

Waldmann Lichttechnik GmbH&Co. KG

Peter Henleinstr. 5
78056 Villingen-Schwenningen
Tel.: 07720-601-0
www.waldmann.com



Abschlussbericht

BMBF-Verbundvorhaben „NANOLUX“

**Tausend Lumen Weiß - LED Plattform für Scheinwerfer
im Automobil und in der Allgemeinbeleuchtung
(Thousand Lumen White)**

Teilvorhaben B:

„Allgemeinbeleuchtung an Arbeitsplätzen“

FKZ: 13N8728

Arbeitsgruppe: Dipl. Ing. (FH) G. Ziegler
 Dipl. Ing. S. Eiselt
 Dipl. Ing. J. Nevoigt

Dezember 2008

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter der Förderkennzeichen 13N8728 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt liegt bei den Autoren.



1	Ziele des Teilvorhabens	3
1.1	Motivation und Gesamtziel.....	3
2	Aufgabenstellung	3
2.1	Wissenschaftliche und technische Arbeitsziele	3
3	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde.....	4
4	Planung und Ablauf des Vorhabens.....	4
5	Wissenschaftlicher und technischer Stand an den angeknüpft wurde.....	6
6	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	6
7	Eingehende Darstellung der erzielten Ergebnisse	6
7.1	Entwicklung von Sekundäroptiken für LED-System	6
7.2	Punktlichtkonzept.....	7
7.2.1	Breitstrahloptik für Office-Anwendungen	7
7.2.2	Universaloptik für industrielle Anwendungen	8
7.3	Flächenlichtkonzept.....	9
7.3.1	Lichttechnisches Prinzip	10
7.3.2	Produktspezifische Potentiale.....	10
7.3.3	Realisierung von Versuchsmustern	12
7.4	Entwicklung von Entwärmungstechnologien	14
7.4.1	Optimierung des Thermodesigns	14
7.4.2	Handleuchte mit höherem Schutzgrad.....	16
7.4.3	LED-Leuchten als integraler Bestandteil von Werkzeugmaschinen	17
7.4.4	LED-Einbauleuchte mit integrierter Kühlung	18
7.4.5	Arbeitsplatzleuchte mit aktiver Kühlung.....	20
7.5	Entwicklung von LED-Ansteuerungs- und Regelungskonzepten.....	22
7.5.1	Konzeptentwicklung für RGB-Regelung	22
7.5.2	Versuchsaufbau und Software	23
7.5.3	Zusammenfassung der Test- und Messergebnisse	25
7.6	Entwicklung erster Beleuchtungslösungen	26
7.7	Lösungen für die Bürobeleuchtung	26
7.7.1	Büro-Arbeitsplatzleuchte mit LED	26
7.7.2	Konzept einer LED-Arbeitsplatzleuchte	27
7.7.3	Pendelleuchte mit getrenntem Direktanteil	28
7.8	Lösungen für die Maschinenraumbeleuchtung	29
7.8.1	LED-Leuchten zur Spot-Ausleuchtung	29
7.8.2	LED-Leuchten zur Flächen-Ausleuchtung	30
8	Voraussichtlicher Nutzen	31
9	Bekannt gewordene Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens	31
10	Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen	31

1 Ziele des Teilvorhabens

1.1 Motivation und Gesamtziel

Motivation

Der Motivationsgrund schlechthin, ist der, die schlummernden Reserven einer Technologie im Hinblick auf die zukünftige Energiesituation zu heben und verstärkt den Einsatz von Halbleitern als effiziente, energiesparende und veränderbare Lichtquellen voranzutreiben.

Das Gesamtziel des Verbundprojekts besteht darin die Erforschung und Realisierung effizienter, lichtstarker und in Farbort, Intensität und der räumlichen Abstrahlung veränderbaren Weißlichtquellen mit Leuchtdioden (LED). Der anschließende Einsatz dieser viel versprechenden LED-Technologie im Automobil und im Allgemeinbeleuchtungssektor ist eine Voraussetzung für den Erhalt des innovativen Industriestandort Deutschland.

Gesamtziel der Teilverbundes B: Arbeitsplatzbeleuchtung

Als Leuchtenhersteller besteht unser Ziel darin, die Marktanforderungen in Technologieanforderungen zu formulieren und die Teil- und Endergebnisse des Teilverbundes „A: Halbleitertechnologie“ aufzunehmen und in grundlegend neue Beleuchtungskonzepte umzusetzen, die das Ziel der Nachhaltigkeit (Substitution von quecksilberhaltigen Lampen, Schonung der Ressourcen u.a.m.) und der Gesundheitsprävention durch adaptive Lichtlösungen verfolgen.

2 Aufgabenstellung

2.1 Wissenschaftliche und technische Arbeitsziele

Sekundäroptik

Ein Ziel ist es, die optischen Übergänge und Auslegung der Sekundäroptik in Abhängigkeit der Primäroptik (Teilprojekt A) zu untersuchen und so zu konzipieren, dass eine optimale Lichtlenkung unter Berücksichtigung einer hohen Effizienz erfolgen kann.

Entwärmungskonzepte

Abhängig von der jeweiligen Beleuchtungsanwendung (Industrie, Medizin, Büro, Architektur) sind unterschiedliche Entwärmungskonzepte zu untersuchen und mit Hilfe eines Demonstrators zu verifizieren. Dabei sind entweder die, aus dem Teilprojekt A entwickelten Entwärmungskonzepte zu integrieren oder beim Einsatz einer LED-Lichtquelle ohne Primärentwärmung neue Entwärmungskonzepte zu erarbeiten.

Betriebsgeräte

Die Aufgabe ist es, die Konzeption und Entwicklung von elektronischen Betriebsgeräten, die es ermöglichen das Licht in Abhängigkeit der Anforderungen der jeweiligen Anwendung in seiner spektralen Zusammensetzung, seiner Abstrahlungsrichtung, seiner Intensität und seiner Farbtemperatur zu verändern.

Beleuchtungskonzepte

Mit den aus Teilprojekt A entwickelten Lichtquellen sind neue umweltschonende Beleuchtungskonzepte zu entwickeln, die die Nachteile heutiger Beleuchtungslösungen, wie z.B. zu geringe Energieeffizienz, hohe Umweltbelastung durch Quecksilber, erhöhter Materialaufwand für die Gehäusetechnik und daraus resultierend hoher Recyclingaufwand, durch grundlegend neue Ansätze in der Leuchtenkonzeption signifikant zu reduzieren.

3 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Unternehmen Waldmann Lichttechnik ist seit über 75 Jahren im Bereich der Allgemeinbeleuchtung aktiv und zählt heute zu den Marktführern in den Bereichen der Allgemeinbeleuchtung von Arbeitsplätzen und der medizinischen Bestrahlungstherapie.

Das Unternehmen Waldmann Lichttechnik prägt seit Jahrzehnten den europäischen Markt für professionelle Beleuchtung, durch ihre neuen und innovativen Beleuchtungslösungen. Ein Team von Entwicklern, Konstrukteuren und Lichttechnikern ist permanent damit beschäftigt, den Markt nach neuen innovativen Lichtquellen zu scannen und daraus für den Markt neue und innovative Beleuchtungslösungen zu entwickeln.

Mit modernsten Entwicklungstools (Software zur Strahlengangsimulation, 3D-CAD-Systeme, Soft- und Hardwaretools zur Entwicklung elektronischer Schaltungen, System zur Entwicklung der Leuchten-Steuerungssoftware, sowie den notwendigen Prüf- und Testeinrichtungen wie z.B. EMV-Labor; Klimakammer; Lichtlabor) ausgestattet, ist das Unternehmen in der Lage das notwendige Know-How, die Kompetenz und die Kapazität bereitzustellen um die anstehenden Aufgaben in diesem Projekt zu meistern.

4 Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Planung des Verbundprojektes erfolgte in gegenseitiger Abstimmung mit den am Projekt beteiligten Partnern. Hierbei wurden die Aufgabenstellung und der zeitliche Verlauf der einzelnen Bearbeitungsphasen in einer Vorhabensbeschreibung zum Verbundprojekt Nanolux festgelegt.

Während des Projektverlaufs ergaben sich im Teilprojekt B, aufgrund einiger zeitlicher Verschiebungen bei den Verbundpartnern, ebenfalls Verschiebungen im Ablauf, die aber während des weiteren Projektverlaufs wieder aufgeholt werden konnten, so dass der zu Projektbeginn geplante Abschlusstermin 31.07.2008 eingehalten werden konnte.

Inzwischen sind die erreichten Ergebnisse bereits in die Entwicklung neuer marktgerechter Beleuchtungslösungen eingeflossen und befinden sich z.T. in der Markteinführungsphase.

Zeitplan - Teilprojekt B "Allgemeinbeleuchtung von Arbeitsplätzen"
BMFT-Projekt "Nanolux T-L-W-LED"

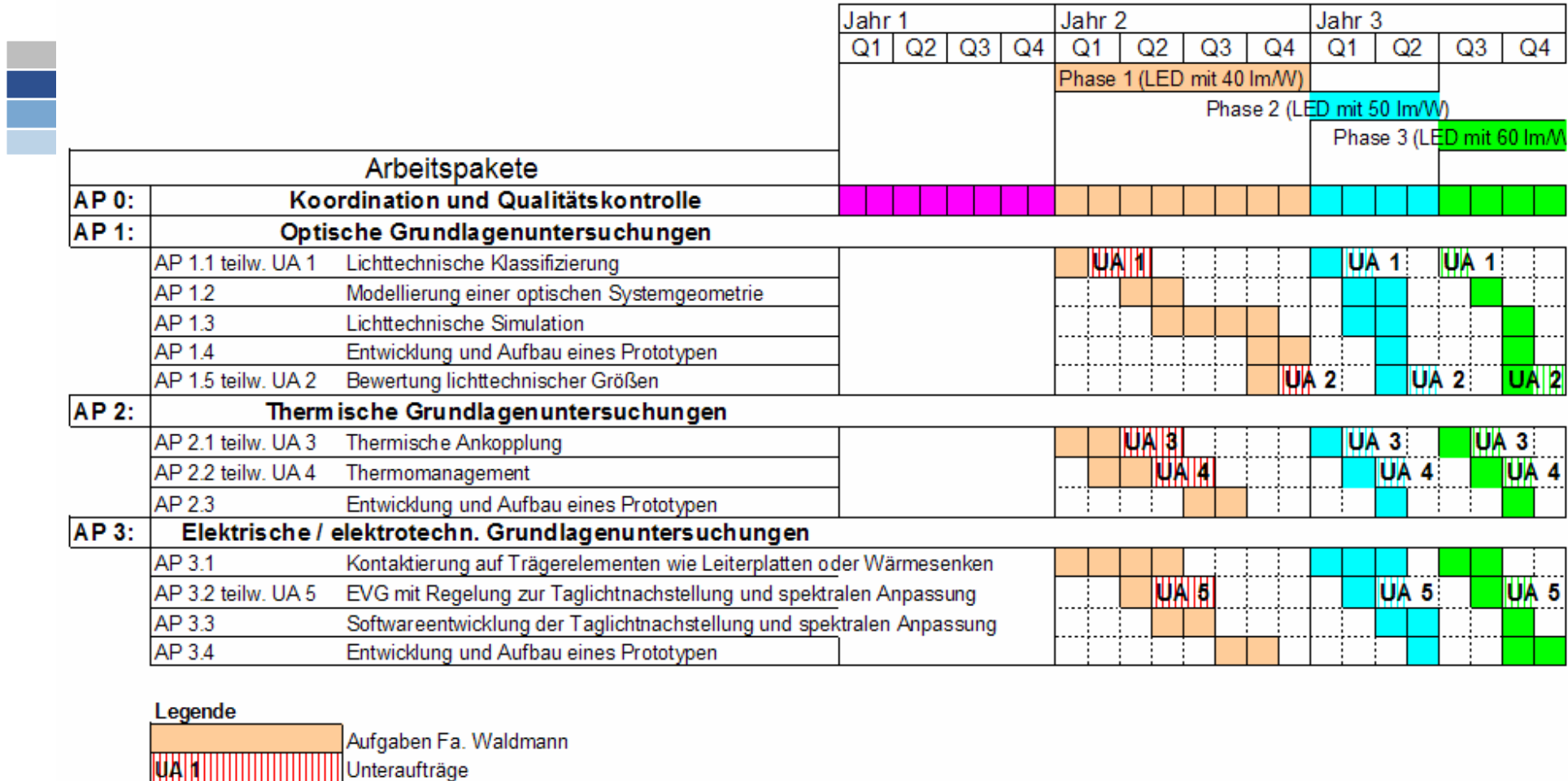


Abbildung 1 Projektplan – Teilprojekt B

5 Wissenschaftlicher und technischer Stand an den angeknüpft wurde

Bei der Bearbeitung der einzelnen Aufgabenstellungen wurde von dem damaligen Stand der Wissenschaft und Technik, unseren eigenen Erfahrungen auf dem Gebiet der LED-Technologie, der Optiksimation und Optikentwicklung und unserer Erfahrungen bei der Leuchtenentwicklung ausgegangen.

Beleuchtungslösungen mit High-Flux-LED's für den professionellen Beleuchtungsbereich waren uns zum Startpunkt nicht bekannt.

6 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die enge Zusammenarbeit erfolgte vor allem mit den am Vorhaben beteiligten Partnern. Eine besonders intensive Zusammenarbeit war mit dem Projektkoordinator für Allgemeinbeleuchtung von Osram notwendig, um die Entwicklungsfortschritte bei der Herstellung der LED-Prototypen zeitnah in die Entwicklung der Beleuchtungskonzepte einfließen lassen zu können.

7 Eingehende Darstellung der erzielten Ergebnisse

7.1 Entwicklung von Sekundäroptiken für LED-System

Die Entwicklung von Sekundäroptiken für den Einsatz von Hochleistungs-LED's mit dem Ziel, konventionelle Leuchtmittel in verschiedenen Anwendungsbereichen der Allgemeinbeleuchtung zu substituieren, muss unter differenzierter Betrachtung erfolgen, um der breiten Palette an Anwendungsfeldern gerecht werden zu können. Die Strategie, LED's mit hoher Packungsdichte der Emitter (sogenannte Multi-Chip-Lösungen) und damit hohen Lumenpaketen auf kleinstem Raum zu generieren, bietet große Vorteile für strahlerähnliche Beleuchtungskonzepte, da die Sekundäroptiken oder -reflektoren sehr präzise auf die näherungsweise punktförmige Lichtquelle zugeschnitten werden können. Andererseits sind eine Reihe von Applikationen bekannt, bei denen diese Form der Lichtlenkung ungeeignet ist, da sie für die jeweilige Sehaufgabe unerwünschte Nebeneffekte, wie z.B. starke Schatten bzw. Mehrfach- oder Farbschatten verursacht. Insbesondere bei ausgewählten Arbeitsplätzen der Industrie kann es zur besseren Kontrastwahrnehmung notwendig sein, dass die Arbeitsplatzbeleuchtung „diffuses“ Licht aus mehreren Raumrichtungen bereitstellen muss, um das Sehobjekt adäquat zu beleuchten. Hierfür müssen alternative Optikkonzepte erarbeitet werden, welche auf eine möglichst breite Verteilung des LED-Lichtstroms auf die Fläche zugeschnitten sind.

7.2 Punktlichtkonzept

7.2.1 Breitstrahloptik für Office-Anwendungen

Eine bereits in Büro-Arbeitsplatzleuchten eingesetzte Breitstrahloptik wurde für die prinzipielle Einsatzfähigkeit in Zusammenhang mit einer Multi-Chip-Lösung näher untersucht. Da bei dieser Variante hohe Leistungen auf kleinem Raum umgesetzt werden müssen, wurde das Funktionsmuster mit einer aktiven Zwangskühlung mittels Lüfter versehen. Somit konnten parallel zur lichttechnischen Bewertung auch Aussagen zur thermischen Belastung der LED im Betrieb vorgenommen werden.

Als Lichtquelle wurde die OSTAR Lighting LED von Osram Semiconductors ausgewählt, da sie zur Zeit der Untersuchungen die lichtstärkste LED auf kleinster Fläche am Markt ist. Die 6-Chip Variante mit Primäroptik (LEW E3B), welche beim Funktionsmuster verwendet wurde, liefert einen Nennlichtstrom von 420lm bei 700mA (ca. 15W).

Die Sekundäroptik, welche auf Brechung und Totalreflexion basiert und keine streuenden Elemente enthält, wirkt aufgrund ihrer klaren Struktur sehr ansprechend und kann neue designerische Akzente setzen. Die Optik wurde speziell für die Projektstudie leicht modifiziert, um die optimale Lichtverteilung den geometrischen Verhältnissen, insbesondere an die Lage der Licht emittierenden Chipfläche anzupassen. Durch entsprechende optische Simulationen konnte die günstigste Eintauchtiefe der LED in die Sekundäroptik ermittelt werden.

Dabei wurden als Kriterien sowohl die optische Effizienz als auch die Homogenität der ausgeleuchteten Fläche herangezogen.

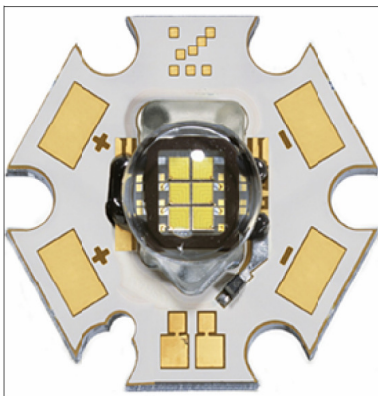


Abbildung 2 OSTAR Lighting LED

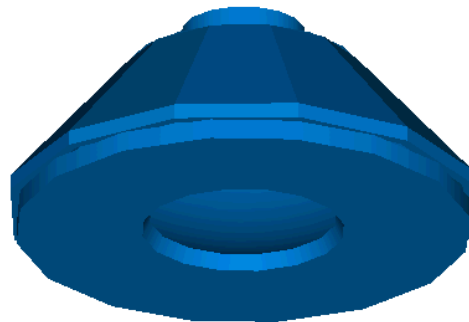


Abbildung 3 Sekundäroptik als Simulationsmodell

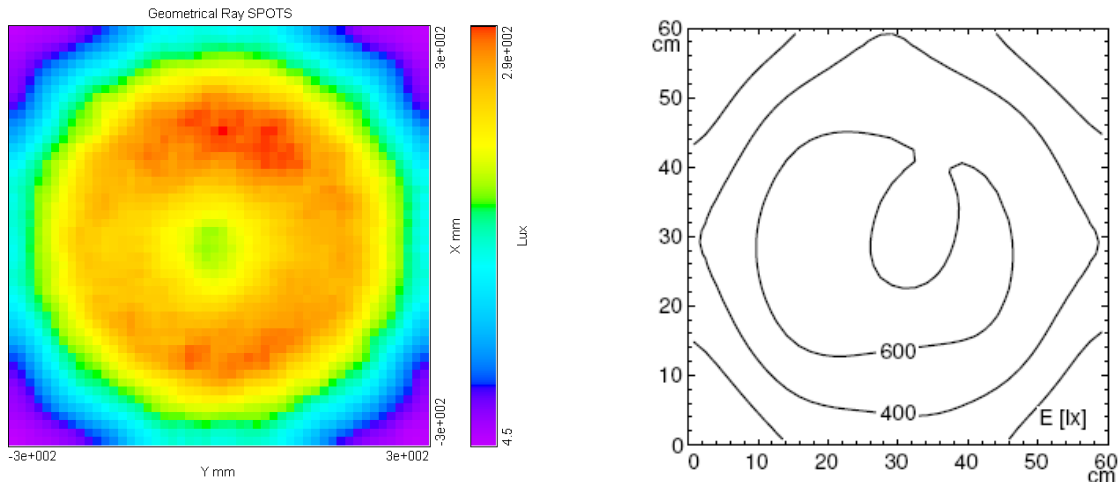


Abbildung 4 Simulation (links) und Messung (rechts) der Beleuchtungsstärke

7.2.2 Universaloptik für industrielle Anwendungen

Im Interesse eines möglichst kompakten Leuchtaufbaus mit LED's wurde das Ziel verfolgt, eine Sekundäroptik zu entwickeln, die relativ flach nahe der LED sitzt und dennoch eine ausreichende Lichtbündelung für großflächige Beleuchtungsanwendungen realisiert. Derartige Leuchten sind aufgrund ihrer raumsparenden Bauart insbesondere in Industrie- und Maschinenanwendungen vorteilhaft einzusetzen. Die Lagefixierung der Optik erfolgt dabei über Steckstifte, welche auf entsprechende Bohrungen der Platine gesetzt werden. Die Mindestabstände zur LED sind ausreichend groß gewählt, so dass eine Substitution der LED (Lambert'sch strahlend) durch andere Bauformen in der Regel problemlos möglich ist. Dies ermöglicht eine höhere Flexibilität bezüglich der einzusetzenden LED-Typen und – Bauformen, was trotz kurzer Innovationszyklen im Bereich der optischen Halbleitertechnologie kaum Änderungen im konstruktiven Aufbau des Leuchtenproduktes erforderlich macht.

Die lichttechnische Funktion der Sekundäroptik beruht ausschließlich auf refraktiven Elementen, d.h. eine Lichtlenkung über Totalreflexion findet nicht statt. Dadurch kann für die gesamte Optik bei günstigen Fertigungskosten im Spritzgießverfahren eine relativ geringe Bauhöhe erreicht werden. Die innere Eintrittsfläche ist dabei sphärisch ausgebildet, während an der Lichtaustrittsfläche eine konzentrische Fresnel-Struktur die Abstrahlcharakteristik bestimmt. Im umgesetzten Spritzgusswerkzeug wurde eine Struktur realisiert, die in Bezug zur fertigen Optik einen Abstrahlwinkel von ca. $2 \times 45^\circ$ bewirkt.

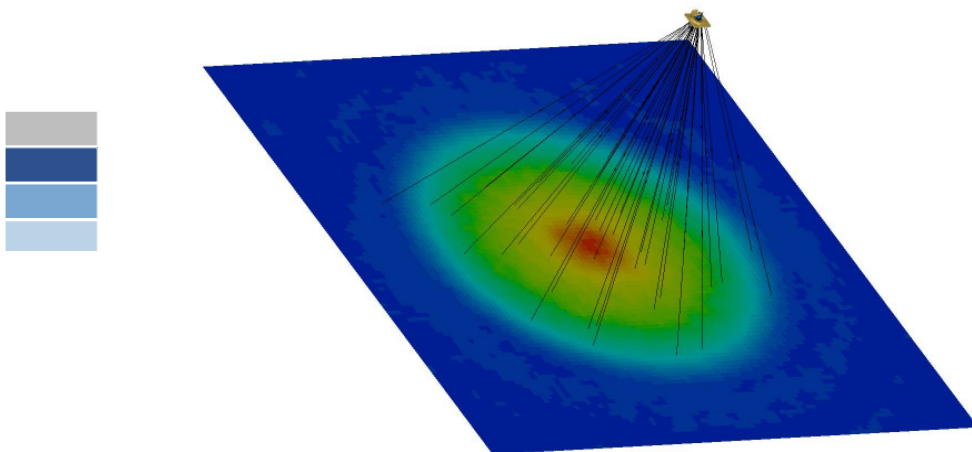


Abbildung 5 Beleuchtungsverteilung der Raytracing-Simulation

Die Verifikationsmessungen der produzierten Muster zeigen im Ergebnis den gewünschten Effekt der optimierten Lichtlenkung.

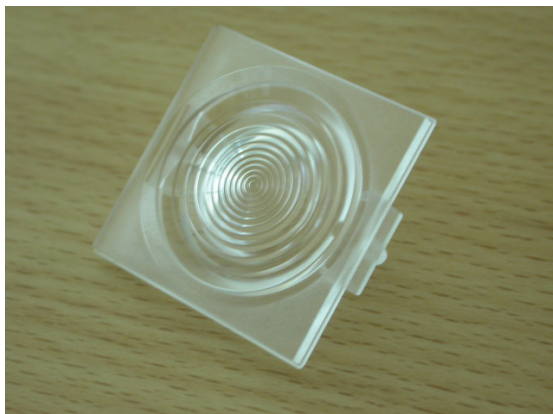


Abbildung 6 Werkzeugfallende Spritzgussoptik

7.3 Flächenlichtkonzept

Bei Anforderungen mit flächiger Ausdehnung der leuchtenden Fläche (auch zur Blendungsreduzierung) und damit verbundenem Einsatz mehrerer LED's ist eine Sekundäroptik wünschenswert, die

- verhältnismäßig kostengünstig herstellbar ist,
- die variablen lichttechnischen Anforderungen an eine optimale Lichtlenkung erfüllt und
- im Aufbau flach gestaltet werden kann.

Die dem Know-how zugrunde liegende Idee einer auf Prägestrukturen basierenden flächigen Sekundäroptik soll diese Vorteile vereinen und wird im Weiteren näher beschrieben.

7.3.1 Lichttechnisches Prinzip

Die Sekundäroptik mit einer Brechzahl von etwa 1,5 ist auf der Einkoppelseite zum LED-Chip eben oder mit einer leichten konkaven Wölbung ausgeführt und kann daher z.B. als Blende auf einfache Weise gestaltet sein. Die Strahlen des in unmittelbarer Nähe zur Einkoppelseite platzierten LED-Chips (vorzugsweise ohne Primäroptik) werden aufgrund der höheren Brechzahl an der glatten oder gewölbten Einkoppelseite zum Lot hin gebrochen und sind innerhalb des Materials bereits auf einen Winkel von bis zu etwa $\pm 42^\circ$ zur Vertikalen begrenzt. Dabei wird ein Anteil von etwa 4% von der glatten Oberfläche nach den Fresnel'schen Gesetzen zurückreflektiert.

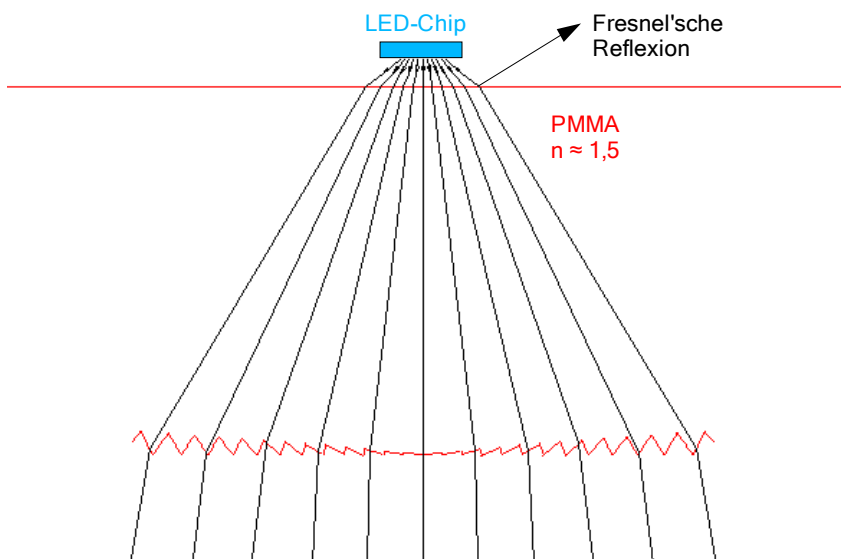


Abbildung 7 Prinzipstrahlengang

An der radialen Prismenstruktur der Auskoppelseite findet nun die eigentliche Lichtlenkung statt. Je nach Steilheit der Wirkflanken werden in Abhängigkeit vom Radius die Strahlen mehr oder minder zum Lot hin gelenkt. Somit kann allein über die Struktur der Austrittsseite die Abstrahlcharakteristik definiert werden. Dabei sind prinzipiell sowohl sehr eng bündelnde Strukturen als auch Optiken mit sehr breiter und homogener Verteilung möglich. Praktische Limitierungen sind durch die Größe des LED-Chip gegeben, die im Verhältnis zur Dicke des Materials möglichst klein gehalten werden sollte. Dies gilt insbesondere dann, wenn sehr enge Abstrahlwinkel gefordert sind (Spot).

Die Auskoppeloptik könnte statt der „flachen“ Fresnelstruktur auch als sphärische oder asphärische Optik (gewölbt) ausgeführt sein.

7.3.2 Produktspezifische Potentiale

Das oben beschriebene Wirkprinzip lässt sich durch die Verwendung von geprägtem Plattenmaterial kostengünstig für ganze LED-Arrays einsetzen. Dabei können die Einzel-Radialstrukturen in hexagonalen oder schachbrettartigen Mustern auf verschiedenste Weise angeordnet sein. So lassen sich auch unterschiedliche Strukturen in einer Blende unterbringen,

die entweder durch mechanische Verschiebung der Blende oder entsprechendes wechselndes Ansteuern der LED's verschiedene Abstrahleigenschaften bewirken können. Der flache Aufbau erlaubt z.B. designorientierte Anwendungen in Arbeitsplatzleuchten für den Bürobereich, in Maschinenleuchten, Handleuchten etc.

Auch eine Integration in Indirekt-Stehleuchten zur unabhängigen Realisierung eines Direktanteils ist denkbar.

Alternativ zum Prägeprozess für eine Vielzahl von Einzel-LED's mit entsprechender Optik kann das Prinzip für weniger leistungsstärkere LEDs auch durch kostengünstige Einzeloptiken aus transparenten Spritzgießteilen realisiert werden.

Die Anwendung der beschriebenen Sekundäroptik-Technologie in blendungskritischen Applikationen ist jedoch weniger auf Hochleistungs-LEDs orientiert, da diese zu immer höheren Lichtströmen tendieren (ausgerichtet auf leistungsstarke Scheinwerfer oder dergleichen) und damit bei kleiner Austrittsfläche sehr hohe Leuchtdichten hervorrufen. Um die Blendung auch entsprechend den normativen Anforderungen zu minimieren, sind jedoch größere Lichtaustrittsflächen mit geringerer Leuchtdichte besser geeignet, was mit einer größeren Anzahl kostengünstiger LEDs mittlerer Leistungsklassen einhergeht. Um die LED-Technologie weiter etablieren zu können, sind für diese hohe LED-Anzahl kostengünstige Entblendungstechniken gefordert. Die beschriebene Sekundäroptik-Blende ist diesbezüglich ein sinnvoller und vorteilhafter Ansatz, der mehrere Funktionalitäten moderner Beleuchtung vereinen könnte.

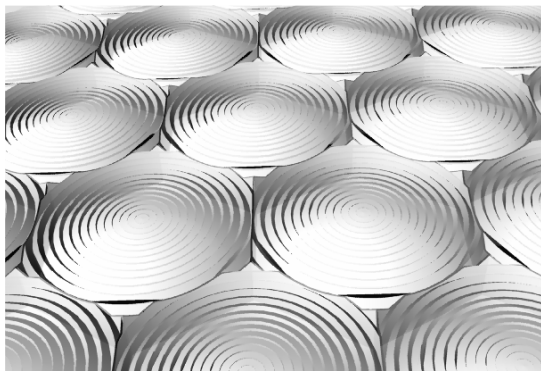


Abbildung 8 Beispielanordnung: hexagonales Muster (Rendering)

7.3.3 Realisierung von Versuchsmustern

Aufgrund spezifischer Projektanforderungen wurde zunächst eine Struktur definiert, die einen größeren Abstrahlwinkel realisieren soll und damit die Anforderungen an den Lieferanten festgelegt.

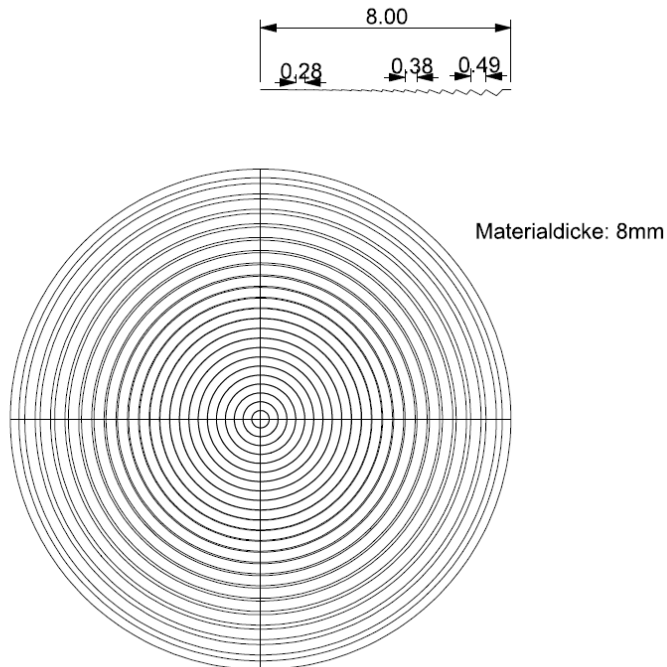


Abbildung 9 Ansicht der Einzelstruktur von oben

In der Array-Anordnung mit mehreren LEDs kann die Struktur hexagonal begrenzt werden, so dass sich die optisch wirksamen Elemente unmittelbar aneinanderreihen.

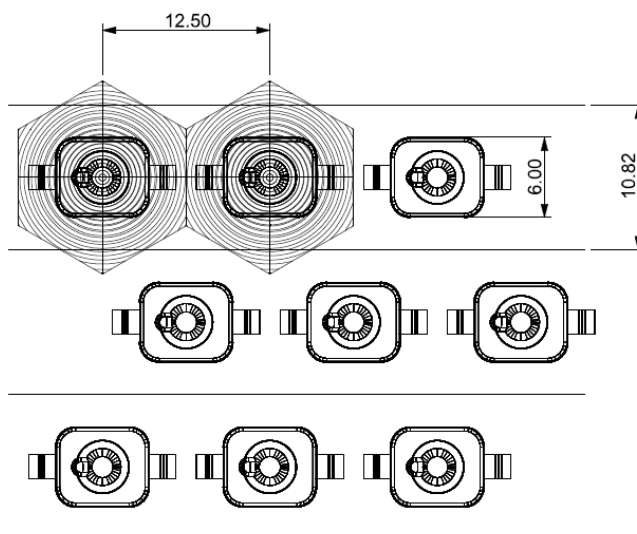


Abbildung 10 Anordnungsschema

Die optische Simulation für diese Konfiguration mit der definierten Struktur ergibt einen Abstrahlwinkel von ca. $2 \times 45^\circ$.

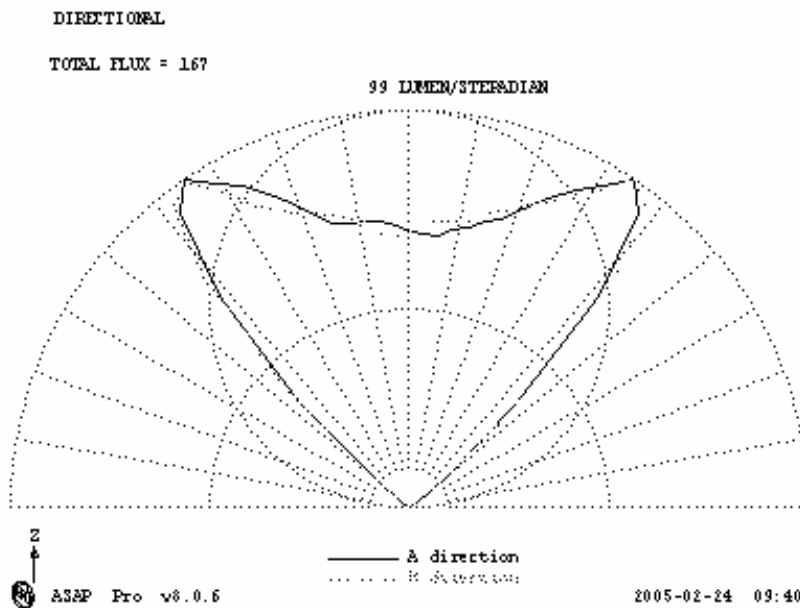


Abbildung 11 Simulierte Lichtstärkeverteilung ($2 \times 45^\circ$)

Da noch keine ausreichenden Erfahrungen seitens des Herstellers vorhanden waren, kostengünstig eine gesamte Matrix solcher Strukturen (mit gegenseitiger Begrenzung) zu prägen, wurde zunächst ein Prägewerkzeug für eine Einzelstruktur erstellt und die ausfallenden Prägemuster singulär zur lichttechnischen Verifikation verwendet.



Abbildung 12 Funktionsmuster mittels Prägeverfahren

7.4 Entwicklung von Entwärmungstechnologien

Optimierung des Thermodesigns

Im Unterauftrag mit dem Lichttechnischen Institut (LTI) der Universität Karlsruhe wurden Grundlagenuntersuchungen zur Entwärmungstechnologien durchgeführt und die Ergebnisse in einer Vortragsreihe einem breitem Fachpublikum im Hause Waldmann vermittelt.

Siehe hierzu: 7.2.1 Optimierung des Thermodesigns

Passive Entwärmungslösungen in gekapselten Leuchten

Überprüfung inwieweit passive Entwärmungslösungen auch in gekapselten Leuchten mit hohem Schutzgrad bestehen können.

Siehe hierzu: 7.2.2 Handleuchte mit höherem Schutzgrad

Aktive Entwärmungslösungen in kompakten Designlösungen

Es ist zu prüfen, inwieweit Möglichkeiten der Zwangskühlung eine ausreichende Begrenzung der LED Junction-Temperatur gewährleisten.

Siehe hierzu: 7.2.3 LED-Leuchte als integraler Bestandteil von Werkzeugmaschinen

7.2.4 LED-Einbauleuchte mit integrierter Kühlung

7.2.5 Arbeitsplatzleuchte mit aktiver Kühlung

7.4.1 Optimierung des Thermodesigns

Im Unterauftrag mit dem Lichttechnischen Institut (LTI) der Universität Karlsruhe werden Grundlagenuntersuchungen zu Entwärmungstechnologien durchgeführt, welche für LED-Applikationen in der Allgemeinbeleuchtung prinzipiell in Frage kommen. Einen Schwerpunkt bilden dabei thermische Simulationen, die bereits im Entwicklungsstadium tendenzielle Aussagen über das Temperaturverhalten z.B. von passiven Kühlelementen (Kühlkörper) erlauben. So können unter anderem die Abstände von Kühlrippen optimiert werden, bei denen ein Optimum der laminaren Strömung (bei freier Konvektion) zu verzeichnen ist. Es wurde festgestellt, dass bei Überschreitung dieses Optimums (sehr enge Abstände der Kühlfahnen) der thermische Widerstand trotz weiterer Oberflächenvergrößerung wieder zunimmt, da ein freier Luftstrom durch Konvektion zwischen den Kühlfahnen nicht mehr gewährleistet ist.

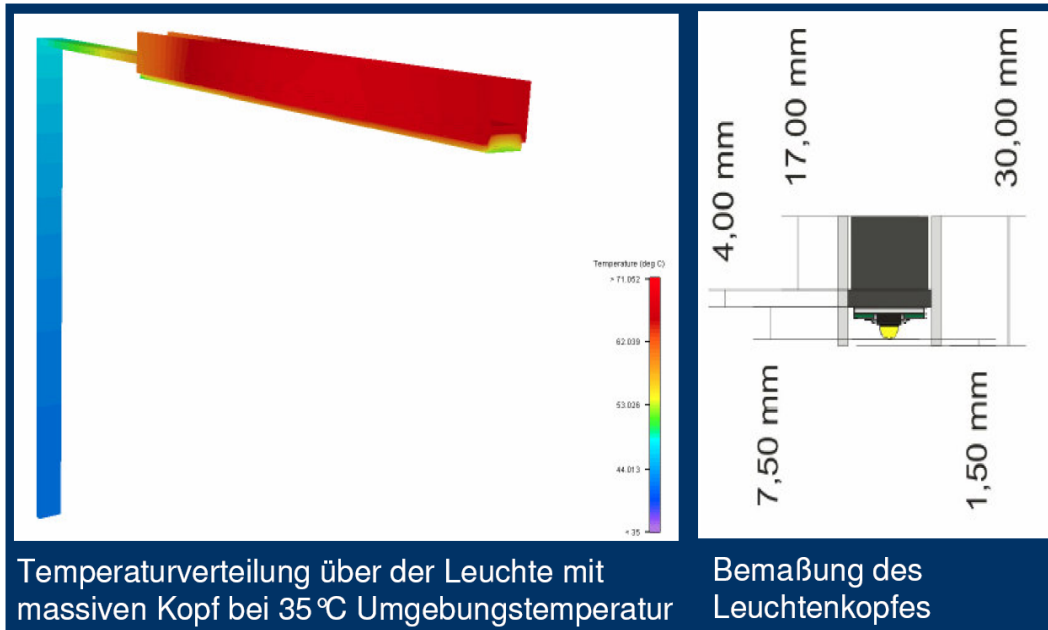


Abbildung 13 Thermisches Simulationsmodell

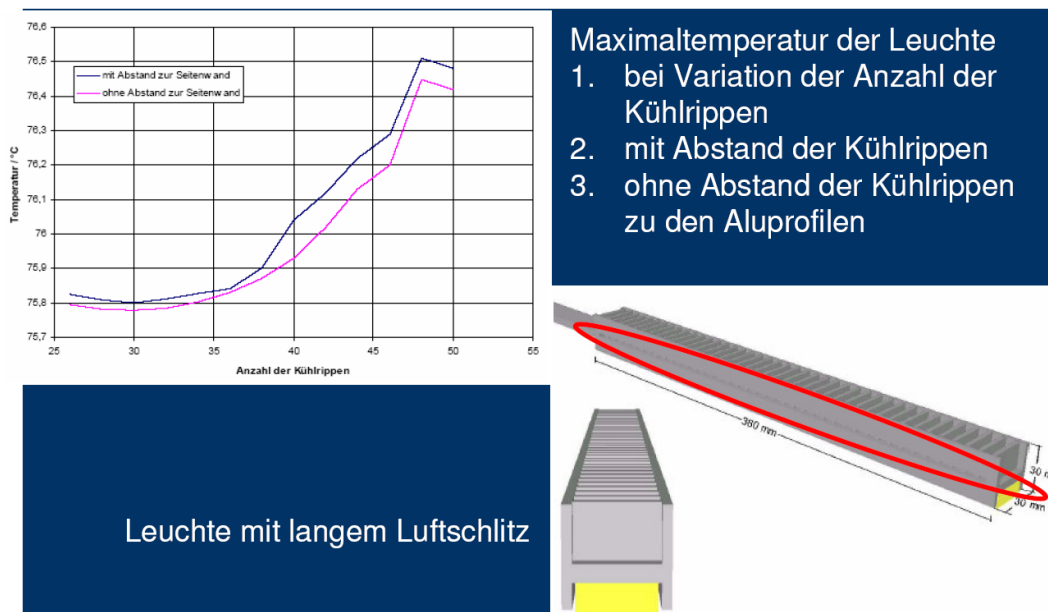


Abbildung 14 Berechnungsergebnisse verschiedener Varianten

Über Zwischenergebnisse der Untersuchungen und Grundlagen-Know-How zur Entwärmung wurde vom LTI im Mai 2006 vor einem breiten Zuhörererkreis von Waldmann-Mitarbeitern referiert, um Konstrukteure, Entwickler und Fertigungsbetreuer für die neuen Anforderungen, die sich aus dem thermischen Verhalten von LED`s in Leuchten ergeben, zu sensibilisieren und entsprechendes Basiswissen aufzubauen.

7.4.2 Handleuchte mit höherem Schutzgrad

Basierend auf dem Serienprodukt einer Handleuchte mit Kompaktleuchtstofflampe war durch die Substitution durch LED (Osram DRAGON-Tape) als Leuchtmittel insbesondere zu prüfen, inwieweit passive Entwärmungslösungen auch in gekapselten Leuchten mit hohem Schutzgrad bestehen können, da hier die Anforderungen an eine hohe Dichtheit gegenüber Flüssigkeiten und Verschmutzungen zwangsläufig ungünstige Bedingungen für eine natürliche Konvektion der entstehenden Verlustwärme zur Folge haben. Daher bleibt im Wesentlichen nur der Weg über Wärmeleitung bzw. Wärmestrahlung, um die Wärmeleistung aus dem System an die Umgebung zu übertragen, wobei die Wärmestrahlung in dem vergleichsweise geringen Temperaturbereich nur eine untergeordnete Rolle spielt.



Abbildung 15 Handleuchte mit LED



Abbildung 16 Aluminiumträger

Die Handleuchte wurde unter Verwendung der Original Gehäuseteile mit transparentem PMMA-Rohr auf die LED-Technologie derart umgerüstet, dass das Osram DRAGON-Tape Modul, bestehend aus 5 Einzel-LEDs mit einer Gesamtleistung von 6 Watt, direkt auf ein massives Aluminiumprofil als Träger selbstklebend aufgebracht wurde, um somit eine hohe Wärmespreizung zu erreichen.

Die gemessene Temperatur am Tc-Punkt des Osram LED-Moduls betrug im Beharrungszustand 64°C und damit nur knapp unter der vom Hersteller spezifizierten Grenztemperatur von 65°C. Die Temperatur des Aluminiumträgers betrug 62°C. Eine Anwendung der LED-Technologie auch in Leuchten höherer Schutzart, insbesondere in gekapselten transparenten Kunststoffrohren, ist daher unter bestimmten konstruktiven Voraussetzungen denkbar. Die Abnahme des (temperaturbedingten) Lichtstroms vom Einschaltmoment bis zum Beharrungszustand beträgt ca. 20%, wie dem Diagramm zu entnehmen ist.

Messung 000143-01 : Anlaufverhalten LED-Handleuchte LIG61140
 Beleuchtungsstärkerückgang in Leuchtfeldzentrum bei 50cm Abstand ca.-20%

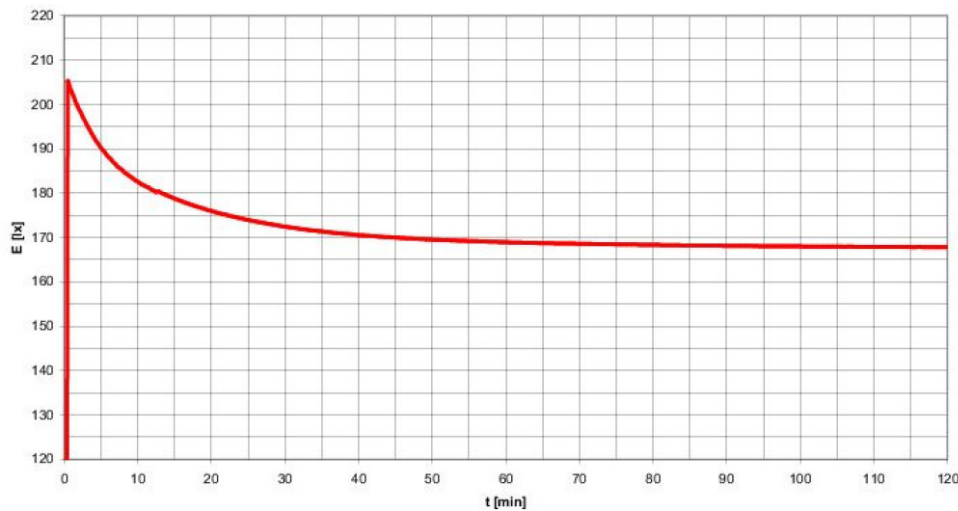


Abbildung 17 Relativer Verlauf des Lichtstromes bis zur Beharrung

7.4.3 LED-Leuchten als integraler Bestandteil von Werkzeugmaschinen

Das folgende thermische Designkonzept bezieht sich auf eine Beleuchtungseinrichtung am Bearbeitungskopf einer Werkzeugmaschine mit Hochleistungs-LED's.

Es wird vorgesehen, die LED-Beleuchtungseinheit direkt an einen in der Werkzeugmaschine bzw. Fertigungseinrichtung vorhandenen Bearbeitungskopf thermisch zu kontaktieren. Wesentlich ist dabei, dass der Bearbeitungskopf (z.B. Fräskopf) der Werkzeugmaschine bereits aktiv durch Flüssigkeitskühlung auf konstanter Temperatur gehalten wird, um die bei der Bearbeitung entstehende Verlustwärme kontinuierlich abzuführen. Damit kann bei bekannten Wärmeleit- und Wärmeübergangswiderständen vom LED-Chip bis zur Gehäusewand des Bearbeitungskopfes die Sperrschichttemperatur exakt definiert und die spezifizierten Temperaturgrenzen eingehalten werden. Da die von der Maschine abzuführende Verlustwärme bedeutend höher ist als die Verlustleistung der LED-Beleuchtungseinheit ist eine ausreichende Entwärmung durch das maschineninterne Kühlsystem sichergestellt.

Durch diese Lösung lassen sich die Vorteile kleiner Bauformen der LED-Beleuchtungseinrichtung, hoher Beleuchtungsstärken durch ein oder mehrere Hochleistungs-LED's und kurzer Beleuchtungsabstände sowie langen, wartungsfreundlichen Lebensdauern der Leuchtmittel vereinen.

Die ohnehin in der Werkzeugmaschine integrierten Kühleinrichtungen können für dieses Beleuchtungskonzept vorteilhaft genutzt werden.

Zur Überprüfung der Anforderungen wurde ein Funktionsmuster realisiert, und die Verifikation der thermischen Bedingungen im praxisnahen Einbau nachgewiesen wurden.



Abbildung 18 CAD-Modell Fräskopfleuchte

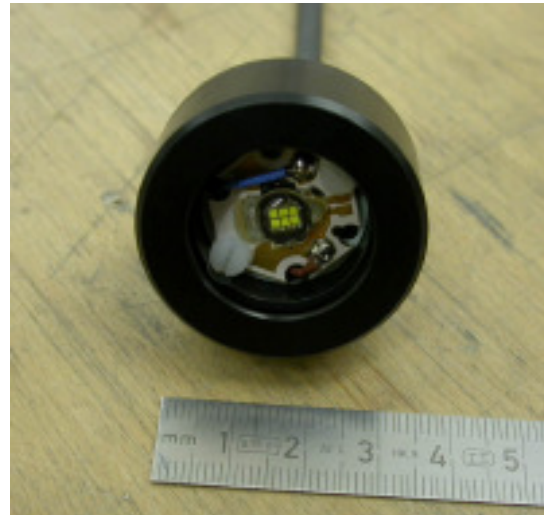


Abbildung 19 Funktionsmuster

Die Leuchte besteht aus zwei Aluminium-Drehteilen, einer Glasscheibe und einem O-Ring als Abdichtung. Auf eine zusätzliche Sekundäroptik wurde im Sinne einer kompakten Bauweise verzichtet.

Die Anschlussleitung wird an der Rückseite der Leuchte über eine PG-Verschraubung verbunden.

7.4.4 LED-Einbauleuchte mit integrierter Kühlung

Der Einsatz von LED-Applikationen ist insbesondere im Bereich der Maschinenbeleuchtung aufgrund des geringen Wartungsaufwandes und weiterer Vorteile sehr sinnvoll und auch betriebswirtschaftlich gut argumentierbar. Um auch für großflächige Bereiche hohe Beleuchtungsstärken zur Verfügung zu stellen ist jedoch ein höherer Leistungsumsatz erforderlich, deren Verlustwärme effektiv abzuführen ist. Dies kann z.B. durch direkte thermische Kontaktierung mit der Maschinenumhausung erreicht werden, sofern diese aufgrund ihrer Masse und großen Oberfläche und thermischen Leitfähigkeit als Wärmesenke geeignet ist. Eine weitere Alternative in diesem Anwendungsbereich ist eine Entwärmung über eine in die Leuchte integrierte Flüssigkeitskühlung. Die Leuchte enthält dabei einen internen Kühlkanal mit Ein- und Ausgang an der Leuchtenschnittstelle, welche direkt an ein vorhandenes Kühlsystem angeschlossen werden kann und somit keine zusätzlichen Komponenten für einen Kühlkreislauf erforderlich sind. Die auftretende Verlustwärme kann somit auch bei einer Vielzahl von eingesetzten High-Flux-LED's sehr wirkungsvoll abgeführt werden. In Musteraufbauten wurden auf diese Weise LED-Maschineneinbauleuchten mit einem Leistungsumsatz von etwa 60W auf relativ kleinem Bauraum realisiert. Mit einem angeschlossenen Kühlkreislauf kann die Junction-Temperatur deutlich unterhalb der lebensdauerkritischen Werte gehalten werden.



Abbildung 20: LED-Einbauleuchte mit Kühlschlauchanschluss

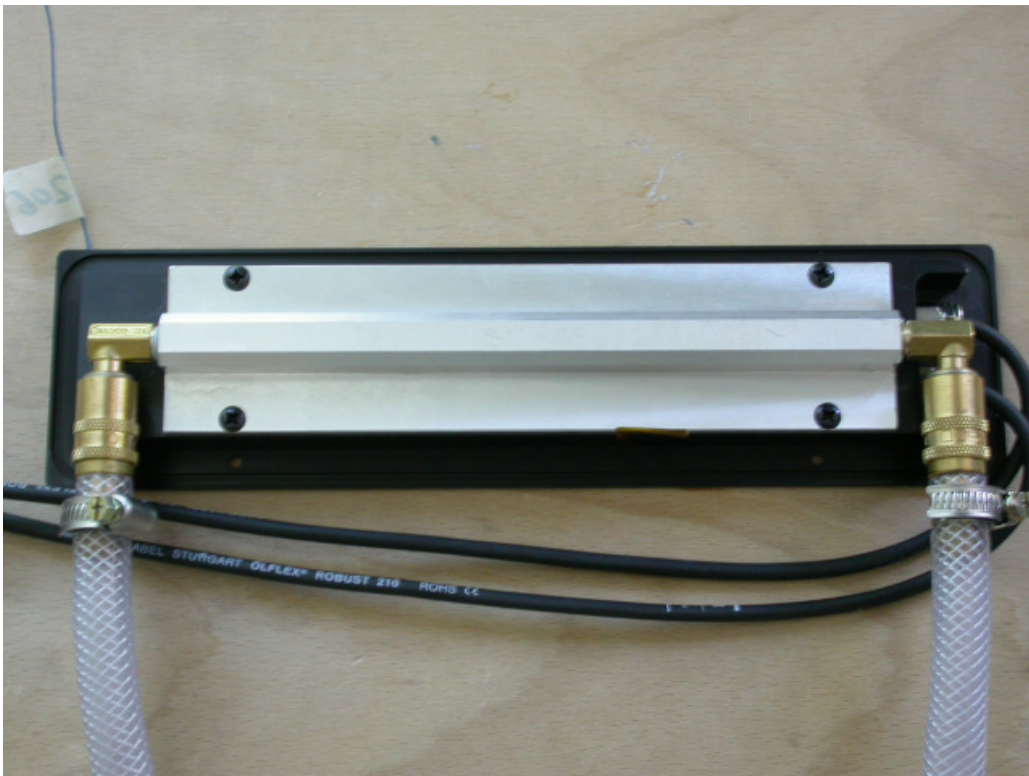


Abbildung 21: Rückseite Einbaumodul (Funktionsmuster)

7.4.5 Arbeitsplatzleuchte mit aktiver Kühlung

Die Projektstudie verfolgt das Ziel, die LED-Technologie mit hoher Lichtleistung in kompakte Designlösungen für (Büro-)Arbeitsplatzleuchten zu integrieren. Dabei ist vorrangig zu prüfen, inwieweit Möglichkeiten der Zwangskühlung eine ausreichende Begrenzung der LED Junction-Temperatur gewährleisten können.

Anhand des Umbaus einer vorhandenen designorientierten Serienleuchte mit Halogenlampentechnik (Derungs CULTA) ist das Konzept der LED-Technologie einschließlich des Entwärmungsprinzips am Funktionsmuster zu verifizieren.



Abbildung 22 Funktionsmuster

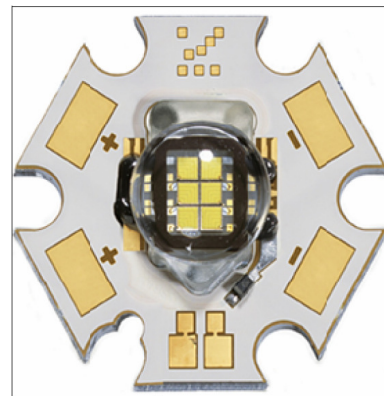


Abbildung 23 OSTAR Lighting LED

Als Lichtquelle wurde die OSTAR Lighting LED von Osram Semiconductors ausgewählt, da sie die z.Zt. lichtstärkste LED auf kleinster Fläche ist. Die 6-Chip Variante mit Primäroptik (LEW E3B), welche beim Funktionsmuster verwendet wurde, liefert einen Nennlichtstrom von 420lm bei 700mA (ca. 15W).

Zur ausreichenden Abfuhr der entstehenden Wärmeleistung von ca. 15W würde ein auf natürlicher Konvektion beruhendes Thermomanagement eine zu große Fläche benötigen, die nicht mit einem kompakten Designkonzept vereinbar ist. Aus diesem Grund wurde eine erzwungene Konvektion in Form eines geräuscharmen Axiallüfters (Papst Axial Lüfter 414F, 9291705005) integriert.

Die thermischen Grenzwerte für die OSTAR-LED sind in der technischen Applikationsschrift des Herstellers wie folgt angegeben:

maximale Board-Temperatur (Platine): 85°C

maximale Junction-Temperatur: 150°C

Der interne thermische Widerstand ist mit 3,6K/W angegeben.

Versuche haben ergeben, dass in der realisierten Konfiguration das Einblasen von Luft entgegen der natürlichen Konvektion eine um etwa 15K höhere Kühlleistung hervorrief als das umgekehrte „Ansaugen“ von Luft durch den oben angebrachten Lüfter, so dass im günstigen Fall eine Junction-Temperatur von etwa 120°C bis 125°C zu erwarten ist



Abbildung 24 Temperaturmessungen am Funktionsmuster

Die LED wurde mittels Wärmeleitpad auf einen massiven Aluminiumkühlkörper befestigt, der auf der Gegenseite stromlinienförmig ausgebildet ist, um möglichst wenig Verwirbelung der einströmenden Umgebungsluft zu verursachen. Über diesem Aluminium-Kühlkörper ist der Axiallüfter angeordnet.



Abbildung 25 CAD-Modell (Ansicht oben)

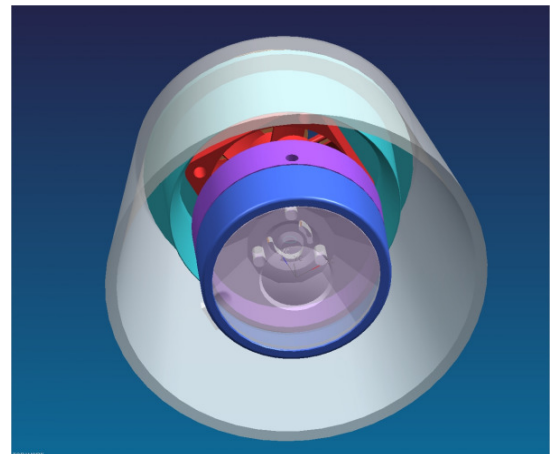


Abbildung 26 CAD-Modell (Ansicht unten)

Die LED wurde mittels externem Vorschaltgerät (OPTRONIC OT18/220-240/700 DIM) mit maximal 700mA betrieben. Mittels Potentiometer am Leuchtenkopf kann die Intensität über Pulsweitenmodulation stufenlos gedimmt werden, wobei gleichzeitig die Drehzahl des Lüfters gesteuert wird.

Die Dauerversuche und Messungen haben gezeigt, dass das Konzept einer LED-Arbeitsplatzleuchte mit integriertem Lüfter durchaus funktionsfähig ist und die Temperaturen der LED unter den kritischen Werten hält.

7.5 Entwicklung von LED-Ansteuerungs- und Regelungskonzepten

7.5.1 Konzeptentwicklung für RGB-Regelung

Innerhalb des Nanolux-Verbundprojektes wurde von der Firma Osram eine neue Leuchtdiode entwickelt. Diese LED besteht aus 24 LED-Chips unterschiedlicher Farben (Rot, Grün, Blau, Weiß), mit denen verschiedene Lichtfarben und Farbtemperaturen erzeugt werden können.

Für diese neue Multichip-Leuchtdiode wurde im Rahmen einer Diplomarbeit ein universelles Ansteuerungskonzept entworfen, mit welchem die LED gesteuert und geregelt werden kann, um damit definierte Farbtemperaturen zu realisieren. Dieses Konzept soll später als Grundlage für eine Mikrocontroller-Lichtregelung dienen. Die Regelung wurde mit Hilfe eines RGB-Farbsensors realisiert. Für dieses Vorhaben ist vom Lichttechnischen Institut Karlsruhe (LTI) ein Messnormal entwickelt worden, das von allen Beteiligten verwendet wird um vergleichbare Messergebnisse zu bekommen. Über eine Software sollen unterschiedliche Farborte einstellbar sein, welche durch einen RGB-Farbsensor erfasst und durch die Software korrigiert werden können. Mit den unterschiedlichen einstellbaren Farbtemperaturen bzw. Farborten wäre es möglich, z.B. die Lichtfarbe wechselnden äußeren Lichtbedingungen anzupassen oder Farbdriften einzelner LED-Chips zu kompensieren.

Die Diplomarbeit umfasste dabei folgende Aufgabenschwerpunkte:

- Auswahl des Farbsensors
- Auswahl des Betriebsgerätes
- Auswahl der Schnittstellenkarte
- Schnittstellenabklärung an den PC
- Testaufbau
- Test der LED
- Eingabemaske (LabWindows/CVI, VB6.0, LabView,...)
- Umsetzung des Regelalgorithmus in eine Software (LabWindows/CVI, C/C++, VB6.0,...)

Grundidee der Regelung ist es Weiß anzusteuern und den Farbort nur durch die Leuchtdioden Rot, Grün und Blau auszuregeln. Die weiße Diode dient zur Einstellung der Helligkeit.

Als Sollwert wird ein Farbort nach dem CIE Yxy-System vorgegeben. Die Yxy Werte werden dann in die Normspektralwerte XYZ umgerechnet. Die Normspektralwerte werden anschließend über eine Transformationsmatrix in theoretische Lichtlevelwerte überführt.

Nach dieser Transformation befinden sich die Werte nicht mehr im XYZ-Farbraum sondern im RGB-Farbraum. Diese theoretischen Lichtlevelwerte entsprechen der Gewichtung der einzelnen LED-Spektren und dem Ansteuerungsverhältnis der einzelnen LED's. Die Lichtlevelwerte (Beleuchtungsstärke der einzelnen LED's in %) werden über die Dimmkurven bzw. die Gleichungen, welche diese Polynomkurven beschreiben, in digitale Dimmwerte (0 bis 255) umgerechnet. Der Soll/Ist-Vergleich findet dann zwischen den digitalen Dimmwerten statt.

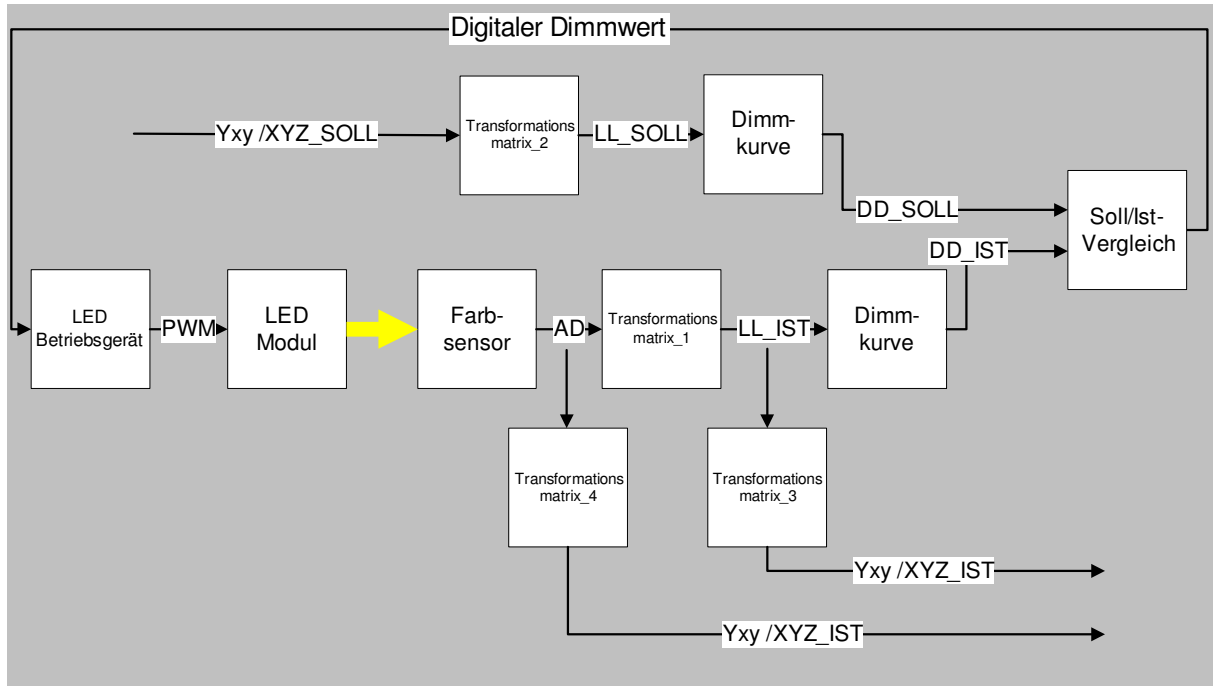


Abbildung 27 Prinzipblattschaltbild der Regelung

7.5.2 Versuchsaufbau und Software

Der Testaufbau besteht aus mehreren Einzelkomponenten:

- PC/Software
- DMX/USB Interface
- Betriebsgerät
- LED-Modul
- Farbsensor
- Test-Modul
- Messinstrumente (Spektrometer, Luxmeter, Colorimeter, Thermoelement)

Der Testaufbau der Komponenten gliedert sich wie folgt.

Mit der Software ist es möglich die einzelnen LED's (Rot, Grün, Blau, Weiss) zu dimmen.

Über die Software wird für jede LED bzw. Farbkanal ein digitaler Dimmwert (0 ...255) eingestellt.

Diese digitalen Dimmwerte werden über das DMX/USB Interface an das Betriebsgerät transferiert. Das 4-Kanal Betriebsgerät wandelt die digitalen Dimmwerte in PWM-Signale um. Das LED-Modul erzeugt mit den vom Betriebsgerät angesteuerten PWM-Signalen vier verschiedene Lichtfarben unterschiedlicher Intensität. Durch die additive Farbmischung erscheinen diese Lichtfarben als eine Lichtfarbe. Das Licht wird von dem Dreibereichs Farbsensor in drei (Rot, Grün, Blau) Analog-Digitalwerte (ADC) gewandelt. Diese Analog-Digitalwerte werden über eine USB-Verbindung von der Software abgefragt. Das LED-Modul und der Farbsensor befinden sich beide in einem geschlossenen Test-Modul. An einem zusätzlichen Ausgang des

Test-Moduls können die Messgeräte Spektrometer und Luxmeter an der gleichen Stelle wie der Farbsensor positioniert werden. Die exakte und fest definierte Positionierung des Sensors und der Messgeräte ist wichtig, um den Sensor kalibrieren zu können und um vergleichbare Messwerte zu bekommen. Das Colorimeter kann auf Grund seiner Bauform nicht an derselben Stelle positioniert werden. Um trotzdem mit dem Colorimeter den Farbort messen zu können, kann dieses an einem weiteren Lichtausgang montiert werden.

Ein Lüfter sorgt für den nötigen Abtransport der von dem LED-Modul erzeugten Wärme. Mit einem externen Thermoelement kann die Temperatur des LED-Moduls überwacht werden.

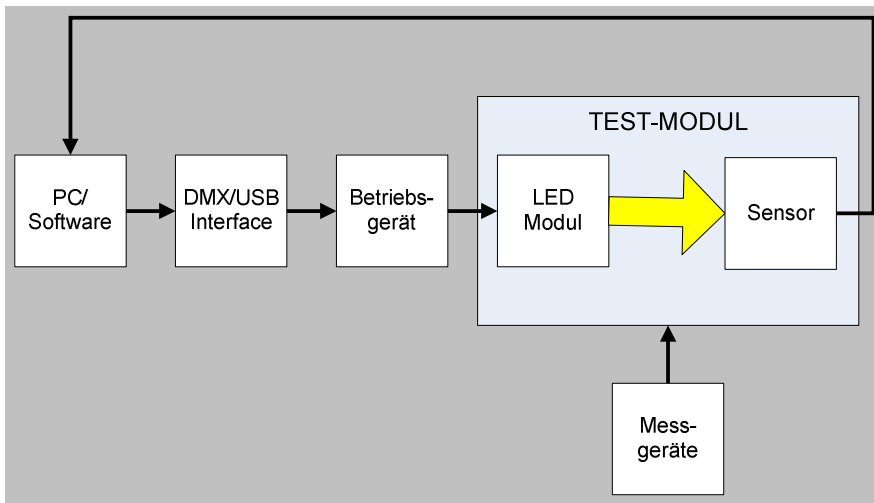


Abbildung 28 Prinzipschema des gesamten Testaufbaus

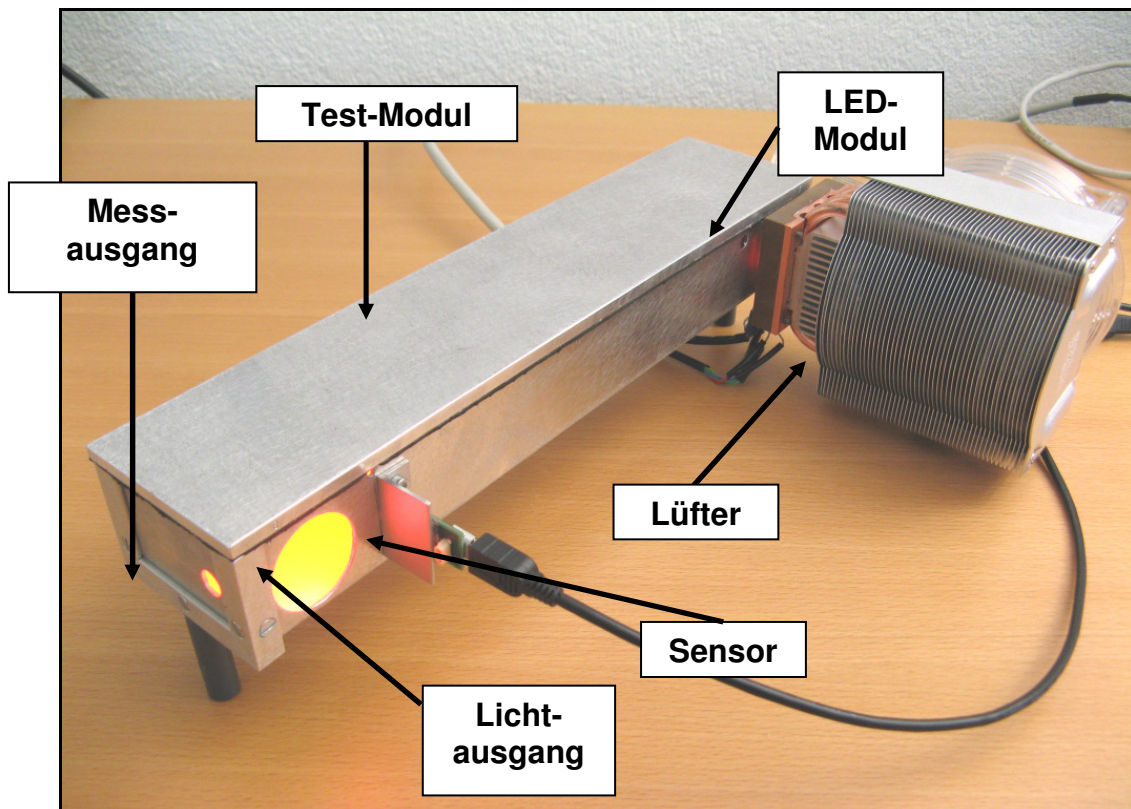


Abbildung 29 Test-Modul mit Sensor und Lüfter

Die Software RGBW wurde als User-Interface entwickelt, um das LED-Modul anzusteuern. Die Ansteuerung des LED-Moduls wird über das DMX-Protokoll abgewickelt. RGBW beinhaltet verschiedene Funktionen wie beispielsweise die direkte Ansteuerung der einzelnen Farbkanäle, Farbmessung mittels Farbsensor und einer einfachen Farbregelung. Der Übersicht wegen ist das Userinterface in mehrere kleine Bedienpanels aufgeteilt.



7.5.3 Zusammenfassung der Test- und Messergebnisse

Aufgabe und Ziel der Diplomarbeit war es, einen Testaufbau und ein Ansteuerungskonzept für ein RGBW-LED-Modul zu realisieren.

Aus Zeit- und Kostengründen wurde versucht, diesen Testaufbau mit Standardkomponenten aufzubauen.

Um die passenden Bauteile zu finden wurde eine Marktanalyse durchgeführt. Das Test-Modul ist sehr gut für eine gleichmäßige Farbmischung geeignet. Nach verschiedenen Tests und Messungen musste allerdings festgestellt werden, dass eine Farbregelung mit diesem RGBW-LED-Modul und den ausgewählten Standardkomponenten so nicht möglich ist.

Das verwendete Sensorboard MTCSi von der Firma Mazet ist für die Regelung von RGB-LED's geeignet. Der Vorteil dieses kostengünstigen Sensorboard ist, dass das Licht nach den Normspektralkurven bewertet wird und somit der Empfindung des menschlichen Auges nahekommt. Der MTCSiCS ist der einzige Farbsensor auf dem Markt, der die Farben nach den Normspektralkurven bewertet. Allerdings ist fraglich ob er für eine Farbregelung mit weißen LED's geeignet ist. Der Farbsensortest zeigte, dass das Sensorboard gleiche Farben, die sich aus verschiedenen Spektren zusammensetzten, unterschiedlich bewertet bzw. nicht exakt erkennen kann. Offenbar bietet das 2°-Normvalenzsystem, dem die Normspektralwertkurven zugrunde liegen, noch keine zufriedenstellende Übereinstimmung mit der Farbempfindung in der Nähe des Weißbereiches. Möglicherweise ist hier das 10°-Normvalenzsystem besser geeignet.


Die Untersuchungen des Dimmverhaltens des Systems ergaben, dass die Dimmkurven einen gekrümmten Verlauf besitzen, was durch unsaubere PWM-Signale des Betriebsgerätes hervorgerufen wurde, wie detailliertere Untersuchungen zeigten.

Da die weiße Dimmkurve nicht reproduzierbar war, wurde das Regelungskonzept anstatt für das gesamte RGBW-LED-Modul nur für das RGB-LED-Modul entworfen.

Das Prinzip dieses Konzeptes funktioniert, allerdings kommt es zu starken Schwankungen der Sensormesswerte. Die Ursache dieser Schwankungen ist wieder auf die fehlerhafte PWM zurückzuführen. Durch die Schwankung der Messwerte ist es auch nicht möglich den Farbort genau zu regeln, da sich diese Schwankung durch die folgenden Transformationen durchzieht.

Zur Beseitigung der Fehlereinflüsse und Vervollkommnung der Regelungshardware werden noch weitere Entwicklungsschritte nötig sein.

7.6 Entwicklung erster Beleuchtungslösungen



Bedingt durch den im Projektzeitplan definierten späten Einstieg der Applikationsentwicklung im Gesamtprojekt wurden parallel zur umfangreichen Grundlagenentwicklung der T-L-W-LED`s durch den Projektkoordinator verschiedene Grundlagenstudien auf der Anwenderseite durchgeführt, um diesbezüglich Erfahrungen und Erkenntnisse sowie theoretisches und technologisches Know-How aufzubauen, welches bei Verfügbarkeit der ersten projektrelevanten LED-Muster und deren technischen Spezifikationen unverzüglich in die Entwicklung anwendungsspezifischer Produkte für die Allgemeinbeleuchtung einfließen kann. Dazu wurden am Beispiel unterschiedlicher Designkonzepte für LED-Leuchten gezielt neue Lösungsansätze hinsichtlich des thermischen Designs, des optischen Designs sowie der elektronischen Ansteuerung der LED`s näher untersucht, da LED-basierte Leuchten besonders hinsichtlich dieser Komponenten verglichen mit dem Stand der Technik z.T. völlig neue Anforderungen beinhalten, für die es entsprechende Lösungsvarianten zu finden gilt. In Bezug auf ein bestimmtes Leuchtendesign können diese Komponenten oft nicht getrennt voneinander entwickelt werden, sondern bedingen einander und müssen somit sinnvoll im Gesamtkonzept integriert werden.

7.7 Lösungen für die Bürobeleuchtung

7.7.1 Büro-Arbeitsplatzleuchte mit LED

In einem ersten Designkonzept für eine Büro-Arbeitsplatzleuchte wurde eine vorhandene Arbeitsplatzleuchte (Waldmann DIVA mit 11 Watt Kompaktleuchtstofflampe) auf 4 x 3 W Osram LED`s umgebaut.

Als Sekundäroptik wurde im Hause eine speziell Linse für diesen LED-Typ entwickelte und eingesetzt. Diese Linse ermöglicht eine homogene Breitstrahlung und basiert im wesentlichen auf Brechung und Totalreflexion, ohne jedoch lichtstreuende Oberflächen zu enthalten. Die Optik wirkt damit aufgrund ihrer klaren Struktur sehr ansprechend und kann neue designerische Akzente setzen.

Die LED-Leuchte erzielen mit dieser Bestückung vergleichbar lichttechnische Werte jedoch sind zu diesem Zeitpunkt die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen noch nicht in akzeptablen Bereichen.

Dieser erste Ansatz zeigte bereits in einem sehr frühen Stadium des Projektes, dass LED`s für die Allgemeinbeleuchtung durchaus eine Alternative darstellen und in Zukunft ihren Platz in der Allgemeinbeleuchtung einnehmen werden.



Abbildung 30 Funktionsmuster der LED-Arbeitsplatzleuchte

7.7.2 Konzept einer LED-Arbeitsplatzleuchte

Das folgende LED-Leuchtenkonzept stellt eine Arbeitsplatzleuchte dar, die speziell auf die neuen Möglichkeiten der LED hin entwickelt und gestaltet wurde.

Die Dimensionen sämtlicher Komponenten wurden so gewählt, dass alle Marktanforderungen wie ein ansprechendes Design und Filigranität, hohe Beleuchtungsstärken, optimales Wärmemanagement, Energieeffizienz und nicht zuletzt der Preis erfüllt werden können.

In der Leuchte kommt ein LED-Array mit Osram-Emitern zum Einsatz, das eine Leistungsaufnahme von ca. 7 W hat und einen Lichtstrom von ca. 500lm liefert. Die optimale Ausleuchtung der Arbeitsfläche, bei gleichzeitiger Entblendung wurde mittels spezieller Reflektoren erreicht.



Abbildung 31 Designentwurf der LED-Arbeitsplatzleuchte - Minela

7.7.3 *Pendelleuchte mit getrenntem Direktanteil*

In einem ersten Designkonzept wurde eine Büro-Pendelleuchte aufgebaut, deren Direktanteil ausschließlich durch 12 LED's realisiert wird, während der Indirektanteil durch zwei T16 54W-Leuchtstofflampen erzeugt wird. Diese Hybrid-Lösung birgt für den Endanwender den Vorteil einer separaten Steuerung des direkten Lichtanteils (Lichtstromanteil nach unten), während davon unabhängig die Leuchtstofflampen in Verbindung mit Reflektoren das Licht erzeugen, welches indirekt über die Deckenreflexion für eine Grundhelligkeit des Raumes sorgt. Das Leuchtenkonzept verfolgt als Ziel, die LED-Technologie konsequent in der allgemeinen Raumbelichtung zu integrieren, ohne dabei auf die hohen Lumenpakete zu verzichten, die Leuchten dieser Art in der Regel liefern und ohne wirtschaftliche Rahmenbedingungen zu vernachlässigen.

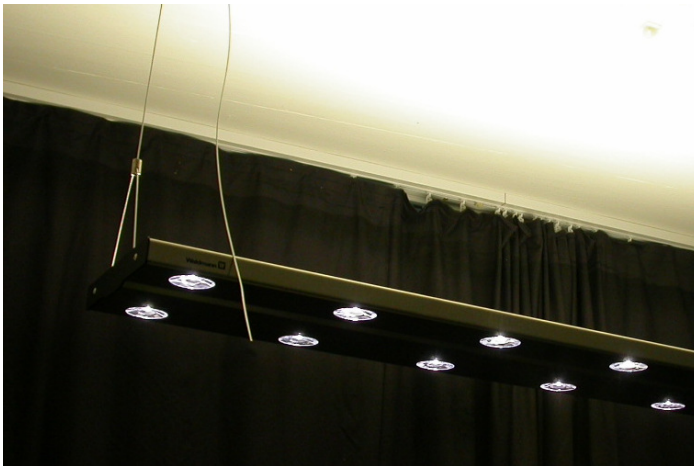


Abbildung 32 Funktionsmuster der LED-Pendelleuchte

Zum Zwecke eine möglichst großen Kühlfläche (Konvektion) für die verwendeten LED's wurde der gesamte Leuchtenkorpus aus gebürstetem Aluminiumblech gefertigt, in dessen Unterseite runde Aussparungen für die LED-Einheit mit Sekundäroptik ausgestanzt sind. Durch die mechanisch Vorspannung einzelner in den Korpus integrierter Federelemente werden die 12 einzelnen LED-Einheiten mit der Optik gegen die Aussparung gedrückt und somit ein sicherer thermischer Kontakt für die Wärmeableitung gewährleistet. Die Gesamtleistungsaufnahme für die LED's beträgt etwa 32 Watt.

Der Leuchtenbetriebswirkungsgrad beträgt für den Direktanteil (ausschließlich LED's) ca. 64%, wobei sich die rein optischen Verluste auf etwa 14% belaufen. Weitere Einschränkungen im Betriebswirkungsgrad sind auf thermische Gegebenheiten zurückzuführen.

Für die gesamte Leuchte beträgt der maximale Direktanteil durch die LED's etwa 6%. Durch die relativ starke Richtwirkung auf den Arbeitsbereich ergibt sich jedoch ein Beleuchtungsstärkeverhältnis zwischen direktem zu indirektem Licht von 50:50, d.h. der Direktanteil der LED's erzeugt eine etwa gleich hohe Beleuchtungsstärke auf der Arbeitsebene wie der Indirektanteil durch die Leuchtstofflampen.

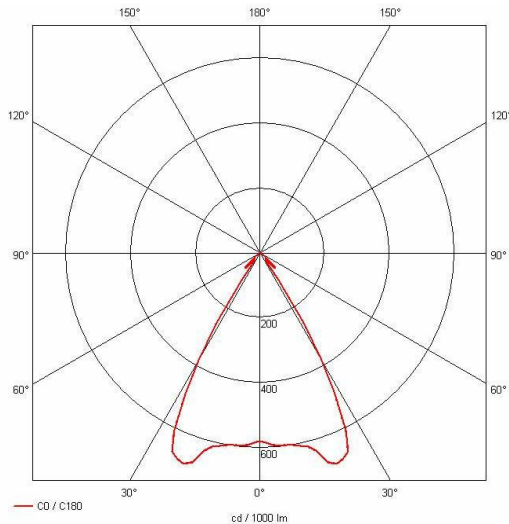


Abbildung 33 LVK des Direktanteils (LED`s)

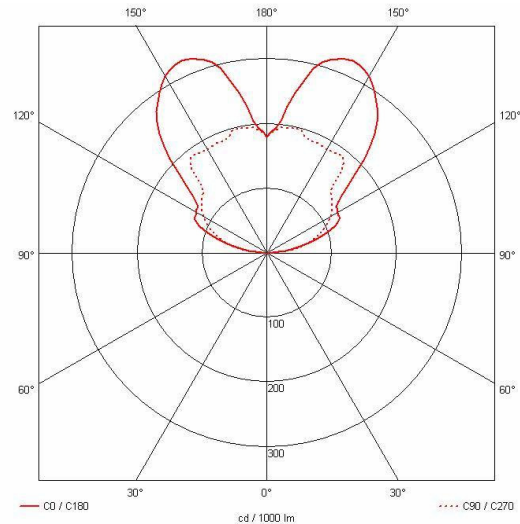


Abbildung 34 LVK des Indirektanteils

In der Konzeptphase dieser Designstudie wurden aus verschiedenen Messungen und Untersuchungen Erkenntnisse gewonnen, die die Anforderungen an weitere Entwicklungen in diesem Bereich hinsichtlich des thermischen, konstruktiven und optischen Designs sowie der Ansteuerung definieren.

So sind insbesondere Maßnahmen zu ergreifen, Abweichungen einzelner LED-Parameter wie beispielsweise Vorwärtsspannung oder Farbbinning (Farbort) so zu neutralisieren, dass Unterschiede im Lichtstrom oder der Lichtfarbe beim Betrieb einer oder mehrerer angeordneter Leuchten im Raum vom Nutzer nicht wahrgenommen werden. Hierzu muss einerseits über elektronische Ansteuerkonzepte, andererseits evtl. über optische bzw. konstruktive Modifikationen nachgedacht werden.

7.8 Lösungen für die Maschinenraumbeleuchtung

7.8.1 LED-Leuchten zur Spot-Ausleuchtung

Die ersten Konzepte von LED-Leuchten für den Maschinenbereich wurden so konzipiert, dass sie als Ergänzung zu normaler Beleuchtung dienen können. Hierbei wurde die Lichttechnik auf eine punktuelle Ausleuchtung ausgelegt. Durch die Nutzung des Maschinengehäuses bzw. des Fräskopfes als zusätzlicher Kühlkörper konnten die Abmessungen sehr klein gehalten werden und damit die Positionierung der Leuchte im Maschinenraum optimal zur Erfüllung der Sehaufgabe gewählt werden.

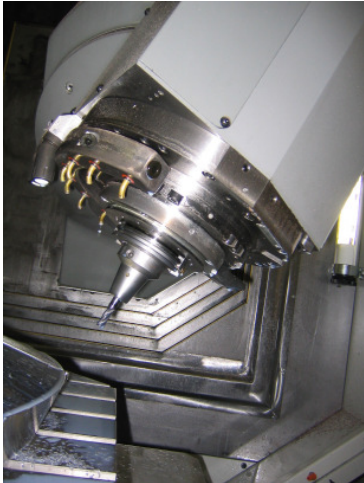


Abbildung 35 2 LED-Leuchten an Fräskopf montiert

7.8.2 LED-Leuchten zur Flächen-Ausleuchtung

Mit der Weiterentwicklung der LED-Module und Optimierung der Entwärmungstechniken wurden auch LED-Lösungen möglich, die eine großflächige Ausleuchtung im Maschinenraum möglich machen. Hierzu wurden mehrere LED's zu einem Array auf eine Leiterplatte vereint und mit einer speziell dafür entwickelten Optikarray versehen.

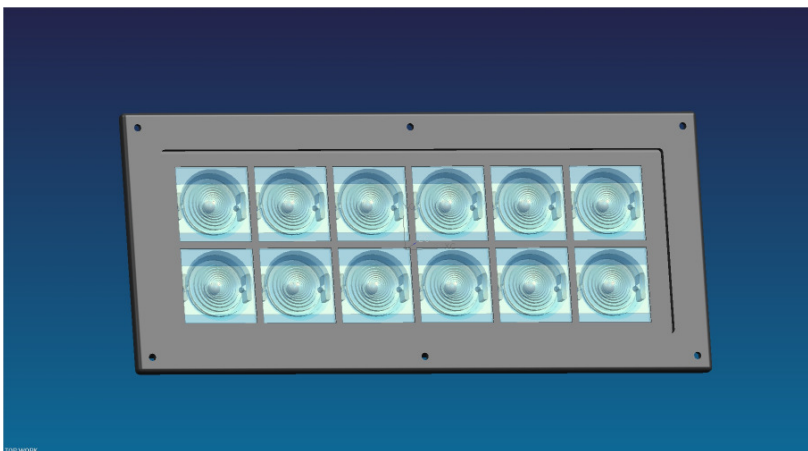


Abbildung 36 LED-Flatline – CAD-Modell



Abbildung 37 LED-Flatline - Flächenleuchte

8 Voraussichtlicher Nutzen

Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplanes

Die Ergebnisse dieses Vorhaben zeigen eindeutig auf, dass die LED als alternatives Leuchtmittel ihren Platz auf dem Beleuchtungsmarkt eingenommen hat.

Mit den inzwischen verfügbaren Hochleistungs-LED-Modulen lassen sich völlig neue Beleuchtungslösungen entwickeln. Die neuen Möglichkeiten in der designerischen Gestaltung von Leuchten erschließen uns komplett neue Märkte.

9 Bekannt gewordene Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens

Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordene Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

In den letzten Monaten sind vermehrt LED-Beleuchtungslösungen von unterschiedlichen Leuchtenherstellern auf dem Markt gebracht worden.

Alle uns bekannten Lösungsansätze sind derzeit jedoch noch nicht auf dem technischen Stand, dass sie alle Anforderungen einer guten Beleuchtung erfüllen.

Einzelne Systemfunktionen der Beleuchtungslösungen wie z.B. die Beleuchtungsstärke werden zwar erfüllt, doch sind meist andere relevante Disziplinen, wie Wärmemanagement, Lebensdauer oder Lichtqualität unzureichend ausgeführt und stellen damit keine wirkliche Alternative zu bestehenden Beleuchtungslösungen dar.

Lösungsansätze, die die Möglichkeiten anderer Komponenten wie z.B. Entwärmung durch Integration in den Maschinenkühlkreislauf nutzen und somit in der Lage sind die anderen Parameter auf das erforderliche Marktniveau zu bringen, wurden in unserem Hause entwickelt und sind inzwischen in ersten kundenspezifischen Lösungen auf dem Markt verfügbar.

10 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen

Bislang ist noch keine Veröffentlichung erfolgt und in den nächsten Wochen auch keine Veröffentlichung geplant.