)	26
2.3.1. Definition von Hierarchien aus Zielkriterien und Alternativen	27
2.3.2. Paarweiser Vergleich der Kriterien und Alternativen	28
2.3.3. Berechnung von lokalen Gewichten und Prüfung von Konsistenzen	30
2.3.4. Durchführung der Gesamtbewertung	32
2.3.5. AHP-Erweiterungen und optionale Prozessschritte	34
2.4. Fahrzeugvernetzung	34
2.4.1. CAN	35
2.4.2. Flexray	36
2.4.3. Automotive Ethernet (100 Base-T1)	36
2.5. Entwicklung und Bewertung einer E/E-Architektur	37
2.5.1. Entwicklung von Elektrik und Elektronik	37
2.5.2. Optimierung des Entwicklungsprozesses	39
2.5.3. Kriterien einer E/E-Architektur	41
2.6. Evolution und Neuentwicklung einer E/E-Architektur	42
2.6.1. Erweiterung einer Fahrzeugarchitektur	42
2.6.2. Trend zur Hochintegration	44
2.6.3. Entwicklung einer neuen Fahrzeugarchitektur	45
2.7. Scheinwerfersysteme und ihre Fahrzeugvernetzung	45
2.7.1. Grundlagen	45
2.7.2. Sensorbasierte Scheinwerfersteuerung	46



2.8.	Abgrenzung vom Stand der Technik	49
2.8.1.	Kommunikationssysteme für hochauflösende Scheinwerfer	50
2.8.2.	Anwendung von AHP zur Auswahl einer E/E-Architektur	50
2.8.3.	Auslegung der Scheinwerfer-E/E-Komponenten	52
3.	Ansteuerung hochauflösender Scheinwerfersysteme	53
3.1.	Kategorisierung der Matrix-Systeme	53
3.1.1.	Winkelauflösung	53
3.1.2.	Additive und subtraktive Scheinwerfersysteme	55
3.2.	LED-Matrix-Scheinwerfersysteme	56
3.2.1.	Multiplexing einer LED-Matrix	56
3.2.2.	Steuerung niedrigauflösender LED-Matrix-Scheinwerfer	57
3.2.3.	Direkte LED-Ansteuerung mittels separater Stromquellen	58
3.3.	Hochauflösende Scheinwerfersysteme	60
3.3.1.	LCD	61
3.3.2.	DMD	64
3.3.3.	Direkter Vergleich	66
3.3.4.	Modell eines Ansteuerungsmoduls	66
3.4.	E/E-Architektur für hochauflösende Scheinwerfersysteme	68
3.4.1.	Sensor-Aktor-Wirkkette	69
3.4.2.	Verteilte und zentrale Architektur	71
4.	System- und Anforderungsanalyse	73
4.1.	Simulation höher aufgelöster Systeme	73
4.1.1.	MxB-Simulationsumgebung	73
4.1.2.	Vergleich und Evaluierung	75
4.2.	Timing-Evaluierung der aktuellen Architektur	82
4.2.1.	CAN-Sendeanalyse	83
4.2.2.	Reaktionslatenz	85
4.2.3.	Ergebnisdiskussion	86
4.3.	Quantitative Anforderungsanalyse hochauflösender Scheinwerfer	87
4.4.	Parallelisierbarkeit des MxB-Algorithmus	89
4.4.1.	Winkeltransformation	90
4.4.2.	Kurvenlicht- und Maskierungsfunktion	92
4.5.	Datenkomprimierung	95
4.5.1.	Generierung hochauflösender Lichtverteilungen	96
4.5.2.	Verlustfreie Bildkomprimierung	97
4.5.3.	Verlustbehaftete Bildkomprimierung	98
4.5.4.	Ressourcen und Laufzeiten	104
4.6.	CAN(-FD) basierte Datenübertragung	105
5.	Prototypische Umsetzung einer Systemarchitektur	107
5.1.	Integration von LCD-Scheinwerfern	107
5.1.1.	Aufbau des Versuchsträgers	107



5.1.2.	LCD-Scheinwerferprototyp	108
5.1.3.	LCD-Hintergrundbeleuchtung	109
5.1.4.	SSC-Algorithmus	113
5.2.	Demonstrator mittelauflösender LED-Matrix-Systeme	116
5.2.1.	Systemaufbau	116
5.2.2.	LED-Platine	116
5.2.3.	Adapterplatine	117
5.2.4.	Entwicklungsplatine	121
5.2.5.	Evaluierung und Messergebnisse	121
5.3.	Kommunikationsschnittstelle	124
5.3.1.	Kommunikationsprotokoll	124
5.3.2.	Entwicklungs Umgebung	126
5.3.3.	Timingmessungen	128
6.	Experimentelle Untersuchungen	133
6.1.	Kriterien für erfüllte qualitative Funktionsanforderungen	133
6.1.1.	Abbildungsqualität	133
6.1.2.	Scheinwerfersynchronität	134
6.1.3.	Timing der Hintergrundbeleuchtung und LCD-Matrix	134
6.2.	Aufbau Studie	135
6.2.1.	Generierung projizierter Lichtverteilungen	135
6.2.2.	Studie	136
6.3.	Durchführung und Ergebnisdiskussion der experimentellen Untersuchung	139
6.3.1.	Bildwiederholffrequenz	139
6.3.2.	Komprimierung	141
6.3.3.	Verzögerung zwischen Scheinwerfern	144
6.3.4.	Asynchronität der LCD- und LED-Matrix	146
7.	Architekturbewertung	149
7.1.	Architekturalternativen	149
7.1.1.	Zielkriterien	149
7.1.2.	Kriteriengewichtung	151
7.1.3.	Architekturalternativen	154
7.1.4.	Analyse und Bewertung der Architekturen	155
7.2.	Vorschlag für eine Serienumsetzung des LCD-Scheinwerfers	159
8.	Ergebnisse und Ausblick	163
8.1.	Ergebnisdiskussion	163
8.2.	Ausblick	165
A.	HDSW-Protokoll	167
A.1.	Beschreibung	167



B. Scheinwerferdemonstator	171
B.1. FPGA-Systemausbau	172
B.2. Adapterplatine	173
B.3. Demonstator	174
C. Evaluationsbogen Probandenstudie	175
D. Architekturanalyse	179
D.1. Vergleich der Architekturvarianten	180
D.2. Vergleichsmatrizen der Varianten in Bezug auf Bewertungskriterien	181
Literaturverzeichnis	183
Abbildungsverzeichnis	197
Tabellenverzeichnis	201
Betreute Arbeiten	203
Publikationsverzeichnis	205