

Ganzheitliche Entwicklung von LED Beleuchtungs-Systemen

Vorwort

Ein schonender Umgang mit der Ressource Energie ist für ein nachhaltiges Wachstum nötig. Viel erreichen wir, wenn wir elektrische Energie einsparen. Im Bereich der Beleuchtungstechnik sind die Weichen gestellt. Die Zukunft gehört der LED. Die Entwicklung von Beleuchtungssystemen auf Basis LED Technologie bietet viele neue Chancen und Möglichkeiten, jedoch auch Risiken. Die Technologie der LED, das benötigte Wärmemanagement, die Treiberelektronik und das spezielle Normenwissen sind für viele Leuchten Hersteller, Planer und Designer eine neue Technologie. Für die erfolgreiche Umsetzung und Entwicklung einer Leuchte ist daher ein Partner mit dem nötigen Expertenwissen aus den jeweiligen Bereichen ein Vorteil.

Tobias Hofer

Anwendung und Potential

McKinsey&Company haben in Ihrem Report¹ aufgezeigt, dass der LED Markt im Jahr 2015 weltweit auf 1 Milliarde LED Einheiten steigen wird. Bis heute sind im Bereich „General Lighting“ weniger als 10% der Beleuchtungseinrichtungen auf LED Technologie umgestellt. Die Umstellung hat gerade erst angefangen. Die Umstellung braucht jedoch für Leuchten Hersteller auch Zeit. Erfahrungen müssen gesammelt werden, zuverlässige und kompetente Partner in allen Bereichen gefunden werden. Dem Designer und Leuchten Hersteller bieten sich, neben dem hohen Potential im Verkauf, auch ganz neue und innovative Möglichkeiten, ein Produkt zu gestalten.

Systementwicklung

Die LED Leuchte als ein komplexes System zu betrachten ist von Vorteil. Am Anfang vom Design sollte allen Einflussgrößen gleichermaßen Beachtung geschenkt werden.

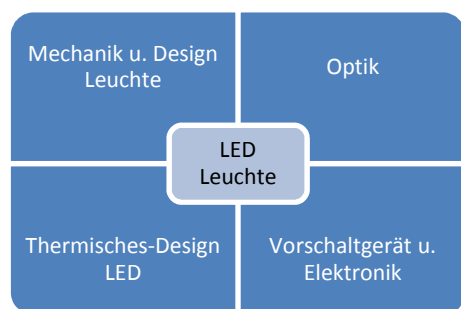


Diagramm 1: ganzheitliches System

Das System beinhaltet neben dem eigentlichen Leuchtendesign und deren Optik auch die Treiberelektronik, die auf die LED abgestimmt werden sollte, die LED selbst und die Herausforderung, diese zu kühlen.

Ein Erfolgsfaktor der LED ist deren hohe Effizienz gegenüber herkömmlichen Leuchtmitteln. Durch

die immer höhere Effizienz von LEDs muss auch dem Wirkungsgrad der Vorschaltgeräte mehr Beachtung geschenkt werden. Mit der heutigen Technologie sind LED Vorschaltgerät für den Netzbetrieb mit aktiver Powerfaktor Korrektur mit Wirkungsgraden bis zu 95% realisierbar. Dafür werden vermehrt effiziente, resonant schaltende Netzteil Topologien eingesetzt. Der Vorteil dieser Topologie liegt darin, dass die Schaltvorgänge immer dann stattfinden, wenn über den Leistungshalbleitern keine Spannung oder Strom anliegt. Dadurch entstehen nur sehr geringe Verluste. Bei digitalen Netzteilen, die über ein Hausleitsystem oder externe Sensoren gesteuert werden, ist auch der Energieverbrauch im Standby zu optimieren. So können heute Netzteil Lösungen entwickelt werden mit einer Leistungsaufnahme von nahezu 0W (<10mW).

Anforderungen und Möglichkeiten der Treiberelektronik

Der Vorteil einer kundenspezifischen Treiberlösung liegt an der optimalen Anpassung in die Leuchte bei z.B. geringen Platzverhältnissen. Die Treiber können optimal auf die LED abgestimmt werden. So kann die Elektronik dazu genutzt werden die Lichtstärke, bei sich ändernder LED Temperatur, zu kompensieren. Bei der Inbetriebnahme könnten Farbunterschiede einzelner LEDs automatisch kompensiert werden. Somit wäre eine gleichbleibende Qualität während der Produktion möglich.

Die Leuchte könnte digital über einen Haus Bus angesteuert werden. Hat man die Möglichkeit eine kundenspezifische Treiberelektronik einzusetzen, sind dem Hersteller der Leuchte viele innovative Anwendungen möglich.

Intelligente Lösungen wie z.B. die Bedienung über ein „App“ auf einem Smartphone sind möglich. Es können auch Lösungen realisiert werden, bei denen über ein Netzwerk auf die Leuchten zugegriffen werden kann. Über einen solchen

¹ „Lighting the Way: Perspectives on the global lighting market“

Zugriff lassen sich Leuchten fernwarten, konfigurieren oder überwachen.

Ein nicht zu unterschätzender Punkt bei der Entwicklung von LED Leuchten und dem Einsatz von kundenspezifischen Treibern sind die Normen für elektrische Sicherheit sowie die Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) vom ganzen System. Nicht selten kommt es vor, dass die LED über ein längeres Kabel mit dem Treiber verbunden wird oder eine längere Netzzuleitung nötig ist. Diese Kabel sowie der Einbau der Elektronik in das Gehäuse oder die Leuchte haben einen Einfluss auf die Emissionen. Lange Kabel wirken plötzlich im höheren Frequenzbereich als Antennen. Ein abgehendes Kabel z.B. der DALI Steuerung leitet Störungen aus dem Netzteil weg und strahlt diese ab.

Wenn man alles fertig stellt und am Schluss in einem EMV Prüflabor eine abschließende Messung durchführen möchte, können die Probleme meistens nicht mehr kostengünstig und effektiv gelöst werden. Werden entwicklungsbegleitend die EMV Betrachtungen und Messungen durchgeführt, sind kurze Entwicklungszeiten und niedrige Hardwarekosten möglich.

Thermik

Durch den Einsatz der LED als Ersatz der Glühlampe können innovative Lichtlösungen entwickelt werden. Weitere Vorteile liegen in der langen Lebensdauer verglichen mit der Glühlampe und der hohen Effizienz der LED. So hat eine LED heute eine Effizienz von > 100 lm/W, die Glühlampe im Vergleich dazu 10-20 lm/W.

Bei der LED werden ca. 20% der eingesetzten elektrischen Leistung in Licht umgewandelt. Die restlichen 80% werden im PN-Übergang der LED in Wärme umgewandelt. Diese Verlustleistung führt zur Erwärmung der LED während dem Betrieb. Diese Erwärmung während dem Betrieb führt zu einer Verkürzung der Lebensdauer sowie zu einer geringeren Lichtausbeute. Die Lebensdauer wird in diesem Zusammenhang vielfach als die Zeit angegeben, nach der die relative Helligkeit auf 70% abgenommen hat. Die niedrigere Lichtausbeute macht sich in einer schlechteren Effizienz bemerkbar. Damit die Leuchte die gewünschten Eigenschaften von Lebensdauer und Effizienz erreicht, muss die Erwärmung des LED Chip begrenzt werden. Wie hoch die Temperatur werden darf hängt von den Vorgaben des Leuchten Herstellers ab. Wird eine hohe Lebensdauer gefordert oder wird der Scherpunkt auf ein kostenoptimiertes Design gelegt? Diese Entscheidungen bestimmen maßgeblich die Richtung der weiteren Entwicklung und sollten von Beginn an Bestandteil der Entwicklungsstrategie sein.

Lebensdauer LED

Die Lebensdauerwerte sind statistische Werte, die durch Versuchsreihen der LED Hersteller ermittelt und angegeben werden. Die Lebensdauer sowie die relative Lichtstärke einer LED ist eine Funktion der Sperrschichttemperatur. Die beiden Diagramme zeigen exemplarisch die genannten Funktionen auf. Die Lebensdauerkurve einer bestimmten LED müssen den entsprechenden Datenblättern der Hersteller entnommen werden.

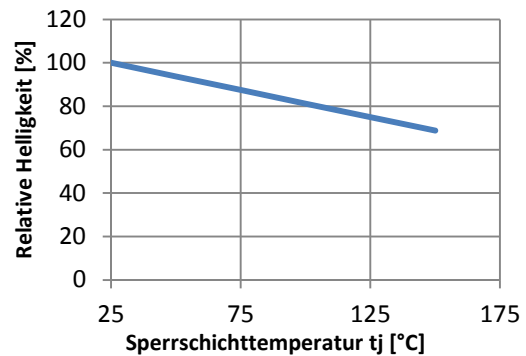


Diagramm 2: Relative Helligkeit

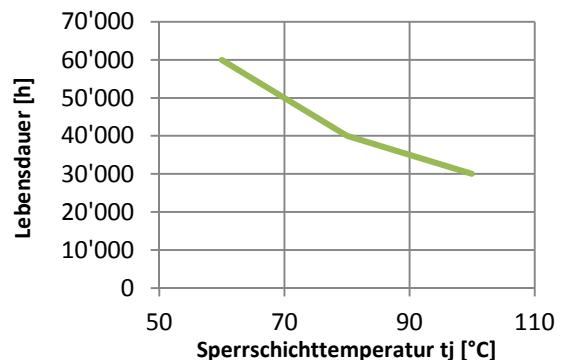


Diagramm 3: Lebensdauer

Lebensdauer Elektronik

Bei einem guten thermischen Design der LED ist eine sehr hohe Lebensdauer möglich. Viel häufiger kommt es vor, dass der limitierende Lebensdauerfaktor die Treiberelektronik ist. Am meisten Beachtung sollte dabei den Elektrolytkondensatoren geschenkt werden. Allgemein kann man sagen, dass sich die Lebensdauer von einem elektronischen Bauteil bei einer Reduktion der Temperatur um 10K verdoppelt.

Die folgende Formel kann angewendet werden:

$$Lifetime_{Faktor} = 2^{\frac{\Delta T}{10K}}$$

Daraus wird ersichtlich, dass sich die Lebensdauer um den Faktor 2 erhöht, wenn die Temperatur um 10K reduziert wird. Beachten sollte man, dass z.B. die Lebensdauer von einem Elektrolytkondensator angegeben ist mit der Zeit, bei der sich die Kapazität um 20% reduziert hat. Bei einer

LED ist es vielfach der Wert, bei dem die Helligkeit um 30% abgenommen hat. Das bedeutet, dass das Ende der Lebensdauer nicht das Ende der Leuchte oder der Elektronik bedeutet. Ein LED Treiber, bei dem die Ausgangskapazität der Elektrolytkondensatoren um 20% gesunken ist, kann weiter funktionieren und ist nach dieser Definition nicht defekt.

Thermisches Design

Eine große Herausforderung beim Einsatz von LEDs ist die hohe Verlustleistung, die beim Betrieb entsteht und effektiv abgeführt werden muss, um die Vorgaben bezüglich Lebensdauer zu erfüllen. Bei einer LED Leuchte mit z.B. 50W werden beim Betrieb 40W in Wärme umgewandelt werden. Der LED Chip kann sich bei diesen Verlustleistungen sehr schnell auf 100°C aufheizen. Vor dem Design sollte man sich also die Frage stellen, welche Lebensdauer möchte ich mit meinem Design erreichen. Während der Designphase ist die Kühlung der LED als zentraler Bestandteil der Entwicklung zu beachten. Ein einfaches Beispiel zeigt die Schwierigkeit bei passiver Kühlung auf:

Eine 30W LED wandelt 20% in Licht um. Damit fallen 24W als Verlustleistung an. Um zu verhindern, dass die Sperrichttemperatur bei 40°C Umgebungstemperatur z.B. nicht 75°C überschreitet, wäre ein Kühlkörper mit einem thermischen Widerstand von

$$R_{TH} = \frac{35K}{26W} = 1.35 \frac{K}{W}$$

nötig. Wenn wir eine vertikale Platte nehmen auf der unser LED Chip montiert ist, sind bei einem Luftstrom durch natürliche Konvektion von 0.1m/s eine Länge und Breite von 20cm notwendig. Diese Oberfläche müsste beidseitig im Kontakt mit der Umgebungsluft sein zur entsprechenden Kühlung. Dies ist eine ziemlich grosse Fläche für eine Leuchte. Möchte man nun eine kompakte Leuchte bauen müssen einige Hürden genommen werden. So wäre auch der Einsatz einer aktiven Kühlung in Betracht zu ziehen. Time to Market wird in der heutigen Zeit immer wichtiger. Durch den Einsatz von modernen Simulationswerkzeugen ist eine effektive Entwicklung möglich. Im Folgenden wird aufgezeigt, wie der Einsatz von einem FEM Programm zur thermischen Simulation genutzt werden kann, um in einem frühen Stadium der Entwicklung Probleme erkennen zu können. Die folgenden Grafiken zeigen die 2-Dimensionale Wärmesimulation einer 10W LED Lampe mit integrierter Elektronik. Es wird die Temperatur sowie die Luftströmung die durch natürliche Konvektion entsteht berechnet.

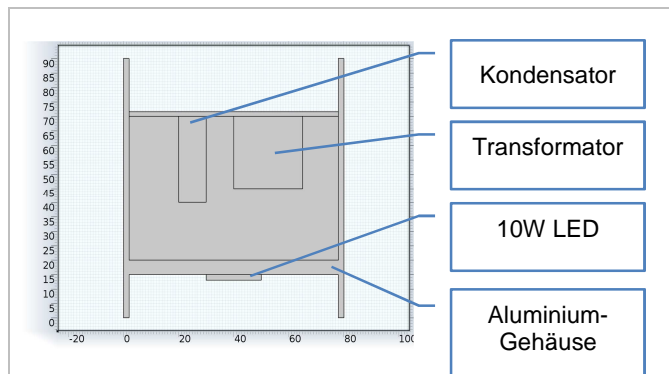


Bild 1: Simulationsmodell

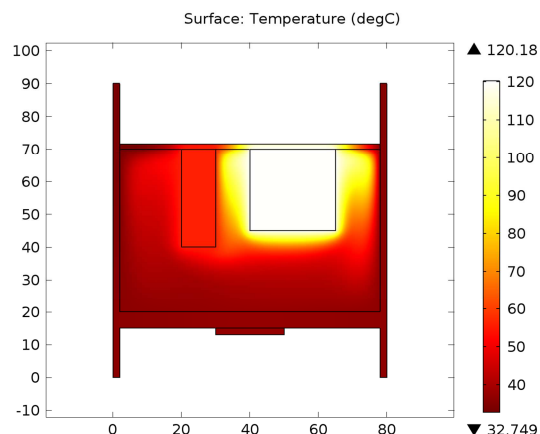


Bild 2: Simulation der Temperatur

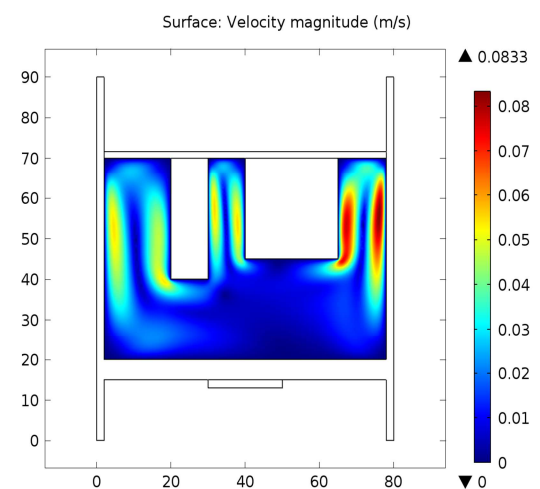


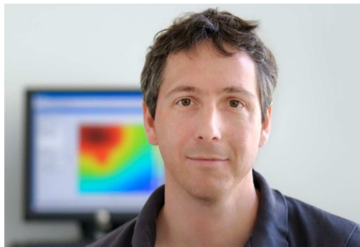
Bild 3: Simulation der Luftströmung im Gehäuse

Mit den ersten Ergebnissen kann ohne viel Aufwand die Leuchte optimiert werden. Verschiedene Szenarien können simuliert werden um die optimale Lösung zu finden.

Fazit

Dem Leuchten Hersteller öffnet sich mit dem Einsatz der LED nicht nur die Tür zu einem riesigen Markt, es sind auch sehr innovative Lichtlösungen möglich. Die Betrachtung der LED Leuchte als ein System, zu dem nicht nur die Konstruktion und das Design gehören, sondern auch die Elektronik und die notwendigen Normen, ermöglichen eine kurze Entwicklungszeit und niedrige Systemkos-

ten. Neben dem Design stehen die Elektronik und die Kühlung der LED im Zentrum. Insbesondere der Kühlung sollte von Anfang an Beachtung geschenkt werden. Mit modernen Simulationstools lassen sich von Anfang an Schwachstellen aufdecken, ohne hohe Kosten zu verursachen. Lläuft das Design Hand in Hand mit der restlichen Entwicklung, steht einer kurzen Entwicklungszeit und einer hohen Lebensdauer nichts im Wege.



El. Ing. Eureka Tobias Hofer
tobias.hofer@hsi-ag.ch
www.hsi-ag.ch

Literaturverzeichnis

- [1] Ellison, Gordon N; Thermal computations for electronic equipment
ISBN 0-442-21923-7
- [2] Simulations Software SemiSimV1; www.hsi-ag.ch
- [3] "Lighting the Way: Perspectives on the global lighting market," McKinsey & Company, 2011