

**Technische Universität Ilmenau**  
Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik

Diplomarbeit  
SS 2007

# Automatische Optimierung in der lichttechnischen Auslegung von Kfz-Außenbeleuchtung

Daniel Mensch  
Ilmenau, 2. November 2007

Studiengang: Medientechnologie  
Studienrichtung: Audiovisuelle Technik



Verantwortlicher Hochschulprofessor: Prof. Dr. phil. Heidi Krömker  
Betreuender wissenschaftlicher Mitarbeiter: Dr.-Ing. Cornelia Vandahl  
Betreuer (Volkswagen AG, Wolfsburg): Dipl.-Ing. Henning Kiel

# Kurzfassung

**Titel:** Automatische Optimierung in der lichttechnischen Auslegung von Kfz-Außenbeleuchtung

**Autor:** Daniel Mensch

**Verantwortlicher Hochschulprofessor:** Prof. Dr. phil. Heidi Krömker

**Betreuender wissenschaftlicher Mitarbeiter:** Dr.-Ing. Cornelia Vandahl

**Betreuer (Volkswagen AG, Wolfsburg):** Dipl.-Ing. Henning Kiel

In dieser Diplomarbeit werden die Potentiale des Einsatzes der automatisierten Optimierung für die Auslegung lichtoptischer Funktionsflächen für ein Scheinwerfer- oder Leuchtenkonzept untersucht. Dazu werden die im Automobilbau üblichen Lichtfunktionen systematisch betrachtet und ein Überblick über die unterschiedlichen Ausprägungen der Optimierung gegeben.

Für die automatisierte Optimierung wird mindestens eine Zielfunktion benötigt, die während der Optimierung minimiert oder maximiert wird. Eine solche Zielfunktion wird aufgestellt und hinsichtlich ihrer Tauglichkeit untersucht. Für die Berechnung der Zielfunktion wird eine Referenz-Lichtverteilung benötigt, die sich zum Beispiel über ein entwickeltes MATLAB-Programm erzeugen lässt.

Es werden experimentelle Untersuchungen mit einem ausgewählten Optimierungsalgorithmus durchgeführt, wofür die manuelle Auslegung lichtoptischer Funktionsflächen systematisch untersucht und in Form eines ausführbaren Berechnungsskriptes aufgebaut werden musste. Abschließend erfolgt die Auswertung der durchgeführten Optimierung, eine Beurteilung der geschaffenen Methode und ein begründeter Ausblick.

# Abstract

**Title:** automated optimization of free-form reflectors for automobile lighting

**Author:** Daniel Mensch

**Professor:** Prof. Dr. phil. Heidi Krömker

**Thesis Supervisor (TU Ilmenau):** Dr.-Ing. Cornelia Vandahl

**Thesis Supervisor (Volkswagen AG, Wolfsburg):** Dipl.-Ing. Henning Kiel

In this thesis, the potential for the use of automated optimization in case of reflector design for a light concept is examined. Therefore automotive lighting functions and different forms of optimizations are considered systematically.

At least one objective function is needed for the automated optimization which will be minimized or maximized during the optimization. Such an objective function is developed and examined in terms of its viability. For the calculation of the objective function a reference light intensity distribution is needed, which can be generated with a developed MATLAB-tool.

In this thesis some experimental studies were done with a selected multiobjective genetic optimization algorithm. Therefore the manual work of a lighting engineer for designing a reflector is examined and a corresponding executable calculation script is developed. Finally, the optimization will be analysed and an assessment of the method as well as a founded outlook will be given.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>1</b>
1.1	Motivation . . . . .	1
1.2	Ziele und Fokus . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Grundlagen der Lichttechnik</b>	<b>3</b>
2.1	Abteilung „Technologie, Simulation und Strak“ . . . . .	3
2.2	Lichttechnische Grundgrößen . . . . .	5
2.2.1	Raumwinkel . . . . .	7
2.2.2	Lichtstrom . . . . .	7
2.2.3	Lichtstärke . . . . .	8
2.2.4	Beleuchtungsstärke . . . . .	8
2.3	Scheinwerfer- und Leuchtensysteme . . . . .	9
2.3.1	Scheinwerfer . . . . .	9
2.3.2	Leuchten . . . . .	10
2.4	Lichttechnische Anforderungen . . . . .	12
<b>3</b>	<b>Grundlagen der Optimierung</b>	<b>15</b>
3.1	Grundlegende Begriffe der Optimierung . . . . .	15
3.2	Mehrkriterielle Optimierungsverfahren . . . . .	18
3.3	Evolutionäre Verfahren . . . . .	20
3.3.1	Grundlegende Begriffe der evolutionären Algorithmen . . . . .	22
3.3.2	Fitnesszuweisung . . . . .	23
3.3.3	Evolutionäre Operatoren . . . . .	24
3.4	Kategorisierung der verschiedenen Optimierungsverfahren . . . . .	28
3.5	Kriterien zur Auswahl der geeigneten Optimierungsstrategie . . . . .	31
<b>4</b>	<b>Aufbau einer Funktionsstruktur zur automatisierten Reflektorauslegung</b>	<b>34</b>
4.1	Auslegung lichtoptischer Funktionsflächen . . . . .	34
4.2	Softwarelösung zur automatisierten Optimierung . . . . .	37
4.3	Bereitstellung einer Zielfunktion . . . . .	38
4.4	Skript zur Erzeugung von Referenz-Lichtverteilungen . . . . .	40
4.4.1	Grafische Benutzeroberfläche . . . . .	40
4.4.2	Generierung idealer und individueller Lichtverteilungen . . . . .	41

4.4.3	Zusätzliche Funktionen . . . . .	42
4.5	Skriptsprachenumgebung für die Auslegung . . . . .	44
4.6	Aufbau einer Prozesskette zur Auslegung eines Nebenschlusslichtreflektors . . . . .	45
4.7	Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm - NSGA-II . . . . .	46
4.8	Voruntersuchungen zur Wahl der Simulationsparameter . . . . .	49
4.9	Ansätze zur Beschleunigung der Optimierung . . . . .	53
4.9.1	Simulation beschleunigen . . . . .	53
4.9.2	Anpassung der Prozesskette . . . . .	55
4.9.3	Anpassung des Optimierungsalgorithmus . . . . .	55
<b>5</b>	<b>Umsetzung von zwei mehrkriteriellen Optimierungen</b>	<b>57</b>
5.1	Einfache Auslegung eines Nebenschlusslichtreflektors . . . . .	58
5.1.1	Aufbau . . . . .	58
5.1.2	Durchführung . . . . .	61
5.1.3	Ergebnisse und Auswertung . . . . .	62
5.2	Erweiterte Auslegung eines Nebenschlusslichtreflektors . . . . .	64
5.2.1	Aufbau . . . . .	64
5.2.2	Durchführung . . . . .	66
5.2.3	Ergebnisse und Auswertung . . . . .	66
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>69</b>
6.1	Zusammenfassung . . . . .	69
6.2	Ausblick . . . . .	71
<b>A</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>73</b>
<b>B</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>76</b>
<b>C</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>78</b>
<b>D</b>	<b>Abkürzungs- und Formelverzeichnis</b>	<b>80</b>
<b>E</b>	<b>Anhang</b>	<b>82</b>
E.1	ECE-Regelungen . . . . .	82
E.2	Voruntersuchungen zur Wahl der Filterparameter . . . . .	88
E.3	Voruntersuchungen zur Wahl der Simulationsparameter . . . . .	89
E.4	Quellcode: LUCID SHELL . . . . .	90
E.5	Quellcode: MATLAB . . . . .	93
E.6	Auswertung der Optimierung . . . . .	96
<b>F</b>	<b>Erklärung</b>	<b>98</b>
<b>G</b>	<b>Vereinbarung über die Verwertungsrechte</b>	<b>99</b>