

BMUB-Umweltinnovationsprogramm (UIP)

Gliederung und Hinweise für die Erstellung von Abschlussberichten

Stand: Mai 2015

- Dieses Dokument liefert Ihnen Hinweise zur inhaltlichen Ausgestaltung Ihres Abschlussberichts (AB).
- Nachstehend finden Sie ein Inhaltsverzeichnis, das Ihnen die Erstellung des AB erleichtern soll. Ggf. sind weitere Auflagen zu den Inhalten des AB im Zuwendungsbescheid enthalten.
- Sollten Sie nicht alle Gliederungspunkte ausfüllen können oder weitere Fachinhalte integrieren wollen, bitten wir Sie im Vorfeld Kontakt mit dem UBA aufzunehmen, um die Anpassung der AB-Vorgaben abzustimmen.
- Der Abschlussbericht ist grundsätzlich in deutscher Sprache zu verfassen. Zusätzlich zum Berichts-Kennblatt in deutscher Sprache ist das Report Coversheet und die Zusammenfassung unter 5. in englischer Sprache zu erstellen.
- Bitte stellen Sie dem UBA Ihren AB-Entwurf in Form eines mit einem gängigen Textverarbeitungsprogramm erstellten beschreibbaren und kommentierbaren Dokuments zur Verfügung (z.B. Microsoft Office Word). Dies erleichtert die Kommentierung durch die Fachbegleiter, -innen und die Erstellung der Schlussfassung.
- Bitte entfernen Sie in der AB-Endfassung dieses Deckblatt mit den Hinweisen und alle kursiven Schrifteile des Formulars.
- Bitte stellen Sie dem UBA mit Einreichung des Abschlussberichts aussagekräftiges Bildmaterial zu Ihrem UIP-Projekt in elektronischer Form zur Verfügung. Die Bilder sollen im Format jpg, gif, tif oder bmp in einer druckfähigen Qualität (mindestens 300dpi) vorgelegt und durch eine Bildunterschrift und Quellenangabe ergänzt werden. Bitte stellen Sie durch das Ausfüllen der beigefügten Einverständniserklärung zur Nutzung und Verwertung der Bilder sicher, dass UBA und BMUB die Rechte an der Nutzung des Bildmaterials im Rahmen des UIP erhalten.
- Der Abschlussbericht wird auf der Website des Umweltinnovationsprogramms (<http://www.umweltinnovationsprogramm.de/>) und der Plattform „Cleaner Production Germany“ (<http://www.cleaner-production.de/>) veröffentlicht werden. Darüber hinaus

steht er als gebundenes Exemplar zur Ausleihe in der Bibliothek des Umweltbundesamts bereit.

Abschlussbericht

zum Vorhaben

*Materialeffiziente Massenfertigung von LED-Leuchtmitteln am Standort Deutschland –
LED-Business*

KfW-Aktenzeichen: NKa3 - 002133

Zuwendungsempfänger/-in

Seidel GmbH & Co. KG

Umweltbereich

Ressourcen

Laufzeit des Vorhabens

20. Februar 2014 bis zum 31. Dezember 2016

Autor/-en

Dr. Andreas Ritzenhoff

**Gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und
Reaktorsicherheit**

Datum der Erstellung

07.04.2017

Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen UBA:	Projekt-Nr.: NKa3 - 002133
Titel des Vorhabens: Materialeffiziente Massenfertigung von LED-Leuchtmitteln am Standort Deutschland – LED-Business	
Autor/-en (Name, Vorname): Dr. Andreas Ritzenhoff	Vorhabenbeginn: 20.2.2014
	Vorhabenende (Abschlussdatum): 31.12.2016
Zuwendungsempfänger/-in (Name, Anschrift): Seidel GmbH & Co. KG	Veröffentlichungsdatum:
	Seitenzahl:
Gefördert im BMUB-Umweltinnovationsprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.	
Kurzfassung (max. 1.500 Zeichen): Das Vorhaben verfolgte den Ansatz, innovative und hochautomatisierte großtechnische Fertigungslinien für die Herstellung von energiesparenden LED-Lampen erstmalig am Standort Deutschland zu realisieren. Im Einzelnen wurden folgende Ziele angestrebt: 30 % Materialeinsparung, Verbesserte Recyclingfähigkeit durch Reduzierung des Materialmix, Senkung der Transportkosten durch absatzmarknahe Fertigung, Senkung der Transportkosten durch Gewichtsreduzierung, Senkung des Produktionsabfalls durch vollautomatische Fertigung, wandlungsfähige hochautomatische Anlagentechnik, Einführung von energiesparenden Lichtquellen. Die erste Ausbaustufe wurde in sehr kurzer Zeit realisiert. Damit konnte auch eine sehr schnelle Markteinführung erreicht werden. Die Ergebnisse hinsichtlich der angestrebten Materialeinsparung wurden erreicht und teilweise übertroffen. Die ursprünglich angestrebten hohen Fertigungsstückzahlen wurden nahezu erreicht. Neben einer direkten Umweltentlastung durch geringeren Materialeinsatz und geringere Ausschussraten wurde ein energiesparendes Produkt erfolgreich am europäischen Markt eingeführt. Aufgrund von Änderungen der Anforderungen des Marktes (Neue Technologien im Bereich „Smartes Licht“ und Preisdruck) wurde vorerst nur die erste von zwei Ausbaustufen umgesetzt.	
Schlagwörter: LED, automatische Fertigung, Recyclingfähigkeit, Materialmix, Lichtausbeute, Smartes Licht	
Anzahl der gelieferten Berichte Papierform: 6 Elektronischer Datenträger: per Email	Sonstige Medien: Veröffentlichung im Internet geplant auf der Webseite: ja

Report Coversheet

Reference-No. Federal Environment Agency:	Project–No.: NKa3 - 002133
Report Title: Material-efficient mass production of LED light sources in Germany – LED-Business	
Author/Authors (Family Name, First Name): Dr. Andreas Ritzenhoff	Start of project: 20.2.2014
	End of project: 31.12.2016
Performing Organisation (Name, Address): Seidel GmbH & Co. KG	Publication Date:
	No. of Pages:
Funded in the Environmental Innovation Programme of the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety.	
Summary (max. 1.500 characters): The objective of the innovation was to realize – for the first time in Germany – an innovative and fully automatic industrial production line for the manufacturing of energy-saving LED lights. The following aims were set in detail: 30% material saving, improved recyclability by reducing material mix, lower transport costs due to production close to market and weight reduction, reduced production waste due to fully automatic production, flexible highly automated plant technology, implementation of energy-saving light sources. The first expansion stage has been realized within a small period of time. So that a rapid market launch was possible. The aims in material saving were reached and partly exceeded. The originally aimed high production quantities were almost achieved. Besides a direct environmental relief due to lower material input and lower reject rates an energy saving product was successfully launched at the European market. On the basis of changes in the market demands (new technologies in the sector "smart light" and pricing pressure) only one of the two expansion stages has been implemented for now.	
Keywords: LED, automatic production, recyclability, material mix, light yield, smart light	

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung	4
1.1. Kurzbeschreibung des Unternehmens und ggf. der Projektpartner.....	4
1.2. Ausgangssituation	7
2. Vorhabenumsetzung.....	9
2.1. Ziel des Vorhabens.....	9
2.2. Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)	11
2.3. Umsetzung des Vorhabens	19
2.4. Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)	27
2.5. Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten	27
2.6. Konzeption und Durchführung des Messprogramms.....	28
3. Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung.....	28
3.1. Bewertung der Vorhabendurchführung	28
3.2. Stoff- und Energiebilanz.....	29
3.3. Umweltbilanz	30
3.4. Wirtschaftlichkeitsanalyse	32
3.5. Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren	33
4. Übertragbarkeit	33
4.1. Erfahrungen aus der Praxiseinführung	33
4.2. Modellcharakter/Übertragbarkeit (Verbreitung und weitere Anwendung des Verfahrens/der Anlage/des Produkts).....	34
5. Zusammenfassung/ Summary	36
6. Literatur	38
7. Anhang	38

1. Einleitung

1.1. Kurzbeschreibung des Unternehmens und ggf. der Projektpartner

Das Unternehmen Seidel wurde 1830 gegründet. Heute entwickelt und produziert man Designprodukte aus Aluminium und Kunststoff, die vorwiegend als Primärverpackungen in Kosmetik und Pharma eingesetzt werden. In seinem Produktspektrum stellt die Kosmetikindustrie das Kerngeschäft dar. Kernkompetenzen der Firma sind Design, Entwicklung, Produktion und Logistik.

Die technischen Fähigkeiten liegen vor allem in der Metallumformung, der modernen Oberflächenveredelung und zahlreichen weiteren Dekorationstechnologien. Aluminium umformen, Aluminium eloxieren, Aluminium dekorieren und Aluminium montieren sind zudem komplexe Schritte, die logistisch miteinander verbunden werden.

Daneben hat das Unternehmen langjährige Erfahrung im Kunststoff-Spritzguss sowie in Entwicklung und Betreiben hochautomatisierter Montagetechnik.

Seidel produziert mit ca. 650 Mitarbeitern ausschließlich in Deutschland an zwei Standorten in Mittelhessen. Der Exportanteil liegt bei über 80 %. Zu seinen Kunden zählen große Markenartikler wie Chanel, Christian Dior, L'Oreal, Dolce & Gabbana, Gucci, Estee Lauder und Hugo Boss.



Abb. 1: Firmensitz in Marburg / Fronhausen

Geschichte:

- 1830 Firmengründung durch Louis Seidel - als Zinngießerei in der Marburger Oberstadt
- 1900 Beginn der Mechanisierung mit Hilfe von Dampfmaschinen
- 1925 Der von Seidel entwickelte Spritzkorken erreicht eine Tagesproduktion von 42.000 Stück - für diese Zeit eine enorm hohe Stückzahl
- 1952 Seidel konzentriert sich auf die Herstellung von Aluminiumteilen für die Kosmetikindustrie.
- 1972 Hermann Ritzenhoff übernimmt die Firma von der Familie Seidel
- 1992 Dr. Andreas Ritzenhoff wird Geschäftsführer und Inhaber - Beginn der Fokussierung auf "time to market & innovation"
- 1996 Näher an internationalen Kunden: Eröffnung von Vertriebsbüros in New York und Paris

- 1999 Inbetriebnahme Werk II: Spritzguss, Montage und Dekoration
- 2004 Inbetriebnahme Werk III: Tiefziehen und Eloxieren
- 2005 Neues Geschäftsmodell "Seidel - living design"
- 2006 Eröffnung eines Forschungs- & Entwicklungs-Zentrums für innovative Oberflächen
- 2012 Aufbau Kompetenz LED Licht
- 2013 Entwicklung eines automatisierungsfähigen Baukastensystems für die Herstellung verschiedener Retrofit Lampen
Bau einer zweiten Werkhalle in Fronhausen (11.000 qm)
Errichtung eines modernen Logistikzentrums
- 2014 Gründung der Carus GmbH & Co. KG für den neuen Bereich Licht
Start der LED-Lampenfertigung

In der Vergangenheit hat Seidel hauptsächlich Designvorschläge von Kosmetikkonzernen umgesetzt und fungierte somit ausschließlich als verlängerte Werkbank von Markenartikelherstellern. Heute arbeitet das Unternehmen jedoch auch mit eigenen Designvorschlägen, kreiert eigene Produkte und ist mit eigenen Marken im Innendekor und Raumduftmarkt vertreten.

Die Seidel GmbH & Co. KG ist Weltmarktführer im Bereich der Aluminiumdesignprodukte und stellt dekorative Komponente für die Kosmetikbranche, Schreibgeräteindustrie und den Pharmabereich her. Das Sortiment umfasst dabei Artikel mit wenigen Millimetern Größe bis hin zu 15 cm großen Artikeln. Aber auch Eigenmarken hat das Unternehmen in den letzten Jahren eingeführt.

Die Kernkompetenzen der Seidel GmbH & Co. KG liegen in folgenden Bereichen:

- Produktentwicklung
- Aluminiumumformung durch mehrstufiges Tiefziehen
- Oberflächenveredelung durch Eloxieren der Aluminiumoberflächen
- Kunststoffspritzguss, Blasformen
- Vollautomatische Montagelösungen
- Konfektionierung
- Logistik zur ressourcensparenden Kombination aller Produktionsschritte

Für die Produktentwicklung stehen qualifizierte Fachkräfte in Konstruktion und Werkzeugbau zur Verfügung. Dadurch können die Anforderungen der Produkte mit den technischen Möglichkeiten aller Fertigungsschritte abgestimmt werden. Eine weitere Kernkompetenz besteht darin, dass reine Aluminiumlegierungen zu komplizierten Geometrien umgeformt werden können.

Um innovativ und fortschrittlich zu arbeiten hat die Firma Seidel ein modernes Forschungs- und Entwicklungszentrum aufgebaut, in dem fortlaufend an neuen Oberflächentechnologien geforscht wird. Hierbei arbeiten die Forscher seit Jahren mit renommierten Universitäten zusammen. Im eigenen Forschungszentrum steht eine vollautomatische Eloxalanlage, die es

ermöglicht, neue Oberflächenherstellungsverfahren zu testen und somit die elektrolytische Oxidation des Aluminiums bis auf wenige Nanometer zu steuern.



Abb. 2: Produktbeispiele Fa. Seidel

Bei der Montage werden die Aluminiumteile und die Kunststoffeinsätze zusammengefügt. Hierbei hat das Unternehmen einen hohen Automatisierungsgrad erreicht und führt aufwändige Qualitätskontrollen durch, so dass eine hohe Fertigungs- und Qualitätsgüte erreicht wird. Auch hier gilt, dass die Werkzeuge zur Montage im eigenen Haus konstruiert und hergestellt werden. Dafür gibt es einen einfachen Grund: Das Unternehmen hat über die Jahre hinweg ein großes Spezialwissen über den Umgang mit Aluminiumoberflächen erworben, wodurch makellose Produkte geschaffen werden.



Abb. 3: Fertigungsbereich der Fa. Seidel

1.2. Ausgangssituation

In den Jahren 2012 und 2013 hat ein Arbeitsteam aus Ingenieuren und Technikern bei Seidel eine intensive LED-Lampen Recherche durchgeführt. Hierzu wurden alle im Markt verfügbaren LED-Lampen eingekauft und systematisch untersucht. Ebenso wurden in China (Großraum Shenzhen) mehrere LED-Produktionsbetriebe besucht und die dortige Fertigung sehr konkret in Augenschein genommen. Dabei ergab sich, dass die meisten LED-Hersteller offensichtlich wenig vertikal integriert sind und sich auf die Montage zugekaufter Komponenten fokussieren.

Insgesamt wurden bei der Analyse von Produkten und Fertigungseinrichtungen eine Reihe von Erkenntnissen gewonnen:

- Kein einziges LED-Produkt wurde in Deutschland hergestellt. Der überwiegende Teil der Produkte war Made in China (auch von bekannten europäischen Marken)
- Eine Systematik in der Materialverwendung und Aufbau der Produkte ist nur in geringem Maße erkennbar. Jedes Produkt erschien für sich selbst entwickelt und erstellt. Selbst verschiedene Produkte derselben Marke zeigten unterschiedliche Aufbaustrukturen
- Keines der vorgefunden Produkte wies Strukturen auf, die eine automatisierte Herstellung zulassen würde.
- Eine hohe Materialvielfalt, die ein wirtschaftliches Recycling bzw. Entsorgen sehr schwierig erscheinen lässt
- Bei einzelnen Materialien (insbesondere Aluminium) zeigen sich hohe Einsatzgewichte und aufwändige Herstellverfahren (Aluminium Guss mit nachgeschalteter spanabhebender Bearbeitung).

- LED-Lampenhersteller sind eher reine Montagebetriebe, Komponenten werden zugekauft. Der Technisierungsgrad der untersuchten Unternehmen war gering.

Angesichts dieser Befunde wurde entschieden, neue, innovative Retrofitprodukte zu entwickeln, die die unten beschriebene Materialeffizienz gegenüber bestehenden Produkten aufweisen. Ferner wurde ein großtechnischer innovativer Fertigungsprozess mit hohem Automatisierungsgrad konzipiert, mit dem die Herstellung der neuen Retrofitprodukte am Standort Deutschland wirtschaftlich realisiert werden kann.

Das Arbeitsteam wurde durch Hrn. Dr. Martijn Dekker begleitet. Dieser hat als Entwicklungs- und Produktionsleiter mehr als 5 Jahre die Herstellung von Retrofit Lampen in Millionen Mengen in der Nähe von New Delhi und Shanghai geleitet und verantwortet.

Leuchtmittel auf der Basis von LEDs finden zunehmend Anwendung in vielen Bereichen der Allgemeinbeleuchtung sowie in privaten Haushalten. Der Vorteil der Retrofit Lampen in der Anwendung besteht darin, dass diese Lampen ohne Änderungen in nahezu allen vorhandenen Leuchten eingesetzt werden können. So kann jeder Privatkunde ohne den Einsatz von Handwerkern in die energiesparende LED-Lichttechnik einsteigen, indem er Retrofit-Leuchten mit standardisiertem Anschluss (E27, E14, GU10) erwirbt.



Abb. 4: Stand der Technik LED-Lampen, 2014

Bedingt durch die permanente Weiterentwicklung von LEDs als leistungsfähige und energiesparende Lichtquellen und den jedoch fehlenden vollautomatischen Fertigungseinrichtungen in Deutschland wird ein sehr großer Anteil der LED-Leuchtmittel mit einem hohen Anteil an Handarbeit im asiatischen Ausland (China, Indien) gefertigt.

Die ausländischen Produktionsstätten wurden wegen der niedrigen Lohnkostenstruktur in China und Indien ausgewählt. Bei der Vielzahl an notwendigen manuellen Arbeitsschritten besteht ein hoher Personalanteil in der Produktion. Fertigungsprozesse nach diesem Muster sind für den Standort Deutschland völlig ungeeignet. Daher herrscht im allgemeinen die Meinung vor, dass LED-Retrofit Lampen in Deutschland nicht produziert werden können und der Technologiewettbewerb mit Asien in diesem Bereich bereits als verloren gilt. Obwohl Deutschland einer der größten Absatzmärkte weltweit für diese Produkte ist.

Nur durch einen radikalen Paradigmenwechsel bei Produktdesign und dazugehörigem Fertigungsprozess wird eine Fertigung am Standort Deutschland ermöglicht. Es erscheint als äußerst sinnvoll, dass in dem Land welches als erstes die Energiewende weltweit ausgerufen hat und in welchem die weiße LED erfunden wurde, Produkte zur Energieeinsparung auch gefertigt werden. Eine ökonomisch erfolgreiche Produktion am Standort Deutschland, bei

verringertem Umweltbelastung und reduziertem Ressourcen- und Energieeinsatz wird durch den oben angesprochenen Paradigmenwechsel möglich.

Ein solcher Paradigmenwechsel wurde bei Seidel konzipiert und war Gegenstand des Vorhabens.

2. Vorhabenumsetzung

2.1. Ziel des Vorhabens

Die vollautomatische Fertigung dient den umweltpolitischen Zielen der Bundesregierung durch die ressourcenschonende Produktion von Energiesparlampen auf LED-Basis am Standort Deutschland zu wettbewerbsfähigen Preisen. Außerdem wird ein nahezu vollständiges Wegfallen der mit den Importen aus Fernost verbundenen Transportressourcen möglich.

Das Vorhaben verfolgte den Ansatz, innovative und hochautomatisierte großtechnische Fertigungslinien für die Herstellung von energiesparenden LED-Lampen erstmalig am Standort Deutschland zu realisieren.

Gemäß der Zielstellung ergeben sich folgende Effekte:

1. Verringerung des Anteils an Metallen durch Nutzung hocheffizienter Umformverfahren zur Erzeugung von dünnwandigen Kühlkörpern (30 % Materialeinsparung)
2. Materialersparnis durch den Wegfall von Zusatzwerkstoffen für mechanische und elektrische Verbindungen (wie z.B. Zinn, Kupferkabel, Klebstoffe, Dichtungsmaterialien) (30 % Materialeinsparung)
3. Verbesserte Recyclingfähigkeit durch Reduzierung des Materialmixes und Vermeidung von Klebstoffen
4. Senkung der Transportkosten durch absatzmarknahe Fertigung wesentlicher Produktkomponenten sowie der Endmontage. Senkung der Transportkosten durch Gewichtsreduzierung. Fertigung in Deutschland für den deutschen und europäischen Markt.
5. Senkung Produktionsabfall durch vollautomatische Fertigung mit automatisierten Zwischenprüfungen, zur frühzeitigen Erkennung möglicher Fehler.
6. Hohe Materialeffizienz durch eine wandlungsfähige hochautomatische Anlagentechnik, welche mit geringem Aufwand auf zukünftige Generationen von LED-Lampen umgebaut werden kann.
7. Beitrag zur breiten Einführung von energiesparenden Lichtquellen in der Bevölkerung durch niedrige Produktpreise. (hohe Multiplikatorwirkung beim Konsumenten durch raschen Einstieg in LED-Technik ausgelöst durch niedrige Beschaffungspreise).

Der konkrete Vorteil der neuen Fertigungslinie liegt darin, dass es bisher weltweit noch keine vollautomatische Serienfertigung für LED-Leuchtmittel gibt und somit die positive Energie- und Materialbilanz sowohl der Fertigungstechnologie als auch des damit hergestellten Produktes erstmalig wirtschaftlich realisiert werden kann.

Die neue Fertigungslinie erfüllt einen bisher nicht dagewesenen Automatisierungsgrad. Die Produktmontage, die Qualitätsprüfungen, der Burn-in, die Primärverpackung, die Sekundärverpackung auf Transportpalette wird voll verkettet in der Linie durchgeführt. Die Anlagen werden flexibel konzipiert, um mit geringen Nachrüstkosten auch zukünftige Produktgenerationen fertigen zu können.

Durch starke asiatische Konkurrenz herrscht in diesem Markt starker Preisdruck. Für die zügige breite Einführung der Produkte (Substitution von weniger energieeffizienten Leuchtmitteln) sind niedrige Konsumentenpreise absolut notwendig. Dies wird bestätigt von Marktstudien des Hauses IKEA. Vor diesem Hintergrund ist ein Geldrückfluss für die Investitionen nur sehr langfristig möglich.

Umweltrelevante Vorteile in konkreten Zahlenwerten:

- Senkung des Materialbedarfs um 30 % im Vergleich zu anderen LED-Lampen (Bezugsjahr 2014)
- Senkung des Gesamtgewichtes des Produktes um 30 % im Vergleich zu anderen LED-Lampen (Bezugsjahr 2014)
- Senkung der Transportkosten auf nahezu Null
- Senkung der Fertigungskosten und damit Realisierung eines niedrigeren Preises für ein energiesparendes Produkt

Es waren 2 Fertigungslinien geplant. Auf der Linie I sollten die Lampen mit der Fassung E27 in der a-shape Form (Birne) gefertigt werden. Auf der Linie II sollten die Lampen mit der Fassung E14 in der b-shape Form (Kerze) sowie GU10 gefertigt werden. Abbildung 5 und 6 zeigen jeweils die Lampen.



*Abb. 5: Seidel-LED-Lampen a-shape Linie I
(600 lm dim opal, 600 lm dim clear, 400 lm dim opal, 400 lm dim E14)*



Abb. 6: Seidel-LED-Lampen b-shape Linie II

Die Aufteilung auf zwei Linien erfolgte aus technischen und wirtschaftlichen Überlegungen. Ein wesentlicher Punkt ist hierbei die Anforderung, ein Mindeststandardsortiment herstellen zu können. Nur mit einem annähernd kompletten Sortiment von Standard- und Spezialprodukten kann die neue Fertigungstechnologie erfolgreich und nachhaltig umgesetzt werden.

60 % des Lampenmarktes entfallen auf vier Standardprodukte mit E27 Fassung (400 lm und 600 lm jeweils in clear und opal). Hier steht die Aufgabe, vollautomatisch eine hohe Stückzahl zu fertigen (Linie I). Damit können Stückzahlen von mehreren Millionen Stück pro Jahr je Produktvariante effizient und ressourcenschonend hergestellt werden.

40 % des Bedarfes entfallen auf Lampen mit anderen Formen und anderen Sockeln (E14, GU10, MR16 usw.). Hier ist eine sehr hohe Flexibilität erforderlich (Linie II). Demzufolge sind in der Linie II neue, hochflexible vollautomatische Fertigungslösungen für Losgrößen ab 10.000 Stück erforderlich. Diese unterscheiden sich hinsichtlich der Flexibilität der einzelnen Stationen und auch hinsichtlich der Verkettung aller Stationen grundlegend. Dafür werden in der gesamten Linie innovative Anlagen- und Handlinglösungen eingesetzt.

Um diese Flexibilität zu erreichen wurde das Produkt als Baukastenlösung entworfen. Dies bedeutet, dass alle Bauteile und Arbeitsschritte so gestaltet wurden, dass nahezu verzögerungsfrei auf andere Produktvarianten umgestellt werden kann.

Um das gesamte Vorhaben mit einem geringen technischen und wirtschaftlichen Risiko umsetzen zu können, sollte in der ersten Phase (Linie I) die Funktion der vollautomatischen Fertigung nachgewiesen werden. Darauf aufbauend sollte in der zweiten Phase (Linie II) die Flexibilität und die Erweiterung des Produktportfolios im Vordergrund stehen.

2.2. Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)

Es wurde eine Lösung entwickelt, die durch den verstärkten Einsatz von komplex geformten Kunststoff- und Aluminiumteilen weniger Material verbraucht als bisherige LED Lampen. Nachfolgend ist die Produktzeichnung des neuen Systems der Firma Seidel dargestellt:

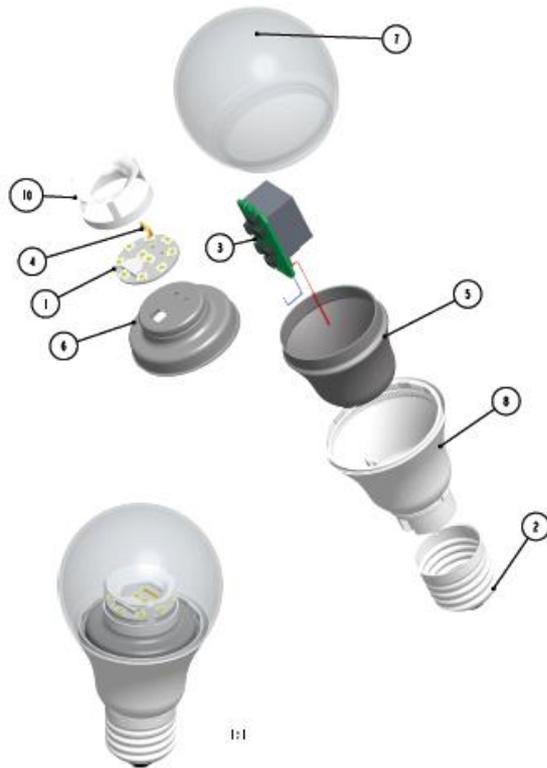


Abb. 7: Seidel-LED-Lampen, Prinzipaufbau

Die Produktspezifikation wurde wie folgt detailliert:

Zukaufteile:

1. PCB mit LED, Gesamtlichtstrom 400 lm, 3,0 g
2. Sockel E27, Messing, 2,6 g
3. Vorschaltgerät, 15,9 g

Eigenfertigung:

4. Klammer, Metall, 0,1 g
5. Kühlkörper Unterteil, Aluminium, 10,1 g
6. Kühlkörper Oberteil, Aluminium, 6,7 g
7. Dome, Kunststoff, 17,4 g
8. Kühlkörper Unterteil, Kunststoff, 5,9 g
10. Optik, Kunststoff, 4 g

Für die Lampen war folgende Leistung angestrebt (Stand Januar 2014):

- 400 Lumen Lampe 6,3 Watt
- 600 Lumen Lampe 8,6 Watt

Dies entspricht der Energieeffizienzklasse A+. Durch die Dimmbarkeit erhöht sich die Leistung. Die Farbwiedergabe dieser Lampe ist im Vergleich mit anderen LED Lampen sehr hoch: CRI größer 90 und R9 (Farbwiedergabe rot) größer als 50. Die hohe Farbwiedergabe reduziert lm/Watt um ca. 15 %.

Die FuE-Arbeiten waren aus prozesstechnischer Sicht abgeschlossen, da sowohl das Stufenpressen, die Oberflächenbehandlung, das Kunststoff-Spritzgießen und die Montage bereits erarbeitet sind. Die Fertigungstechniken sind für andere Branchen, insbesondere die Kosmetikbranche, bereits erfolgreich in der Serienfertigung etabliert und liefern durchweg positive und hochwertige Ergebnisse. Das Vorhaben wird auf den bestehenden sowie erprobten Fertigungstechnologien in Verbindung mit den weitreichenden Analysedaten aus der Serienproduktion aufsetzen. Parallel laufen bereits Entwicklungen, um weitere nachhaltige Effizienzsteigerungen in der Technologie der Fertigung und der Technik des Produktes langfristig sicherstellen zu können. Im Unternehmen sind folgende Fertigungstechniken etabliert:

- Stufenpressen: In den Stufenpressen können aus gewalzten Aluminiumblechen, in mehreren Umformstufen, Aluminiumrohnteile in jeder beliebigen Form tief gezogen werden.
- Oberflächenbehandlung/Eloxalverfahren: Das Eloxieren ist die klassische Methode, um Aluminium zu veredeln. Hierzu verwendet Seidel vollautomatische Eloxalanlagen. Die Aluminiumrohnteile werden durch einen elektrochemischen Prozess mit einer definierten Aluminiumoxidschicht überzogen. Das Eloxieren ermöglicht die Herstellung unzähliger Farben sowie das Erzeugen unterschiedlicher Produkthanmutungen. Weiterhin erhält das Aluminiumteil eine unempfindliche, kratzfeste und hochwertige Oberfläche.
- Spritzgießen: Beim Spritzgießen werden Kunststoffkomponenten wie z.B. Gewindeeinsätze aus Kunststoff hergestellt. Es werden sowohl die Aluminium- als auch die Kunststoffelemente produziert.
- Montage: Bei der Montage werden die Aluminiumteile und die Kunststoffeinsätze zusammengefügt. Hierbei hat das Unternehmen einen hohen Automatisierungsgrad erreicht und führt aufwändige Qualitätskontrollen durch, so dass eine hohe Fertigungs- und Qualitätsgüte erreicht wird.

Sämtliche Werkzeuge für Stufenpressen und Montage werden im eigenen Haus hergestellt.

Abbildung 8 zeigt einen Vergleich der neuen Lösung mit bestehenden Lösungen. Diese werden jedoch nicht am Standort Deutschland gefertigt. Die existierenden Lösungen sind dadurch gekennzeichnet, dass relativ viele Bauteile aus unterschiedlichen Materialien eingesetzt werden. Dadurch bedingt existiert hier eine Vielzahl von Schnittstellen, für die wiederum unterschiedliche Verbindungstechnologien mit einem entsprechenden zusätzlichen Aufwand an Material (Kleber, Lötzinn, Kupferdraht, Dichtungen) und Energie erforderlich sind.

Hersteller	Osram	Philips	Seidel
Typ	LED Star Classic A40	LED	E27 600 Lumen klar dimmbar
Lichtstrom	470lm	600 lm	600 lm
Leistung	8 W	8 W	8,3 W
Sockel	E27	E27	E27
Dimmbarkeit	-	-	+
Komponenten			
Fassung	Messing, Nickel 8,6 g	Messing 2,6 g	Messing 4,6 g
Treiber	22,8 g	16,3 g	18,7 g
Treiberisolierung	Kunststoff 16,0 g	-	-
Vergussmasse	-	Silikon 19,5 g	-
PCB LED	9,3 g	3,3 g	2,1 g
Kühlkörper	Aluminium 29,7 g	Aluminium 38,6 g	Aluminium 19,2 g, Kunststoff 8,1 g
Dome	Kunststoff 12,6 g	Kunststoff 12,5 g	Kunststoff 18,4 g
Schrauben	Metall 1,1 g	Metall 0,3 g	-
Gesamtmasse	100 g	93 g	54,9 g



Abb. 8: Vergleich mit herkömmlichen Lösungen

Nachfolgend sind die bisher in der Fertigung eingesetzten Verfahren der neuen Lösung tabellarisch gegenübergestellt. Mit der Verringerung der Zahl der bisher erforderlichen Fertigungsverfahren sowie des Material- und Energieaufwandes kann das Endprodukt auch zu einem geringeren Preis hergestellt werden.

Hersteller	Osram	Philips	Seidel
Kunststoffspritzguss	+	+	+
Spritzblasen	+	+	+
Metallguss	+	+	-
Tiefziehen	-	-	+
Löten	+	+	-
Kleben	+	+	-
Schrauben	+	+	-
Vollautomatische Montage	-	-	+

Im Projekt sollte erstmalig eine vollautomatische, großtechnische Fertigung von LED-Leuchtmitteln am Standort Deutschland realisiert werden. Neben einer effizienten und ressourcenschonenden Fertigung sowie dem Einsparen langer Transportwege tragen die hergestellten Produkte auch zusätzlich zur schnellen Verbreitung energiesparender Lichtquellen (LED-Lampen) bei.

In den neuen Fertigungsanlagen sollten LED Lampen mit Lichtleistungen von 200, 400 und 600 Lumen herstellbar sein. Die Fertigung besteht aus folgenden Teilbereichen:

- Kunststoffteile: Spritzguss, Spritzblasen
- Aluminiumteile: Tiefgezogene filigrane Aluminiumkomponenten mit optischen und thermischen Funktionen
- Elektronik-Komponenten (Treiber, PCB)
- Vollautomatische Montage (ohne Verwendung von Löt- oder Klebeverbindungen)
- Verpackung

Die Fertigungslinie für LED-Lampen besteht aus 8 Einzelanlagen bzw. Modulen. Die Einzelanlagen sind vollverkettet und laufen vollautomatisch. Beim Bedienen fallen keine manuellen Tätigkeiten an.

Die Tätigkeiten, die die einzelnen Module ausführen, sind wie folgt:

Modul 1 Vormontage Lampe 18 Stationen:

Prüfung „driver“, Montage von: „base-cap“, „lower heatsink plastic“, „lower heatsink metal“, „driver“

Modul 2 Vormontage Lampe 18 Stationen:

Prüfung „LED-MCPCB“, Montage von: „MCPCB“

Modul 3 Endmontage Lampe 18 Stationen:

Montage von: „optics“ und „dome“, Prüfung Lampe

Modul 4 Burn-in 15.000 Lampen:

„Burn-in“ aller Lampen, 8 h (2 h an/aus, 2 h zyklisch an/aus, 4 h an),

Modul 5 Prüflinie:

Spektralanalyse, Hochspannungstest, Lasern

Modul 6 Thermotransfereinheit + Heißsiegelautomat:

Herstellung der Blisterverpackung, versiegeln von Blister, Lampe, Kartoneinleger

Modul 7 Kartoniermaschine:

Automatisches Verpacken der Lampen in einen Karton, Aufsetzen Deckel

Modul 8 Palettieranlage:

Automatisches Verpacken der gefüllten Kartons auf die Palette und Ausgabe der Palette

Die zweite Ausbaustufe sollte es ermöglichen, eine deutlich größere Artikelvielfalt in kleineren Losgrößen (10.000 Teile) aber ebenfalls hoch automatisiert zu fertigen. Auf der Anlage sollten hochinnovative dimmbare Candle E14, GU10, GU5.3 und BA6 mit 200 bis 400 lm gefertigt werden, die im Jahre 2014 zu den angestrebten Verkaufspreisen im Markt nicht verfügbar waren. Die Lampen enthalten einen neuentwickelten dimmbaren Treiber. Dieser enthält weniger Komponenten, ist kleiner und ca. 30% leichter als der in der Ausbaustufe I verwendete Treiber und war erst ab Ende 2014 industriell herstellbar.

In den Anlagen der Ausbaustufe II war geplant, dass die Grundzüge der neuen Industriellen Revolution 4.0 zum Einsatz kommen. Einen wesentlichen Unterschied zur Ausbaustufe I bildet das hochinnovative offene Montagekonzept, das auf einer flexiblen Montageanlage mit leichter Auswechselbarkeit der Warenträger beruht. Der Warenträger ist das Transport- und Montagehilfsmittel für das Produkt und seiner Halbzeuge während des Herstellprozesses. Er enthält über RFID die Informationen über das herzustellende Produkt. Im Rüstprozess wechselt die Anlage selbstständig die Warenträger aus. Für jedes Produkt gibt es eine spezifische Teileaufnahme, welche in einem Magazin bis zum nächsten automatischen Rüsten vorgehalten werden. Greifsysteme werden von den Robotern selbstständig gewechselt. Im Gegensatz zur Ausbaustufe I soll in der Teilezuführung durch den Einsatz von Robotik und Bildverarbeitung sowie flexibel intelligenten Sortiersystemen für Schüttgut eine große Flexibilität der Zuführzellen erreicht werden. In der Ausbaustufe II wird möglichst wenig energieintensive Pneumatik eingesetzt. Dabei soll innerhalb der Montagestationen durch verstärkten Einsatz von servomotorischen Handlingsachsen und Robotern eine schnelle und reproduzierbare Änderung der Abläufe durch Artikelanwahl an der Maschinensteuerung erfolgen, was ein sicheres und deutlich schnelleres Rüsten ermöglicht.

Das System ist offen für die flexible Ergänzung von weiteren Arbeits- oder Prüfschritten, die an jeder Stelle in das System integriert werden können. Bei laufender Produktion können weitere (durchaus sehr verschiedene) Produktvarianten auf neuen Zellen aufgebaut und abgestimmt werden. So können heute noch unbekannte Erweiterungen durch Innovationen an den LED Produkten durch Anpassen der Montagezellen oder das modulartige Hinzufügen weiterer Montagezellen umgesetzt werden.

Für das Langzeittesten (Burn-In) sollte in der zweiten Ausbaustufe im Vergleich zur ersten Ausbaustufe eine Multifunktionalität realisiert werden, die es erlaubt, in raschem Wechsel völlig unterschiedliche Geometrien in der Testanlage zu prüfen (Bsp. Kerzenformlampen, GU10, etc.). Der Vielfalt der zu erwartenden Fassungen wird durch den Einsatz von flexiblen Tablarsystemen mit automatischem Fassungswechsel Rechnung getragen. Eine erweiterte Anlagensteuerung und Prozessparameterverwaltung stellt sicher, dass je Artikel passende Prüf- und Testalgorithmen sowie Daten bereitgestellt werden. Dabei soll über den kontinuierlichen Verbesserungsprozess eine stetige Senkung der Burn-In Zeiten erreicht werden.

Bezüglich der Prüfmaschine wird ferner die Flexibilisierung deutlich erhöht, indem roboterbasiert verschiedenste Prüfstationen angefahren werden können. Eine Erweiterung auf künftige, heute noch nicht bekannte Anforderungen an Artikelprüfungen soll durch die offene Architektur der Prüfanlage mit frei programmierbaren Manipulatoren und Robotersystemen erreicht werden. Data Mining und Multivariate Analysemethoden SPC helfen, Informationen zu generieren, welche zu effektiveren zukünftigen Artikelgenerationen führen werden.

Die hochautomatisierte Verpackung der Artikel in Bezug auf verschiedenste Verpackungsarten und Materialien wird flexibel gestaltet. Das Konzept besteht hier in der Aufteilung der Verpackungsaufgaben in Teilschritte, die durch dezentrale Automatisierungszellen gelöst werden. Hierbei wird die Verarbeitung von bereitgestellten Zuschnitten, Blistern etc. aus Magazinen in Kombination mit geeigneter wandlungsfähiger Anlagentechnik erfolgen.

Die Spritzblasmaschinen in der zweiten Ausbaustufe werden mit Schnellwechseltechnik ausgerüstet, so dass ein erheblich schnelleres und reproduzierbares Rüsten im Vergleich zur Ausbaustufe eins erreicht wird.

Im Einzelnen ist der Unterschied zu Ausbaustufe I:

- ein flexibles Werkzeugsystem
- reproduzierbar und feinfühlig einstellbaren Prozessparametern
- flexible Gestaltung der automatisierten Teileentnahme
- eine gleichbleibende Anordnung der Anspritzpunkte
- ein schnelles modulares Tauschen der formgebenden Elemente
- flexible Angusstrennung und -recycling

Dies erfordert ein neues Werkzeugkonzept und signifikante Veränderungen an den eingesetzten Spritzblasmaschinen.

Für die zweite Ausbaustufe lagen 2014 noch keine detaillierten Angebote vor. Auf den im Unternehmen vorhandenen Kenntnissen aufbauend wurde hierfür ein Grundkonzept erstellt:

Tabellarischer Vergleich Ausbaustufe I und Ausbaustufe II

Ausbaustufe I	Ausbaustufe II
1. Montage - Rundtakter	1. Montage - lineare Palettenmontage
Starre Verkettung von Fertigungsschritten	flexible Verkettung von Fertigungsschritten
3 Rundtaktermodule	15 Fertigungszellen
18 Stationen je Rundtakter	1-6 Stationen je Fertigungszellen
feste Reihenfolge von Arbeitsschritten	flexibel ansteuerbare Parallelzelle
Eingang nahe Ausgang	Linienfertigung
Werkstücktransport durch Rundtakt des Tisches	Werkstücktransport durch Paletten
Fertigungsschritte durch Handlingsysteme	Fertigungsschritte verstärkt durch Robotik u. Servotechnik
hohe Geschwindigkeit u. Genauigkeit	mittlere Geschwindigkeit u. Genauigkeit
Geschwindigkeit 40 Lampen / Minute	Geschwindigkeit 30 Lampen / Minute
gut geeignet für ähnliches Produktspektrum innerhalb einer Plattformstrategie	gut geeignet für großes Produktspektrum
Lampenfassung E27	Lampenfassung E14, GU10, BA6, GU5.3
2. Langzeittest (Burn-In)	2. Langzeittest (Burn-In)
8 Stunden Burn-In	verkürztes Burn-In
Endkontrolle nach 8 Stunden	Weiterentwicklung zur kontinuierlichen Überwachung
Tablare mit fixen Fassungen (E27)	Tablare mit flexiblen Fassungen (E14, GU10, BA6, GU5.3)
manuelles Tauschen der Fassungen möglich	automatisches robotergestütztes Tauschen der Fassungen
3. Prüflinie	3. Prüflinie
fix konfigurierte Prüfstationen	flexibel anfahrbare parallele Prüfstationen
Auswertung der Prüfergebnisse innerhalb der Prüfmaschine	erweiterte statistische Auswertung der Prüfergebnisse
Basis-Auswertung und Gut-Schlecht-Signal	komplexe Auswertung, Datenmaterial für Produktweiterentwicklung
Qualitätsregelkarten und Prozessanalyse	Data-Mining und multivariate Prozessanalyse SPC

4. Verpackung	4. Verpackung
3 Module mit fixer Funktion:	10 Zellen mit flexibler Funktion, parallel ansteuerbar:
1. Modul - Packen in Blister	Zelle 1-6 - Packen in Blister o. Karton
2. Modul - Packen in Lieferkarton	Zelle 7-9 - flexibles Packen in diverse Lieferkartons
3. Modul - schnelles u. spezielles Packen der Palette	Zelle 10 - flexibles Packen verschiedener Karton- u. Palettenmaße
5. PC-Spritzblasmaschine	5. PC-Spritzblasmaschine
Spritzblasmaschine mit 3 Stationen	Spritzblasmaschine mit 3 flexibel rüstbaren Stationen
normale Parameterwahl	flexible u. feinfühligere Prozessparametereinstellungen u. automatischer Wiederaufruf
innovatives Werkzeug für ein Produkt	innovatives Werkzeugsystem mit Schnellrüsfunktion
rüstbares Entnahmekonzept für ein ähnliches Produktspektrum	flexibles Entnahmekonzept gem. Industrielle Revolution 4.0

2.3. Umsetzung des Vorhabens

Die Anlagentechnik für die Linie I wurde wie vorgesehen spezifiziert, beauftragt und montiert. Der Aufbau der Linie erfolgte in einer neu errichteten Fabrikhalle am Standort Fronhausen (Abbildung 9).



Abb. 9: Fertigungshalle für Lampenfertigung

Die erforderlichen Werkzeuge für Kunststoff- und Aluminiumteile wurden konstruiert, hergestellt, getestet und optimiert.

Die gesamte Fertigungsanlage der Linie I besteht wie ursprünglich auch geplant aus folgenden Modulen:

Modul 1: Vormontage Lampe 18 Stationen (Prüfung „driver“, Montage von: „base-cap“, „lower heatsink plastic“, „lower heatsink metal“, „driver“)

Modul 2: Vormontage Lampe 18 Stationen (Prüfung „LED-MCPCB“, Montage von: „MCPCB“)

Modul 3: Endmontage Lampe 18 Stationen (Montage von: "optics" und „dome“, Prüfung Lampe)

Modul 4: Burn-in 15.000 Lampen (Burn-in aller Lampen, 8 h (2 h an/aus, 2 h zyklisch an/aus, 4 h an))

Modul 5: Prüflinie (Spektralanalyse, Hochspannungstest, Lasern)

Modul 6: Thermotransfereinheit + Heißsiegelautomat (Herstellung der Blisterverpackung, versiegeln von Blister, Lampe, Kartoneinleger)

Modul 7: Kartonniermaschine (Automatisches Verpacken der Lampen in einen Karton, Aufsetzen Deckel)

Modul 8: Palettieranlage (Automatisches Verpacken der gefüllten Kartons auf die Palette und Ausgabe der Palette)

Die öffentliche Inbetriebnahme erfolgte am 30.9.2014 (Abbildung 10).

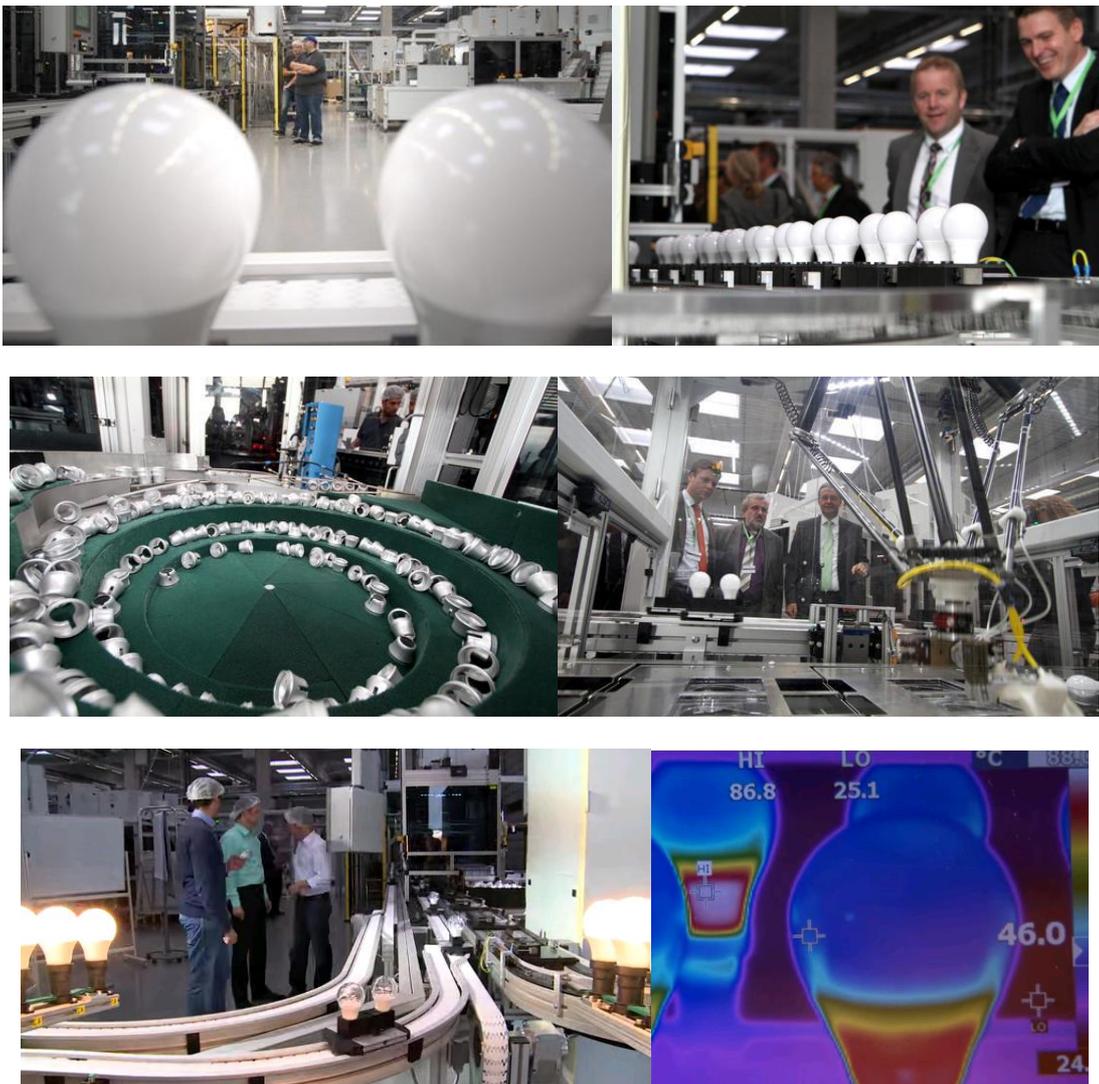


Abb. 10: Teilansichten Linie I, September 2014

Im Laufe des Anfahrens der Linie wurde schrittweise die Taktgeschwindigkeit der Fertigung erhöht. Umfangreiche Optimierungsarbeiten waren an den Stationen zur Montage der Treiberelektronik, der Montage der Fassung und des Aufsetzens der Dome notwendig.

Insbesondere die klebstofffreie Verbindung zwischen Lampengehäuse und Dome stellte eine große Herausforderung dar. Hier mussten mehrfache Änderungen an der Montagetechnik und der Konstruktion der betreffenden Bauteile (mechanischen Schnittstellen) durchgeführt werden.

Bis Ende Dezember 2014 konnte die Fertigungsgeschwindigkeit kontinuierlich auf 1000 Teile pro Stunde (8000 Teile pro Schicht) gesteigert werden.

Während des Aufbaus und der Inbetriebnahme der Fertigungslinie I wurden die gesammelten Erfahrungen zusammengestellt, die bei der Spezifikation der Linie II berücksichtigt werden müssen.

Fertigungsanlage

Nach dem Start der Fertigung im September 2014 erfolgten bis Ende November Optimierungen und Anpassungen der Fertigungstechnik. Seit Dezember 2014 ist ein kontinuierlicher und stabil laufender Produktionsprozess gewährleistet. Die Fertigung erfolgt an 5 Tagen pro Woche im Dreischichtbetrieb. Aufgrund der Nachfrage war es zudem erforderlich, dass teilweise samstags zwei zusätzliche Schichten eingeführt werden mussten. Die stabil laufende Fertigung im Anfangsstadium stellte eine wesentliche Grundlage für die weitere Steigerung der Fertigungsgeschwindigkeit dar. Die Fertigungsgeschwindigkeit konnte auf die angestrebte Stückzahl von 40.000 Stück pro Tag gesteigert werden.

Die Fertigungstechnik wurde weiter optimiert, so dass bereits Anfang 2015 in der gesamten Kalenderwoche 7 eine Stückzahl von 193.218 Lampen hergestellt wurde. Ohne einen Produktwechsel kann damit bei 49 Kalenderwochen pro Jahr (Betriebsferien: 2 Wochen Sommer und 1 Woche Weihnachten) eine Jahresstückzahl von 9.467.682 Stück erreicht werden. Die Zielstellung von 10 Mio. Stück pro Jahr ist somit weitestgehend erfüllt.

In der Bewertung der Fertigungsstückzahl pro Zeiteinheit spielen jedoch gerade bei großen Stückzahlen Parameter aus dem Bereich Qualitätssicherung und Ressourcenverbrauch eine wesentliche bzw. sogar entscheidende Rolle:

Die ursprüngliche Zielstellung der Linie I ging von einer Taktrate von 40 Teile/min aus. Bei dieser Stückzahl wäre, in Analogie zu vergleichbaren Fertigungseinrichtungen, eine hohe Ausschussquote von bis zu 10% zu erwarten. Deshalb wurde im Laufe des Projektes die Taktzahl schrittweise von 30 auf 33 – 36 Teile/min gesteigert. Die aktuelle Ausschussquote liegt zurzeit bei etwa 0,4 bis 1,2 % (bezogen auf alle Fehlerarten). Bei gleichbleibendem Produkt (wie z.B. Mobiltelefonen) wäre eine Ausschussquote von unter 0,5% möglich.

Hier sind jedoch auch die Anforderungen des Marktes zu beachten. Entgegen der ursprünglichen Planung von sehr wenigen Lampenversionen sind inzwischen seit Produktionsstart 2014 bisher 30 verschiedene Lampenversionen entwickelt und hergestellt worden. Eine Lampenversion läuft über sehr kurze Produktionszeiträume von maximal 9 – 10 Monaten. Durch die erforderlichen Umrüstungen der Fertigungseinrichtungen ergibt sich in der Realität für die Linie I eine jährliche Fertigungskapazität von ca. 8,2 Mio. Stück.

Hergestelltes Produkt

Auf der Fertigungslinie I wurden anfangs zwei Lampentypen (400 Lumen matt und 600 Lumen klar, Abbildung 11) vollautomatisch hergestellt und verpackt.



Abb. 11: Teile aus dem Anlauf der Fertigung

Alle angestrebten elektrischen und lichttechnischen Parameter der Lampen (elektrische Leistung, Lichtstrom, Lichtverteilung) wurden erreicht. Die erforderlichen Zertifizierungen bei Semko wurden erfolgreich abgeschlossen.

Hervorzuheben sind zusätzlich möglich gewordene Effekte im Bereich Materialeinsparung. Durch die systematische und sehr komplexe Optimierung der Kunststoff- und Aluminiumbauteile sowie der Montage- und Fügetechnologien konnte das Gewicht einer Lampe auf 62 g verringert werden (angestrebtes Ziel waren ursprünglich 66 g). Im weiteren Projektverlauf konnten weitere Gewichtsreduzierungen bis 50 g erfolgen.

Als wesentliche Marktanforderung hat sich die Dimmbarkeit herausgestellt. Neue integrierte Lichtsteuerungen wie „Dim by Click“ oder „Warm by Click“ fanden am Markt großes Interesse. Beide Varianten benötigen keine teuren Spezial-Dimmer oder Funk-Fernbedienungen. Die Lampe kann mit einem normalen Lichtschalter gedimmt werden. Das Modell „Warm by Click“ kann beim Dimmen sogar die Farbtemperatur von rund 2700 auf unter 1900 Kelvin senken – ähnlich wie traditionelle Glühlampen (Abbildung 12).

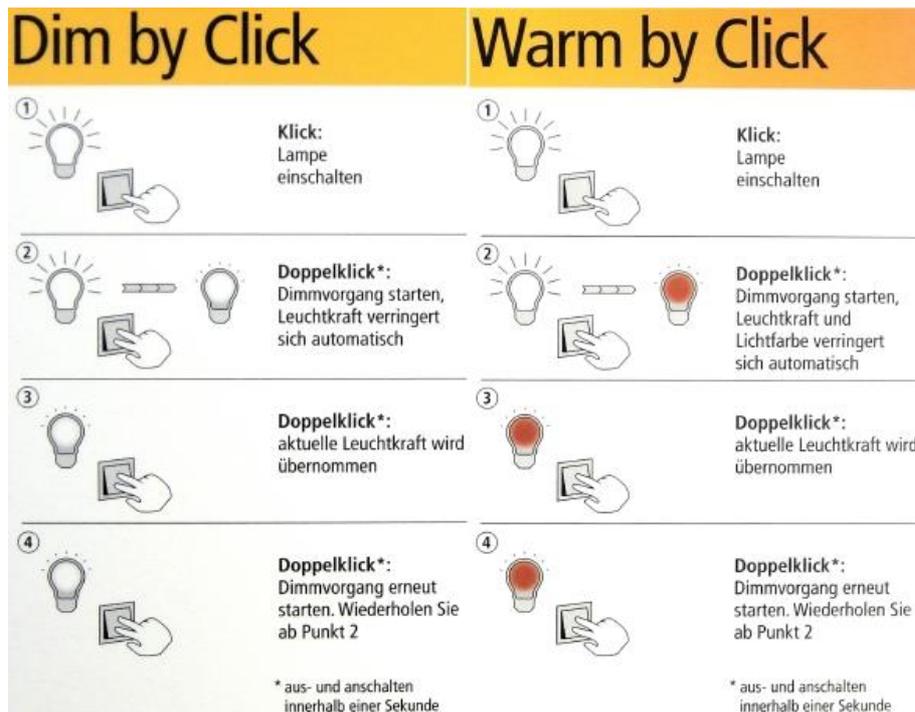


Abb. 12: Bedienkonzepte Dim by Click und Warm by Click

Beide integrierte Lichtsteuerungen bildeten eine Vorstufe zum Smarten Licht „Carus Connect“.

Abbildung 13 zeigt eine Auswahl der aktuellen Produktvarianten.



Abb. 13: Aktuelle Produktvarianten

In der nachfolgenden Tabelle sind alle aktuellen Lampentypen, deren wichtigste technische Parameter und Besonderheiten zusammengefasst. Der Anteil höherwertiger Produkte wie „Warm by Click“, „Dim by Click“ und „Look at me“ (besonders schöne „designer“ Leuchtmittel mit transparenten Kunststoffen und farbig eloxierten Kühlkörpern) steigert den eigenen Wertschöpfungsanteil und verbessert entscheidend die Abgrenzung zum Wettbewerb.

Bezeichnung	Sockel	Energieverbrauch	Lumen/Watt	Energieeffizienzklasse	Nutzlichtstrom	Farbtemperatur	Farbwiedergabeindex	Gewicht	Dimmbarkeit	Smartes Licht	Blauer Engel		
												Watt	lm/Watt
1 Carus Connect	E27	8,0	70	A+	10...560	2200...4500	> 95	76	X	X	-		
2 E27 400 Lumen matt dimmbar	E27	6,3	63	A+	400	2700	>90	71	X	-	-		
3 E27 600 Lumen klar dimmbar	E27	8,6	70	A+	600	2700	>90	79	X	-	-		
4 E14 400 Lumen matt dimmbar	E14	6,3	63	A+	400	2700	>90	63	X	-	-		
5 E27 600 Lumen matt dimmbar	E27	8,6	70	A+	600	2700	>90	66	X	-	-		
6 E27 600 Lumen matt	E27	7,5	80	A+	600	2700	>80	59	-	-	-		
7 E27 600 Lumen klar Dim by Click	E27	8,0	75	A+	600	2700	>90	74	X	(X)	-		
8 E27 470 Lumen klar Warm by Click	E27	7,5	63	A	470	1900...2700	>95	74	-	(X)	-		
9 E27 800 Lumen matt dimmbar	E27	8,6	93	A+	800	2700	>80	57	X	-	-		
10 E27 600 Lumen matt dimmbar	E27	8,6	70	A+	600	2700	>90	66	X	-	X		
11 E27 650 Lumen matt	E27	7,5	87	A+	650	4500	>70	50	-	-	-		
12 Carus lookatme	E27	8,6	70	A+	600	2700	>87	74	X	-	-		
13 E27 600 Lumen klar dimmbar	E27	8,6	70	A+	600	2700	>90	66	X	-	-		
14 E27 600 Lumen matt neutralweiß	E27	7,5	80	A+	600	4500	>85	59	-	-	-		
15 E27 600 Lumen matt neutralweiß dimmbar	E27	8,6	70	A+	600	4500	>95	66	X	-	-		

3 von 15
>95

4 von 15
kleiner
60 g

11 von 15
3 von 15
Erste
Lampe
weitweit

Die Lampe E27 600 Lumen matt dimmbar hat als einzige Lampe weltweit den „Blauen Engel“ für besondere Umweltfreundlichkeit erhalten (Abbildung 14).



Abb. 14: Aktuelle Produktvarianten

Wirtschaftliche Verwertung

Der Start der wirtschaftlichen Verwertung konnte bereits im Jahre 2014 erfolgen. Die Vermarktung der LED-Lampen erfolgt über ein 2014 neu gegründetes Unternehmen, die Carus GmbH & Co.KG. Die ersten Absatzmärkte in Europa waren Schweden, Russland und Italien. Entscheidend für diese erfolgreiche Entwicklung waren neben der frühzeitigen Einbindung von Kunden auch die gezielten Marketingmaßnahmen seit der Messe Light+building 2014 in Frankfurt. Die aktuelle Entwicklung des Dollarkurses hat nur einen vergleichsweise geringen Einfluss auf die Kosten, da nur der Treiberbaustein davon betroffen ist. Im Vergleich zum Import ganzer LED-Lampen nach Europa hat die neue LED-Lampe durch den sehr hohen Anteil an Wertschöpfung in Deutschland einen Preisvorteil gegenüber Importen aus Fernost. Gegen Ende des Jahre 2014 wurde der Verkauf über einen Internetauftritt gestartet. Im Dezember 2014 wurde zusätzlich ein Werksverkauf am Fertigungsstandort Fronhausen eingerichtet (Abbildung 15). In den Bereichen Lampenfertigung und Vertrieb wurden 40 neue Arbeitsplätze geschaffen. Weitere 5 Arbeitsplätze entstanden im Bereich Werkzeugbau und Komponentenfertigung.



Abb. 15: Werksverkauf, Dezember 2014

Öffentlichkeitsarbeit

Das neue Produkt wurde der Öffentlichkeit erstmals zur Light+building 2014 in Frankfurt vorgestellt. Über facebook konnte der Verlauf des Aufbaus der Fertigung und die Inbetriebnahme aktuell verfolgt werden. Weiterhin wurde über den Start der Fertigung in einem TV-Bericht des Hessischen Rundfunks informiert. Weitere Veröffentlichungen erfolgten in der Oberhessischen Presse. Im Rahmen des Netzwerkes „Evidence-Based Management“ wurde das gesamte Projekt anderen Unternehmern und Wissenschaftlern vorgestellt. In spezialisierten Internetplattformen (www.fastvoice.net, Wolfgang Messer) wurden die hergestellten Lampen sehr positiv bewertet. Auf youtube ist der Beitrag „Carus LED Made in Hessen –Infofilm des VDI“ veröffentlicht (Abbildung 16). Ein wesentlicher Schwerpunkt dieses Films ist die sehr ausführliche und anschauliche Darstellung der gesamten Wertschöpfungskette, beginnend bei den Rohstoffen bis hin zum fertigen Produkt, mit dem Fokus auf die Material- und Ressourceneffizienz. In diesem Film wurde auch auf die Förderung des Projektes im Umweltinnovationsprogramm ausdrücklich hingewiesen.



Abb. 16: Carus LED Made in Hessen –Infofilm des VDI

Anlagentechnik Linie II

Die Konzeption der Linie II wurde abgeschlossen. Seit Projektstart haben sich jedoch mehrere Veränderungen ergeben welche bis Ende 2016 keine betriebswirtschaftlich sinnvolle Umsetzung erlaubten:

- Auf die vom Markt geforderten Veränderungen der Produktvarianten musste schnell reagiert werden. Das flexible Fertigungskonzept musste deshalb mit den in den Linie I gegebenen eingeschränkten technischen Möglichkeiten bereits teilweise umgesetzt werden.

- Die extrem schnelle Entwicklung im Bereich „Smartes Licht“ musste aufgegriffen und zügig umgesetzt werden. Da dieser Technologiebereich in den nächsten Jahren sehr schnell wachsen wird, müssen die Fertigungskonzepte für Lampen überarbeitet werden.
- Durch den Preisdruck von Produkten aus dem asiatischen Raum – durch günstigere Elektronik-Komponente und insbesondere aufgrund staatlicher Subventionierung chinesischer Hersteller – sinkt auch die Rentabilität für in Deutschland hergestellte Lampen.

Diese Veränderungen des technologischen Fortschrittes und der Marktbedingungen werden zurzeit in einem überarbeiteten Konzept für die Linie II detailliert.

2.4. Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)

Zur Umsetzung des Vorhabens waren keine behördlichen Genehmigungen erforderlich.

2.5. Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Für eine effiziente und ressourcensparende vollautomatische Fertigung ist die Taktzeit nur ein Parameter von vielen. Für eine ganzheitliche Betrachtung und Bewertung müssen weitere Faktoren hinzugezogen werden. Ein wichtiger Faktor ist die Maschinenverfügbarkeit (Abbildung 17). Diese konnte in 2015 und 2016 kontinuierlich gesteigert werden.

Verlauf der realisierten Maschinenverfügbarkeit

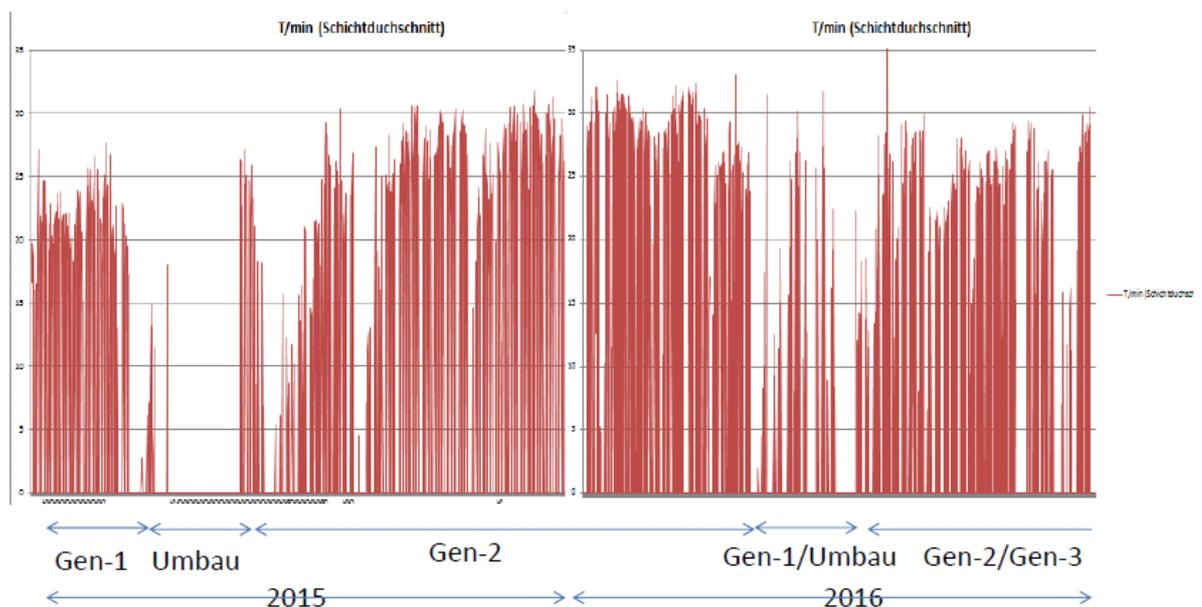


Abb. 17: Maschinenverfügbarkeit

Die internen Ausschussraten in der Fertigung liegen stabil unter 1,5 %. Dies ist für die hohe Zahl unterschiedlicher Produkte und die damit verbundenen Umrüstungen ein hervorragender Wert. Aufgrund der für eine einfache Materialtrennung ausgelegten Konstruktion des Produktes können Ausschussteile am Fertigungsstandort selbst recycelt werden.

Wesentlich entscheidender für eine ganzheitliche Bewertung des Fertigungsprozesses sind die Ausschussraten beim Kunden. Mit 0,3 bis 0,35 % sind diese im Vergleich zu Wettbewerbern um bis zu viermal niedriger. Damit werden Kosten für Transport, Entsorgung, Ersatzlieferung gesenkt und somit ebenfalls Ressourcen geschont.

2.6. Konzeption und Durchführung des Messprogramms¹

entfällt

3. **Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung**

3.1. Bewertung der Vorhabendurchführung

Mit der erfolgreichen Inbetriebnahme der Linie I konnten nahezu alle gestellten Ziele erreicht und übertroffen werden:

1. Verringerung des Anteils an Metallen durch Nutzung hocheffizienter Umformverfahren zur Erzeugung von dünnwandigen Kühlkörpern (30 % Materialeinsparung). Mit den zurzeit gefertigten Produkten wurde diese Zielstellung erreicht.
2. Materialersparnis durch den Wegfall von Zusatzwerkstoffen für mechanische und elektrische Verbindungen (wie z.B. Zinn, Kupferkabel, Klebstoffe, Dichtungsmaterialien, 30 % Materialeinsparung). Mit den zurzeit gefertigten Produkten wurde diese Zielstellung erreicht und teilweise durch eine weitere Verringerung des Gewichtes übertroffen.
3. Verbesserte Recyclingfähigkeit durch Reduzierung des Materialmix. Diese Zielstellung wurde erreicht. Im Gegensatz zu anderen Lampenprodukten liegt der Anteil an Elektronikschrott bei nur 10 % (bei 62 Gramm Gesamtgewicht und 8 Mio. Lampen sind das 50 Tonnen Elektronikschrott). Die verbleibenden 90 % Metall und Kunststoff (446 Tonnen pro Jahr) können sortenrein getrennt werden. Gerade bei Großkunden wird dieses Thema an Bedeutung gewinnen und wird bereits jetzt von allen Kunden sehr positiv bewertet.
4. Senkung der Transportkosten durch absatzmarknahe Fertigung wesentlicher Produktkomponenten sowie der Endmontage. Senkung der Transportkosten durch Gewichtsreduzierung. Fertigung in Deutschland für deutschen und europäischen Markt. Das Ziel wurde erreicht.
5. Senkung Produktionsabfall durch vollautomatische Fertigung mit automatisierten Zwischenprüfungen, zur frühzeitigen Erkennung möglicher Fehler. Das Ziel wurde erreicht. Ein Teilschritt der Fertigung ist die Einbrenndauer von 8 Stunden (sog. Burn-in). Wettbewerber wie Philips bzw. Osram arbeiten nur mit einer Einbrenndauer von 15 Minuten. Nach Angaben von IKEA ist die Rücklaufquote von LED Lampen mit rund 0,3 % aus

¹ Sofern durchgeführt

der neuen Fertigung etwa 2 bis 4mal geringer als bei Wettbewerbsprodukten. Allein IKEA kauft und verkauft jährlich ca. 79 Mio. Lampen. Bei 1 % weniger Ausschuss sind das 790.000 weniger zu ersetzende, zu transportierende und zu entsorgende Lampen. Mit dem Projekt konnte auch nachgewiesen werden, dass eine stabil laufende Fertigung mit etwas geringeren Taktzahlen je Zeiteinheit und geringeren Ausschussquoten wesentlich wirtschaftlicher und ressourcenschonender ist als eine Fertigung mit maximal möglicher Geschwindigkeit und exponentiell ansteigenden Ausschussquoten.

6. Hohe Materialeffizienz durch eine wandlungsfähige hochautomatische Anlagentechnik, welche mit geringem Aufwand auf zukünftige Generationen von LED-Lampen umgebaut werden kann. Dieses Ziel wurde teilweise erreicht. Die Linie I besitzt flexible Fertigungsmöglichkeiten. Sie kann im 1-Schicht, 2-Schicht und 3-Schicht Betrieb arbeiten. Die Rüstzeiten konnten von mehreren Wochen auf maximal 2 Tage gesenkt werden. Diese Erfahrungen fließen in die Planung der Linie II ein.

7. Beitrag zur breiten Einführung von energiesparenden Lichtquellen in der Bevölkerung durch niedrige Produktpreise. (hohe Multiplikatorwirkung beim Konsumenten durch raschen Einstieg in LED-Technik ausgelöst durch niedrige Beschaffungspreise). Die Resonanz auf die bisher geleistete Öffentlichkeitsarbeit und die Marketingmaßnahmen hat bereits gezeigt, dass sowohl in Deutschland als auch in Europa das Thema Energieeffizienz in der Beleuchtung durch LED-Technik eine immer breitere Basis findet.

3.2. Stoff- und Energiebilanz

In der nachfolgenden Tabelle wird ein typisches aktuelles Wettbewerbsprodukt mit der neuen LED-Lampe verglichen. Hierbei werden mehrere Produktvarianten die zwischen 2014 und 2017 entwickelt wurden dargestellt. Daraus ist erkennbar, dass die Stoff- und Energiebilanzen kontinuierlich verbessert werden konnten. Indirekt wurden damit auch die Wettbewerber gezwungen, ihre Produkte weiter in Richtung Ressourceneffizienz zu verbessern.

Hersteller	OSRAM 2016	Seidel 2014	Seidel 2016	Seidel 2017
Typ	CLASSIC A60 8W/807 E27	E27 600 Lumen klar dimmbar	E27 800 Lumen matt dimmbar	E27 600 Lumen matt dimmbar
Lichtstrom	806 lm	600 lm	800	600 lm
Farbwiedergabe	Ra = 80	Ra = 90	Ra = 80	Ra = 90
Leistung	8,1 W	8,6 W	8,6 W	8,3 W
Sockel	E27	E27	E27	E27
Dimmbarkeit	-	+	+	+
Komponenten				
Fassung	Aluminium 2,8 g	Messing 4,6 g	Messing 4,6 g	Messing 4,6g
Treiber	11,6 g	18,7 g	12,7 g	12,0 g
Vergussmasse	-	-	-	-
PCB LED	2,7 g	2,1 g	1,7 g	1,6 g
Kühlkörper	Aluminium: 7,8 g Kunststoff: 25,3	Aluminium 19,2 g, Kunststoff 8,1 g	Aluminium 16,8 g Kunststoff 8,1 g	Aluminium 14,4 g Kunststoff 8,1 g
Dome	Kunststoff 12,6 g	Kunststoff 18,4 g	Kunststoff 18,2 g	Kunststoff 12,6 g
Gesamtmasse	48,8 g	54,9 g	47,9 g	41,0 g

3.3. Umweltbilanz

Die Umweltbilanz im Vergleich zum Zeitpunkt der Antragstellung ist nachfolgend dargestellt. Die erreichten Zahlen sind auf das Jahr 2016 und auf eine stabile Fertigungsstückzahl von 8 Mio. Stück pro Jahr bezogen.

1. *Verringerung des Anteils an Metallen durch Nutzung hocheffizienter Umformverfahren zur Erzeugung von dünnwandigen Kühlkörpern (30 % Materialeinsparung)*

	<i>Manuelle Lampenfertigung</i>	<i>Vollautomatische Lampenfertigung</i>	<i>Einsparung pro Jahr (bei 8 Mio. Stk. pro Jahr)</i>
Ziel	Kühlkörper Aluminium ca. 30 g/ Lampe	Kühlkörper Aluminium ca. 17 g	260t Aluminium (13g/ Lampe), ca. 520 T€
Erreicht (2016)		Kühlkörper Aluminium 16,8 g	106 t Aluminium (13,2g/ Lampe), ca. 212 T€

2. *Materialersparnis durch den Wegfall von Zusatzwerkstoffen für mechanische und elektrische Verbindungen (wie z.B. Zinn, Kupferkabel, Klebstoffe, Dichtungsmaterialien) (30 % Materialeinsparung)*

	<i>Manuelle Lampenfertigung</i>	<i>Vollautomatische Lampenfertigung</i>	<i>Einsparung pro Jahr (bei 8 Mio. Stk. pro Jahr)</i>
Ziel	Zinn ca. 1 g/ Lampe	Steckverbindung, 0g	20t Zinn (1g/ Lampe), ca. 400 T€
Erreicht (2016)		Steckverbindung, 0g	8t Zinn (1g/ Lampe), ca. 160 T€
Ziel	Kupfer ca. 2 g/ Lampe	Steckverbindung, 0g	40t Kupfer (2g/Lampe), ca. 200 T€
Erreicht (2016)		Steckverbindung, 0g	16t Kupfer (2g/Lampe), ca. 80 T€
Ziel	Dichtungen, Klebstoffe, keine Quantifizierung möglich	Keine Dichtungen oder Klebstoffe	Ca. 100 T€
Erreicht (2016)		Keine Dichtungen oder Klebstoffe	Ca. 100 T€

3. *Verbesserte Recyclingfähigkeit durch Reduzierung des Materialmix*

Gegenüber bestehenden Lösungen wird der Materialmix stark reduziert. Da ausschließlich mechanische Fügeprozesse eingesetzt werden ist zudem die Materialtrennung beim Recyceln stark vereinfacht.

4. *Senkung der Transportkosten durch absatzmarknahe Fertigung wesentlicher Produktkomponenten sowie der Endmontage. Senkung der Transportkosten durch Gewichtsreduzierung. Fertigung in Deutschland für deutschen und europäischen Markt.*

	<i>Manuelle Lampenfertigung</i>	<i>Vollautomatische Lampenfertigung</i>	<i>Einsparung pro Jahr (bei 8 Mio. Stk. pro Jahr)</i>
Ziel	Containertransport Asien-Europa ca. 100.000 Lampen je Container	Entfällt durch Fertigung in Deutschland	200 Container, ca. 200 T€
Erreicht (2016)		Entfällt durch Fertigung in Deutschland	80 Container, ca. 80 T€

5. Senkung Produktionsabfall durch vollautomatische Fertigung mit automatisierten Zwischenprüfungen, zur frühzeitigen Erkennung möglicher Fehler.

	Manuelle Lampenfertigung	Vollautomatische Lampenfertigung	Einsparung pro Jahr (bei 8 Mio. Stk. pro Jahr)
Ziel	Abfall, Ausschuss ca. 2 %	< 1%	200.000 Lampen, ca. 600 T€
Erreicht (2016)		< 1,5 %	120.000 Lampen, ca. 360 T€

6. Hohe Materialeffizienz durch eine wandlungsfähige hochautomatische Anlagentechnik, welche mit geringem Aufwand auf zukünftige Generationen von LED-Lampen umgebaut werden kann.

	Manuelle Lampenfertigung	Vollautomatische Lampenfertigung	Einsparung pro Jahr (bei 8 Mio. Stk. pro Jahr)
Ziel	Neukonzeption manueller Fertigungsabläufe und Hilfsvorrichtungen	Ggf. Anpassung von Vorrichtungen	Nicht quantifizierbar
Erreicht (2016)			Statt der angestrebten 4 Produktvarianten wurden bisher 30 Produktvarianten gefertigt

7. Beitrag zur breiten Einführung von energiesparenden Lichtquellen in der Bevölkerung durch niedrige Produktpreise. (hohe Multiplikatorwirkung beim Konsumenten durch raschen Einstieg in LED-Technik ausgelöst durch niedrige Beschaffungspreise).

Bei einer Jahresproduktion von 8 Mio. Stk. können durch das Produkt jährlich ca. 0,336 Mrd. kWh Elektroenergie eingespart werden (rund 54 Mio. € Energiekosten).

Mit der neuen Fertigungstechnik kann alle 1,7 Sekunden eine Lampe hergestellt und verpackt werden, 24 Stunden am Tag. Bei einer manuellen Fertigung wären hierfür mehrere hundert Arbeitskräfte erforderlich.

3.4. Wirtschaftlichkeitsanalyse

Die Fertigungslinie für LED-Lampen besteht aus 8 Einzelanlagen bzw. Modulen. Die Einzelanlagen sind vollverkettet und laufen vollautomatisch. Beim Bedienen fallen keine

manuellen Tätigkeiten an. Mit einer Taktzeit von 36 Lampen pro Minute können pro Jahr ca. 8,2 Mio. Lampen hergestellt werden.

Im Projektzeitraum hat sich der Markt sehr schnell verändert. Die Preise für die Elektronikkomponenten sind stark gesunken. Dadurch und durch Verbesserungsmaßnahmen bei Wettbewerbern im Bereich Produkt und Fertigungstechnologie sind auch die Verkaufspreise ab Werk von ursprünglich 2,50 bis 2,70 € auf 1,50 € gesunken. Bei 8 Mio. Stk. pro Anlage ergibt sich eine Amortisationszeit von über 6 Jahren.

Ein wesentlicher Vorteil dieses neuen Konzeptes besteht darin, dass auch bei Änderungen in der LED-Technik (neue LEDs mit höherer Lichtausbeute, besserer Farbwiedergabe und geringeren Kosten) keine neue Fertigung aufgebaut werden muss. Das zukunftsorientierte Baukastenprinzip gewährleistet in weiten Bereichen eine schnelle Anpassung.

3.5. Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren

LED Lampen werden gegenwärtig auch im Ausland (China, Indien) zunehmend auf automatisierten Anlagen hergestellt. Der Automatisierungsgrad ist jedoch geringer. In Europa gibt es bisher keine weitere automatische Fertigung von LED-Lampen.

Kontaktierungstechnologien ohne Lötten und der weitgehende Verzicht auf Klebstoffe haben sich inzwischen bei allen Wettbewerbsprodukten durchgesetzt.

4. Übertragbarkeit

4.1. Erfahrungen aus der Praxiseinführung

Der Lösungsansatz einer vollautomatischen Fertigung konnte wie vorgesehen umgesetzt werden. Ebenso hat sich der auf eine automatisierte Fertigung und gute Recyclingfähigkeit ausgelegte Produktbaukasten bewährt.

Vorteilhaft für die automatische Fertigung sind auch der Verzicht auf Verbindungstechnologien wie Lötten und Kleben.

Das Produkt- und Fertigungskonzept hat sich auch in der ersten Ausbaustufe durch eine gute Flexibilität ausgezeichnet. Damit konnte schnell auf neue technische Entwicklungen und neue Produkthanforderungen reagiert werden.

Ein wesentlicher Vorteil der neuen Fertigungstechnologie ist, dass die Ausfallraten beim Kunden extrem niedrig sind. Damit verbunden sind nicht nur Wettbewerbsvorteile sondern auch Ressourceneinsparungen.

4.2. Modellcharakter/Übertragbarkeit (Verbreitung und weitere Anwendung des Verfahrens/der Anlage/des Produkts)

Die Konstruktion der LED-Lampen wurde so ausgelegt, dass die vorhandenen Fertigungsteilprozesse Spritzgießen, Aluminiumtiefziehen und Eloxieren genutzt werden können. Gleichzeitig sind alle mechanischen, elektrischen und optischen Schnittstellen zwischen den Komponenten in der Produktentwicklung und -konzeption so gestaltet worden, dass eine vollautomatische Fertigung ohne Verwendung materialgebundener Füge- und Verbindungstechnologien wie Kleben und Löten möglich ist.

Die Innovation liegt in der Übertragung der im Einzelnen bekannten Fertigungsprozesse für die derzeit überwiegend in der Kosmetikbranche eingesetzten Bauteile (Spritzgießen, Spritzblasen, Aluminiumtiefziehen) auf ein anspruchsvolles Bauteil mit elektrischen und optischen Funktionen sowie in der Konzeption vollautomatischer Montageanlagen. Hierbei stellt die Erreichung einer hohen Prozesssicherheit sowie einer exzellenten Produktqualität bei gleichzeitig schnellen Durchlaufzeiten und Prozesskosten die wesentliche Herausforderung in dem Vorhaben dar. Dies in Verbindung mit überwachenden Tätigkeiten unter Ausschluss zyklischer manueller Tätigkeiten. Die Implementierung der Technologien und die Anpassung der Prozessmodule an die Spezifikationen des High-Tech-Produkts waren ebenso Gegenstand der Entwicklungstätigkeiten, wie auch die Identifikation und Integration der optimalen Prozessparameter.

Mit der erfolgreichen Implementierung dieser Fertigungsprozesse kann die Seidel GmbH & Co. KG sich von den bestehenden Lösungen durch Qualität, Material- und Gewichtseinsparung sowie niedrigeren Fertigungskosten von Wettbewerbslösungen differenzieren, was bislang in diesem Maße technologisch nicht realisiert werden konnte.

Durch die Etablierung eines hochwertigen, optisch ansprechenden und kostengünstigen Produkts mit dem Markenzeichen 'Made in Germany' am Markt sind sämtliche Hersteller gefordert, ihre bisherige Firmenpolitik mit ausländischer Produktion und damit verbundenen langen Transportwegen zu überdenken.

Die Senkung der Transportkosten und des Treibstoffbedarfs aufgrund signifikant reduzierter Fahrtstrecken und eines reduzierten Gewichts sorgen gleichzeitig für eine Ausweitung der aufgeführten positiven Umwelteffekte, was durch die entsprechenden Multiplikatoreffekte eine deutliche Einsparung an Primärenergieressourcen erzeugen wird.

Die eingesetzten Fertigungstechnologien und die daraus resultierenden reduzierten Fertigungskosten, die neben einer Senkung des Materialbedarfs auch gleichzeitig sichtbar machen sollen, dass am Produktionsstandort Deutschland high-tech Massenprodukte gefertigt werden können, sollte eine Signalwirkung für die Herstellung verschiedener Produkte 'Made in Germany' auch in anderen Branchen entfalten. Deutschland ist weltführend im Maschinenbau und somit fähig, hohe Automatisierungslösungen zu realisieren. So kann als weiterer Multiplikatoreffekt genannt werden, dass sich auch andere Hersteller an dem hier skizzierten

Modell orientieren und mit den gleichen Effekten zukünftig ähnliche Ansatzpunkte wählen, anstatt Verlagerungen ins Ausland zu betreiben.

Der Demonstrationsbetrieb bietet ein hohes Potential, auf andere Standorte und auch Anwendungsbereiche übertragen zu werden. Beispielsweise wäre auch nicht nur die effiziente Fertigung von Leuchtmitteln, sondern auch die ganzer Kleinleuchten (Innenbeleuchtung, Außenbeleuchtung, Fahrzeuglicht usw.) am Standort Deutschland möglich.

Einen Signal- und Modellcharakter hat insbesondere die Senkung des Materialbedarfs, die Einsparung an Produktgewicht sowie die aus reduzierten Fertigungskosten mögliche Produktion am Standort Deutschland. Während zunächst ein Effekt in der Leuchtmittelbranche erwartet wird, ist nicht auszuschließen, dass sich auf Grund der genannten Vorteile aus fertigungstechnischer, qualitativer und logistischer Sicht auch andere Branchen mit der Adaption der Fertigungstechnologien beschäftigen werden. So können weitere positive Umwelteffekte erzielt werden.

Durch das Vorhaben wurden die eingesetzten Materialien gegenüber dem Stand der Technik der bereits verfügbaren Lösungen deutlich reduziert. Insbesondere der Anteil an metallischen Komponenten konnte deutlich verringert werden.

In der Zusammensetzung ist ein erhöhter prozentualer Anteil an Kunststoffen realisiert, der sich jedoch als Absolutwert immer noch unter dem Niveau vergleichbarer Produkte bewegt. Weiterhin wird durch das Verfahren auf Löten, Kleben oder Schrauben verzichtet, was sich ebenfalls positiv auf den Materialeinsatz auswirkt.

Gegenüber dem bislang eingesetzten Metallguss wurde das Verfahren des Tiefziehens eingesetzt. Hier ist ein deutlich verringerter Energieeinsatz gegenüber dem Metallguss gegeben, was energetische Einsparungen mit sich bringt. Die Umstellung von Metallguss auf Tiefziehen führt zu einer signifikanten Energieeinsparung im Fertigungsprozess, da die erforderliche thermische Energie deutlich reduziert werden kann.

Mit den eingesetzten Fertigungsverfahren sind keine Cross-Media-Effekte wie Schadstoffverlagerungen oder Schadstoffanreicherungen verbunden. Da im Vergleich zu bestehenden Verfahren weniger Materialien und Hilfsstoffe eingesetzt werden, entstehen weniger Fertigungsabfälle.

Durch die neuentwickelten LED-Produkte mit einem deutlich reduzierten Materialmix ist ein verbessertes Recycling möglich. Insbesondere hinsichtlich der erforderlichen Materialtrennung und Wiederverwertung sind gegenüber den heute oftmals verschmutzten Komponenten positive Effekte zu verzeichnen.

Mit der Fertigung am Standort Deutschland entfallen die bisher bei Wettbewerbern erforderlichen Transporte aus den bisherigen Fertigungsstandorten in Fernost. Somit werden im Bereich Containertransport China-Deutschland bei 100.000 Lampen à 100 g, entspricht etwa 10 t Transportgewicht bzw. 1028 kg CO₂/je Container zusätzlich eingespart.

Die erwarteten Cross-Media-Effekte erfordern ein gutes Abfall- und Recyclingmanagement. Dieses wird entsprechend unterstützt und weiter verbessert. Die neue Lösung ist mit bestehenden Lösungen im Bereich Recycling von Elektronikschrott kompatibel.

Durch die verringerte Materialvielfalt der neuen Lösung ist im Vergleich mit dem Recycling von Energiesparlampen der Recyclingprozess weniger aufwändig.

Mit dem geplanten Vorhaben wurde eine energiesparende LED-Lampe realisiert, die sich durch eine hohe Produktlebensdauer auszeichnet. Weiterhin kann die LED-Lampe in verschiedensten Anwendungen eingesetzt werden, was die Anwendungsbreite erhöht.

Weiterhin fallen mehrere bislang manuell notwendige Bearbeitungsschritte weg und damit verbunden gleichzeitig auch der Einsatz diverser Hilfsstoffe und Werkzeuge.

Ein wesentlicher Faktor stellt die Energieeinsparung durch den Einsatz der LED-Lampen in der praktischen Anwendung im Alltag dar. Hier lassen sich langfristige energetische Einsparungen realisieren, die durch das im neuen Fertigungsprozess erzeugte Produkt erreicht werden.

So werden bei einer 600 lm Lampe gegenüber Glühlampen 52 W Leistung und bei einer 400 lm Lampe 32 W elektrischer Leistung eingespart (hohe Farbwiedergabe und Dimmbarkeit der LED Lampen sind gegeben).

Bei einer Brenndauer von 1000 Stunden pro Jahr und Stückzahlen von jeweils 4 Mio. Stück pro Jahr werden

$4 \text{ Mio.} \times 52 \text{ kWh} + 4 \text{ Mio.} \times 32 \text{ kWh} = 336 \text{ Mio. kWh}$ Elektroenergie eingespart.

Dies entspricht pro Jahr etwa 54 Mio. € Energiekosten (0,16 €/ kWh) und 201.936 Tonnen CO₂ (601g CO₂ / kWh elektrisch).

5. Zusammenfassung/ Summary

Es ist eine Zusammenfassung in deutscher und englischer Sprache zu erstellen mit folgenden Inhalten:

– Einleitung/Introduction

Die Seidel GmbH & Co. KG entwickelt und produziert Designprodukte aus Aluminium und Kunststoff, die vorwiegend als Primärverpackungen in Kosmetik und Pharma eingesetzt werden. Die technischen Fähigkeiten liegen vor allem in der Metallumformung, der modernen Oberflächenveredelung und zahlreichen weiteren Dekorationstechnologien. Aluminium umformen, Aluminium eloxieren, Aluminium dekorieren und Aluminium montieren sind zudem komplexe Schritte, die logistisch miteinander verbunden werden. In den Jahren 2012 und 2013 hat ein Arbeitsteam aus Ingenieuren und Technikern eine intensive LED-Lampen Recherche durchgeführt. Dabei ergab sich, dass die meisten LED-Hersteller offensichtlich wenig vertikal integriert sind und sich auf die Montage zugekaufter Komponenten fokussieren.

Seidel GmbH & Co. KG develops and produces high quality plastic and aluminum design products. The product range is mainly used for primary packaging in the cosmetics industry. The core competencies are the formation of metal, the creation of modern surface treatments, and a vast range of decorating technologies. Forming, anodising, decorating, and assembling aluminum are quite complex processes that must be managed carefully from a logistic point of view. In the years 2012 and 2013 a team of engineers and technicians conducted an intensive research about LED lights. The research revealed that most of the LED manufacturers are not vertically integrated but rather focus on the assembly of purchased components.

– Vorhabenumsetzung/Project implementation

Das Vorhaben verfolgte den Ansatz, innovative und hochautomatisierte großtechnische Fertigungslinien für die Herstellung von energiesparenden LED-Lampen erstmalig am Standort Deutschland zu realisieren. Im Einzelnen wurden folgende Ziele angestrebt: 30 % Materialeinsparung, Verbesserte Recyclingfähigkeit durch Reduzierung des Materialmix, Senkung der Transportkosten durch absatzmarknahe Fertigung, Senkung der Transportkosten durch Gewichtsreduzierung, Senkung des Produktionsabfalls durch vollautomatische Fertigung, wandlungsfähige hochautomatische Anlagentechnik, Einführung von energiesparenden Lichtquellen. Das Vorhaben konnte in der ersten Ausbaustufe zügig realisiert werden. Bereits Ende 2014 wurden erste LED Lampen vollautomatisch hergestellt.

The objective of the innovation was to realize – for the first time in Germany – an innovative and fully automatic industrial production line for the manufacturing of energy-saving LED lights. The following aims were set in detail: 30% material saving, improved recyclability by reducing material mix, lower transport costs due to production close to market and weight reduction, reduced production waste due to fully automatic production, flexible highly automated plant technology, implementation of energy-saving light sources. The first steps of the project were implemented quickly. At the end of year 2014 the first LED lights have been produced fully automatically.

– Ergebnisse/Project results

Die erste Ausbaustufe wurde in sehr kurzer Zeit realisiert. Damit konnte auch eine sehr schnelle Markteinführung erreicht werden. Die Ergebnisse hinsichtlich der angestrebten Materialeinsparung wurden erreicht und teilweise übertroffen. Die ursprünglich angestrebten hohen Fertigungsstückzahlen wurden nahezu erreicht. Neben einer direkten Umweltentlastung durch geringeren Materialeinsatz und geringere Ausschussraten wurde ein energiesparendes Produkt erfolgreich am europäischen Markt eingeführt. Aufgrund von Änderungen der Anforderungen des Marktes (Neue Technologien im Bereich „Smartes Licht“ und Preisdruck) wurde vorerst nur die erste von zwei Ausbaustufen umgesetzt.

The first expansion stage has been realized within a small period of time. So that a rapid market launch was possible. The aims in material saving were reached and partly exceeded. The originally aimed high production quantities were almost achieved. Besides a direct environmental relief due to lower material input and lower reject rates an energy saving product was successfully launched at the European market. On the basis of changes in the market demands (new technologies in the sector "smart light" and pricing pressure) only one of the two expansion stages has been implemented for now.

– **Ausblick/Prospects**

Der Demonstrationsbetrieb bietet ein hohes Potential, auf andere Standorte und auch Anwendungsbereiche übertragen zu werden. Beispielsweise wäre auch nicht nur die effiziente Fertigung von Leuchtmitteln, sondern auch die ganzer Kleinleuchten (Innenbeleuchtung, Außenbeleuchtung, Fahrzeuglicht usw.) am Standort Deutschland möglich.

Die Veränderungen des technologischen Fortschrittes und der Marktbedingungen werden zurzeit in einem überarbeiteten Konzept für die zweite Ausbaustufe detailliert.

The demonstration operation offers a great potential to be transferred to other locations as well as applications. For instance not only the efficient production of light sources but also the production of all small lights (interior lights, exterior lights, vehicle lights etc.) is possible at the location in Germany.

The changes in technological progress and market conditions will be detailed in a revised concept for the second expansion stage.

6. Literatur

keine

7. Anhang

Kein Anhang