

Eine Methode zur Simulation der Temperatur- und Strömungsverteilung in lichttechnischen Geräten

Lichttechnische Geräte gehören zu den wichtigsten Sicherheitskomponenten eines Automobils, deren Fehlbedienung oder Ausfall die Fahrzeuginsassen oder andere Verkehrsteilnehmer gefährden kann. Daher muss eine einwandfreie Funktion des Gerätes zu jeder Zeit gewährleistet sein. Die allgemein herrschende Kostensituation zwingt die Hersteller solcher Geräte zu einer fortlaufenden Optimierung der Entwicklung und Herstellung ihrer Produkte. Die immer kürzeren Entwicklungszeiten verlangen Methoden, mit denen Risiken und Fehler bereits in einem frühen Entwicklungsstadium erkannt und behoben werden können. Zur Reduzierung der Herstellungskosten ist es notwendig mit dem jeweils kostengünstigsten Material, welches den geforderten Ansprüchen genügt, zu arbeiten. Materialwechsel sind jedoch während der Produktionsphase nicht immer möglich, so dass zu einem frühen Zeitpunkt der Entwicklung die Machbarkeit geklärt werden muss. Diese Leistungen können heutzutage die unterschiedlichsten Simulationsprogramme liefern, die auf Basis der CAD-Daten und geeigneter Randbedingungen die Belastung der Geräte und Komponenten oder deren Werkstoffe zu einem frühen Zeitpunkt der Entwicklung berechnen können.

Die vorliegende Arbeit soll dazu beitragen, die Temperatur- und Strömungsverteilung in lichttechnischen Geräten realitätsnah zu simulieren und mögliche Probleme in einem frühen Stadium der Entwicklung aufzudecken. Dazu wird hier eine Methode entwickelt, mit deren Hilfe die in einem solchen System auftretenden Wärmetransportmechanismen nachgestellt werden können. Die Basis dafür bildet ein kommerzielles *Computational Fluid Dynamic*-Programm.

Der überwiegende Teil der eingesetzten lichttechnischen Geräte erzeugt das Licht mit Hilfe von Temperaturstrahlern. Diese Leuchtmittel haben den Mangel, dass sie nur einen geringen Teil der eingeleiteten elektrischen Leistung in sichtbare Strahlung umwandeln. Der Rest verlässt die Glühlampe als Wärme, wobei der größte Teil dieser Wärme als Wärmestrahlung transportiert wird.

Eine realitätsnahe Simulation der Temperaturverteilung in diesen Geräten ist nur möglich, wenn das Simulationsmodell und die Randbedingungen die Realität möglichst genau abbilden. Die Schwierigkeit, die hierbei auftritt, ist die beschränkte Größe des Simulationsmodells, da diese direkten Einfluss auf die Dauer der Simulation hat. Es ist also notwendig, das Modell auf das Nötigste zu reduzieren. Ein wichtiger Punkt dabei ist die Beschreibung der Ränder des Simulationsmodells. Hier sind zwei Systemgrenzen zu unterscheiden: Einmal die äußere, an der das System mit der Umgebung gekoppelt wird und an der die von außen auf

das System wirkenden Gegebenheiten berücksichtigt werden. Diese wurde in der Arbeit mit Hilfe der Wärmeübergangskoeffizienten für die unterschiedlichen Gegebenheiten realisiert.

Die zweite oder innere Systemgrenze stellt das Leuchtmittel dar. Hier wird die eingeleitete elektrische Energie in Wärme umgewandelt und mit den entsprechenden Wärmetransportmechanismen im System verteilt. Es ergibt sich ein weiteres Problem, da das Modell des Leuchtmittels so gestaltet werden muss, dass der Umfang des gesamten Modells möglichst gering bleibt. Dazu wurden die von dem Leuchtmittel ausgesandten Wärmeströme ermittelt und zu einem minimierten Modell für die Randbedingung zusammengefasst.

Die Strahlung spielt im gesamten betrachteten System die zentrale Rolle. Das lichttechnische Gerät ist auf die optimale Verteilung dieser Strahlung ausgelegt. Neben der sichtbaren Strahlung wird auch die Wärmestrahlung auf dem gleichen Wege transportiert. Dieses kann zu einer Erwärmung von Bauteilen führen, die sich im Strahlengang des Systems befinden. Die meisten CFD-Programme weisen jedoch gerade bei den implementierten Modellen zur Simulation des Wärmetransports durch Strahlung große Unterschiede zur Realität auf, wobei besonders die Modelle für die gerichtet reflektierte Strahlung unzureichend sind. Dieses macht eine Erweiterung der Strahlungsberechnung notwendig. Dazu wurden die Ergebnisse eines *Computer Aided Lighting*-Programms so in das Simulationsmodell eingebunden, dass das Strahlungsmodell in den Bereichen, die besonders stark von der Strahlung belastet werden, die realen Vorgänge besser abbildet.

Zur Validierung der erstellten Simulationsmethode ist der Einsatz einer geeigneten Messtechnik unumgänglich. Zur Messung der Temperaturverteilung im System wurden die weitverbreiteten Methoden der berührenden Temperaturmessung mit Thermoelementen und die berührungslose Messung unter Benutzung eines Thermografiesystems verwendet. Schwieriger gestaltet sich der Einsatz von geeigneten Systemen zur Visualisierung der Strömungsverteilung im lichttechnischen System. Aufgrund der geringen Strömungsgeschwindigkeiten ist die Verwendung von berührend messenden Systemen nicht sinnvoll. Auch die bekannten berührungslos messenden Systeme stoßen hier an ihre Grenzen. Trotzdem ist es im Rahmen dieser Arbeit gelungen, erste Informationen über das Verhalten der Strömung zu gewinnen.

Der abschließende Vergleich der Messergebnisse mit den Simulationsergebnisse zeigt, dass sich die Realität gut wiedergeben lässt, und die Temperaturen und Strömungen in den kritischen Bereichen recht gut übereinstimmen. Die Ergebnisse zeigen jedoch auch, dass das Simulationsmodell für bestimmte Fragestellungen verbessert werden muss.