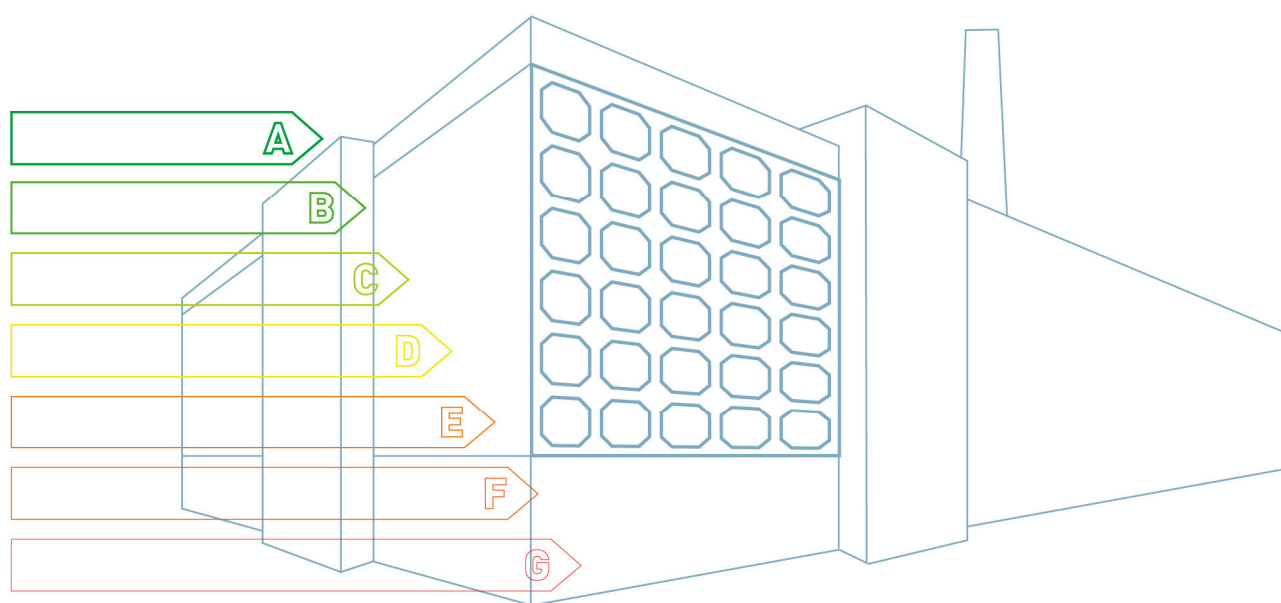




Energiesparender Glühbirnenersatz mit komfortablem Licht für den Massenmarkt



VORWORT

Die Publikationsreihe **BLUE GLOBE REPORT** macht die Kompetenz und Vielfalt, mit der die österreichische Industrie und Forschung für die Lösung der zentralen Zukunftsaufgaben arbeiten, sichtbar. Strategie des Klima- und Energiefonds ist, mit langfristig ausgerichteten Förderprogrammen gezielt Impulse zu setzen. Impulse, die heimischen Unternehmen und Institutionen im internationalen Wettbewerb eine ausgezeichnete Ausgangsposition verschaffen.

Jährlich stehen dem Klima- und Energiefonds bis zu 150 Mio. Euro für die Förderung von nachhaltigen Energie- und Verkehrsprojekten im Sinne des Klimaschutzes zur Verfügung. Mit diesem Geld unterstützt der Klima- und Energiefonds Ideen, Konzepte und Projekte in den Bereichen Forschung, Mobilität und Marktdurchdringung.

Mit dem **BLUE GLOBE REPORT** informiert der Klima- und Energiefonds über Projektergebnisse und unterstützt so die Anwendungen von Innovation in der Praxis. Neben technologischen Innovationen im Energie- und Verkehrsbereich werden gesellschaftliche Fragestellung und wissenschaftliche Grundlagen für politische Planungsprozesse präsentiert. Der **BLUE GLOBE REPORT** wird der interessierten Öffentlichkeit über die Homepage www.klimafonds.gv.at zugänglich gemacht und lädt zur kritischen Diskussion ein.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Energie der Zukunft“. Mit diesem Programm verfolgt der Klima- und Energiefonds das Ziel, durch Innovationen und technischen Fortschritt den Übergang zu einem nachhaltigen Energiesystem voranzutreiben.

Wer die nachhaltige Zukunft mitgestalten will, ist bei uns richtig: Der Klima- und Energiefonds fördert innovative Lösungen für die Zukunft!

A handwritten signature in black ink, reading 'Theresia Vogel'.

Theresia Vogel
Geschäftsführerin, Klima- und Energiefonds

A handwritten signature in black ink, reading 'Ingmar Höbarth'.

Ingmar Höbarth
Geschäftsführer, Klima- und Energiefonds

Inhaltsverzeichnis

1.	Kurzfassung.....	3
2.	Abstract	4
3.	Einleitung.....	5
3.1	Ausgangssituation/Motivation des Projektes	5
3.2	Zielsetzungen des Projektes	5
3.3	Methodik der Arbeit	6
3.4	Aufbau der Arbeit.....	7
3.5	Einordnung in das Programm.....	7
4.	Inhaltliche Darstellung.....	9
4.1	AP1 – Requirement Specification / Technische Spezifikation und Anforderungsdefinition: ...	9
4.2	AP2 – Architectural Design / Wärmemanagement und mechanisch-optisches Design:.....	9
4.3	AP3 – Optical Design / Lichtverteilung:	9
4.4	AP4 – AC/DC-Konverter:	10
4.5	AP5 – Intelligenter LED-Treiber:.....	10
4.6	AP6 – Intelligent Packaging:.....	10
4.7	AP7 – Verifikation des Prototypen / Verifikation von Algorithmen und Funktionsmustern:...	10
4.8	AP8 – Projektmanagement:.....	11
5.	Ergebnisse und Schlussfolgerungen.....	12
5.1	AP1 – Requirement Specification / Technische Spezifikation und Anforderungsdefinition: .	12
5.2	AP2 – Architectural Design / Wärmemanagement und mechanisch-optisches Design:.....	13
5.3	AP3 – Optical Design / Lichtverteilung:	14
5.4	AP4 – AC/DC-Konverter:	17
5.5	AP5 – Intelligenter LED-Treiber:.....	20
5.6	AP6 – Intelligent Packaging:.....	21
5.7	AP7 – Verifikation des Prototypen / Verifikation von Algorithmen und Funktionsmustern:...	25
5.8	AP8 – Projektmanagement:.....	28
6.	Ausblick und Empfehlungen.....	29
7.	Literaturverzeichnis.....	30

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schema einer LED Lampe mit E27-Gewinde	6
Abbildung 2: Wäremeableitung des COB-Moduls	13
Abbildung 3: Prototyp einer 40W entsprechenden LED-Lampe	14
Abbildung 4: Gewöhnlicher Globetop	15
Abbildung 5: Geteilte Globetops	15
Abbildung 6: Aufgetragener Leuchtstoff	16
Abbildung 7: Transparente Silikonabdeckung	16
Abbildung 8: Effekt eines gewöhnlichen Globetop auf das Spektrum	17
Abbildung 9: Funktionsblöcke einer vollständigen LED Ansteuerschaltung	18
Abbildung 10: Konzept zur Dekodierung des AC Eingangs-Spannungssignals (oberer Schaltungsteil) und Erzeugung eines niederfrequenten PWM Signals zur LED Dimmung mittels Phasen-Dimmer	19
Abbildung 11: Abhängigkeit der LED Silizium-Package Kosten vom gewählten Konzept	22
Abbildung 12: Boden der Cavity vor (links) und nach (rechts) der Optimierung von Ätzchemie, Ätzbedingungen und Vorbehandlung	23
Abbildung 13: Fertige Platine mit Mustern der Demonstratorscheiben	24
Abbildung 14: Konzept für einen Weisslicht-Sensor	24
Abbildung 15: Aufbau des Moduls für Demonstrator 1	25
Abbildung 16: Mechanischer Aufbau des Demonstrators	26
Abbildung 17: Ergebnis II der Simulation	26
Abbildung 18: Temperaturverteilung der LED-Lampe in einem geschlossenen System	27
Abbildung 19: Erster 60W Prototyp der LED-Lampe während des Projekts hergestellt (links) vs. Massenproduktions-Retrofit - Lampe (rechts)	27

1. Kurzfassung

Das Projekt „LED-BULB“ trägt langfristig zur Senkung des Energieverbrauches im Beleuchtungssektor bei; dieser verschlingt weltweit alleine 15% des elektrischen Energieaufkommens. Konventionelle Glühbirnen sollen dabei durch neue energieeffiziente LED-Technologien bei höchsten Komfortansprüchen ersetzt werden.

Das Projekt überwindet die zahlreichen Defizite heutiger Energiesparlampen, bei denen noch immer Farbtemperaturen als unangenehm empfunden werden, lange Anlaufzeiten bis zum Erreichen der vollen Helligkeit in Kauf genommen werden müssen, beschränkte Lichtströme und eine grobe Formgebung der Lampe vorherrschen und die Steuer- und Regelbarkeit weitgehend eingeschränkt ist.

Im Rahmen der geplanten F&E-Kooperation werden neue, extrem langlebige Lampen mit hocheffizienten Netzspannungswandlern bei kleinster Kubatur und mit verlustarmen LED-Treibern mit neuen Regelalgorithmen zur Einstellung der Farbtemperatur und Stabilisierung des Lichtstroms entwickelt. Attraktive Formgebung und Lichtverteilung bei gleichzeitiger Lösung des Wärmehaushaltes aller Systemkomponenten sind weitere Herausforderungen. In diesem Zusammenhang sind unter anderem das Thermomanagement, die neue Mechanik, die LED-Optik und Leistungselektronik Forschungsgebiete mit hohem Innovationsgehalt. Die Projektpartner sind globale Kompetenzträger. Sie forschen und produzieren für den Weltmarkt.

2. Abstract

The „LED-BULB“ project contributes in the long term to the decrease of the energy usage in the lightning sector, which consumes 15% of the energy consumption worldwide. Conventional light bulbs will be displaced by energy efficient LED technologies with highest convenience.

The project conquers the numerous deficiencies of today's energy-saving lamps like aggravating colour temperatures, long lasting acceleration times until reaching full brightness, restricted luminous fluxes and abrasive design of the lamps and a limited controllability.

Within the R&D cooperation new lamps containing highly efficient system voltage converters in smallest cubatures, low-loss LED-drivers containing new control algorithms for the settings of colour temperature and stabilisation of the luminous flux, including a maximum durability are developed. Attractive design and light circulation additional to a perfect solution for the heat balancy of all system components are further technological challenges.

Highly innovative fields of research are amongst others the thermo-management, new mechanics, LED-optics and power electronics.

The project partners are global key players. They do research and produce for the global market.

3. Einleitung

3.1 Ausgangssituation/Motivation des Projektes

Im Rahmen des Projekts „LED-Bulb“ wurden neue, besonders energieeffiziente und auf der LED-Technologie basierende Lampen entwickelt, die langfristig eine deutliche Senkung des Energieverbrauches im Beleuchtungssektor ermöglichen. Der Beleuchtungssektor verschlingt weltweit alleine 15% des elektrischen Energieaufkommens. Konventionelle Glühbirnen weisen eine sehr geringe Effizienz auf und wurden im Rahmen des Projektes durch neue energieeffiziente LED-Technologien bei höchsten Komfortansprüchen ersetzt.

Das Projekt konnte die zahlreichen Defizite heutiger Energiesparlampen, wie unangenehme Farbtemperaturen, lange Anlaufzeiten bis zum Erreichen der vollen Helligkeit, beschränkte Lichtströme und eine grobe Formgebung der Lampe, sowie die Steuer- und Regelbarkeit weitgehend verbessern.

Im Rahmen der geplanten F&E-Kooperation wurden neue extrem langlebige Lampen mit hocheffizienten Netzspannungswandlern bei kleinster Kubatur und mit verlustarmen LED-Treibern und effizienten Regelungsmethoden zur Einstellung der Farbtemperatur und Stabilisierung des Lichtstroms entwickelt. Attraktive Formgebung und Lichtverteilung bei gleichzeitiger Lösung des Wärmehaushaltes aller Systemkomponenten waren weitere Herausforderungen.

3.2 Zielsetzungen des Projektes

Ziel dieses Forschungsprojektes war die Entwicklung eines Glühbirnenersatz auf Basis von LED (Light Emitting Diode bzw. Lumineszenz-Diode) mit folgenden Eigenschaften:

- höchste Energieeffizienz
- konstante angenehme Farbtemperatur
- konstante Intensität sowohl kurzfristig (gleich nach dem Einschalten) als auch langfristig (über die Lebensdauer)
- extrem lange Lebensdauer (ca. 50000h), um die niedrigsten Beleuchtungskosten/Jahr zu erreichen
- optimale Bill of Materials (BoM), um einen attraktiven Marktpreis anbieten zu können
- ansprechende Form
- Dimmbarkeit über bereits existierende Systeme
- aufgrund der vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten von LEDs, wurden neben dem klassischen Glühbirnenersatz auch andere Gestaltungsformen (Halogenlampen mit Reflektor, Down-Lights bzw. Spot-Lights, die sich nicht notwendigerweise an standardisierten Lampen-Formen orientieren) mit LEDs erprobt.

Im Rahmen der LED-Bulb Kooperation wurden somit neue, extrem langlebige Lampen entwickelt, die über hocheffiziente Netzspannungswandler bei kleinster Kubatur und über verlustarme LED-Treiber mit neuen Regelalgorithmen zur Einstellung der Farbtemperatur und Stabilisierung des Lichtstroms verfügen. Weitere Herausforderungen lagen in der attraktiven Formgebung sowie der Lichtverteilung bei gleichzeitiger Lösung des Wärmehaushaltes aller Systemkomponenten. In diesem Zusammenhang sind unter anderem das Thermomanagement, die neue Mechanik, die LED-Optik und die Leistungselektronik jene Forschungsgebiete mit hohem Innovationsgehalt.

Folgende Abbildung (Abbildung 1) illustriert die Bestandteile einer LED-Lampe.

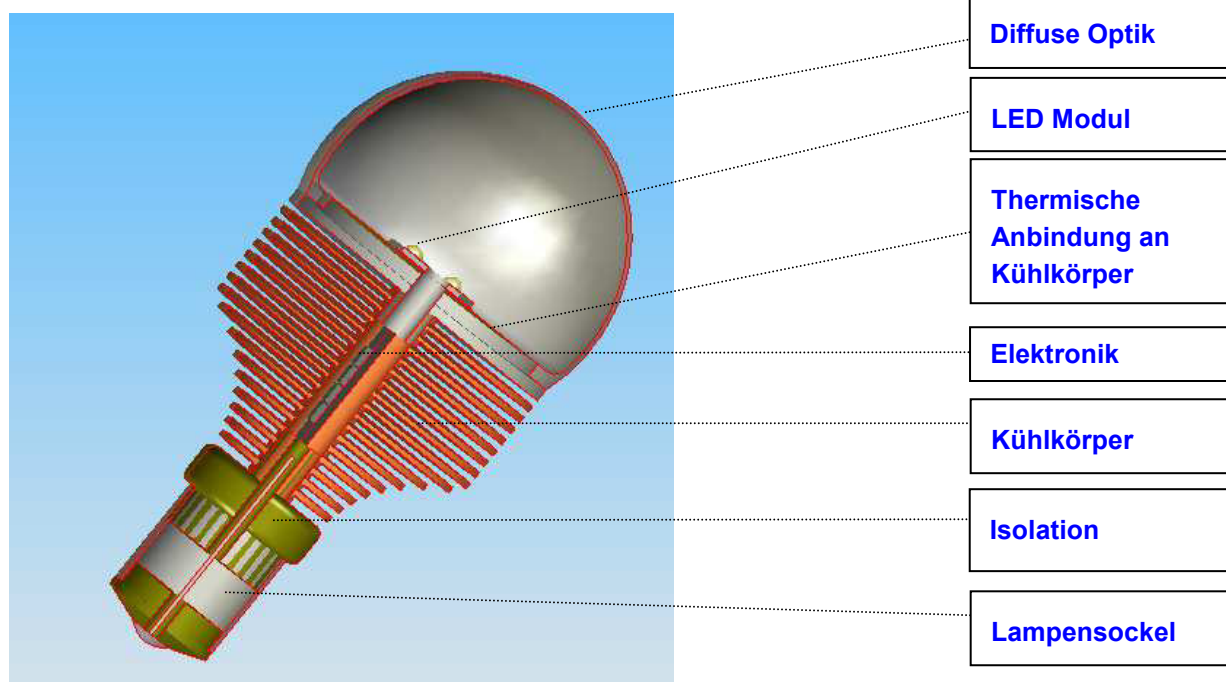


Abbildung 1: Schema einer LED Lampe mit E27-Gewinde

3.3 Methodik der Arbeit

Um diese anspruchsvollen Ziele erreichen zu können, waren viele innovative Ansätze notwendig. So ist die gesamte Systemeffizienz ein Produkt vieler einzelner Beiträge, welche bei der Wandlerelektronik beginnen, und über die LED-Treiber, die eingesetzten Materialien, Farbkonversionsschichten, LED-Chips, Verbindungstechniken bis hin zur Optik und Abstrahlgeometrie reichen. Daraus ergeben sich kurz umrissen auch die wesentlichen Aufgaben, die es in diesem Projekt zu lösen galt:

- hocheffiziente Spannungswandlung auf kleinstem Raum (LEDs arbeiten mit einer sehr niedrigen Betriebsspannung, welche aus der Netzspannung erzeugt werden muss)
- Farbtemperatureinstellung der LEDs mit möglichst geringem Effizienzverlust (prinzipiell gilt: je höher die Farbtemperatur, desto höher ist die erreichbare Effizienz)
- Bereitstellung und spätere Integration von Sensorik für Farbtemperatur und Lichtintensität
- verlustarmer LED-Treiber mit neuartigen Regelungsalgorithmen für die Sensorinformationen
- Lösung der Wärmebilanz für alle Komponenten sowie optisch ansprechende Entwärmung (da nur Konvektion möglich ist, sind große Oberflächen notwendig)
- Lösen der Lebensdauerproblematik (Verbindungstechnik, Elektrolytkondensator etc.)

Um der Energiesparlampe zum Durchbruch zu verhelfen, muss dieses Forschungsprojekt alle Mängel adressieren, welche die bisherige Verbreitung im Wohnbereich verhindert haben! Die Zieleigenschaften sind - wie bereits im Kapitel 2.1. erwähnt - folgende:

- höchste Energieeffizienz (>85 lm/W für das Gesamtsystem anstatt der aktuellen 38 lm/W)
- konstante angenehme Farbtemperatur (sense & control)
- konstante Lichtintensität sowohl kurzfristig (gleich nach dem Einschalten) als auch langfristig (über die gesamte Lebensdauer) (sense & control)

- extrem lange Lebensdauer (ca. 50000h bzw. 20 Jahre), um minimale Beleuchtungskosten/Jahr zu erreichen und um so die Akzeptanz im Wohnbereich zu verstärken.
- optimale Bill of Materials (BoM), um einen attraktiven Marktpreis anbieten zu können (Vergleich mit einer CFL: bei 6-facher Lebensdauer und doppelter Effizienz soll der Preis max. das 2-fache der CFL betragen)
- ansprechende Form bzw. auch andere innovative Lichtlösungen (wie etwa eine individuelle Einstellbarkeit der Farbtemperatur durch den Kunden)

Letztlich sollen ein Netzteil, Treiber-ICs, die additiv notwendige Intelligenz sowie die Sensorik und die Lichtquelle im Sockel der Lampe untergebracht werden.

3.4 Aufbau der Arbeit

Die Projektstruktur zur Realisierung der Projektziele war in sieben technische Arbeitspakete und einem Arbeitspaket für ‚Projektmanagement‘ unterteilt:

- AP1 Requirement Specification / Technische Spezifikation und Anforderungsdefinition,
- AP2 Architectural Design / Wärmemanagement und mechanisch-optisches Design,
- AP3 Optical Design / Lichtverteilung,
- AP4 AC/DC-Konverter,
- AP5 Intelligenter LED-Treiber,
- AP6 Intelligent Packaging,
- AP7 Verifikation des Prototypen / Verifikation von Algorithmen und Funktionsmustern und
- AP8 Projektmanagement.

Das gesamte Projekt ist in zwei ineinandergreifenden Subprojekte unterteilt. Das erste Subprojekt ist die ‚Industrielle Forschung‘ mit Forschungsschwerpunkt exemplarische Untersuchungen im Labor, die Erstellung von Testchips sowie die Auswertung der gewonnenen Ergebnisse. Das zweite Subprojekt ist die ‚Experimentelle Entwicklung‘ mit Forschungsschwerpunkt Entwicklung des 2. Testchips bzw. des Produktchips.

3.5 Einordnung in das Programm

Das Projekt „Future LED-Bulb“ leistete einen wesentlichen Beitrag zu folgenden grundlegenden Ausrichtungen des Programmes ENERGIE DER ZUKUNFT

- **Effizienter Energieeinsatz**

Der Projektbeitrag zum **Effizienten Energieeinsatz** lässt sich durch Rechenbeispiele anschaulich belegen. Je nach Betrachtungsweise werden dabei unterschiedliche Effizienzsteigerungen prognostiziert. So wird in Österreich (www.help.orf.at) davon ausgegangen, dass mit der gegebenen Anzahl von etwa 3,5 Mio. Haushalten bei einer Durchschnittsleuchtkraft von 300 Watt pro Haushalt 1000 Megawatt für die Beleuchtung ausgegeben werden. Durch den Einsatz von Energiesparlampen würde dieser Energiebedarf auf ein Fünftel reduziert – also etwa 200 Megawatt. Dies würde umgerechnet die Einsparung von vier Donaukraftwerken bedeuten. Eine vorsichtigeren Berechnung aus der *fee-energie* Broschüre geht von einer Ersparnis von 1,9 Mrd. kWh pro Jahr aus – was ungefähr der Kapazität von zwei mittleren Donaukraftwerken entspricht. Hier wird konservativ mit

einem Faktor 4 in der Effizienzverbesserung zur Glühbirne gerechnet. Mit dem Projekt wurde in der Endstufe eine Verbesserung des Energieeinsatzes um einen Faktor größer 10 angestrebt.

- **Intelligente Energiesysteme**

Das Projekt verfolgte einen höchst innovativen und offenen Forschungsansatz, in dem Features entwickelt wurden, die auch in **intelligente nachhaltige Energiesysteme** integriert werden können. Als Schlagwort nennen wir dazu „Daylight Dimming“. In diesem Konzept wird durch High-tech-Sensortechnik der Lichtbedarf anhand des vorhandenen Tageslichtes berechnet und der Bedarf an zusätzliche Beleuchtung exakt gesteuert. Studien gehen von einem Einsparungspotenzial bis zu 60% aus; zusätzlich werden Spitzen im Energieverbrauch abgeflacht. Die im Rahmen des Projektes entwickelten neuen Leuchtmittel werden in Zukunft durch die einzeln ansteuerbaren LED-Lampen dieses Konzept unterstützen.

- **Sicherung des Wirtschaftsstandortes**

Die Beteiligung von zwei Großunternehmen an der Entwicklung des Produktes, das für den weltweiten Massenmarkt bestimmt ist, entspricht direkt der Anforderung, den **Wirtschaftsstandort Österreich** zu sichern. Sowohl Infineon als auch Tridonic.Atco Optoelectronics zeichnen sich durch massive Forschungsanstrengungen aus, die bereits in der Vergangenheit zu großen Erfolgen beigetragen haben. Die Unternehmen konzentrieren sich sowohl auf Forschungsaktivitäten als auch auf die direkte Umsetzung der Ergebnisse in den angeschlossenen Produktionsstätten. Damit werden Arbeitsplätze gesichert und der Standort Österreich mit Vorteilen ausgestattet.

- **Erhöhung der F&E-Qualität**

Alleine die Tatsache, dass sich zwei in Österreich ansässige Großunternehmen dazu entschlossen haben, miteinander zu forschen und Entwicklungen voranzutreiben, wird die **F&E Qualität** durch Synergieeffekte (durch das größere gemeinsame Wissenspotenzial) erhöhen. Beide Unternehmen sind Spezialisten auf dem jeweiligen Gebiet und werden durch die enge Zusammenarbeit gemeinsame Potenziale nutzen.

- **Reduktion des CO₂ Ausstoßes**

Durch den vieldiskutierten Klimawandel bekommt der Faktor **Reduktion des CO₂ Ausstoßes** von Energieverbrauchern eine immer größer werdende Bedeutung. Studien zufolge gäbe es für Europa ein CO₂-Verminderungspotenzial von etwa 25 Mio. Tonnen pro Jahr, wenn in Haushalten und im Dienstleistungssektor von herkömmlichen Glühbirnen auf Energiesparlampen umgestellt werden würde (weltonline vom 25. Februar 2007).

4. Inhaltliche Darstellung

4.1 AP1 – Requirement Specification / Technische Spezifikation und Anforderungsdefinition:

Das Arbeitspaket 1 zielte darauf ab, die Anforderungen des Marktes an das Produkt genau zu identifizieren, um auf dieser Basis Standards und Regeln festzulegen, welche in technische Spezifikationen transformiert werden, an denen der Entwicklungsprozess gemessen und entsprechend gelenkt werden kann. Dabei galt es, sowohl die Anforderungen und Spezifikationen an das Gesamtsystem als auch seine Komponenten (Funktionsmodelle, integrierte Bausteine, Komponenten) eindeutig zu definieren. Zusätzlich zu den definierten Regeln wurden die Ergebnisse der Usability-Studie aus dem AP2 herangezogen, um die Benutzer- und daraus abgeleitet die formalen technischen Anforderungen festzulegen.

4.2 AP2 – Architectural Design / Wärmemanagement und mechanisch-optisches Design:

Dieses Arbeitspaket zielte darauf ab, innovative Kühlungen für die Ableitung der Wärme zu konzeptionieren, hierfür optimierte Materialien zu finden sowie eine umfassende Machbarkeitsstudie durchzuführen, um die konkreten Benutzeranforderungen zu erheben und entsprechend umsetzen zu können.

4.3 AP3 – Optical Design / Lichtverteilung:

Das Ziel dieses Arbeitspaketes war es, innerhalb des Projektzeitraumes die Verteilung und die Typen der LEDs zu optimieren, um so gut wie möglich an die Spektraleigenschaften und Strahlungscharakteristika von herkömmlichen Glühbirnen heranzukommen. Die Schritte zur Optimierung beinhalteten:

- die Auswahl verschiedener Typen von LED Chips, um bei der Lichtumwandlung eine höchstmögliche Effizienz und ein gutes Wärmemanagement zu erreichen
- die Auswahl derjenigen Technologie, die für die Applikation am besten geeignet erschien (die Chips werden entweder direkt auf der Platine angebracht oder aber es wird eine eigene Einheit verwendet)
- die Auswahl geeigneten Phosphor (Material für die Lichtumwandlung), welches im Hinblick auf die Temperatur, Lebensdauer und Umgebungsbedingungen das höchste Maß an Effizienz und Stabilität aufweist
- Finden der optimalen Kombination von Phosphor und der LED-Wellenlänge für die bestmöglichen Farbwiedergabeeigenschaften und die höchstmögliche Leuchtkraft
- Erforschung der Eigenschaften der Farbmischung auf optischer Seite

Es wurden umfangreiche Studien durchgeführt, um die vorhandenen Chips der verschiedenen Anbieter im Hinblick auf die diversen Wellenlängen zu messen. Dabei wurden auch die Intensitätsfunktionen in Abhängigkeit von der Temperatur herangezogen, um den Chip mit höchster Leuchtkraft bei gewünschten Wellenlängen und Arbeitsbedingungen zu wählen. In Übereinstimmung mit den Angaben der Hersteller wurden neu entwickelte 1mm² Chips (blaue EZ1000-gen. 2 von Cree, und rote SMSOPN42B von Epistar) vermessen, um die höchste Leistung von blauen und roten Wellenlängen zu erhalten.

Die thermischen Eigenschaften der Chip-on-Board(COB)-Technologie, welche in Arbeitspaket 2 behandelt wurde, erwies sich für „High Lumen“-Paketanwendungen am besten geeignet. Eine Siliconhülle (Globtop) war im Hinblick auf die Lichtkonvertierung, bei der keine bildgebende Optik benötigt wird, die bevorzugte Technik. Diese Technik erlaubt bei verschiedenen Chips ein

gewöhnliches Pottingverfahren; dadurch wird das Mischen von Licht bereits in einem primären optischen Element gewährleistet.

Es wurden an den Modulen Alterungs- und beschleunigte Lebensdauer-Tests (Accelerated Life Tests) (AP7) durchgeführt, um die bereits bestehenden LED Phosphore (Anregung bei 430-460nm) zu untersuchen. Demzufolge zeigten die Phosphore vom Typ YAG (Yttrium-Aluminium-Granat) und der Nitrid-Phosphor bei hohen Lichtströmen und Temperaturen eine adäquate Stabilität. Um den erwünschten Farbpunkt und die optimale Farbwiedergabe zu erreichen, wurden die Phosphore und darauf abgestimmt die LED Typen entsprechend ihrer dominanten Wellenlängen selektiert. Als Endergebnis der Optimierung konnten zwei Architekturen verglichen werden:

Volle Phosphor Umwandlung (gelb-grünes YAG + rotes Nitrid):

CRI: 92
CCT: 3000K
Effizienz: 50 lm/W

Phosphor Umwandlung (gelb-grünes YAG) + roter Chip:

CRI: 94
CCT: 3000K
Effizienz: 83 lm/W

4.4 AP4 – AC/DC-Konverter:

LEDs brauchen Gleichstrom (1 LED braucht ca. 3 V Gleichstrom). Versorgt wird eine LED-Bulb mit 230V Wechselstrom. Aufgabe des AP4 war es daher eine Topologie und Halbleiter-ICs (integrated circuits) für ein hocheffizientes, hochintegriertes, aber trotzdem kostengünstiges Netzteil bereit zu stellen.

4.5 AP5 – Intelligenter LED-Treiber:

Die LEDs benötigen spezialisierte Treiberschaltungen für einen stabilen Langzeitbetrieb. Ebenso war in diesem Arbeitspaket gefordert, dass der LED Glühbirnenersatz mit handelsüblichen Dimmern kompatibel sein soll. Das Effizienzziel für die Elektronik aus AP4 und AP5 liegt bei > 90%. Das stellte unter der Vorgabe einer günstigen Bill-of Materials (Summe der Materialkosten) eine Herausforderung dar.

4.6 AP6 – Intelligent Packaging:

Im Rahmen dieses Arbeitspakets wurden die Möglichkeiten für die Miniaturisierung durch Anwendung des Konzepts der „Intelligenten Verpackung“ ausgelotet. In diesem AP sollte die Integration von AC/DC, Treiber und Sensoren durch eine Kombination von einer System-on-Chip (SoC) mit einer System-in-Package Lösung extrem vorangetrieben werden. Nach der Kostenanalyse wurde deutlich, dass die Zielkosten mit diesem Konzept nicht erreichbar waren. Daher wurde im weiteren Projektverlauf die höchst-integrierte Lösung verworfen und die Aufgaben auf einzelne Module aufgeteilt.

4.7 AP7 – Verifikation des Prototypen / Verifikation von Algorithmen und Funktionsmustern:

Das Ziel der Untersuchungen im Rahmen des Arbeitspakets 7 war es, eine Reihe von Tests festzulegen, welche die folgenden Funktionen einer LED Lampe sicherstellen:

- hohe Zuverlässigkeit,
- hohe Effizienz und
- ein hoher Farbwiedergabeindex.

4.8 AP8 – Projektmanagement:

Die Ziele des Arbeitspakets ‚Projektmanagement‘ lagen insbesondere in

- der Sicherstellung der Erreichung der technisch-wissenschaftlichen Projektziele,
- der Überwachung des gesamten Projektverlaufs und des Ressourceneinsatzes,
- dem proaktiven Risikomanagement und
- der termingerechten Berichterstattung zum Fördergeber.

Weiters wurde in diesem Arbeitspaket die Verbreitung der Projektergebnisse (Dissemination) angestrebt sowie die Überwachung der Schutzstrategie von Interesse der Projektpartner.

5. Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Das Projekt „LED-Bulb“ trägt langfristig gesehen zur Senkung des Energieverbrauches im Beleuchtungssektor bei, welcher weltweit alleine 15% des elektrischen Energieaufkommens verschlingt. Konventionelle Glühbirnen sollen dabei durch neue energieeffiziente LED-Technologien bei höchsten Komfortansprüchen ersetzt werden.

Das Projekt konnte die zahlreichen Defizite heutiger Energiesparlampen, wie unangenehme Farbtemperaturen, lange Anlaufzeiten bis zum Erreichen der vollen Helligkeit, beschränkte Lichtströme und eine grobe Formgebung der Lampe sowie die Steuer- und Regelbarkeit weitgehend verbessern.

Im Rahmen der geplanten F&E-Kooperation wurden neue, extrem langlebige Lampen mit hocheffizienten Netzspannungswandlern bei kleinster Kubatur und mit verlustarmen LED-Treibern und effizienten Regelungsmethoden zur Einstellung der Farbtemperatur und Stabilisierung des Lichtstroms entwickelt. Attraktive Formgebung und Lichtverteilung bei gleichzeitiger Lösung des Wärmehaushaltes aller Systemkomponenten stellten weitere Herausforderungen dar.

Die erzielten Ergebnisse sind ausgezeichnet. So konnten beim ersten Demonstrator alle Zielparameter erreicht werden. Sowohl der Lichtstrom der „LED-Bulb“ als auch die Effizienz des neuartigen Schaltungskonzepts gehören zur internationalen Spitze. Allerdings zeigten sich auch die Grenzen des Thermomanagements. So war es notwendig für den zweiten Demonstrator eine extrem leise aktive Kühlung einzusetzen um einen kompakten Glühbirnenersatz mit mehr als 1000 Lumen (entspricht ca. dem Lichtstrom einer 75W Glühbirne) auf LED-Basis zu ermöglichen. Mit dieser Technik werden dann aber auch mit LEDs 2000 Lumen und mehr in kleinen Bauformen thermisch beherrschbar sein.

5.1 AP1 – Requirement Specification / Technische Spezifikation und Anforderungsdefinition:

Unter Einbeziehung zahlreicher Quellen, wie der Usability-Studie (durch die Karmasin-Motivforschung) aus AP2 und im Entwurfsstadium befindlicher Normen, wurde eine sorgfältige und durchgängige Prototypenspezifikation ausgearbeitet. Die Studie zu den im Entwurfsstadium befindlichen Normen brachte genaue Informationen über Standards und Normen, sondern auch über die verschiedenen neuen Vorlagen für Gesetzesentwürfe. Um die optischen Eigenschaften, Sicherheitsbestimmungen sowie Größen festzulegen, wurden darüber hinaus zusätzlich Dokumente über Glühlampen und Kompaktleuchtstofflampen herangezogen. Für die mit Netzspannung betriebenen Geräte wurde eine große Produkt-Familie entwickelt, um Aspekte wie Sicherheit, Lärm, Strahlung und andere Eigenschaften abzudecken. Durch die Analyse der Ergebnisse der Usability-Studie wurden die Benutzeranforderungen abgeleitet bzw. festgelegt, um die Vorschriften der entsprechend anzuwendenden Standards zu erfüllen. Die Studie ermöglichte die Ermittlung und Messung der tatsächlichen Bedürfnisse der Endnutzer, welche mithilfe von technischen Experten in Spezifikationen umgesetzt wurden. In einem zweiten Schritt wurden die technischen Spezifikationen ausgearbeitet. Dies erfolge zunächst für den Prototype 1 und in weiterer Folge für die endgültige Zielspezifikationen. Um die Zielspezifikationen zu erreichen, war ein innovatives Design sowie die Optimierung und Feinabstimmung von allen integrierten Bauteilen erforderlich.

Die tatsächlichen Ergebnisse sind meist besser ausgefallen als jene von uns erwarteten relativ optimistischen Zahlen der ursprünglichen Spezifikation. Alle von uns als Ziel gesetzten Eigenschaften wurden erfüllt und zum Teil sogar noch übertroffen. Im ursprünglichen Projektantrag war die Möglichkeit der aktiven Kühlung noch nicht berücksichtigt worden, allerdings, wenn Lebensdauer/Qualität der Farbwiedergabe/Lichtverteilung/Größe stabil bleiben sollen, können mit passiver Kühlung unter Anbetracht typischer Ströme und vernünftiger Herstellkosten maximal 840lm erreicht werden. Auf dem Weg zu 1000lm wurde eine hoch zuverlässige aktive Kühlung gewählt um

letztendlich Leuchtkörper mit 1200 und 1700lm zu erhalten.

5.2 AP2 – Architectural Design / Wärmemanagement und mechanisch-optisches Design:

Normale Glühlampen wandeln elektrische Energie hauptsächlich in Infrarotstrahlung und Wärme um - nur 2% der Energie werden in sichtbares Licht umgewandelt. Im Fall von LED-Lampen liegt dieser Wert zwar bei ca. 20%, jedoch wird die Hitze nicht wie bei Glühlampen in Form von IR (Infrarotstrahlung) an die Umgebung abgestrahlt, weshalb auch bei LEDs 80% der Energie verschwendet wird. Insbesondere im Falle von leistungsfähigeren Lampen (40-60 Watt Glühlampen) ist eine sorgfältige Optimierung von mechanischen, elektrischen und optischen Elementen notwendig, um den Normen für gleichwertige Glühlampen mit der Größe (IEC 60630:A55-A60) zu entsprechen und um die Anforderungen, welche in AP1 definiert wurden zu erfüllen.

Die Entwicklungstätigkeiten im Rahmen des AP2 bestanden zu Projektbeginn insbesondere darin Simulationen durchzuführen um die direkte Wärmeübertragung zu optimieren. Hierfür wurde die FEM (Finite Elemente Methode) Software verwendet, um die Umgebung der Wärmequelle abzubilden. Der Fokus lag dabei auf den LED-Modulen sowie der Anschlusstechnik. Auf diese Weise sollte die Konstruktion des Wärmeableiters an eine spezielle Art des Wärmetransfers im Rahmen der natürlichen Konvektion angepasst werden, welche sich durch Robustheit, Beständigkeit und Sicherheit auszeichnet.

Ein Ergebnis dieser Forschungsbemühungen stellte die Konstruktion eines Chip-on-Board(COB)-Moduls dar, bei dem der LED-Chip bereits sehr gute Lichtmischungseigenschaften realisiert und der Wärmetransport dem State-of-the-Art entspricht, während eine dem Standard entsprechende Hochspannungsisolation realisiert wird. Wie die Simulation zeigt, dehnt sich die Hitze (generiert durch den LED-Chip) auf die großen Kupfer-Platinen aus, wodurch eine gute Wärmeableitung auf einer temperatur- (und elektrisch) isolierenden nicht-leitenden Schicht realisiert werden konnte.

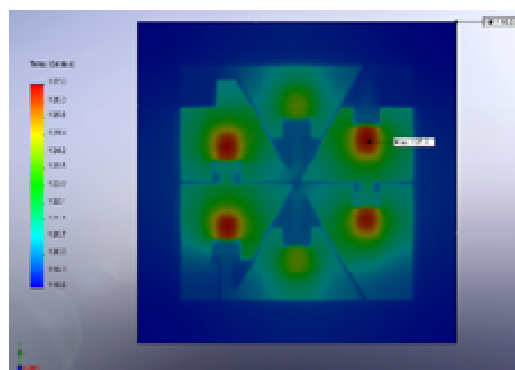


Abbildung 2: Wärmeableitung des COB-Moduls

Um näher an der ursprünglichen Form und dem Design einer Glühlampe zu bleiben, wurden anspruchsvollere Kühlkörperdesigns entwickelt und modelliert. Um ein solches Design zu modellieren, mussten sehr genaue Simulationen durchgeführt werden. Einige Designs wurden entwickelt, die sich auf zufriedenstellende Konvektionsparameter, das Design selbst und die Herstellbarkeit konzentrierten. Das entwickelte Kühlkörperkonzept wurde in ein am Markt erhältliches LED-Produkt eingesetzt, welches neben dem Lichtstromäquivalent einer 60 Watt Glühlampe, einen CRI von 90 und eine Systemeffizienz von 60 lm/W aufwies und erzielte damit den Vorarlberger Innovationspreis.

Die erste 1700lm LED-Bulb in A-Formgebung mit aktiver Kühlung über die berichtet wurde, war unser Demonstrator 2: LEDs Professional Review 24.

Außerdem galt es eine adäquate Lichtverteilung, Produzierbarkeit und ein konkurrenzfähiges Design zu gewährleisten. Die Anwendungsstudie hat gezeigt, dass nachrüstbare Lampen auch durch nachrüstbare Techniken gesteuert werden sollen. Kurz gesagt, die nachrüstbaren Birnen sollten in das bereits bestehende Umfeld passen. Die Größe sollte passen und auch sonst sollte sie Glühlampen in jeder Art und Weise ersetzen, wobei die höchst mögliche Leuchtstärke bieten. Aus diesem Grund stellte die größte Herausforderung die Kompatibilität der elektronischen Schaltung mit den am Markt erhältlichen Dimmern und die Ermöglichung eines ähnlichen Verhalten wie herkömmliche Birnen: siehe AP5.

Ein erster Konzeptentwurf, begleitet durch zwei Patentanmeldungen, zielt ab auf eine möglichst kleine Bauform bei gleichzeitiger Minimierung der Arbeitstemperatur und einer an die Glühbirne angelehntes Erscheinungsbild.

Dies wurde durch eine interdisziplinäre Zusammenarbeit von Experten in Elektronik, Optik, LED-Technologie, industrielles Design und Fluid-dynamik-Simulation erreicht. Wir nähern uns damit dem "sweet spot" an, indem wir die Möglichkeiten der Chip-on-Board-Technologie, und der Wärmetransporteigenschaften unter Eliminierung von Flaschenhälsen und Berücksichtigung der Anforderungen der Massenfertigung optimieren.



Abbildung 3: Prototyp einer 40W entsprechenden LED-Lampe

Endergebnis unserer Entwicklung stellt eine aktiv gekühlte LED-Bulb dar, die wir ursprünglich in dieser Form nicht geplant hatten, jedoch uns von der Jury auf Basis des Zwischenberichts nahegelegt wurde.

Eine besondere Hausforderung war die Einhaltung der standardisierten Grenzmaße. Die Form einer Glühbirne ist derart ausgelegt, dass der Wärmeverlust minimiert wird, und der Glasdom leicht herstellbar ist. In der LED Bulb wollten wir gerne so viel Wärme wie möglich ableiten. Detaillierte Optimierungen der Einzelteile im mm Bereich, sowie neue Lösungsansätze waren nötig um die Ziele bezüglich Form, Kühlungseffizienz, Produzierbarkeit, Preis und Eigenschaften zu erreichen.

5.3 AP3 – Optical Design / Lichtverteilung:

Das Ziel dieses Arbeitspaketes war es, innerhalb des Projektzeitraumes die Verteilung und die Typen der LEDs zu optimieren, um so gut wie möglich an die Spektraleigenschaften und Strahlungscharakteristika von herkömmlichen Glühbirnen heranzukommen. Es wurden umfangreiche Studien durchgeführt, um die vorhandenen Chips der verschiedenen Anbieter im Hinblick auf die diversen Wellenlängen zu messen. Dabei wurden auch die Intensitätsfunktionen in Abhängigkeit von der Temperatur herangezogen, um den Chip mit höchster Leuchtkraft bei gewünschten Wellenlängen und Arbeitsbedingungen zu wählen. In Übereinstimmung mit den Angaben der Hersteller wurden neu entwickelte 1mm² Chips (blaue EZ1000-gen. 2 von Cree, und rote SMSOPN42B von Epistar) vermessen, um die höchste Leistung von blauen und roten Wellenlängen zu erhalten.

Die thermischen Eigenschaften der Chip-on-Board(COB)-Technologie erwies sich für „High Lumen“-Paketanwendungen am besten geeignet. Eine Siliconhülle (Globtop) war im Hinblick auf die Lichtkonvertierung, bei der keine bildgebende Optik benötigt wird, die bevorzugte Technik. Diese Technik erlaubt bei verschiedenen Chips ein gewöhnliches Pottingverfahren; dadurch wird das Mischen von Licht bereits in einem primären optischen Element gewährleistet.

Es wurden an den Modulen Alterungs- und beschleunigte Lebensdauer-Tests (Accelerated Life Tests) (AP7) durchgeführt, um die bereits bestehenden LED Phosphore (Anregung bei 430-460nm) zu untersuchen. Als Endergebnis der Optimierung konnten zwei Architekturen verglichen werden:

Volle Phosphor Umwandlung (gelb-grünes YAG + rotes Nitrid):

CRI: 92
CCT: 3000K
Effizienz: 50 lm/W

Phosphor Umwandlung (gelb-grünes YAG) + roter Chip:

CRI: 94
CCT: 3000K
Effizienz: 83 lm/W

Die Farbmischung kann durch die sekundäre Optik (ein diffusives Material an der Glühbirnenkuppel, welches zusätzlich auch für die Verbreitung des Lichts gebraucht wird) erfolgen; je höher aber die Streuung in der Diffusionsschicht ist, desto größer ist auch die Menge des absorbierten Lichts. Eine mögliche Lösung für dieses Problem ist es, das rote, das grüne und das blaue Licht in der primären optischen Ebene zu vermischen, wobei das Lichtstreuemittel zur Verbreiterung der Abstrahlung für das rote Licht dient. In einem Experiment wurden mehrere Beispiele mit einem gewöhnlichen Globetop vorbereitet; als Referenz dienten zwei auf der selben Plattform verteilte Micro-Globetops sowie ein transparentes Potting für den roten Chip.

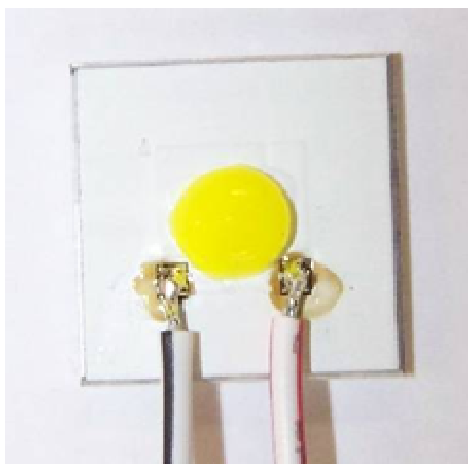


Abbildung 4: Gewöhnlicher Globetop

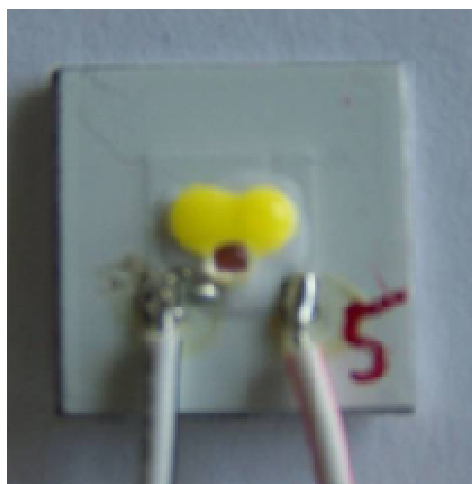


Abbildung 5: Geteilte Globetops

Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass die kleinste Absorption durch die sogenannte „damm and fill“ Methode (Abbildung unten) mit einheitlicher Dicke des Farbkonversionslayers und genau definierter Höhe der Beschichtung erzielt werden konnte. Die größte Farbmischung wurde durch den kleinsten Abstand zwischen den Frabchips festgestellt, wobei die Absorption von blauem Licht im roten Chip und umgekehrt zu großen Verlusten führte. Durch die Anpassung des Abstands zwischen den Chips (Abbildung unten) konnte ein bestmögliches Verhältnis zwischen Farbmischung und Absorption gefunden werden. Schlussendlich konnte eine Reduktion des Lichtstromes von 8% in der Damm & Fill – Methode im Vergleich zur Silikonhalbkugel festgestellt werden, mit dem Vorteil, dass auf jegliche Sekundäroptik verzichtet werden konnte. Die Reduktion des Lichtstromes um 8% entspricht dem typischen Wert der Verluste einer Sekundäroptik, welche die gleiche Farbmischungsqualität aufweisen soll.



Abbildung 6: Aufgetragener Leuchtstoff

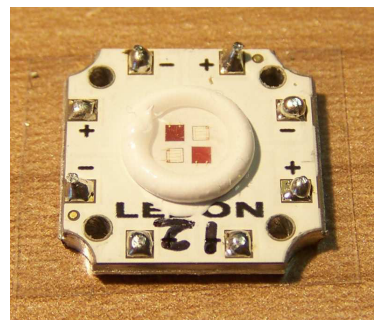


Abbildung 7: Transparente Silikonabdeckung

Das Farbkonvertierungssystem musste in Anbetracht der Grenzbedingungen angepasst werden, um Verluste wie Konvertierungsverluste, thermische Verluste, Erhalt des Lichtstroms und sichtbare Verluste zu reduzieren. Eine externe Firma wurde beauftragt durch reale Anwendungen die oben angeführten rot+weiß Module im Vergleich zu einer herkömmlichen Glühlampe (Referenz), einer Energieparlampe (Kompakt-Fluoreszenz-Lampe, CFL), und eine Lampe der Konkurrenz (rein auf Phosphor-Konversion basierend) zu untersuchen. Drei Arten von Wahrnehmungstests wurden durchgeführt: eine absolute Vermessung der Farbeindrücke, paarweiser Vergleich und ein Farbtreue-Test. Die Experimente haben gezeigt, dass natürliche Personen und Experten Farbverzerrungen völlig unterschiedlich beurteilen, jedoch in allen drei Experimenten die rot-weiße LED-Lampe sich als sehr guter Ersatz einer herkömmlichen Lichtquelle (Glühlampe) erwies und besser als vergleichbare LED Lichtquellen funktioniert.

Die entwickelte LED Technologie lässt nun die Darstellung von Licht ähnlich der Farbtemperatur einer Glühbirne bei hervorragender Farbwiedergabe und gleichzeitig hoher Effizienz (dies war bisher in der LED-Technologie eher ein Widerspruch) und hoher Langzeitstabilität zu.

Die Verwendung von roten Chips anstelle von rotem Phosphor brachte einen erheblichen Vorteil mit sich, der sich in Form einer hohen Leuchtkraft und einer sehr hohen Farbwiedergabequalität äußerte. Die Herausforderung bei einem gemischten System (grünlich-weiß + rot) liegt zum einen darin, beim Mischen der Farben ein gleichmäßiges Licht zu erhalten. Weiters liegt die Herausforderung in der Farbabweichung während der Aufwärmphase infolge der unterschiedlichen Reaktionen der Chips auf die Temperatur. Mögliche Lösungen werden jedoch bereits entwickelt, um diesen ungewünschten Eigenschaften entgegenzuwirken.

Die Farbmischung kann sowohl durch eine sekundäre Optik (diffuses Material an der Glaskuppel der Lampe, welches auch für die Lichtverteilung benötigt wird), als auch durch eine primäre Optik (Globtop) erfolgen. Verschiedene Experimente wurden durchgeführt, um die Phosphorteilchen für das Mischen des roten Lichtes mit dem abgestrahlten gelb-grünen Licht zu optimieren, indem ein gebräuchlicher Globtop auf einem rot-blauen Chip verwendet wird.

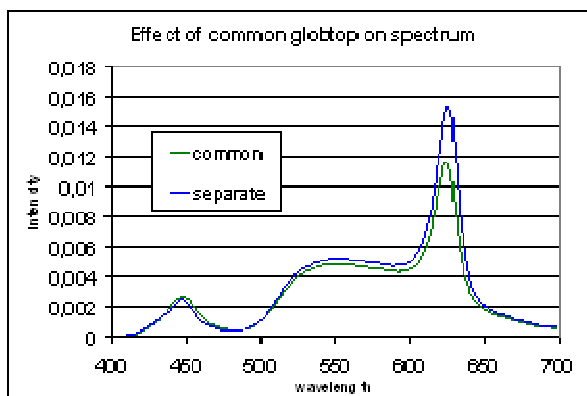


Abbildung 8: Effekt eines gewöhnlichen Globetop auf das Spektrum

Obwohl die Absorption des roten Lichtes des YAG Phosphor sehr gering ist, stellte sich die Streuwirkung als nicht optimal heraus, da bei diesem Aufbau ein ca. 20%iger Verlust von rotem Licht gemessen wurde. Verglichen mit dem gesamt kalkulierten 3%igen Verlust an der Glaskuppel (verursacht durch die Streuung) musste ein separates Potting der einzelnen Chips verwendet werden.

Die Schlüsselfaktoren für eine hohe System-Effizienz der Umwandlung von elektrischer in optischer Energie des LED Chips liegen im Design der Bulb, dem Temperaturmanagement und dem Wärmeverlust. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich die Effizienz der Leistungsumwandlung bei monochromatischen Farben im Bereich von 50-60% bei Betrieb mit Nennstrom befindet. Mit der Verbesserung der Chips (vor allem Strom- und Temperaturdrop) konnte ein Wert von 80% erreicht werden. Die thermischen Verluste konnten um den Faktor 2 reduziert und doppelt so hohe Lichtströme bei gleichbleibender Form erreicht werden.

Die herausragende Lichtwirkung wurde von international anerkannten Experten in einer Studie im Vergleich zu Glühbirnen, Energiesparlampen und am Markt erhältlichen LED-Lampen bestätigt.

5.4 AP4 – AC/DC-Konverter:

Da sich der Markt für LED Bulbs mehrschichtig entwickeln wird, wurden die Anforderungen an die LED-Stromversorgung im Rahmen der Systembetrachtung für mehrere Feature Varianten definiert und für alle Varianten parallel erarbeitet. Diese sind:

- Non Dimming
- Dimming
- Advanced

Ebenso wurden bereits auch die geometrischen Abmessungen diskutiert. Daraus resultierte die Herleitung der Treiber Abmessungen aus den Vorgaben des LED Bulb Innenraumes.

Zur treffsicheren Definition der LED Bulb Systemanforderungen wurde Karmasin Motivforschung mit der Durchführung einer Anwendungsstudie beauftragt. Die dort als relevant eingestuft Funktionen wurden zur optimalen Topologieauswahl für den LED Treiber inklusive AC/DC Teil herangezogen. Die Topologieauswahl wurde in zwei Stufen durchgeführt. In der 1. Stufe wurden unter Betrachtung der abgeleiteten Requirements die 3 aussichtsreichsten Topologien vorausgewählt, die in der 2. Stufe aufgebaut und vermessen wurden, um die technische Eignung experimentell zu verifizieren. Abbildung 9 zeigt die Blöcke einer vollständigen LED Ansteuerschaltung.

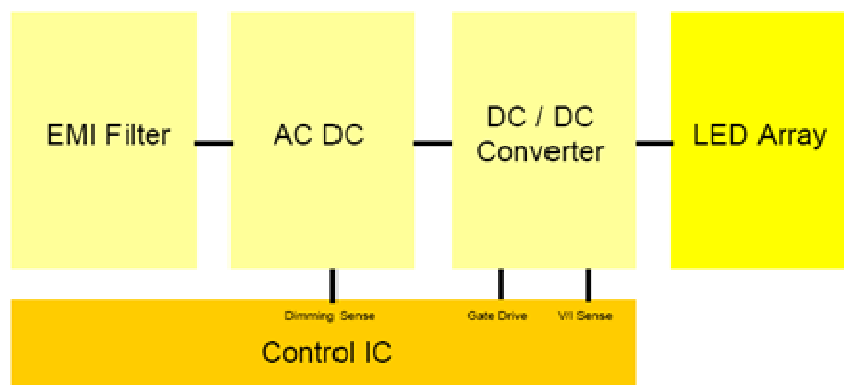


Abbildung 9: Funktionsblöcke einer vollständigen LED Ansteuerschaltung

Die 3 in Stufe 1 ausgewählten Schaltungs-Topologien, die in Stufe 2 eingehend analysiert wurden, sind:

- a) Nicht isolierter Abwärtswandler (Buck Converter)
- b) Isolierter LLC Wandler (Abbildung 10)
- c) Isolierter Sperrwandler (Flyback Converter)

In Stufe 2 wurde zu jeder Topologie ein flächenmäßig großzügiger Platinaufbau (damit sind Bauteilvariationen leichter möglich) durchgeführt und bei den verschiedenen Lastzuständen die Schaltung charakterisiert sowie die Schlüsselparameter (z.B. Treiber-Effizienz) gemessen. Die Bewertung der betrachteten Topologien unter Anwendung aller genannten Kriterien führte zu einer Präferenz für das QR Flyback-Konzept, das in den folgenden Arbeitsschritten vertieft untersucht wurde. Für die Ansteuer- und Regelfunktionen der ausgewählten QR Flyback Topologie wurden die Beschreibungen zu IC-Gehäuse, Schutzfunktionen, Schnittstellen, Programmierbarkeit in ein Target Datasheet aufgenommen.

Die Evaluierung der Stromversorgungskonzepte erfolgte anhand von Demonstratoren mit zunehmendem Miniaturisierungsgrad. Die speziell für die Phasen-Dimmer Anbindung benötigten Schaltungsteile, die dem AC/DC Teil angefügt werden, sind in dem nachfolgenden Schaltbild dargestellt. Die Realsierung des Testchips wurde gemeinsam mit AP5 durchgeführt, da nach den Analyseergebnissen feststand, das eine Zusammenlegung der meisten Funktionen auf einen Testchip zielführend ist.

a) AC/DC Wandler Ergänzung mit diskreter Realisierung eines analogen Phase-Cut Decoders und PWM Generators

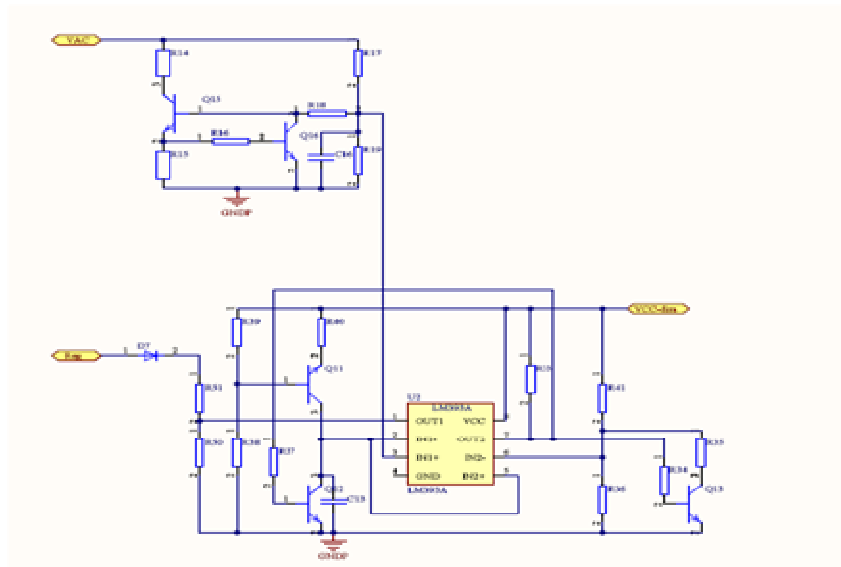


Abbildung 10: Konzept zur Dekodierung des AC Eingangs-Spannungssignals (oberer Schaltungsteil) und Erzeugung eines niederfrequenten PWM Signals zur LED Dimmung mittels Phasen-Dimmer

b) AC/DC Wandler für kontinuierliche LED Dimmung

Für den Fall einer kontinuierlichen Variation des LED Stromes ist keine wesentliche Erweiterung des AC/DC Wandlers zur Dimm-Signal-Erfassung nötig. Wird die Erfassung des Dimm-Signals über die Transformator Hilfs-Wicklung und den zugehörigen IC Pin, der ohnehin zur Erfassung der Nulldurchgangs-Erkennung benötigt wird, vorgenommen, entfällt sogar ein zusätzlicher Spannungsteiler am Bus Kondensator.

Die für die Spannungsversorgung inklusive der Dimm-Signal-Erfassung erforderlichen Bausteine standen mit dem Testchip 1 zur Verfügung. Eine befriedigende Realisierung der Dimmung mittels Phasenabschnitt-Dimmer konnte ohne erhebliche zusätzliche Materialkosten realisiert werden. Auch für die Dimmung mittels Phasenanschnitt Dimmer zeigte die Machbarkeits-Untersuchung, dass die realisierte Lösung eine Effizienz von > 90% der gesamten LED Ansteuerschaltung (AP4 + AP5) ermöglichte. Die Konzeptentscheidung fiel zugunsten einer isolierten einstufigen LED Treiber-Topologie. Der AC/DC Teil besteht aus EMI Filter und Gleichrichter. Die Funktionalität ergibt sich aus dem Zusammenspiel mit dem getakteten DC/DC Block aus AP5.

Der Testchip 2 mit Digital-Control-Technologie eignete sich um das primärerfassende Mixed-Mode Steuerkonzept des Testchip 1 erstmals in ein digitales Regelkonzept zu transferieren. Ebenso um die Leistungsfähigkeit der digitalen Implementierung der Regelalgorithmen hinsichtlich Funktionsumfang, Stabilität und Präzision zu demonstrieren. Auch die Versorgung einer aktiven Kühlung durch Ansteuerung eines zusätzlichen Active-Cooling-Converters konnte hiermit demonstriert werden. Die zugrunde liegende digitale IC-Hardware-Plattform besitzt jedoch keine finale Optimierung der IC-Verluste. Der Nachweis der elektrischen Effizienz von > 90% des LED-Treibers erfolgte daher vorab anhand des Testchip 1 in Mixed-Mode-Technologie.

Der LED-Bulb-Demonstrator 2 nutzt zur LED Versorgung den Testchip 2 mit digitaler Primary-Power-Control und stellt der aktiven Kühlung eine Ansteuerung zur Erzeugung einer stabilen Spannung von

5V zur Verfügung. Ziel des Testchip 2 ist, die erhöhte Regel-Performance der digitalen Implementierung für den einstufigen LED Treiber als auch die Versorgung der aktiven Bulb Kühlung zu demonstrieren. Der Testchip 2 ist noch nicht als fertiges Produkt mit einer ROM-Maske für die Firmware realisiert, sondern die Firmware wird von einer externen Programmier-Einheit mit einer separaten Versorgung in den Testchip 2 geladen.

Wegen ihrer Konzeption für relativ große ohmsche Lasten und schwankender Produktqualität, ermöglichen nicht alle kommerziell verfügbaren Phasendimmer eine hohe Dimming-Performance.

Die innovativen Regelkonzepte zum Thema effiziente dimmbare LED Treiber mit PWM- und Phase-Cut- Dimmung inklusive PFC und Primärerfassung sind in den folgenden Patentanmeldungen beschrieben:

- 1) DE 102009050651 (A1)-Method and Apparatus for Regulating the Brightness of Light-Emitting Diodes (W. Ludorf)
Status: veröffentlicht
- 2) Dimmable LED Power Supply with Power Factor Correction (W. Ludorf)
Status: veröffentlicht

Hohe Effizienzen (> 90%) und eine wirksame Leistungsfaktor-Korrektur (> 99%) können sehr kosteneffizient in dem präferierten Single-Stage-Ansatz mit innovativer Primärerfassung realisiert werden. Der in der Patentanmeldung 2) gewählte Konzeptansatz ist als Schlüssel für eine deutliche Kostenreduktion und damit breiten Einsatz von LED Bulbs anzusehen. Die Primärerfassung ermöglicht zudem eine hohe Lebensdauer des LED-Treibers, die den Lebensdauern der LED Technologie angepasst ist. Das ohne Optokoppler stabile Regelverhalten führt zu einem konstanten Lichtstrom über die gesamte Betriebsdauer. Der ebenfalls demonstrierte Übergang auf eine digitale Plattform beweist zudem, dass eine hochpräzise primärerfassende digitale Regelung implementierbar ist. Dieser Aspekt ist für eine stabile Fertigung in hohen Stückzahlen wesentlich. Hiermit sind die wesentlichen Voraussetzungen für einen Energie-effizienten, sicheren (aufgrund der galvanischen Isolierung) und umweltfreundlichen Glühlampenersatz mittels LED Bulb für den Massenmarkt erfüllt.

5.5 AP5 – Intelligenter LED-Treiber:

Ebenso wie für den Stromversorgungsteil wurden auch die Anforderungen an den intelligenten LED-Treiber für mehrere Varianten erfasst:

- Non Dimming
- Dimming
- Advanced

Die für den Stromversorgungsteil bereits vorgestellte Analyse der Topologien aus AP 4 umfasste wegen dem gewählten einstufigen Treiber Konzept (Single Stage Converter) auch jeweils schon die Funktionalität des intelligenten LED-Treibers, Aufbau eines IC-basierten Treiber-Hardware-Demonstrators für LED-Bulb „Demonstrator 1“. Die Beschreibungen zu Wandler Topologie, IC-Gehäuse, Schutzfunktionen, Schnittstellen und Programmierbarkeit (Konfigurierbarkeit) wurden in ein Target Datasheet aufgenommen und durch eine Applikations-Beschreibung, die auch Ergebnisse von Berechnungen und Messungen zur Validierung des Regelkonzepts enthält, ergänzt. Damit waren die Voraussetzung erfüllt den Testchip 2 rechtzeitig für Demonstrator 2 zur Verfügung zu haben.

Zur Analyse des Hardware-Demonstrators mit Testchip 1 wurden 2 Treiber Hardware Demonstratoren mit Testchip 1 aufgebaut, die auf den entsprechend durchgeführten Dimensionierungen, spezifischen

Analysen des Betriebsverhaltens und des Steuerverfahrens in Bezug auf Wirkungsgrad, Bauvolumen und reale Belastung der Bauelemente basieren.

- a) *Intelligenter LED Treiber zur PWM Dimmung der LED*
- b) *Intelligenter LED Treiber zur kontinuierlichen Variation des LED Stromes*

Um den Zeitplan für den Bulb-Demonstrator 1 einzuhalten, wurde eine im Hinblick auf den Formfaktor optimierte Variante mit Testchip 1 und Fokus auf Non-Dimming realisiert. Eine mit kontinuierlich variablem LED Strom dimmbare Variante konnte aus dieser Non-Dimming Variante mit relativ geringem Designaufwand bereits mit Testchip 1 in entsprechend komprimierter Form abgeleitet werden

Das Layout wurde für Bulb Demonstrator 1 auf IC Testchip 1 Basis mit einem externen, hochsperrenden Leistungsschalter (MOSFET mit 800V Sperrspannung) realisiert. Für IC Testchip 2 wurde eine Integration des HV-MOSFETs auf Basis „System in Package“ (SIP) vorgesehen.

Die für den intelligenten Treiber erforderlichen Bausteine standen zeitgerecht mit dem Testchip 1 zur Verfügung. Die durchgeführte Machbarkeitsstudie ergab folgende Ergebnisse:

- Noch nicht alle kommerziell verfügbaren Phasen-Dimmer können zu einem vollständig befriedigenden Betrieb des LED Treiber benutzt werden.
- Für die Dimmung mittels Phasenanschnitt Dimmer zeigte die Machbarkeits-Untersuchung, dass die realisierte Lösung eine Effizienz von bis zu 89% der gesamten LED Ansteuerschaltung (AP4 + AP5) ermöglicht.
- Auch wurden in der Analyse Ansätze gefunden, um mit Testchip 2 das Effizienzziel von > 90% zu erreichen. Hohe Effizienzen und eine wirksame Leistungsfaktor-Korrektur (> 90%) können kosteneffizient in dem präferierten Single-Stage-Ansatz realisiert werden. Hiermit sind wesentliche Voraussetzungen für einen umweltfreundlichen Glühlampenersatz mittels LED Bulb für den Massenmarkt erfüllt.
- Einschränkungen bei Anwendung von Phasenanschnitt-Dimmern.
- Die Kompression des LED Treibers zur Integration in den Innenraum des LED Bulb Demonstrators 1 stand mit dem verfolgten QR Flyback Konzept mit Primär-Regelung der LED Leistung unter Verwendung von Testchip 1 termingerecht zur Verfügung.

5.6 AP6 – Intelligent Packaging:

Das Arbeitspaket verfolgte viele Möglichkeiten der Hochintegration und deren kostenmäßige Bewertung. Dabei wurden folgenden spezifischen Ziele verfolgt:

- Entwicklung des Chip array packages als „Multi-chip silicon platform“
- Schaffung einer analogfähigen Hochvolt-SOI Technologie mit hoher Packungsdichte
- Ausloten der Machbarkeit der Kombination einer „Multi-chip silicon platform“ mit einer HV-IC-SOI Technologie
- Erforschung der Analogfähigkeiten der auf HV-SOI Basis realisierbaren Sensoren und der dazugehörigen Algorithmen
- Analogfähige Hochvolt-SOI Technologie, die höchste Zuverlässigkeitsanforderungen erfüllt (sehr lange Lebensdauer) und geringe Streuungen aufweist (Ausbeutestabilität)
- Gesamtsystem mit möglichst hoher Integration zur Erreichung des Leitprojektzies

In Arbeitspaket 6 haben sich mehrer Problemstellungen ergeben, die nicht einfach zu beheben waren sondern konzeptionelle Änderungen erforderten. Diese beinhalteten:

1. Die Kostenproblematik der SOI-basierten „Silicon Platform“

2. Die Integration des Hochvoltswitchers in die „Intelligent Silicon Platform“ musste aus Sicherheitsgründen verworfen werden .
3. Das voll integrierte Sensorkonzept musste verworfen werden, weil nach diesem Konzept keine Sensediode für die kurzen Wellenlängen realisierbar ist.

Deshalb wurde das Konzept überarbeitet, um alle Projektziele zu erreichen.

Kostenbewertung

Im Rahmen des Arbeitspaketes wurde eine Erhebung der Kosten für die „Multi-chip Silizium Plattform“ und eine Analyse der Machbarkeit durchgeführt. Um den unterschiedlichen Schaltungskonzepten Rechnung zu tragen, wurden zwei Technologien mit unterschiedlicher Packungsdichte (1x HV-SOI mit hoher versus 1x LV-BiCMOS mit niedriger Packungsdichte) in der Bewertung berücksichtigt.

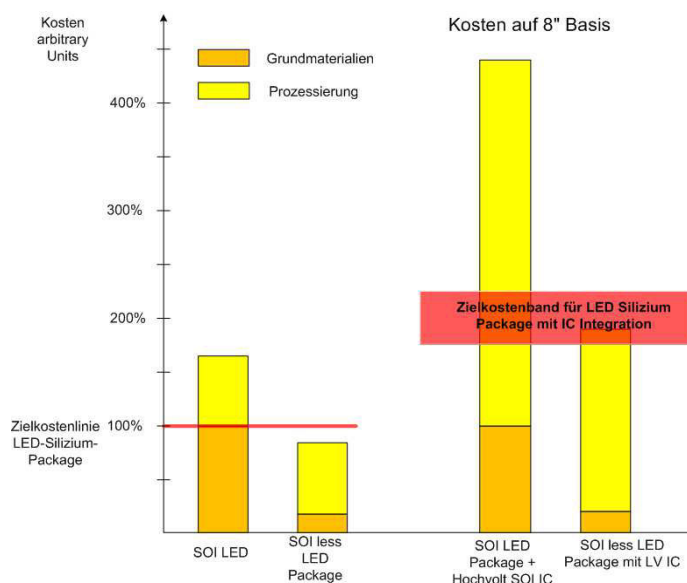


Abbildung 11: Abhängigkeit der LED Silizium-Package Kosten vom gewählten Konzept

Da mit der LV-BiCMOS Technologie mittelfristig alle gewünschten Funktionalitäten auf dem durch die LED definierten Flächenbedarf unterzubringen sind, ist hier aus wirtschaftlichen Gründen die Entscheidung eindeutig für die **LV-BiCMOS** Variante gefallen worden.

Langfristig gesehen bietet nur die **SOI-less** aufgrund des zu zu erwartenden Kostendruck gewisse Erfolgsaussichten. Kombiniert man die „Multi-chip Silizium Plattform“ mit IC-Integration steigen die Kosten nahezu proportional mit der Fläche, ohne dass ein Mehrwert durch Funktionalität erwirtschaftet wird. Bezüglich der technischen Machbarkeit ist die maximale Größe einer „Multi-chip Silizium Plattform“ durch die unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten von Silizium und Leiterplatte limitiert. Der Fokus liegt daher heute auf der „Single-chip silicon platform“ und deren Entwicklung zur IC-Integration.

Als einer der größten zu untersuchenden Risikopunkte der "Multi-chip Silizium Plattform" kristallisierte sich bei der theoretischen Risikobetrachtung die Belastbarkeit der Lötung durch Temperaturwechsel heraus. Deshalb wurden einfache Strukturen mit großen Löffflächen auf unterschiedlichen Platinen aufgebaut und in weiterer Folge der Temperaturzykelbelastung unterworfen. Die Analyse brachte folgendes Ergebnis: Prinzipiell zeigten alle untersuchten Gruppen Ausfälle durch Lötermüdung, aber teilweise erst nach mehreren tausend Zyklen (gefordert sind mindestens 1000). Je größer der Abstand

der Kontaktaußenkanten (bestimmt die auf die Lötung wirkende Kraft durch Differenz der Ausdehnungskoeffizienten) desto früher zeigten sich Ermüdungserscheinungen im Lot. Da bei LEDs aber wegen der Entwärmung der LED möglichst großflächige Kontaktflächen erwünscht sind, ist damit die maximale Siliziumfläche der "Multi-chip Silizium Plattform " deutlich limitiert.

Das nach allen Zwischenergebnissen resultierende Zielkonzept ist nun folgend definiert:

	ALT	NEU
MOEMS Technologie:	SOI-Basis	SOI-less-Basis
Integrierte IC-Technologie:	HV SOI	LV BiCMOS

Da der Hochvoltteil nicht mehr Teil der LED sein darf, wird er zuerst mit einem diskreten Hochvoltschalter realisiert. In weiterer Folge wird anstatt der System on Chip (SoC) Integration des Hochvoltteiles die „System in Package (SiP) Integration“ vorangetrieben.

SOI-less single chip silicon platform

State-of-the-Art SOI-less Plattformen zeigen große Unebenheiten und kommen auch sonst nicht an die Qualität der SOI basierten Plattformen heran. Ziel dieser Aufgabe war es daher, mit niedrigen Kosten die Qualität der teuren SOI-Variante zu erreichen. Dazu mussten sowohl der gesamte Arbeitsplan als auch die notwendigen Einzelprozesse erforscht und bereitgestellt werden.

Als sehr schwierig gestaltete sich die Aufgabe, den Boden der Cavity eben und glatt zu erhalten. Die SOI-Varianten arbeiten hier mit der Oxidschicht als Ätzstop. Bei der SOI-less Variante scheiden trockenchemische Ätzvarianten wegen ihrer Nonuniformity prinzipiell aus. Aber auch nasschemische Ätzungen liefern bei einer Ätztiefe von 500 µm Höhenunterschiede von ca. 12 µm. Durch zahlreiche Design of Experiments (und auch einigen Rückschlägen) ist es gelungen, die Unebenheiten auf < 90nm über die gesamte Bodenfläche der Cavity zu begrenzen (rechtes Bild in Abbildung 12, gemessen mit einem Laserprofilometer).



Abbildung 12: Boden der Cavity vor (links) und nach (rechts) der Optimierung von Ätzchemie, Ätzbedingungen und Vorbehandlung

Für die Demonstration der „SOI-less single chip silicon platform“ wurde auch eine Platine bereitgestellt auf der 6 LEDs in Serie geschaltet wurden. So konnten sie mit dem AC/DC Wandler und der Ansteuerschaltung aus den Arbeitspaketen 4 und 5 betrieben werden (siehe Abbildung 13).



Abbildung 13: Fertige Platine mit Mustern der Demonstratorscheiben

Sensortechnik

Aufgrund der im Antrag erwähnten erhöhten Anforderungen im Bereich der Weisslicht-Sensoren, wurde ein neuartiges Konzept entwickelt, welches diesen Ansprüchen genügt. In diesem Zusammenhang wurden eine Photodiode in einer eigens ausgewählten Zieltechnologie entwickelt, welche ihre spektrale Empfindlichkeit im Bereich der Augenlichtempfindlichkeit besitzt. Es handelt sich dabei um ein neues und bisher noch nie implementiertes Konzept, welches eine Art „logarithmischen“ ADC verwendet. Die gesamte Architektur des implementierten Konzeptes ist in Abbildung 14 schematisch dargestellt.

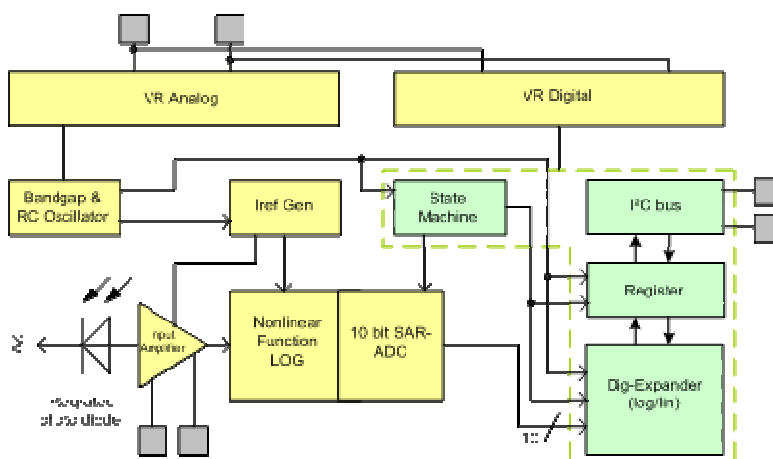


Abbildung 14: Konzept für einen Weisslicht-Sensor

Mit dieser Methode gelingt es, mit ein und demselben Photodioden-Layout zwei unterschiedliche spektrale Bereiche abzudecken. Weiters wurde die natürlich die Kostenseite betrachtet, wobei es immer das Ziel ist eine bestehende Technologie nicht mehr zu verändern oder durch zusätzliche Masken und Prozessschritte zu verteuern. Dies ist in diesem Fall auch gelungen, es konnten alle bereits existierenden Technologieparameter beibehalten werden. Einzig ein Prozessblock musste neu generiert werden, um eine spezielle n-Wanne für die Photodiode zu realisieren.

5.7 AP7 – Verifikation des Prototypen / Verifikation von Algorithmen und Funktionsmustern:

Die folgenden Ziele des Arbeitspaktes 7 wurden erreicht:

- Begleitende und abschließende Validierung und Verifizierung der erstellten Algorithmen und Funktionsmodelle
- Begleitende und abschließende Verifizierung der erstellten Prototypen

Um Zuverlässigkeitstests durchzuführen, wurden standardisierte Protokolle verwendet, um sowohl die Systemkomponenten einzeln als auch in unterschiedlichen Anordnungen zu testen. Dabei wurden blanke Chips auf COB-Modulen unter hohen Temperaturen, hoher Luftfeuchtigkeit und bei Temperaturwechsel getestet, wobei die gleichen Tests auch an Phosphor auf sog. „potted Chips“ und Prototyp-Modulen durchgeführt wurden, um so bei der Auswahl der Bauteile und des Systems eine lange Lebensdauer garantieren zu können. Einerseits wurde standardmäßig die optische Performance getestet, um alle erforderlichen Parameter der Initialwerte (wie zum Beispiel den Lichtfluss, die Leuchtkraft, den Farbwiedergabeindex und den Lichtstrom im Zeitverlauf sowie weitere Zuverlässigkeitsdaten) sicher zu stellen. Andererseits wurde von einem Universitätsinstitut im Nahbereich der CIE (International Commission of Illumination, ein technisches Komitee für Beleuchtung), Farbmessung, und Farbwiedergabe anhand verschiedener Studien ein vergleichendes Experiment mit dem Prototypen durchgeführt, da die existierende numerische Darstellung der Farbqualität auf Glühlampen abgestimmt und nur bedingt auf LEDs anwendbar ist. Das Spektrum konnte aufgrund der Erkenntnisse aus diesen Tests so angepasst werden, dass eine gleichwertige bzw. eine noch bessere Farbwiedergabequalität als bei normalen Glühlampen erreicht werden konnte.

Demonstrator 1

Der Aufbau des Moduls für Demonstrator 1 wurde nach der Methode, auf IMS PCB unter Verwendung blauer Chips ‚Cree EZ900‘ und roter Chips ‚Epistar ESSMSOPN42B‘, hergestellt. Für die Primäroptik wurde eine hochreflektierende Beschichtung verwendet, für die Farbkonversion eine Zusammenstellung von YAG-Phosphoren.

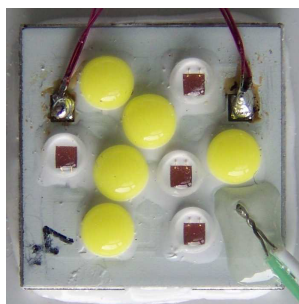


Abbildung 15: Aufbau des Moduls für Demonstrator 1

Der mechanische Ausbau des Demonstrators ist in folgender Abbildung dargestellt. Der Kühlkörper besteht aus zwei Kühlröhren (mit ähnlichem Effekt wie in einem Rauchfang) (einem äußeren und einem inneren), ohne die Öffnungen für den Treiberbereich um die Luftzirkulation im Bereich der Treiber-Elektronik zu gewährleisten. Der Kühlkörper besteht aus druckgegossenem Aluminium (mit einer Wärmeleitfähigkeit von ca. 150-180 W/mK) und ist noch nicht lackiert, da es sich um einen Demonstrator handelt. Das LED-Modul ist mit thermisch leitfähigem Acrylklebstoff fixiert, die Glaskuppel ist mit Silikonelastomer angebracht. Die Treiberfixierung besteht aus zwei Teilen hitzebeständigen Polyamids, die in den Demonstrator geklebt wurden. Für eine Massenproduktion

sollte dies allerdings mittels Ultraschall-Verschweißung, Schnappverschluss oder Schraubverbindung befestigt werden, um so noch zusätzliche Sicherheit zu gewährleisten.

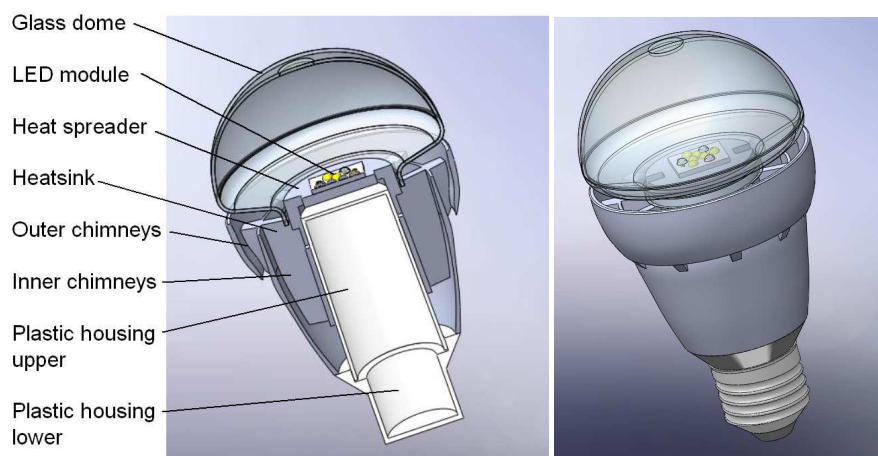


Abbildung 16: Mechanischer Aufbau des Demonstrators

Die Temperaturverteilung der LED-Lampe in einem geschlossenen System, das praktische Bedingungen nachbildet (also von einer Umgebungstemperatur des Leuchtmittels von 35°C ausgeht), ist in der folgenden Grafik dargestellt.

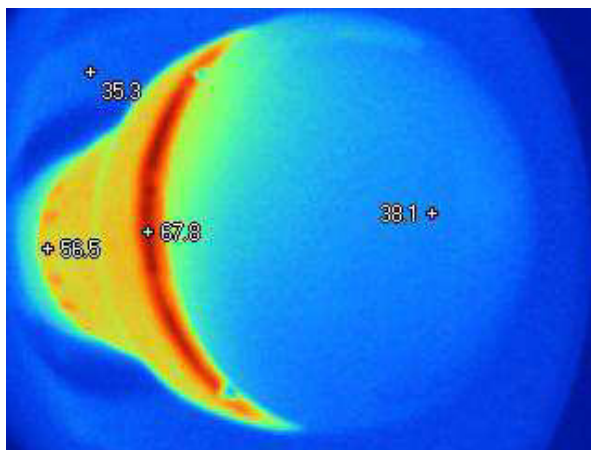


Abbildung 17: Ergebnis II der Simulation

Demonstrator 2

Der Aufbau des Moduls für Demonstrator 2 ist dem Aufbau des Demonstrators 1 ähnlich: 5 blaue Chips Cree EZ900 in Serie geschaltet mit 4 roten Chip Epistar ESSMSOPN42B. Es wurden allerdings einige Änderungen vorgenommen um eine bessere Leistung zu erzielen. Die hochreflektierende Beschichtung wurde weiterentwickelt um einen 97-98%igen Reflexionsgrad über den gesamten sichtbaren Spektralbereich zu erhalten. Die Zusammenstellung der YAG-Phosphore wurde ebenfalls verbessert um eine höhere Lichtausbeute (Im pro blauer LED Eingangsleistung) zu erzielen. Weiters wurde ein leistungsstärkerer Chip eingebaut: Der blaue Chip gibt 500mW blauer optischer Leistung bei 350mA ab (verglichen mit 420mW bei Demonstrator1), der rote Chip generiert 17% mehr

Lichtstärke (20cd vs. 17cd). Beide sind in Massenproduktionsmengen zu einem ähnlichen Preis wie jene in Demonstrator 1 verwendeten LED - Chips verfügbar.

Angesichts der Tatsache, dass sich das Temperaturgefälle nicht verbessert hat (und um die Modultemperatur unter 75°C zu halten), ist eine bessere Kühltechnologie notwendig. Der weiterentwickelte Kühlkörper ist in der Lage, eine Eingangsleistung von 12,5W bei einer Erhöhung von 50K (75°C am Modul bei einer Umgebungstemperatur von 25°C) abzuführen. Um dieses Ergebnis zu erreichen, wird eine aktive Kühltechnologie verwendet (M2b-4), die es schafft, 24W Eingangsleistung abzuführen.

Die Temperaturverteilung der LED-Lampe in einem geschlossenen System, das praktische Bedingungen nachbildet (also von einer Umgebungstemperatur des Leuchtmittels von 40-42°C ausgeht), ist in der folgenden Grafik dargestellt. Die Temperatur der Moduloberfläche beträgt dabei 75°C.

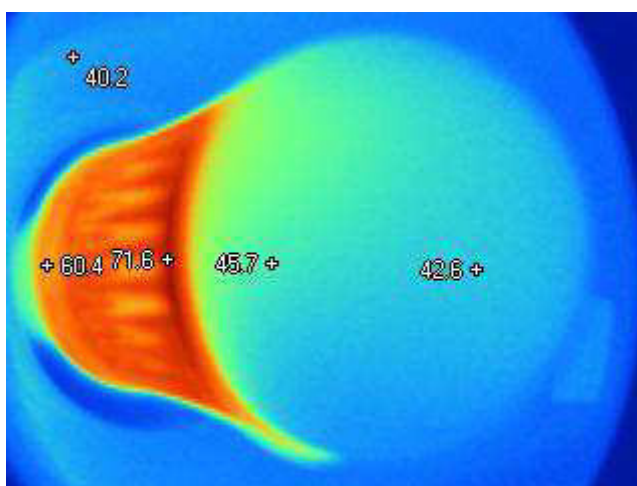


Abbildung 18: Temperaturverteilung der LED-Lampe in einem geschlossenen System

Während des laufenden Projekts wurde 2009 eine Tochterfirma der Zumtobel-Gruppe, "Ledon Lamp", gegründet. Die Entwicklung des LED-Moduls, das Design der Kühlung (60W-äquivalent und die Kerze), das Design der Optik (Kerze) fand in Jennersdorf – basierend auf dem bestehenden Projekt – statt. Der Treiber-Elektronik-IC ist jener von Infineon während des Projekts entwickelte ICL8001G.



Abbildung 19: Erster 60W Prototyp der LED-Lampe während des Projekts hergestellt (links) vs. Massenproduktions-Retrofit - Lampe (rechts)

Die „60W äquivalente“ LED Lampe der Ledon Lamp GmbH gewann 2010 der Vorarlberger Innovationspreis und bei einem Glühbirnenvergleich im Jänner 2011 der am Schweizer Markt erhältlichen LED-Retrofit-Glühbirnen wurde sie mit der Note „Sehr Gut“ ausgezeichnet. Zusätzlich ist ein Artikel über die „60 äquivalente“ LED Lampe in der 24. Ausgabe der Led Professional Review erschienen und dort wurde sie als die erste mit derart hohen Lichtstromwerten hervorgehoben.

5.8 AP8 – Projektmanagement:

Aufgabe im Rahmen des Projektmanagements war es, sowohl in technischer als auch organisatorischer und administrativer Hinsicht sicherzustellen, dass alle Projektziele bestmöglich erreicht wurden. Hierzu war es notwendig, den gesamten Projektverlauf zu koordinieren und zu überwachen sowie technische Herausforderungen rechtzeitig zu erkennen und entsprechende Problemlösungen auszuarbeiten. Um die Ziele dieses Arbeitspaketes zu erreichen, wurden unter dem Management des Projektleiters regelmäßige und protokollierte Projektmeetings durchgeführt (im Durchschnitt fand alle 6 Wochen ein Meeting statt), in welchem neben technischen Diskussionen insbesondere die Einhaltung des Projektverlaufs und -fortschritts, des Projektzeitplans sowie des Ressourcenrahmens behandelt wurden. Dies bildete zusammen mit regelmäßigen technischen Berichten an das Projektmanagement die Grundlage für das Projekt-Monitoring und -Controlling, in welchem bei Abweichungen vom Projektplan entsprechende Vorschläge für gegensteuernde Maßnahmen erarbeitet wurden. Die Projektleitung war bislang auch die Kontaktstelle zwischen dem LED-Bulb-Konsortium und der FFG und für die Organisation der Berichterstellung bzw. des Reporting an den Fördergeber zuständig.

6. Ausblick und Empfehlungen

Die LED wird auf Grund des weltweiten Kapazitätsausbaus immer günstiger verfügbar sein. Nachdem LED-Backlighting Systeme in kürzester Zeit den LCD-TV Markt erobert haben, ist eine ähnliche Revolution im Markt für Allgemeinbeleuchtung zu erwarten. Dazu sind F&E seitig folgende Problemstellungen zu lösen:

- **Konzepte für neue LED Beleuchtungssysteme im Haushalt** (Der Bulb-Replacement Markt ist ein Übergangsmarkt. Die LED mit ihrer langen Lebensdauer macht **herkömmliche Wechselsysteme überflüssig**. Sobald die Kunden nicht nur das Leuchtmittel sondern die Leuchten neu kaufen (ca. alle 10 Jahre), sind ganz neue Designlösungen möglich. Hier sind mit F&E-Arbeit die technischen Rahmenbedingungen zu schaffen.)
- **Sensorik für intelligente Büro-und Industriebeleuchtung** (Die LED ermöglicht hier weitere Effizienzsteigerungen vor allem durch die Anpassung der Lichtmenge an den tatsächlichen Bedarf. Tageslichtsensoren und Anwesenheitserkennung bringen ein deutliches Energiesparpotential.)
- **Systeme mit variabler Farbtemperatur weiterentwickeln** (z.B.: Erhöhung des Wohlbefindens bzw. der Leistungsfähigkeit durch Anpassung der Farbtemperatur an den Tageslichtverlauf)

7. Literaturverzeichnis

- [1] Ron Lenk and Carol Lenk. (2011). *Practical Lighting Design with LEDs*. IEEE Press Series on Power Engineering
- [2] Ivan Moreno, Ulises Contreras. (2007). *Color distribution from multicolor LED arrays*. Optics Express

IMPRESSUM

Verfasser

Infineon Technologies Austria AG
Herbert Pairitsch
Siemensstraße 2, 9500 Villach
E-Mail: herbert.pairitsch@infineon.com

Projektpartner

LEDON Lighting Jennersdorf GmbH
Millennium Park 6, 6890 Lustenau
Tel: +43 5577 21550
Web: www.ledon-lamp.com

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber

Klima- und Energiefonds
Gumpendorfer Straße 5/22
1060 Wien
office@klimafonds.gv.at
www.klimafonds.gv.at

Disclaimer

Die Autoren tragen die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieses Berichts. Er spiegelt nicht notwendigerweise die Meinung des Klima- und Energiefonds wider.

Der Klima- und Energiefonds ist nicht für die Weiternutzung der hier enthaltenen Informationen verantwortlich.

Gestaltung des Deckblattes

ZS communication + art GmbH