

# Wirtschaftliche, arbeitstechnische und lichtspezifische Aspekte der LED-Beleuchtung im gewerblichen Einsatz: Eine Fallstudie

Master Thesis zur Erlangung des akademischen Grades  
„Master of Business Administration“

eingereicht bei  
Ao.Univ.Prof.Arch. Dipl.-Ing. Dr. Bob Martens

Ralph Matthias STÖRIG

1129840

Wien, 26.03.2014

## Eidesstattliche Erklärung

Ich, **RALPH MATTHIAS STÖRIG**, versichere hiermit

1. dass ich die vorliegende Master These, "WIRTSCHAFTLICHE-, ARBEITSPLATZTECHNISCHE UND LICHTSPEZIFISCHE ASPEKTE DER LED-BELEUCHTUNG IM GEWERBLICHEN EINSATZ: EINE FALLSTUDIE ", 104 Seiten, gebunden, selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfen bedient habe, und
2. dass ich diese Master These bisher weder im Inland noch im Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

Wien, 26.03.2014

---

Unterschrift

## Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG .....	1
1.1	Lichtquellen .....	2
1.1.1	Leuchte .....	3
1.1.2	Lampe / Leuchtmittel .....	3
2	DIE LED ALS NEUE LICHTTECHNOLOGIE .....	4
2.1	Lichtbegriffe für die LED Technik .....	4
2.1.1	Binning .....	5
2.1.2	Thermomanagement .....	7
2.1.3	Lichtstrom .....	7
2.1.4	Lumen .....	8
2.1.5	Lichtausbeute .....	9
2.1.6	Lichtqualität .....	9
2.1.7	Lebensdauer .....	9
2.1.8	Mittlere Lebensdauer .....	10
2.1.9	Lebensdauerdefinition der LED .....	10
2.1.10	Degradation .....	12
2.1.11	Wartungswert .....	12
2.1.12	Wartungsfaktor .....	12
2.2	Die Technik der LED Technologie .....	13
2.2.1	Technische Beschreibung .....	13
2.2.2	Bautypen .....	15
2.2.3	LED Bauformen .....	15
2.3	Die Wirkung auf den Menschen .....	17
2.3.1	Physiologische Wirkung .....	17
2.3.2	Arbeitssicherheitstechnische Wirkung .....	18
3	FALLSTUDIE:	
	WIRTSCHAFTLICHE UND ELEKTROTECHNISCHE BETRACHTUNG .....	21
3.1	Betrachtung der wirtschaftlichen Aspekte (Amortisation & Rentabilität) .....	21
3.1.1	Beschreibung der Vorgehensweise .....	21
3.1.2	Problemdarstellung .....	22
3.1.3	Beschreibung der bestehenden Beleuchtungsanlage .....	23
3.1.4	Break Even-Berechnung Bereich 1 (blau) .....	29
3.1.5	Break-Even-Berechnung Bereich 2 (violett) .....	32
3.1.6	Break-Even-Berechnung Bereich 3 (grün) .....	36
3.1.7	Rentabilitätsberechnung Bereich 4 (oberhalb der Rolltreppe) .....	39
3.1.8	Conclusio Rentabilität 10 Jahresbetrachtung .....	43

3.1.9	Vor- und Nachteile der LED Beleuchtung .....	45
3.1.10	Vor- und Nachteile der bestehenden Beleuchtungstechnologie.....	49
3.1.11	Wartungskosten .....	49
3.2	Elektrotechnische Aspekte .....	51
3.2.1	Oberschwingungen und Netzurückwirkungen .....	51
3.2.2	Messtechnische Untersuchung.....	55
3.2.3	Conclusio der elektrotechnische Aspekt .....	69
3.3	Betrachtung der Lichtsteuerungsmöglichkeiten.....	71
3.3.1	DALI .....	71
3.4	Entsorgung, Recycling .....	73
3.4.1	Entsorgung .....	73
3.4.2	Recycling .....	73
4	SCHLUSSFOLGERUNG .....	76
4.1	Zukunftsaussichten .....	78
4.1.1	LED .....	78
4.1.2	OLED.....	78
4.1.3	Förderungen .....	80
	KURZFASSUNG .....	81
	LITERATURVERZEICHNIS.....	83
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....	86
	GRAFIKVERZEICHNIS .....	88
	ANHANG A.....	89
	ANHANG B.....	93
	NORMEN.....	103

## Abkürzungsverzeichnis

<b>ANSI</b>	American National Standard Institut
<b>A<sub>rms</sub></b>	Elektrotechnische Abkürzung für den effektiv Wert der Stromstärke (Ampère dt. Effektiv-Wert des Scheitelwertes des Stromes)
<b>CRI</b>	<u>C</u> olour temperature <u>R</u> endering Index
<b>DALI</b>	Digital Addressable Lighting Interface
<b>DPF</b>	Displacement Power Factor ( $\cos \varphi$ )
<b>EIB</b>	European Installation Bus
<b>ELI</b>	Ergonomic Lighting Indicator
<b>EPD</b>	Environmental Product Declaration
<b>ETG</b>	Elektrotechnikgesetz
<b>EU</b>	Europäische Union
<b>EVG</b>	Elektronischen Vorschaltgerät
<b>EVU</b>	Energieversorgungsunternehmen
<b>Hz</b>	Hertz
<b>IEC</b>	Internationale Elektrotechnische Commission
<b>IR</b>	Infrarot-Strahlung
<b>KLL</b>	Kompaktleuchtstofflampe normale Lebensdauer
<b>kV</b>	Kilo Volt (z.B. 1kV= 1.000V)
<b>LED</b>	Light-Emitting Diode, dt. Licht emittierende Diode
<b>LON</b>	Local Operating Network
<b>P<sub>dm</sub></b>	Beschädigungspotenzial (dm engl. Damage)
<b>PF</b>	Power Factor (Lampda $\lambda$ )
<b>PPP-Modelle</b>	Private-Public-Partnership-Modelle
<b>Rms</b>	Root mean square dt. effektiv Wert eines Scheitelwertes)
<b>SDCM</b>	Standard of Deviation of Colour Matching
<b>T<sub>a</sub></b>	Umgebungstemperatur (Temperature ambient)
<b>THD</b>	Total Harmonic Distortion (gesamte harmonische Verzerrung)
<b>U<sub>rms</sub></b>	Abkürzung für den effektiv Wert der Netzspannung dt. effektiv Wert des Scheitelwertes der Spannung)
<b>UV</b>	Ultraviolette Strahlung
<b>VOPST-Grenzwert</b>	Verordnung optische Strahlung

## **1 EINLEITUNG**

Die Motivation für dieses Thema kommt aus der beruflichen Praxis. Im Rahmen des täglichen Betreuens von Beleuchtungsanlagen stellt sich auf Grund des enormen Fortschrittes in der LED Technologie die Frage, ob es mittlerweile machbar und wirtschaftlich vertretbar ist, die konventionelle Quecksilber behaftete Kompakt- und Leuchtstofflampentechnologie ersetzen zu können. Umso, zum Einen die tägliche Gefahr für MitarbeiterInnen und KundInnen, und zum Anderen, den Energieverbrauch und den Wartungsbedarf zu minimieren. In Bezug auf den Arbeiterschutz kommt es beim Leuchtmitteltausch immer wieder, bedingt durch lange Betriebszeiten und unvorsichtiges Handling vor, dass defekte, zwar schon ausgekühlte Lampen, sowie sich noch in Betrieb befindliche Lampen beim Tausch zerbrechen, dadurch wird das für gesundheitsschädlich befundene Quecksilber freigesetzt.

Im Rahmen dieser Masterthese sollen die Vorteile und Nachteile der LED – Beleuchtung im gewerblichen Einsatzgebiet für das technische Facility Managements sowie für Facility Services aufgearbeitet werden. Es sollen die Kriterien ausgearbeitet und dargestellt werden, die die meiste Bedeutung für den Facility Manager haben sich für oder gegen den Einsatz der LED Licht-Technik zu entscheiden. Diese Aspekte können soll sowohl für das planerische und baubegleitende Facility Management im Neubau sowie für Sanierungsmaßnahmen im Betrieb des Gebäudes herangezogen werden.

Anhand einer praktischen Fallstudie soll ein eventueller Wechsel von einer funktionierenden konventioneller Beleuchtung mit Kompaktleuchtstofflampen zur LED-Beleuchtung mit seinen Vor- und Nachteilen aufgearbeitet werden. Eine zentrale Rolle nimmt dabei die wirtschaftliche Komponente ein.

Im weiteren Verlauf der Arbeit wird auf energetische und ressourcensparende Aspekte, arbeitsplatzspezifische, entsorgungsspezifische Problematiken und auf Normen sowie Richtlinien eingegangen. Die herkömmlichen Begriffe, wie man sie aus der konventionellen Beleuchtungstechnik kennt, haben weiterhin ihren Platz bei der Verwendung der LED-Technologie. Als Abschluss wird auf dieses Vokabular eingegangen das benötigt wird um sich in der Beleuchtungsthematik einigermaßen zu Recht finden zu können.

„Ein Haus ist nur bewohnbar, wenn es voller Licht und Luft ist“, hat Le Corbusier schon 1923 gesagt. Damals eine revolutionäre Idee, heute fester Bestandteil der modernen Architektur. Licht ist eng mit dem persönlichen Wohlbefinden verknüpft, macht Sehen überhaupt erst möglich – und ist zugleich eines der wirkungsvollsten Gestaltungsmittel (Licht.de, 2014).

Licht ist der für das menschliche Auge sichtbare Bereich der elektromagnetischen Strahlung. Der für den Menschen sichtbare Abschnitt ist im Schwingungsbereich von 380nm (Nanometern; violett) bis 780nm (Nanometer; Rot) (Thiemann, November 2013).

Moderne Beleuchtung erleichtert dem Menschen nicht nur das Sehen bei Dunkelheit. Es geht heute weit darüber hinaus. Heute kann mit Licht jederzeit ein Umfeld erzeugt werden, das Wohlbefinden und Sicherheit verbindet, Konzentration und Gesundheit fördert und Energie spart, während die Beleuchtungsqualität wächst (ZVEI Fachverband Licht, 2013). Der Ursprung des Lichtes ist letztlich die Lichtquelle.

## 1.1 Lichtquellen

Lichtquellen werden unterteilt in Körper die Licht selbst erzeugen entweder auf natürliche Weise, wie zum Beispiel die Sonne, oder auf künstliche Weise wie Lichtquellen wie z.B. Glühlampe, Leuchtstofflampe, Laser und nun die LED. Weiters untergliedert man Lichtquellen wiederum in thermische und nicht-thermische Strahler. Die *thermischen* Strahler, wie Glüh- und Halogenlampen beziehen ihre Energie für die Strahlungsemission aus der *thermischen* Bewegung ihrer Teilchen (Volgger, 2008). Das Lichtspektrum eines *thermischen* „Strahlers“ ist kontinuierlich, d.h. es treten alle Wellenlängen auf. Mit steigender Temperatur verkürzt sich die abgestrahlte Wellenlänge, d.h. je heißer ein thermischer Strahler leuchtet desto blauer ist sein Licht. Dieses kontinuierliche Farbspektrum kann beim Erhitzen eines „schwarzen Strahlers“ beobachtet werden (siehe Anhang A: Farbtemperatur). Der Farbverlauf der fortschreitenden Erhitzung des schwarzen Strahlers wird in der *Mac-Adam-Ellipse* als Black-Body-Linie dargestellt.

Die nicht-thermischen Lichtquellen, wie Entladungslampen, darunter fallen Leuchtstoff-, Hoch- und Niederdrucklampen, und Festkörperstrahler, wie LEDs und OLEDs, leuchten durch die Zuführung von Energie oder durch chemische Reaktionen. Moleküle und Atome werden in einen angeregten Zustand versetzt (Volgger, 2008). Sie haben kein kontinuierliches, sondern ein Linien- oder einen

Bandenspektrum. Das bedeutet, dass nur ganz bestimmte Wellenlängen abgestrahlt werden. Linienspektren treten bei Gasentladungsröhren auf; Bandenspektren bei LEDs, Polarlichtern oder Leuchtkäfern. Linienspektren sind oft charakteristisch für bestimmte Stoffe. Dies ist bei farbigen LEDs zu sehen (Fördergemeinschaft Gutes Licht, 2008).

### 1.1.1 Leuchte

Die Begriffe Leuchte, Lampe, Leuchtmittel werden häufig verwechselt und daher erörtert. Der gesamte Beleuchtungskörper inklusive aller für Befestigung, Betrieb und Schutz der Lampe notwendigen Komponenten ist die „Leuchte“ – im Volksmund auch gerne als „Lampe“ bezeichnet. Die Leuchte schützt die Lampe, verteilt und lenkt deren Licht und verhindert, dass das Licht blendet. Leuchten werden unterschieden nach:

- Art der eingesetzten Lampen (Energiesparlampen, Leuchtstofflampen, Entladungslampen);
- der Anzahl der Lampen (ein-, zweilampig usw.), nach dem Einsatzbereich (Innenleuchten, Außenleuchten);
- dem Einsatzort (Schreibtischleuchten, Badleuchten usw.);
- der Schutzart (Leuchten für trockene, feuchte und staubige Räume);
- der Bauart (offene Leuchten, geschlossene Leuchten, Reflektorleuchten, Spiegelleuchten, Rasterleuchten, Wannenleuchten, Scheinwerfer);
- der Montageart (Wand-, Decken-, Pendel-, oder Handleuchten);
- dem Verwendungszweck (technische Leuchten, Wohnraumleuchten, dekorative Leuchten oder Effektleuchten);
- nach der Beleuchtungsaufgabe (Arbeitsplatzleuchten, Straßenleuchten).

### 1.1.2 Lampe / Leuchtmittel

Die „Lampe“ oder auch „Leuchtmittel“ bezeichnet die technische Ausführung einer künstlichen Lichtquelle. Die Lampe wandelt elektrische Energie in Licht um. Die Lampe wird in die Leuchte eingesetzt, die das Licht der Lampe verteilt, lenkt und vor Blendung schützt. Lampen gibt es in vielen Ausführungen. Sie unterscheiden sich durch die Art der Lichterzeugung, ihrer geometrische Form und ihrer lichttechnischen Eigenschaften. Im Wohn-, und Bürobereich werden zum Beispiel

Halogenlampen, Energiespar - und Leuchtstofflampen sowie mittlerweile auch LED- Retrofit Lampen sowie komplette LED-Leuchten eingesetzt.

## **2 Die LED als neue Lichttechnologie**

Ein kurzer Einblick in die Entwicklung der "neuen" Technologie zeigt, dass die LED Technologie gar nicht so neu ist wie sie zu sein scheint. Bereits 1907 wurde die von Henry Joseph Round die Entdeckung, dass anorganische Stoffe leuchten wenn man an sie Spannung anlegt, in der Zeitschrift „Electrical World“ veröffentlicht. Diese Novität geriet aber wieder in Vergessenheit bis verschiedene Physiker zwischen 1921 und 1951 diese Phänomen wieder aufgriffen und erst mit Zinksulfid und später mit Mischkristallen aus Galliumarsenid (GaAs) und Galliumphosphid (GaP) experimentierten.

1962 ist eigentlich die Geburtsstunde der industriell gefertigten LED. Die von Nick Holonyak (USA) entwickelte, auf der Lumineszenztechnik basierende, rote LED, wurde auf den Markt gebracht. Weitere 10 Jahre später kamen durch gezielte Forschungen weitere und verbesserte / effizientere LEDs auf den Markt (grüne, orangene, gelbe).

In den 80er Jahren ermöglicht ein neues Halbleitermaterial, Galliumnitrid (GaN), Farben der verschiedensten Grüntöne bis Ultraviolett. Mit Galliumnitrid entwickelte 1993 Shuji Nakamura in Japan die auch kommerziell erfolgreiche blaue LED. Die grüne LED wurde ebenfalls von Nakamura durch die Verwendung von Indium-Galliumnitrid effizienter. Daraus folgte dann auch dann die weiß leuchtende LED. Die weiße LED wurde im Jahr 1995 der Öffentlichkeit vorgestellt und 1997 auf den Markt gebracht. Sie ist die erste LED durch die weißes Licht durch Zugabe eines Leuchtstoffes entsteht und nach dem Prinzip der *Lumineszenzkonversion* arbeitet. 2006 werden die LEDs in Bezug auf die Lichtausbeute nur noch durch die Gasentladungslampen übertroffen. LEDs haben zu dem Zeitpunkt schon eine Lichtausbeute von 100 Lumen pro Watt (Fördergemeinschaft Gutes Licht, 2010).

### **2.1 Lichtbegriffe für die LED Technik**

Der Grund die Vermittlung einiger LED- und allgemeiner Lichtbegriffe ist darauf zurückzuführen, das Verpackungen von Lampen seit dem 1.9.2013 laut (EG 1194/20132) Information, die Angaben über Lichtstrom, Lebensdauer, Farbtemperatur, die Farbkonsistenz, Anzahl der Schaltzyklen bis zum vorzeitigen Ausfall, die

Anlaufzeit bis 60% des Lichtstromes erreicht sind und die Dimmbarkeit beinhalten müssen.

### 2.1.1 Binning

Der englische Begriff „Bin“ wird bei Linguee<sup>1</sup> mit u.a Behälter, Eimer, Behältnis übersetzt. Auf Grund des vorwiegend verwendeten *Elektrolumineszenzverfahrens* zur Herstellung verschiedener Lichtfarben kommt es bei industriell gefertigten LEDs innerhalb einer Produktionscharge immer zu Unterschieden hinsichtlich ihrer Farbe und Leuchtkraft. Eine LED-Leuchte besteht immer aus mehreren LEDs. Für eine qualitativ hochwertige Leuchte ist eine gleichmäßige Lichtfarbe und Helligkeit jeder einzelnen LED erforderlich. Um nun diese konstante Qualität von Lichtfarbe und Helligkeit gewährleisten zu können, müssen die LEDs innerhalb einer Produktionscharge, entsprechend in Behälter, Behältnisse maschinell sortiert werden. Dieser Sortierungsvorgang und die spätere Kategorisierung wird „Binning“ genannt. Die markantesten Auswahlkriterien sind der Lichtstrom [lm] die Farbtemperatur [K] und die Vorwärtsspannung gemessen in Volt [V] (Fördergemeinschaft Gutes Licht, 2010) (Fördergemeinschaft Gutes Licht, 2010).

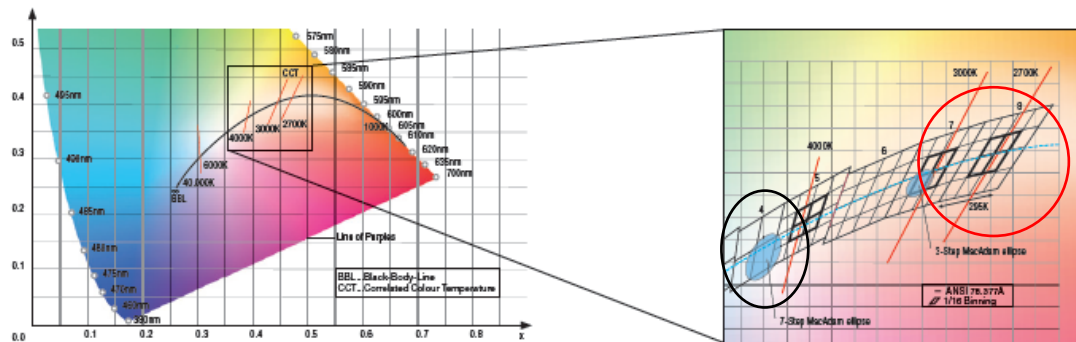
Wie genau bzw. in welchem Bereich die gesetzten Toleranzen angesetzt werden bestimmt u.a. auch die spätere Qualität und somit den Preis einer LED Leuchte. Je größer die Farbunterschiede bei den LED-Modulen einer Charge desto günstiger der Produktpreis. Die entsprechenden Farbunterschiede werden nach dem Verlauf der *Black-Body-Kurve* bewertet. Die Black-Body-Linie wird auch als Plank'sche Kurve bezeichnet. Befindet sich die Lichtfarbe einer Binninggruppe auf dieser Kurve, (Abbildung 2; Seite 6) spricht man von einem „reinen Weiß“ (Fördergemeinschaft Gutes Licht, 2010). Nach einer anfänglichen Vielzahl an unterschiedlichen, auch teilweise herstellerspezifischen, Binning-Systemen haben sich zwei Systeme durchgesetzt. Zum Einen ist das die Klassifizierung nach dem ANSI System. Das zweite System, heißt SDCM. Das SDCM-Verfahren ist von Mac Adam selbst 1940 in Versuchsreihen definiert worden.

Das ANSI Verfahren unterteilt die Black Body Linie zwischen 2600K und 7000K in acht Lichtfarben. Auf Grund dessen, dass das menschliche Auge ab einem Farbunterschied von 50K bereits Farbdifferenzen erkennen kann, sind für eine Kategorisierung der LED jedoch genauere Unterteilungen nötig. Die Lichtfarben 1 - 4 (7.000k – 4.000K) werden in vier Binningfelder um den jeweiligen Bezugsfarbton

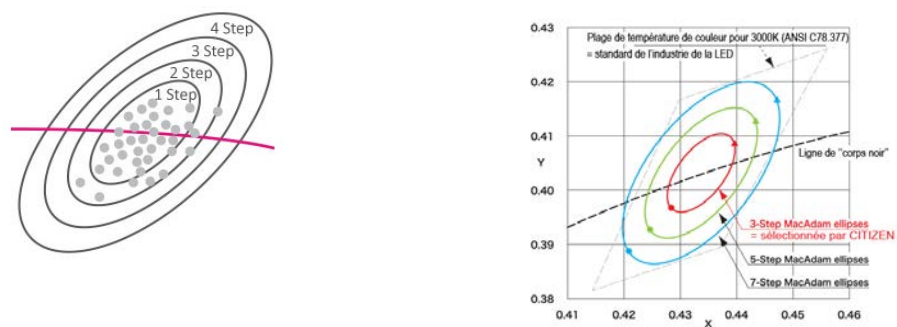
---

<sup>1</sup> <http://www.linguee.de/deutsch-englisch/search?source=englisch&query=Bin>

herum unterteilt. Diese Viertelung wird 1/4-Binning genannt (1/4-Binning; siehe Abbildung 1; rechtes Zoom-Bild; links unten bei Lichtfarbe 4 hier erkennt man vier 4 Quadrate; schwarzer Kreis). Die Lichtfarben 5 - 8 (4.500K-2.600K) werden in 16 Binningfelder um den jeweiligen Bezugsfarbton herum unterteilt. Diese 16telung wird 1/16-Binning genannt (1/16-Binning; siehe in Abbildung 1; rechtes Zoom-Bild; Lichtfarben 5 - 8 erkennt man 16 Quadrate um den Farbton herum; roter Kreis).



**Abbildung 1** Klassifizierungsdarstellung des ANSI- und SDCM Verfahrens Quelle: Xal Report 24<sup>2</sup>



**Abbildung 2** Detaildarstellung der Farbkategorisierung durch Mac Adam Ellipse<sup>3</sup>

David Mac Adam hat an Hand von Versuchsreihen mit Menschen festgestellt, dass gleiche Lichtfarben in Form von Ellipsen um den Referenzfarbton vom menschlichen Auge nicht wahrgenommen werden. Farbdifferenzen innerhalb dieser Ellipsen werden nicht erkannt. Die Ellipsen um den Referenzfarbton werden als 1-, 2-, 3-, 4-, 5-, 6-, 7- Step-Mac-Adam Ellipsen bezeichnet (siehe Abbildung 2).

<sup>2</sup> Quelle: <http://www.xal.com/58>; <http://search.xal.com/Light24/Light24EngGer/index.html> (Zugriff 09.03.214; 13:45)

<sup>3</sup> Quelle: Bild links: <http://www.wila.com/183-Klassifizierung-Bauformen-de.html>;  
Bild rechts :<http://www.eurocomposant.fr/fr/Actualites/CITILED-respecte-un-faible-ecart-de-temperature-de-couleur-3-step-MacAdam-ellipse-sans-tri> (Zugriff 09.03.2014; 13:35)

Farbdifferenzen von zwei bis drei Stufen zur Referenzlichtfarbe, was mit  $\leq 3$  SDCM bezeichnet wird, werden als kaum erkennbar eingestuft. Farbunterschiede innerhalb der Stufe 1 wird als nicht sichtbar eingestuft (Xal GmbH, 2013). Dennoch kann es vorkommen, dass LEDs der Stufe 1 und 2 LEDs, farblich nun oberhalb oder unterhalb der Black-Body-Linie liegen, sodass sie entweder grünlich bzw. rötlich wirken.

### 2.1.2 Thermomanagement

Das Thermomanagement ist mit entscheidend für die Lebensdauer und somit ein Garant für die Effektivität der eingesetzten LED-Lösung. Zum Beispiel sind LEDs auf Grund ihrer kleine Bauform im Vergleich zu konventionellen Lampen, da sie einfach im nach hinein installiert werden "können", heutzutage eine beliebte Lösungen zur Akzentuierung im Innenbereich. Da z.B. LED-Lichtbänder im Betrieb nicht die hohen Betriebstemperatur erreichen wie manche ihrer Vorgänger können sie „einfach“ auf ein beliebiges Trägermaterial montiert werden. Sie werden so als indirekte Beleuchtung oder Lichteffect verwendet und immer wieder falsch installiert. Sie werden z.B. unsichtbar, ohne jegliche Möglichkeit, die entstehende Wärme gezielt abführen zu können, direkt unter Holztheken installiert. Dies passiert natürlich auch, weil sie auf Grund der leicht zu installierenden Technik von Nicht-Fachleuten montiert werden können. Hier fehlt das Fachwissen, dass im Inneren der LED nur etwa 20% - 40% der zu geführten Energie in Licht umgesetzt und der Rest, ca. 60% – 80%, in Wärme umgewandelt wird und unbedingt entsprechend abgeführt werden muss. Vor allem bei LEDs mit einem hohen Lichtstrom ist dies ein wichtiger Überlebensfaktor. Viele namhafte Hersteller geben auf Grund dessen bei ihren LED-Produkten stets die Umgebungstemperaturen, bei denen die Lichtströme und Lebensdauern erreicht werden, an. Für Beleuchtungslösungen in Kühllhäusern eignet sich die LED-Technologie sehr gut (LTG, 2012).

### 2.1.3 Lichtstrom

Dieser Begriff ist zwar nicht neu in der LED Technik aber im Gegensatz zum Auswahlkriterium einer gewünschten Glühbirne in Watt steht nun die Angabe des Lichtstromes im Vordergrund. Unter der Angabe des Lichtstromes kann die alte Technologie mit der neuen Technologie „vergleichen“ werden. Der Lichtstrom  $\Phi$  [phi], und die Maßeinheit: Lumen [lm] beschreibt die von der Lichtquelle in alle Richtungen abgegebene Strahlungsleistung im sichtbaren Bereiche (Licht.de,

2014). Durch den bei der LED, konstruktiv Bedingten, verringerten Abstrahlwinkel von ca. 180° im Gegensatz von ca. 360° bei der Glühlampe kann man die beiden Technologien im Hinblick auf den Lichtstrom nicht unbedingt vergleichen. Es ist nur ein Richtwert. Der große Abstrahlwinkel der Glüh-, Halogenlampe wird größten Teils nicht erwünscht. Durch den gerichteten Lichtstrom der LED kann man das Licht besser dort hin fokussieren wo man es braucht. Dies verringert ebenfalls die Lichtverschmutzung bei der Straßenbeleuchtung.

#### 2.1.4 Lumen

Der *Lichtstrom* wird in Lumen [lm] gemessen. Er beschreibt, wie oben erwähnt, die von der Lampe in alle Richtungen abgestrahlte Leistung im sichtbaren Bereich. Der Lichtstrom drückt demnach die Helligkeit einer Lichtquelle aus in welcher Intensität das menschliche Auge diese wahrnimmt. Die Angabe eines hohen Lichtstromes ist kein Qualitätsmerkmal. Er muss immer im Zusammenhang mit der Farbwiedergabe und dem Abstrahlwinkel betrachtet werden. Da der Mensch den grün-gelben Spektralbereich am hellsten wahr nimmt, kann dies bei der Herstellung von LED-Lampen vom Hersteller in Bezug auf die Lichtstromangabe beeinflusst werden. Diese LEDs leuchten zwar hell, haben somit einen höheren Lichtstrom, aber leuchten eher im grün-gelben Bereich und haben deshalb eine schlechte Farbwiedergabe (Messer, 2013).

Dennoch hier zwei Beispiele für einen ungefähren Vergleich beider Technologien: Eine Glühlampe weißt 1.400 Lumen auf, eine zweiseitig gesockelte Halogenlampe bis zu 44.000 Lumen. Die Werte für den Lichtstrom der Lampen sind in den Produktlisten der jeweiligen Hersteller angegeben.

Frühere Glühlampen-Bezeichnung	Gleiche Helligkeit bei dieser Lumen-Zahl (etwa)	Heutige LED-Leistung
25 W	200 – 225 lm	ca. 3 W
40 W	400 – 450 lm	ca. 4 – 5 W
60 W	600 – 700 lm	ca. 8 – 10 W
100 W	1.200 – 1.500 lm	ca. 12 – 15 W

**Abbildung 3** Vergleichstabelle Lumen Watt; Glühlampe vs. LED<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Quelle: <http://www.rp-online.de/nrw/staedte/duesseldorf/stadtwerke-duesseldorf/leds-worauf-muss-ich-achten-aid-1.3225703>

### 2.1.5 Lichtausbeute

Die Einheit „Lumen pro Watt“,  $\text{lm} / \text{W}$ , gewinnt immer mehr an Bedeutung. Der Hintergrund wird kurz beschrieben. Für die Lichtausbeute wird als Kurzzeichen:  $\eta$  [ $:\eta$ ] und als Maßeinheit [ $\text{lm} / \text{W}$ ] verwendet. Die *Lichtausbeute* ist das Maß für die Wirtschaftlichkeit einer Lampe. Sie sagt aus, wie viel Lichtstrom in Lumen [ $\text{lm}$ ] pro Watt [ $\text{W}$ ] ihrer Leistungsaufnahme eine Lampe erzeugt. Je höher das Verhältnis Lumen / Watt [ $\text{lm} / \text{W}$ ], desto besser setzt eine Lampe die eingebrachte Energie in Licht um. Einige Beispiele:

- Allgebrauchsglühlampe  $12 \text{ lm} / \text{W}$ ,
- Halogenlampe  $20 \text{ lm} / \text{W}$ ,
- Energiesparlampe  $60 \text{ lm} / \text{W}$ ,
- stabförmige Leuchtstofflampe  $90 \text{ lm} / \text{W}$
- LEDs  $100 - 200^5 \text{ lm} / \text{W}$

Die theoretische maximale Lichtausbeute einer idealen Lampe (gleiche Energie über den gesamten Wellenlängenbereich von  $380 \text{ nm}$  bis  $780 \text{ nm}$ ) beträgt  $238 \text{ lm} / \text{W}^6$ .

### 2.1.6 Lichtqualität

Wie auch in anderen Bereichen setzt sich „Qualität“ immer aus verschiedenen Aspekten zusammen. So auch die *Lichtqualität*. Sie summiert sich aus einzelnen Kriterien auf. Darunter fallen die Sehleistung, das Erscheinungsbild, der Sehkomfort, die Vitalität und die Individualität einer Beleuchtungsanlage. Hinzu kommen noch die Basiskriterien aus der DIN EN 12464. Die Lichtqualität wird auch im Begriff ELI in der Literatur verwendet (siehe auch Punkt 3.1.1).

### 2.1.7 Lebensdauer

Die *Lebensdauer* wird unterschiedlich definiert: Für Temperaturstrahler wie Glühlampen und Halogenlampen gilt die Angabe als „mittlere Lebensdauer“, weil es

---

<sup>5</sup> Quelle: Cree Product Family Data Sheet: Built on Cree's revolutionary SC<sup>3</sup> Technology™ platform, the XLamp MK-R LED brings new levels of price and performance to directional LED arrays, enabling lighting manufacturers to create the next generation of high-lumen indoor and outdoor LED lighting systems. (Cree, Inc.4600 Silicon Drive Durham, NC 27703 USA, 2012-2013)

<sup>6</sup> <http://www.vde-verlag.de/buecher/leseprobe/lese3289.pdf>

bei diesen Lampen keinen Lichtstrom Rückgang gibt. Sie fallen nach den Kriterien der Definition der mittleren Lebensdauer einfach aus.

Entladungslampen unterliegen einem Lichtstromrückgang. Bei Entladungslampen verändert sich nach der Nutzlebensdauer die Lichtfarbe ins grünliche. Bei ihnen wird die Lebensdauer als „Nutzlebensdauer“ angesehen. Entladungslampen sollte nach dem Einschalten mindestens 20 Minuten in Betrieb und nach dem Abschalten völlig ausgekühlt sein. Dies gewährleistet die angegebene Lebensdauer (Volgger, 2008).

#### 2.1.8 Mittlere Lebensdauer

Bei dieser Lebensdauerangabe handelt es sich nicht um 100%ige Lebensdauer der Lampe. Die angegebenen Betriebsstunden sind bloß Richtwerte. Die Angabe der mittleren Lebensdauer sagt aus, dass 50% der Lampen bei einem normierten Versuchsaufbau noch funktionieren oder bereits ausgefallen sind. Sie definiert praktisch den Zeitraum nach dem die Hälfte der Lampen einer Testgruppe ausgefallen ist. Nach Ablauf der mittleren Lebensdauer wären also 50 Lampen von 100 ausgefallen und 50 würden noch funktionieren. Dennoch wird für alle Lampen die Lebensdauer definiert derer die noch funktionieren.

Die mittlere Lebensdauer einer Standard-Allgebrauchslampe („Glühbirne“) betrug 1.000 Stunden. Leuchtstofflampen liegen in ihrer Nutzlebensdauer zwischen 4.000 und 66.000 Stunden (Xtreme-Lampen). Die Lebensdauer von Lampen wird maßgeblich von Umwelteinflüssen beeinflusst. Starke Erschütterungen, dauerhafte Vibration, Spannungsschwankungen, Häufigkeit des An- und Ausschaltens, Umgebungstemperatur und Zustand der eventuell benötigten Betriebsgeräte sind einige der wichtigsten Einflussfaktoren.

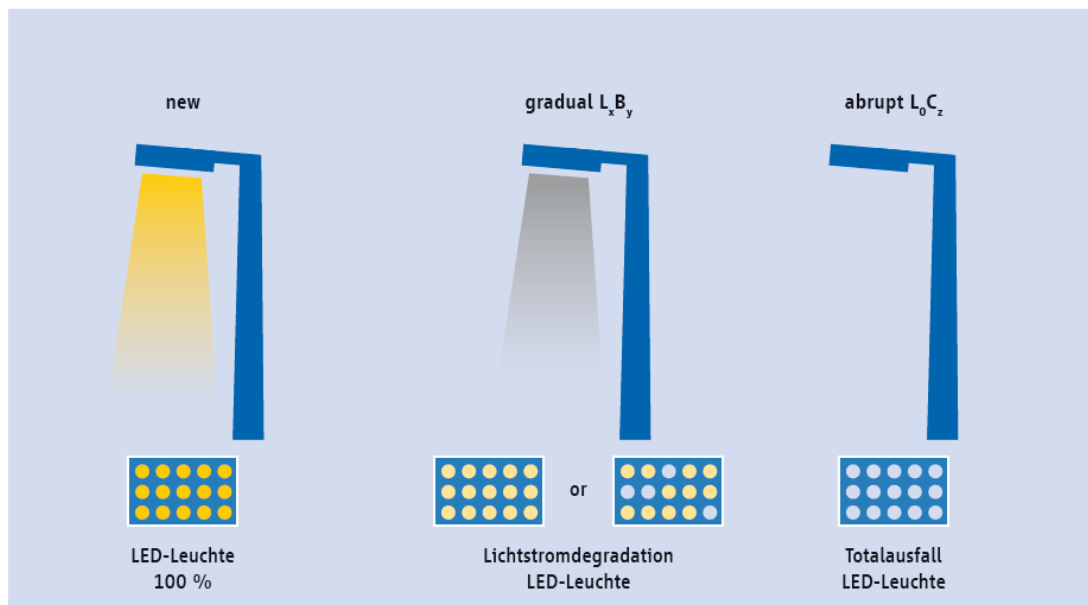
Bei Leuchtstoff- und Kompaktleuchtstofflampen ist ein häufiges An- und Ausschalten zu vermeiden. Sie sollten auch bei der Verwendung von elektronischen Vorschaltgeräten mindestens 15min in Betrieb bleiben.

#### 2.1.9 Lebensdauerdefinition der LED

Die LED fällt im Normalfall quasi nicht oder erst sehr spät aus. Dadurch wird die Lebensdauer mit mehreren Faktoren bewertet. Die Lebensdauer hängt von der *Lichtstromdegradation* und einem eventuellen *Totalausfall* ab. Die Lichtstromdegradation wird mit zwei Werten beschrieben. Der erste Wert wird als Nutzlebensdauer oder Bemessungslebensdauer  $L_x$  bezeichnet wobei „X“ den prozentualen Rückgang des Lichtstromes vom Anfangswert zu einem bestimmten

Zeitpunkt bzw. Betriebsstunden angibt. Der Wert  $L_{70}$  zum Beispiel wird für einen Lichtstromrückgang auf 70% bzw. um 30% seines Anfangswertes verwendet. Die Angabe  $L_{80}$  ist ebenfalls ein typischer Wert. Bei Lichtplanern und Herstellern hat sich als Bezugswert für die Bemessungslebensdauer derzeit 50.000 Betriebsstunden durchgesetzt.

Der zweite Wert  $B_y$  drückt den prozentualen Ausfall von einzelnen LED Chips bei LED-Modulen bei der angenommenen Nutzungsdauer  $L_x$  aus. Die Angabe  $L_{70}B_{10}$  drückt aus, dass 10% der LED-Chips nach einer angenommenen Betriebsstundendauer ausgefallen sein können. Der Lichtstromrückgang resultiert entweder durch eine Degradation oder einem Totalausfall einzelner Chips. Fehlt diese Angabe  $B_y$  wird der Medianwert 50% angenommen (ZVEI Fachverband Licht, November 2013). Der Leistungsabfall und damit die Lebensdauer im inneren der LED ist „auf die Vergrößerung von Fehlstellen im Kristall durch thermische Einflüsse zurückzuführen. Diese Bereiche können nicht mehr für die Lichterzeugung genutzt werden; es entstehen strahlungslose Übergänge. Bei GaN-LEDs im blauen und Ultraviolett-Bereich ist auch eine Alterung der Kunststoffgehäuse durch das kurzwellige Licht mit einhergehender Trübung feststellbar. Bei diesen und weißen LEDs mit hoher Leistung wird deshalb der lichtdurchlässige Teil des Gehäuses manchmal aus Silikongummi gefertigt, wodurch eine Lebensdauer von 100.000 Stunden erzielt wird, was etwa 11,5 Jahren Dauerbetrieb entspricht“ (Vees, et al., 2010).



**Abbildung 4** Fehlerdarstellung Neuzustand, Degradation und Totalausfall

### 2.1.10 Degradation

Unter der Degradation versteht man den Alterungswert / den Rückgang des Lichtstromes einer Beleuchtungsanlage oder hier einer LED-Lichtquelle nach einer bestimmten Zeit. In der Praxis hat sich die Bezugslebensdauerangabe von 50.000 Std durchgesetzt. Nach Erreichen dieses Wertes macht sich der Lichtstromrückgang bemerkbar. Das Fortschreiten des Degradationsprozesses hängt auch unmittelbar von den äußeren Umständen beim Betrieb der LED ab. Eine zu warme Umgebungstemperatur, großer  $T_a$ -Wert, beschleunigt den Alterungsprozess. Der Degradationseinfluss wird mit der Lebensdauerangabe  $L_{50}$ ,  $L_{70}$ ,  $L_{80}$  angegeben.  $L_{80}$  wird bei Leuchten für die Sicherheitsbeleuchtung berücksichtigt. Dies wirkt sich auf die Projektierung einer Beleuchtungsanlage aus (Licht.de, 2014).

### 2.1.11 Wartungswert

Alle in den europäischen Beleuchtungsnormen, wie zum Beispiel DIN EN 12464-1, genannten Angaben der Beleuchtungsstärke sind *Wartungswerte*. Das heißt, diese Werte dürfen zu keiner Zeit unterschritten werden. Zunächst ist es deshalb notwendig, einen höheren Neuwert (Anfangswert) zu installieren, denn würde zu Beginn nur die von der Norm vorgeschriebene Beleuchtungsstärke geplant und realisiert, müsste die neue Beleuchtungsanlage sogleich gewartet werden. Der Neuwert wird mit dem Wartungsfaktor bestimmt (Beispiel: Ein Büroarbeitsplatz muss eine Mindestbeleuchtungsstärke von 500lx erreichen) (Licht.de, 2014)<sup>7</sup>.

### 2.1.12 Wartungsfaktor

Der *Wartungsfaktor* (WF) ist Grundlage des Wartungsplanes einer Beleuchtungsanlage. Er hängt ab von den Betriebsbedingungen sowie der Art der eingesetzten Lampen, Betriebsgeräte und Leuchten. Planer (und Betreiber, Facility Manager) müssen den Wartungsfaktor dokumentieren und festlegen. Der Neuwert errechnet sich wie folgt:  $\text{Neuwert} = \text{Wartungswert} / \text{Wartungsfaktor}$ . Die Werte von den europäischen Beleuchtungsnormen sind *Wartungswerte*. Das heißt, sie dürfen zu keiner Zeit unterschritten werden. Über die Betriebszeit sinken die anfangs installierten Werte jedoch, weil Lampen altern, Leuchten, Wände und Decke verschmutzen. Um die Beleuchtungsanlage länger ohne zusätzliche

---

<sup>7</sup> <http://www.licht.de/de/licht-know-how/wissen-kompakt/lichtlexikon/details-lichtlexikon/wartungswert/>



arbeiten im Bereich von 120 °C. Der Kern einer Diode ist ein Halbleiterkristall der meist auf einen aus Aluminium bestehenden Reflektor angebracht ist. Der LED Chip wird mittels eines Drahtes von der Oberseite mit dem Reflektor (Kathode) verbunden und so mit Strom versorgt. Da die LED für gewöhnlich blau leuchtet wird für die gewünschte Farbkorrektur eine weitere Schicht (z.B. Phosphor) aufgebracht. Für den Betrieb von LED-Lampen sind spezielle Betriebselektroniken, auch Treiber genannt, notwendig. Diese arbeiten sekundärseitig im Klein,- und Gleichspannungsbereich. Durchgesetzt hat sich die 12V- und die 24V- Versorgung. Diese werden entweder direkt in die Lampe, z.B. bei Retrofitlampen für 230V eingebaut oder als externes Bauteil verwendet. Es gibt sie entweder mit einer Konstantspannungs-Regelung oder mit einer Konstantstrom-Regelung. Durchgesetzt hat sich die Konstantstrom-Regelung (constant current control) (Thema, et al., 2010)<sup>10</sup>.

Bei einem „einfachen“ Wechsel von einer konventionellen 12V Niedervolt-Halogen-Lampe zu einer 12V LED-Retrofit Lampe, wie es auch im gewerblichen Bereich, wie z.B. in Sport,- Wellness und SPA-Bereichen oder sonstigen dekorativen Beleuchtungen, oft gewünscht wird, sollte jedoch aus wirtschaftlichen Gründen Abstand genommen werden. Auf ein gutes Thermomanagement ist beim Installationsuntergrund zu achten. Werden die „alten“ konventionellen 12V-AC Transformatoren im System beibehalten entstehen Leerlauf- bzw. Standby Verluste. Bei elektronischen Transformatoren muss man eine evtl. 30 - 40%ige Mindestbelastung berücksichtigen die meist mit LED-Retrofit-Lampen nicht erreicht wird. In den meisten Fällen empfiehlt sich eine komplette Neuinstallation mit systemoptimierten LED-Komponenten. Um die lange Lebensdauer der LED-Beleuchtung auch effektiv zu nutzen sollte aus wartungstechnischen Gesichtspunkten die „alten“ Komponenten getauscht werden. Wenn die „alten“ Komponenten nach einiger Zeit ausfallen und eine Instandsetzung notwendig ist kann dies die Rentabilität verringern, da „unnötige“ Arbeitszeit und zusätzliche Kosten entstehen (Thema, et al., 2010).

---

<sup>10</sup> Kurzexpertise zu Paper 14.4 des Projektes „Material und Ressourcenschonung“ (MaRes) des Wuppertal Institutes für Klima, Umwelt und Energie, Johannes Thema, Gerhard Wohlauf und Dominic Wittner sowie der Hochschule Ruhr West Prof. Dr. Wolfgang Irrek

### 2.2.2 Bautypen

Die Low- und High Power LEDs werden für die unterschiedlichen Anwendungsbereiche in verschiedenen Bauformen produziert. Durchgesetzt haben sich entweder die einzeln verbauten LEDs. Heutzutage werden sie meist als ein Zusammenschluss mehrerer LEDs auf einem Trägermaterial entweder zur SMD Bauform oder COB-Bauform produziert.

- Die Low-Power LEDs

Die klassische LED mit abgerundeter gekapselter Kunststoffhülle, die meist mit einem Durchmesser von 3 – 5 mm und einem Abstrahlwinkel von 15° - 30° hergestellt wird. Sie kommen heute auf Grund ihrer meist geringen Leistung hauptsächlich nur mehr für z.B. Anzeigeelemente zum Einsatz. Sie werden mit einem Strom zwischen 20mA bis maximal 100mA betrieben (Fördergemeinschaft Gutes Licht, 2010).

- High-Power-LED

Dies stellt eine weiter entwickelte Bauform der Low-Power-LED dar. Startete sie ursprünglich mit 1W leisten sie heute 3 – 5 Watt bei weiterer Miniaturisierung. Bei einer Größe etwas eines Streichholzkopfes leisten sie heute 100 Lumen / Watt. Der Chip selbst ist meist ca. 1mm<sup>2</sup> groß. Aus diesen Gründen wird sie auch „Hochleistungs-LED“ genannt (Fördergemeinschaft Gutes Licht, 2010).

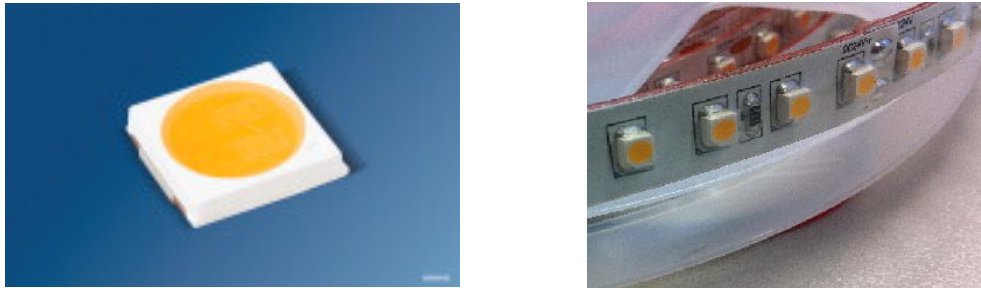
### 2.2.3 LED Bauformen

Die sich bei der Beleuchtungstechnik durchgesetzten Bauformen sind die SMD- und die COB-Bauform.

- SMD-Bauform

Zur Anwendung kommen die Low- und High-Power-LED in der SMD-Bauform, Surface-Mounted-Devices. Sie werden auf die entsprechende Leiterplatte / Oberfläche auf gelötet. Kleine leistungsstarke in ein Gehäuse eingepasste LED-Chips. SMD-LEDs sind bereits verkapselt und werden am häufigsten in Modulen oder für den Einsatz in Leuchten eingesetzt. Die SMD-

Bauform ermöglicht die Herstellung von sehr flachen, schmalen aber auch leistungsfähigen Modulen.



**Abbildung 6** Beispiel einer High Power LED in SMD-Bauform<sup>11</sup>; Einsatzgebiet einer SMD-LED; LED Strip (rechts)<sup>12</sup>

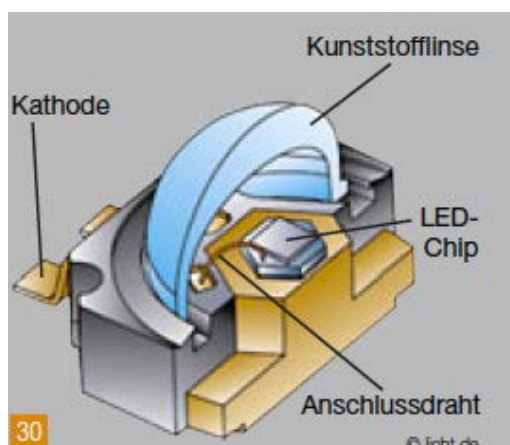
- COB-Bauform

Für den Einsatz von besonders leistungsstarken LED-Modulen für die weiterführende Lampenproduktion werden sogenannte COB-LEDs, Chip On Board, produziert. Dies sind ebenfalls kleine Chips, die direkt ohne Verkapselung, auf die Leiterplatten geklebt werden. Mit diesem Verfahren lässt sich ein Vielfaches der "Packungsdichte", im Vergleich zur SMD-Technologie, erzielen. Der enorme lichttechnische Vorteil der COB-Module liegt in der Homogenität der Lichtabstrahlung. Somit wird ein konsistenter Lichtkegel und keine Einzellichtpunkte erzielt. Wird zudem als Trägermaterial Keramik verwendet, ist die Voraussetzung für eine optimale Kühlung gegeben, die zur Steigerung der Effizienz und der Lebensdauer beiträgt. Zum Schutz und zur Lichtlenkung erhält das Modul eine aufgeklebte Epoxylinse, „Bubble“ genannt. Sie definiert den Ausstrahlwinkel, der eng oder breitstrahlend sein kann (Fördergemeinschaft Gutes Licht, 2010). Diese Module werden auch zu Lampen weiterverarbeiten die in die handelsüblichen Fassungen wie E14, E27, GU4, GU 5,3 oder GU10 einsetzbar sind (Retrofit) (Thema, et al., 2010).

---

<sup>11</sup> Quelle: Osram Opto semiconductors Typ: DURIS® S5 (<http://catalog.osram-os.com/catalogue/catalogue.do?act=showBookmark&favOid=0000000b0000c57300bb0023>)

<sup>12</sup> Quelle: Eigenes Foto



**Abbildung 7** Schematischer Aufbau einer COB – LED<sup>13</sup>

## 2.3 Die Wirkung auf den Menschen

Um bei einem Wechsel auf LED-Technologie ähnlichen Problemen aus dem Weg zu gehen, wie man sie durch das Quecksilber beim Einsatz von Kompakt- und Leuchtstofflampe hat, wurde nach Informationen in verschiedensten Publikationen recherchiert, die einen direkten positiven oder negativen Einfluss auf den Menschen beschreiben. Eine weitere Vermutung war, dass sich die LED-Lichtemission gefährlich für das menschliche Auge ist und sich somit negativ auf das Wohlbefinden des Menschen auswirken könnte. Diese Bedenken werden unter dem Punkt Arbeitssicherheit diese Arbeit untersucht (siehe 2.3.2).

### 2.3.1 Physiologische Wirkung

Durch die LED Technologie können Lichtstimmungen erzeugt werden die sich positiv auf den Menschen auswirken. Dies sollte auch bei der Planung einer Beleuchtungsanlage für Innenräume wie zum Beispiel Büros berücksichtigt werden. Ein zum Beispiel zu dunkler Büroraumen, der eigentlich einen Mindestwartungswert von 500 lx aufweisen muss, kann tagsüber bei tatsächlichen Werte von ca. 100 lx – 200 lx zu einem Problem werden da die innere Uhr des Menschen nicht mehr effizient „geeicht“ werden kann (Posch, et al., 2013). Desweiteren sollte die Lichtintensität zum Abend hin immer schwächer werden und zum schlafen völlige

---

<sup>13</sup> Quelle: licht wissen-17.de Abb. 30

Dunkelheit herrschen. Helles Licht in der biologischen Nachtphase unterdrückt die Melatonin-Ausschüttung und wirkt erhöhend auf die Produktion des Stresshormones Kortisol das wiederum zu Schlafstörungen führen kann. Der Kreis schließt sich hier wieder in Bezug auf die Ausstattung eines Arbeitsplatzes eines Nachtschichtarbeiters mit einer entsprechenden Lichtfarbe. Im Jahr 2002 wurde von der Brown University in Providence (USA, Texas) herausgefunden warum sich gerade die Blauanteile des Lichtes am stärksten auf die Zirkadian-Rhythmik, den Wachheitsgrad und den Schlaf auswirken. David Berson entdeckte eine bisher unbekannte Art photosensitiver Ganglienzellen in der Netzhaut von Säugetieren. Diese Ganglienzellen reagieren am stärksten auf die spektrale Strahlung von 460 - 480 Nanometer (blauer Bereich). Dieses Untersuchungsergebnis wird als entscheidend für die Wahl der richtigen künstlichen Lichtquelle zum jeweiligen Einsatzgebiet angesehen. Im menschlichen Auge gibt es demnach Stäbchen, Zapfen und die neuentdeckten Ganglienzellen (Posch, et al., 2013).



**Abbildung 8** Darstellung einer tageslichtgesteuerte Leuchte<sup>14</sup>

### 2.3.2 Arbeitssicherheitstechnische Wirkung

Bezüglich ihrer Wirkung auf den Menschen unterscheidet sich LED-Strahlung nicht von der Strahlung herkömmlicher Lichtquellen. LED-Lampen enthalten auch keine direkten giftigen Metalle, wie Quecksilber die direkt austreten können. Die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin hat aber mehrere Fabrikate von LED-Lampen in die Risikogruppe 2 eingeordnet, bei der die Sicherheit nur auf unwillkürlichen Abwendungsreaktionen vom Menschen beruht. Wer entgegen den Abwehrimpulsen in das Licht schaut, überschreitet innerhalb von 10 bis 73 Sekunden den geltenden Grenzwert für den Schutz der Augen<sup>15</sup>. Deshalb sollte

<sup>14</sup> <http://www.baulinks.de/webplugin/2002/0608.php4> (Zugriff 16.03.2014)

<sup>15</sup> [https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblAuth/BGBLA\\_2010\\_II\\_221/BGBLA\\_2010\\_II\\_221.pdf](https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblAuth/BGBLA_2010_II_221/BGBLA_2010_II_221.pdf)

man nicht über längere Zeit direkt in das blaue oder kaltweiße Licht, das vom LED-Halbleiterchip ausgeht, blicken, da es im Auge photochemische Reaktionen auslöst. Diese können Sauerstoffradikale freisetzen, die die Sinneszellen der Netzhaut angreifen. Privatanwender sind davon aber kaum betroffen, denn die Leuchtchips bei den Alltagslampen sind meist hinter einer mattweißen oder gelb-orangen Scheibe verborgen. Dagegen ist bei LED-Taschenlampen Vorsicht angesagt. LED-Leuchten sollten nie direkt auf das Gesicht anderer Personen gerichtet werden, denn bereits kürzere Expositionen addieren sich (Vees, et al., 2010).

Nicht nur LEDs sind einer Risikogruppe zugeordnet. Auch Glühbirnen und Halogenlampen, die einen geringen Anteil Blaulicht emittieren, können im Auge thermische Effekte auslösen, was ebenfalls zur Einordnung in eine Risikogruppe führt.

*"Es gibt eine Vielzahl von Arbeitsplätzen, bei denen man im Vorhinein eine Gefährdung ausschließen kann, hält Weber fest. Wird man bei der Arbeit außerdem nicht geblendet und empfindet auch den Arbeitsplatz nicht als besonders heiß, dann ist Webers Angaben zufolge die Gefahr einer Grenzwertüberschreitung aufgrund von Licht und Infrarotstrahlung ebenfalls eher gering. Das gilt auch für Lampen, die für die ‚normale‘ Beleuchtung eingesetzt werden. Hier hat sich in den vergangenen Jahren zwar eine Verschiebung hin zu Blaulicht ergeben. Allerdings müsste man länger als zwei Stunden aus relativ geringer Entfernung direkt in die Quelle starren, um den VOPST-Grenzwert für Blaulicht zu überschreiten"<sup>16</sup>.*

Die ArbeitnehmerIn wird in der Richtlinie 2006/25/EG vor zu hoher Einwirkung durch künstliche optische Strahlung geschützt. Diese Richtlinie musste bis 2010 von den Mitgliedsstaaten der EU in nationales Recht umgewandelt werden. In Österreich findet man die entsprechenden Grenzwerte, nicht nur für Blaulicht, in der Verordnung „Optische Strahlung“ im Arbeitnehmerschutzgesetz (ASCHG) wieder. Die Einteilung in Risikogruppen, (R0) R1 – R3, auf denen die Richtlinie 2006/25/EG und die VOPSt basieren ist die ÖVE/ ÖNORM EN 62471. Auf Grund der dortigen Klassifizierung kann abgeleitet werden, ob die Grenzwerte am Arbeitsplatz im entsprechenden Referenzabstand der Norm von 20cm überschritten werden oder nicht. Auf Grund in der Praxis selten vorkommender Bestrahlung in einer Entfernung von kleiner als 20cm und abnehmender Gefährdung mit größer werdenden Abstand

---

<sup>16</sup> AUVA/ Marko Weber von der Fachgruppe Laser-, LEDs- und Lampensicherheit der Seibersdorf Laboratories.

[http://www.sicherearbeit.at/servlet/ContentServer?pagename=X04/Page/Index&n=X04\\_0.a&cid=1300445565998](http://www.sicherearbeit.at/servlet/ContentServer?pagename=X04/Page/Index&n=X04_0.a&cid=1300445565998)

zur Lichtquelle „ ist die Aussagekraft der Risikogruppenzuteilung als relativ und als worst-case Szenario anzusehen“ (Vees, et al., 2010)<sup>17</sup>. Weiterführende Informationen über die Grenzwerte, die Risikogruppeneinstufung können im Projekt „VISIR“ der AUVA gefunden werden.

Im Report 51 der AUVA werden u.a. mögliche Augengefährdungen in Bezug auf thermische und photochemische Gefährdungen untersucht. Folgend ein Auszug der Ergebnisse von 30 LED

- **„Kurzzeit-Exposition (RG2):** die Grenzwerte für Kurzzeit-Exposition wurden in keinem Fall überschritten, d.h. zur Zeit wird Risikogruppe RG 3 (von den untersuchten LEDs) nicht erreicht.

- **Langzeit-Exposition (RG0):**

a) Grüne, gelbe, orange und rote LEDs sind sicher, d.h. sie sind in der „Freien Gruppe“(RG 0).

b) Blaue oder weiße Hochleistungs-Einzel-LEDs und grün-cyanfarbige LED-Arrays können der RG 2 angehören, allerdings nur aufgrund der photochemischen Gefährdung. Diese LEDs sind jedoch sehr hell. Ein Blick in die LEDs wird aufgrund natürlicher Abwehrreaktionen (Blendung) zeitlich beschränkt bleiben“.

Wird jedoch ein langzeitiger, bewusst langer Blick in eine weiße oder Blaulicht ausstrahlende LED getätigt besteht sehr wohl die Gefahr, dass die Expositionszeit für photochemische Netzhautgefährdung überschritten wird. Alle Einzelexpositionen sind über den achtstündigen Arbeitstag hinweg auf zu summieren. Die Summe kann schnell diese Zeit übersteigen. Die Emissionswerte für eine thermische Netzhautschädigung wird von keiner LED erreicht, da die Leistungen derzeit nicht ausreichend sind. Abschließend kann festgehalten werden, dass der Abstand und die konkrete Expositionsdauer zur Quelle wichtig ist. Der Bericht beschreibt den worst-Case-Fall. Das photobiologische Risiko, bei LED, verringert sich stark mit dem Abstand zur Lichtquelle. Es können auch LED mit höherer Risikogruppe gefahrlos verwendet werden (Udovicic, et al., 2013).

---

<sup>17</sup>AUVA Report 51 Projekt safe-LED( Gesundheitsrisiken durch neuartige Hochleistungs – Leuchtdioden(LED)Version 16 August 2010

### **3 Fallstudie: Wirtschaftliche und elektrotechnische Betrachtung**

Im Abschnitt 3 werden die Einflüsse der wirtschaftlichen und elektrotechnischen Aspekte untersucht. Die Ergebnisse, der Abschnitte 3.1 und 3.2, sollen darüber Aufschluss geben, welche Punkte für oder gegen einen Technologiewechsel sprechen und welche Kriterien bei einem Wechsel zu berücksichtigen sind.

#### **3.1 Betrachtung der wirtschaftlichen Aspekte (Break-Even, Amortisation und Rentabilität)**

Anhand eines praktischen Beispiels soll der Break- Even, die Rentabilität und die Amortisation eines Technologiewechsels untersucht werden.

##### **3.1.1 Beschreibung der Vorgehensweise**

Um eine gute Lichtqualität einer Beleuchtungsanlage zu erreichen muss sich der Planer zur Beginn einer lichttechnischen Planungsaufgabe, ganz gleich ob es sich um eine Lichtplanung einer Neuanlage oder, wie in diesem Fall, um eine Sanierungsplanung einer bestehenden Beleuchtungsanlage in einem Shopping Center handelt, die Frage stellen: Wie soll / wird die Wirkung auf den Menschen sein? Hier sind gemäß der ELI Bewertungskriterien, die die Basiskriterien der DIN EN 12464 beinhaltet, folgende Indikatoren zu erfüllen<sup>18</sup>

- Sehleistung;
- Erscheinungsbild;
- Sehkombfort;
- Vitalität;
- Individualität

In einer Studie der Mitarbeiterin Birthe Tralau, der Zumtobel Abteilung Strategic Lighting Application, werden die ELI- Aspekte noch genauer auf geschlüsselt und beschrieben (Tralau, 2007). Hier werden folgende Gütemerkmale bewertet:

- Begrenzung der Reflexblendung;
- Begrenzung der Direktblendung;
- Helligkeitsverteilung;
- Beleuchtungsniveau;

---

<sup>18</sup> Seminarunterlagen Lichttechniker-Innenraumbeleuchtung (6. November 2013): Dipl.-Ing. Peter DEHOFF(Global Application & Product Management; Director Professional Associations and Standards Zumtobel Lighting)

- Lichtrichtung;
- Schattigkeit;
- Lichtfarbe;
- Farbwiedergabe

Im Bereich des Shopping Centers stehen emotionale Aspekte wie ein angenehmes Umfeld, Gestaltung, Ästhetik, eine ganzheitliche Wahrnehmung und das daraus resultierende Wohlbefinden im Vordergrund. Diese Aspekte wirken sich wiederum auf die Verweildauer der Kunden im Shopping Center positiv aus.

Auf Grund dessen wird die bestehende Beleuchtungsanlage licht-, elektrotechnisch, ökologisch und ökonomisch mit einer neuen LED Lichtlösung verglichen.

Die Vor- und Nachteile beider Beleuchtungsarten werden durch Messungen vor Ort praxisnah herausgearbeitet. Das Ziel der Gegenüberstellung ist, eine fundierte Entscheidung, in Bezug auf „ein evtl. Behalten“ oder „einem evtl. Erneuern“ der Beleuchtungsanlage treffen zu können. Es sollen auch die verschiedenen Kriterien zwischen konventioneller Beleuchtung und LED Beleuchtung für einen Facility Manger aufgezeigt werden.

### 3.1.2 Problemdarstellung

Im vorliegenden Fall soll eine Beleuchtungsaufgabe für allgemeine Verkehrswege bewältigt werden, die vorwiegend Gastronomie- und Entertainmentbereiche eines Shopping Centers mit einander verbinden. Die Beleuchtungsanlage soll blendfrei, eine ansprechende, wohlfühlende und entspannende Wirkung haben. Da es sich bei den angrenzenden Betrieben um gastronomisch genutzte Bereiche handelt, ist eine gute bis sehr gute Farbwiedergabe wichtig. Denn ein hoher Farbwiedergabewert (>CRI) gewährleistet, dass die Speisen appetitlich ausschauen (Fördergemeinschaft Gutes Licht, 2012). Die angeführten Kriterien sollen sowohl für die Mittagszeit, während des Mittagessens, erfüllt sein um in der kurzen Pause zu Mittag eine schnelle Regeneration zu ermöglichen wie auch zum Abendessen wo eher eine gedämpfte Lichtatmosphäre benötigt wird. Die DIN Norm EN 12464-1 empfiehlt für Speiseräume / Mensen eine Grundbeleuchtung von 200 lx was aber in diesem Zusammenhang ausschließlich für die Mittagszeit zu berücksichtigen wäre. Für die verschiedenen Nutzungen zu unterschiedlichen Tageszeiten ist ein Lichtsteuerungssystem sinnvoll um verschiedene Lichtstimmungen automatisch erzeugen zu können. Ein homogenes Deckenbild soll ebenfalls gewährleistet sein. Desweiteren soll die Beleuchtungsanlage im Rahmen von wirtschaftlichen Aspekten

einfach zu betreiben sein. Lichtszenenänderungen und deren Optimierung sollen ohne großen Installations- und somit Kostenaufwand durchgeführt werden. Im Kontext zur angrenzenden Gastronomie soll sie ein sauberes und gepflegtes Erscheinungsbild darstellen.

### 3.1.3 Beschreibung der bestehenden Beleuchtungsanlage

Grundsätzlich wird der *Gebäudeteil 2* durch ein großes Glasdach mit einem hohen Tageslichtanteil versorgt. Dennoch ist es bei einigen Bereichen, die nicht so stark vom Tageslicht in entsprechender Intensität erreicht werden, dadurch dunkel und unattraktiv wirken, notwendig, diese am Tag zu beleuchten. Die zusätzliche Beleuchtung am Tag ist wichtig um einen negativen Tunneleffekt einiger Allgemeinflächen und das dadurch entstehende Unbehagen, was dunkle Ecken auslösen, zu beseitigen. Die Bereiche vor den betreffenden Gastronomiebetrieben, sollen um die Mittagszeit, heller und damit attraktiver und anregender wirken. Bei hohem Tageslichteinfluss wirken die Verkehrswege und somit die anschließenden Lokale trist und unansehnlich. Hohe Unterschiede bei der Beleuchtungsstärke in der direkten Umgebung kann auch „*visuelle Überlastungen und eine Beeinträchtigung des Wohlbefindens nach sich ziehen*“ beschreibt die Literatur (Fördergemeinschaft Gutes Licht, 2012).

Die betrachteten Bereiche sind insgesamt mit 247 Leuchten des Types Reggiani SUPERTECH 6603-AVS ausgestattet. 112 Leuchten befinden sich im 1. OG die restlichen 135 Leuchten sind im 2. OG installiert. 241 Leuchten sind mit Kompaktleuchtstofflampen 2 x 42 W / 830 / 4 Pin (Philips PL-T) und einem entsprechenden elektronischen Vorschaltgerät ausgestattet. 10 Leuchten sind mit Kompaktleuchtstofflampen 2 x 18 W / 830 / 4Pin Long Life (AURA UNIQUE / 18 W) und je einem elektronischen Vorschaltgerät ausgestattet. Die elektronischen Vorschaltgeräte sind von namhaften Herstellern inkl. CE-Zeichen (Vossloh Schwabe, Phillips, Tridonic). Die Lichtsteuerung erfolgt über ein Bus gestütztes Lichtsteuerungssystem (Luxmate, Zumtobel). Die Leuchten können in vordefinierten Gruppen bedarfsweise über ein Zeitprogramm und / oder außenlichtabhängig gesteuert werden. Die Steuerung kann ausschließlich über die jeweilige bei der Errichtung festgelegte Gruppeneinteilung nach den oben angeführten Möglichkeiten gesteuert bzw. programmiert werden. Es besteht nicht die Möglichkeit einzelne Leuchten individuell „anzusprechen“, weil die bestehenden Leuchten nicht mit z.B.

Dali-fähigen Vorschaltgeräten ausgestattet sind. Die einst festgelegte Beleuchtungssituation (Beleuchtungsgruppen) kann nur mit relativ hohem Aufwand an eine neue, sich aus dem Betrieb ergebende, Beleuchtungssituation angepasst werden. Dazu muss die entsprechende Verkabelung geändert werden. Im laufenden Betrieb verschmutzen die Reflektoren trotz des davor liegenden Schutzglases bei den 2 x 42 W Leuchten. Auch das Schutzglas verschmutzt durch Staub, Insekten und bedingt durch den bereichsweise langen Betrieb, durch herabfallende Bestandteile der Lampen, sehr. Die Leuchtenteile wie Reflektor und Frontglas müssen bei jedem Lampentausch und bei jeder Zwischenreinigung vorsichtig gereinigt werden. Eine Reinigung der Leuchtenteile bei jedem Lampentausch ist Minimum. Um die Beleuchtungsanlage in einem ordentlichen Zustand zu halten, müsste eine Reinigung der Leuchten weitere Male zwischen jedem Lampentausch erfolgen. Diese zusätzlichen Wartungsarbeiten werden bei der Rentabilitätsberechnung berücksichtigt.

## Planausschnitt der Beleuchtungsbereiche 1 - 3 im 1. OG

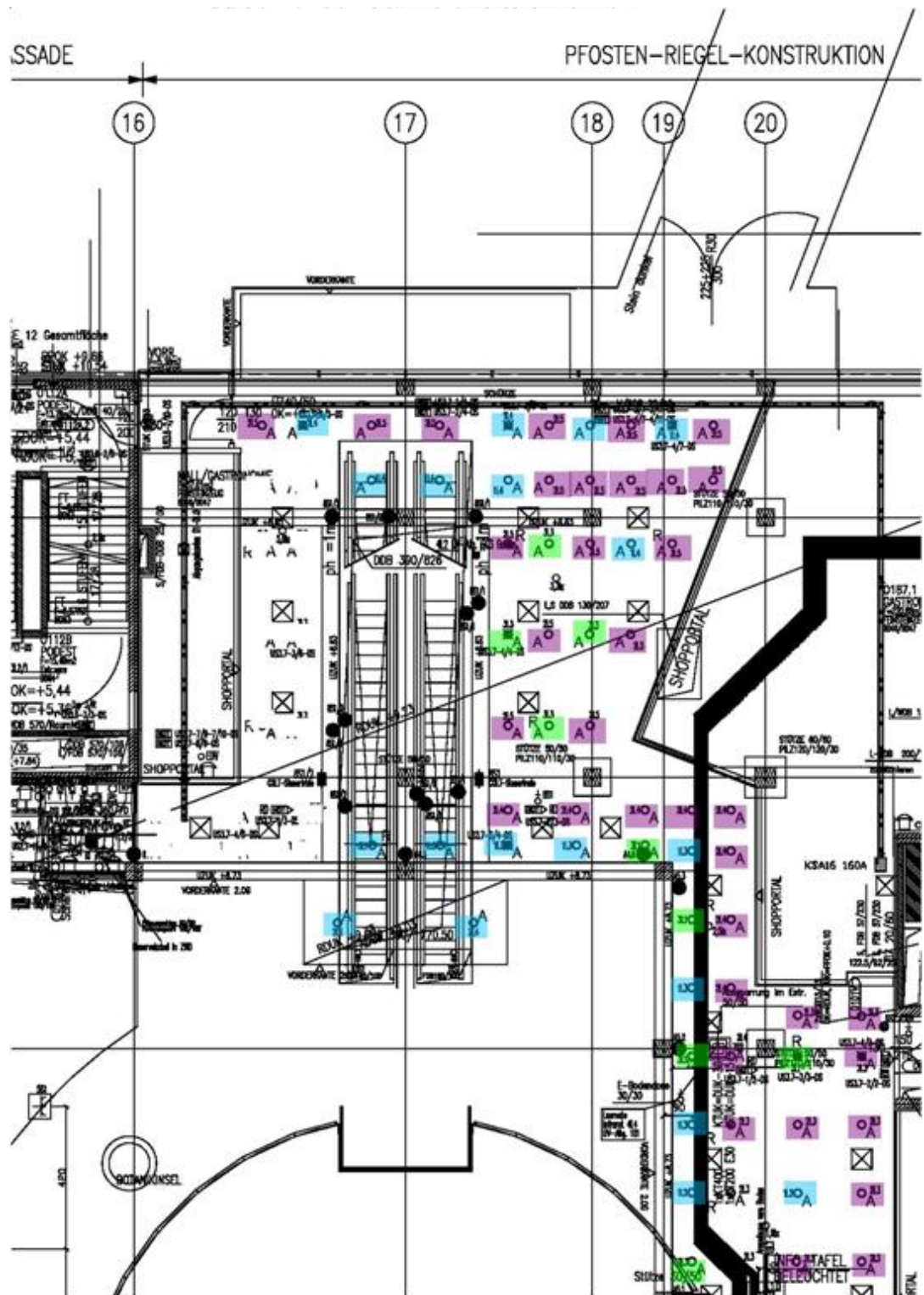


Abbildung 9 Planausschnitt Teil 1 des allgemeinen Beleuchtungsbereiches 1.OG

Planausschnitt der Beleuchtungsbereiche 1 - 3 im 1. OG

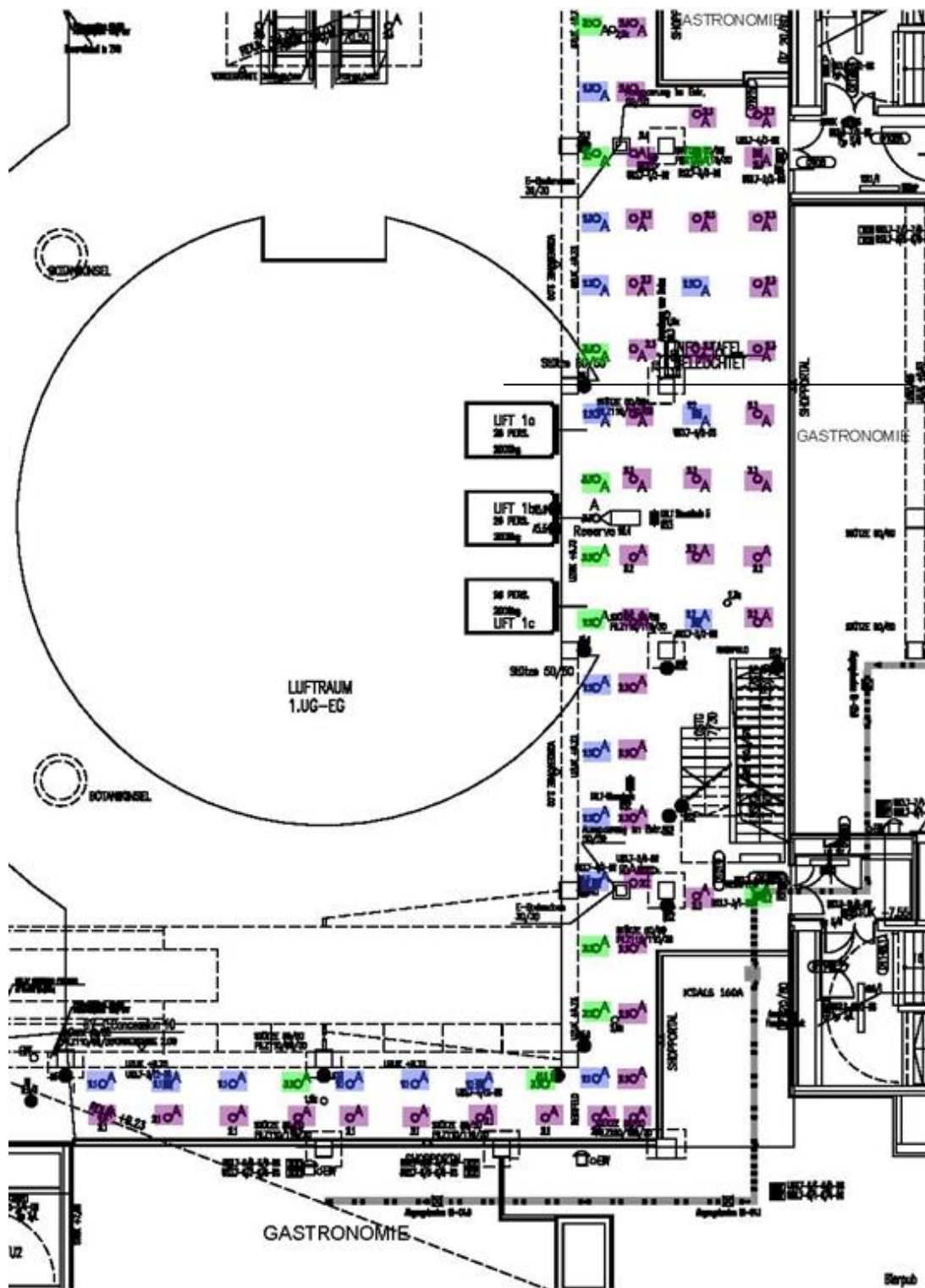


Abbildung 10 Planausschnitt Teil 2 des allgemeinen Beleuchtungsbereiches 1.OG

## Planausschnitt der Beleuchtungsbereiche 1 - 4 im 2. OG

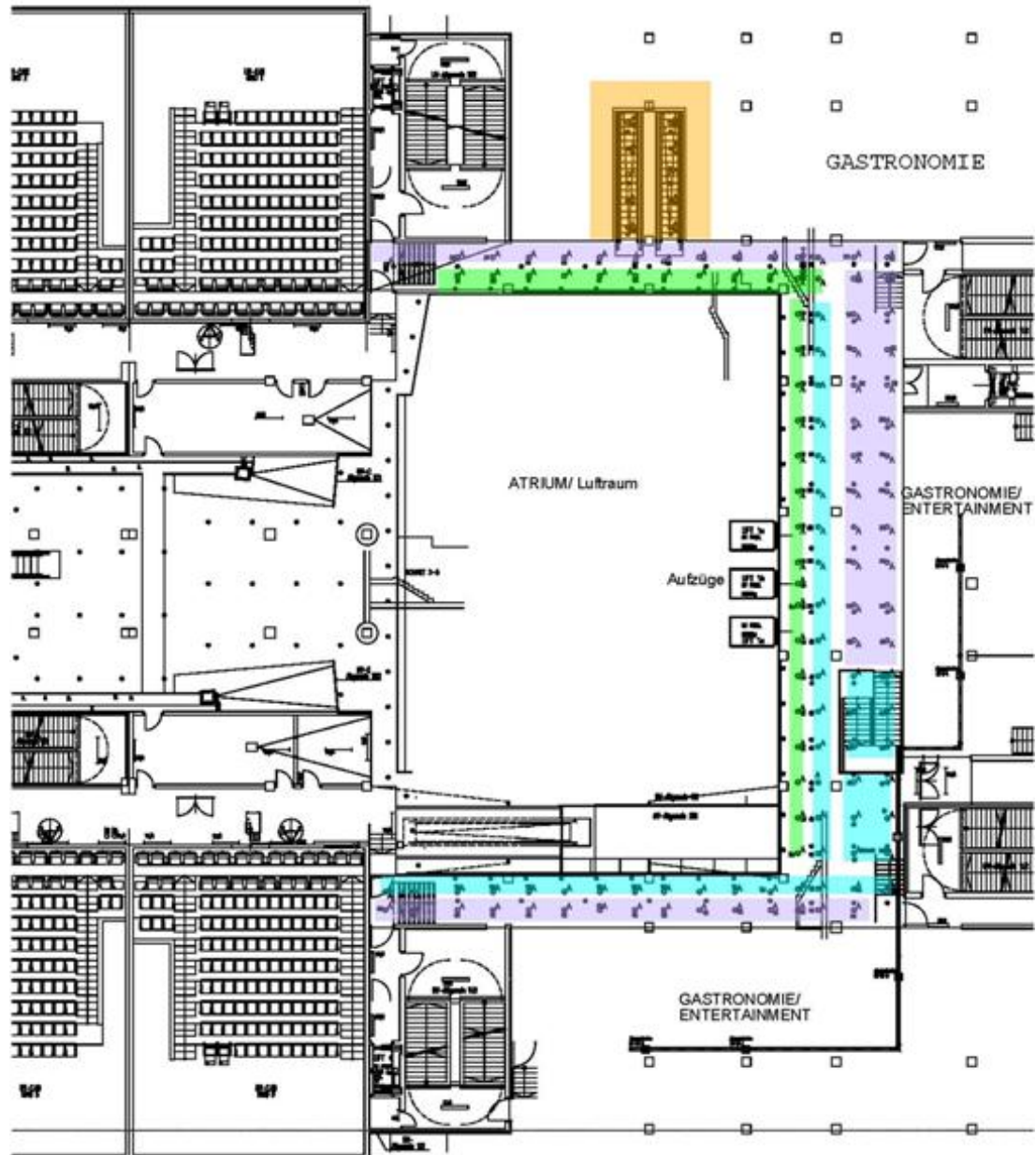


Abbildung 11 Planausschnitt Teil 3 des allgemeinen Beleuchtungsbereiches 2.OG

Anschließend an die farbig markierten Bereiche im 1. OG und 2. OG befinden sich, nach oben und nach rechts im 1. OG und 2. OG Gastronomie- und Entertainmentbetriebe. Im 2. OG ist ein Teil der allgemeinen Verkehrsfläche, oberhalb-rechts der Aufzugsgruppe, als „Indoor Gastbereich“ (Schanigarten) ausgewiesen und in Verwendung. Hier wäre am Abend eine gedimmte Beleuchtung notwendig. Zur Zeit ist die Beleuchtung überwiegend ausgeschaltet. Durch die Nutzung der Allgemeinfläche als Gastgarten wäre hier eine Lichtsteuerung mit individuell anzusteuern den Leuchten für die Optimierung der Beleuchtung hilfreich. Die anschließend folgenden Rentabilitätsberechnungen der Abbildungen 9 – 11 sollen zeigen, ob sich eine Investition amortisiert. In der Rentabilitätsbetrachtung wird von einer mittleren Lebensdauer von 50% der konventionellen Beleuchtung ausgegangen um den maximalen Break-Even-Punkt zu erhalten. Jede Verkürzung der Lebensdauerbetrachtung der „normalen“ Beleuchtung wirkt sich positiv auf die Amortisierungszeit der LED-Technologie aus. Es müssen dadurch kürzere Wartungsintervalle wie Lampentausch und Reinigungen vorgesehen werden. Eine weitere Rolle spielt die Betriebsdauer. Jede Erhöhung wirkt sich ebenfalls positiv auf die Amortisierung aus und würde das Erreichen des Break-Punktes zeitlich verkürzen. Durch das sich, in dieser Konstellation, ergebene hohe Verringerungspotenzial der Leuchtenanschlussleistung um 75%, von 2 x 42 W (84 W) auf 21 W für die LED-Leuchte (Leistungsangabe des LED-Herstellers), besteht hier zusammen mit einer intelligenten Lichtsteuerung ein hohes Energieeinsparpotential. Diese Energieeinsparung ist aber nur möglich auf Grund der zu hohen installierten Leuchtenanzahl bei der Errichtung und der sich daraus ergebende zu hohe Beleuchtungsstärke sowie folglich eines zu hohen Lichtstromes bei 100%-Betrieb der Leuchten. Bei einem Wechsel auf die LED Technologie soll die entsprechenden Deckenausschnitte und somit die Leuchtenanzahl aus Symmetrie Gründen beibehalten werden. Ein Test mit zwei Musterleuchten vor Ort hat bestätigt, dass die Anzahl der Deckenausschnitte, trotz des niedrigeren Anschlusswertes der LED-Leuchte ausreichend ist und beibehalten werden kann. Die Betrachtung stellt keine zwei Investitionen gegenüber, da z.Zt. keine generelle Erneuerung der Beleuchtungsanlage vorgesehen ist, so dass sich dies auf die Amortisation der LED entsprechend schlecht auswirken wird. Die Betrachtung ist aber gewünscht um die schlecht möglichste Ausgangssituation für die LED-Leuchte zu erhalten.

### 3.1.4 Break Even-Berechnung Bereich 1 (blau)

Der in den Abbildungen 9 - 11 dargestellte blaue Bereich umfasst insgesamt, 1. OG und 2. OG gemeinsam, 61 Leuchten. Die Leuchten sind z.Zt. mit 2 x 42W Kompaktleuchtstofflampen bestückt. Die Betriebszeiten betragen 7 Stunden pro Tag. Bedingt durch die, schön erwähnte, zu hohe installierte und nicht dimmbare Lichtleistung wird dieser Bereich nur morgens zur Gebäudereinigung und in der Zeit zwischen 16 Uhr und 20 Uhr abhängig von der Außenlichtstärke eingeschaltet. Der Schwellwert zum Einschalten der Beleuchtung durch den Tageslichtwert ist sehr hoch eingestellt, weil ein zu spätes Einschalten wegen zu hoher Beleuchtungsstärkenunterschiede zum Tageslicht vermieden werden soll. Da sich diese Beeinflussung durch das Tageslicht auf alle Beleuchtungstypen gleichermaßen auswirkt und nicht zeitlich genau erfasst werden kann bleibt dieser Gesichtspunkt bei der Betrachtung bzgl. des Stromverbrauches und nötiger Wartungsintervalle unberücksichtigt. Auch die Frontscheiben und Reflektoren der bestehenden Leuchten, die nicht in Betrieb sind, müssen auf Grund der vor Ort herrschenden hohen Verschmutzungen regelmäßig zwischengereinigt werden. Diese Zwischenreinigung wird alle eineinhalb bis zwei Jahre bei der konventionellen Leuchte durchgeführt. Bei der LED-Leuchte wird von einem Reinigungsintervall von drei Jahren ausgegangen, da das Gehäuse von der ausgewählten LED-Leuchte nach außen hin komplett verschlossen ist. Die Leuchte kann dadurch innen nicht verschmutzen. Das Reinigungsintervall hängt vom Gesamteindruck des Deckenbildes ab. Auf Grund defekter oder noch funktionierender Leuchtmittel kann dies im Zeitfenster von  $\pm$  einem halben Jahr variieren. Die Amortisation bezieht sich auf die gesamt Betriebszeit von 10 Jahren. Eine 20 jährige Darstellung der Kostenentwicklung ist im Anhang B Grafik 8 zu sehen. Bei den konventionellen Leuchtmitteln wird mit der mittleren Lebensdauer aus dem Datenblatt gerechnet (siehe Anhang B Abbildung B2). Bei der LED von der Lebensdauer  $L_{70}$  ebenfalls laut Herstellerangaben ausgegangen (siehe Anhang B Abbildung B 3). Die Grundlage der Berechnungen, in allen Bereichen, bilden einige Parameter aus dem von der Magistratsabteilung 27 veröffentlichten Technologieführer "Beleuchtung" (Weindl, et al., Juni 2007) (Weindl, et al., Juni 2007), sowie einigen wichtigen Parametern aus der Wirtschaftlichkeitsberechnungssoftware von Lichtlösungen „ecoCALC“ der Fa. Zumtobel<sup>19</sup> (ZUMTOBEL LIGHTING GmbH, August 2013).

---

<sup>19</sup> <http://www.zumtobel.com/com-de/14032.html>

### Eckdaten und technische Werte Bereich 1 (blau)

	<b>Konventionelle Lampe</b> z.B. Philips PL-T 2 x 42 W 830 / 4pin	<b>Long Life Lampe</b> z.B. AURA Unique 2 x 42 W 830 / 4pin	<b>LED-Leuchte</b> z.B. Osram LEDvance Downlight XL 1 x 21 W / 3000 K
<b>Mittlere Lebensdauer (50%)</b>	13.000 Stunden	42.000 Stunden	50.000 Stunden (L70 T <sub>a</sub> 25°C)
<b>Anzahl der Lampen / Leuchten</b>	<b>122 Stk</b>	<b>122 Stk</b>	<b>61 Stk</b>
<b>Energieverbrauch</b>	84 W / 5.124 W	84 W / 5.124 W	21 W / 1.281 W
<b>Betriebsstunden / Jahr<sup>20</sup></b>	7Std. / Tag * 365 = 2.555 Std	7Std. / Tag * 365 = 2.555 Std	7Std. / Tag * 365 = 2.555 Std
<b>Lichtstrom</b>	3.200 lm / Lampe	3.200 lm / Lampe	1.710 lm / Lampe
<b>Lichtausbeute [lm / W]</b>	73 lm / W	76 lm / W	90 lm / W
<b>Farbwiedergabe R<sub>a</sub> (CRI)</b>	82	≥ 80	> 80
<b>Gesamtverbrauch / 10 Jahre [kWh]</b>	130.918,20 kWh	130.918,20 kWh	32.729,60 kWh
<b>Strompreis [€/ kWh]</b>	€ 0,144045	€ 0,144045	€ 0,144045
<b>Entsorgungskosten / Lampe</b>	€ 0,14	€ 0,14	€ 0,00
<b>Kaufpreis Lampe</b>	€ 5,40	€ 15,05	€ 200,00
<b>CO<sub>2</sub>-Emission bei 0,188 kg CO<sub>2</sub> / kWh<sub>el</sub></b>	24.612,62 kg	24.612,62 kg	6.153,16 kg
<b>Quecksilbergehalt des Anlagenbereiches</b>	170,80 mg (1,4 mg / Lampe) * 3 = 512,40 mg <sub>insg.</sub>	366,0 mg (3 mg / Lampe) * 1 = 366,0 mg <sub>insg.</sub>	0,00 mg (0,00 mg / Lampe) = 0,0 mg <sub>insg.</sub>
<b>Restnutzungsdauer nach 10 Jahren bis zum nächsten Wechsel</b>	ca. 12.550 h (97%)	ca. 16.450 h (35%)	ca. 24.450 h (49%)

Tabelle 1 Eckdaten und technischen Werte Bereich 1 (blau)

<sup>20</sup> Betriebsstunden über 10 Jahre 25.550 Std. bei 24h-Betrieb 87.600 Std.

## Berechnung

<b>Arbeitszeit<sup>21</sup> für Wechsel, Reinigung der 61 Stk Reflektoren beim Lampentausch (10 min / Leuchte)</b>	3 * €459,53 (10 Std. 1 Facharbeiter à €45,20 / Std.) = € 1.378,59	1 * €459,53 (10 Std. 1 Facharbeiter à €45,20 / Std.) = € 459,53	Installation der LED-Leuchten inkl. Zusatzteile = €2.305,80 <sup>22</sup>
<b>Zwischenreinigung Reinigungsintervall alle ~2Jahre / 3 Jahre bei der LED da Gehäuse verschlossen</b>	4 * €260,27 (€32,00 /Std. à 8 Std) 1 E-Helfer = € 1.041,07€	5 * €260,27 (€32,00 /Std. à 8 Std) 1 E-Helfer = € 1.301,33	3 * 97,60 (€32,00 /Std. à 3 Std) 1 E-Helfer = € 292,80
<b>Gesamte Leuchtmittelkosten über 10 Jahre</b>	((5,40 * 2) * 61 Stk) * 3 = € 1.976,40	((15,05 * 2) * 61 Stk) * 1 = € 1.836,10	(200,00 * 1) * 61 Stk = € 12.200,00
<b>20 % Ersatzleuchten<sup>23</sup> geschätzt auf 10 Jahre</b>	€100,00 * 12 Stk = € 1.200,00	€100 * 12 Stk = € 1.200,00	= €0,00
<b>Arbeitszeit für Wechsel von 12 konventionellen Leuchten über 10 Jahre (30min<sub>konv</sub> / Leuchte)</b>	12 Stk * €22,80 = € 273,60	12 Stk * €22,80 = € 273,60	0 Stk * €22,80 = €0,00
<b>Gesamte Energiekosten über 10 Jahre</b>	130.918,20 kWh * €0,144045 / kWh = € 18.858,11	130.918,20 kWh * €0,144045 / kWh = € 18.858,11	32.729,60 kWh * €0,144045 / kWh = € 4.714,54
<b>Betriebs - + Wechselkosten</b>	<b>= €24.727,77</b>	<b>= €23.928,67</b>	<b>= €19.513,14</b>

Tabelle 2 Rentabilitätsberechnung Bereich 1 (blau)

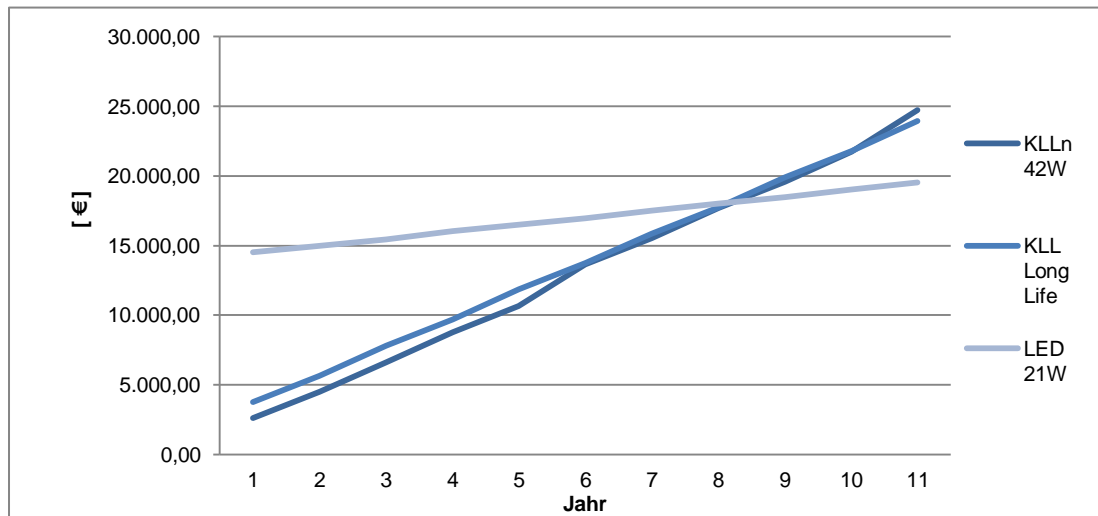
Die Stromersparnis, auf 10 Jahre betrachtet, beträgt 75% gegenüber dem Verbrauch beider Kompaktleuchtstofflampentechnologien. Dem stehen aber hohe Investitionskosten von 12.200,00 Euro gegenüber. Im Vergleich der Betriebs- und Wechselkosten ergibt sich bei LED vs. KLL<sub>n</sub> eine Ersparung von 21%. Bei LED vs. KLL<sub>Long Life</sub> ergibt sich eine Ersparung von 19%.

<sup>21</sup> Personalkosten zur vereinbarten internen Verrechnung die bei Fremdvergabe wesentlich höher sind

<sup>22</sup> Auf Grund des geringeren Durchmessers der LED-Leuchte muss zusätzlich ein Reduzierring montiert werden

<sup>23</sup> Preis + Anzahl gemäß Kauf von Leuchten 2010 zwischen 2003 und 2010 von 21 Stk

### Rentabilitätsbetrachtung KLLn + Long Life vs. LED



**Grafik 1** Grafische Rentabilitätsdarstellung Bereich 1 (blau) Betriebsdauer 7 Std./ Tag

Die Installation von LED- Leuchten würde ab dem 8. Jahr weniger Kosten verursachen wie konventionelle und Long Life Lampen. Auch bei einer Betrachtung über den Zeitraum von 20 Jahren bleibt der Break-Even-Punkt bei acht Jahren. Ein Schnittpunkt der Linien könnte durch die zu tätige Investition für neue LED-Leuchten verursacht werden. Die konventionelle Beleuchtung hat mittlerweile entsprechend hohe Strom-, und Instandhaltungskosten verursacht, so dass die Erneuerung der LED-Leuchten nach ca. 50.000 Std (im 19. Jahr) nicht die Kostenverlaufslinien der Kompaktleuchtstofflampen kreuzt.

#### 3.1.5 Break-Even-Berechnung Bereich 2 (violett)

Der in den Abbildungen 9 - 11 dargestellte violette Bereich umfasst insgesamt, 1. OG und 2. OG gemeinsam, 135 Leuchten. Die Leuchten sind z.Zt. mit 2 x 42 W Kompaktleuchtstofflampen bestückt. Die Betriebszeiten betragen drei Stunden pro Tag. Wiederum bedingt durch eine auch hier zu hohe installierte und nicht nutzbare/ nicht dimmbare Anzahl an Leuchten wird dieser Bereich nur morgens zur Gebäudereinigung drei Stunden eingeschaltet. Ansonsten erfolgt kein Betrieb. Um ein einheitliches sauberes Deckenbild zu haben müssen die Leuchten auf Grund umweltspezifischer/ normaler Verschmutzungen ebenfalls regelmäßig zwischengereinigt werden. Die Zwischenreinigung wird auch hier wegen der geringen Betriebsdauer alle zwei Jahre durchgeführt. Bei einer LED-Beleuchtung alle drei Jahre aus beschriebenen Gründen.

### Eckdaten und technische Werte Bereich 2 (violett)

	<b>Konventionelle Lampe</b> z.B. Philips PL-T 2 x 42 W 830 / 4pin	<b>Long Life Lampe</b> z.B. AURA Unique 2 x 42 W 830/ 4pin	<b>LED-Leuchte</b> z.B. Osram LEDvance Downlight XL 1 x 21 W / 3000 K
<b>Mittlere Lebensdauer (50%)</b>	13.000 Stunden	42.000 Stunden	50.000 Stunden (L70; t <sub>a</sub> 25°C)
<b>Anzahl der Lampen / Leuchten</b>	<b>270 Stk</b>	<b>270 Stk</b>	<b>135 Stk</b>
<b>Energieverbrauch inkl.</b>	84 W / 11.340 W	84 W / 11.340 W	21 W / 2.835 W
<b>Betriebsstunden / Jahr</b>	3Std. / Tag * 365 = 1.095 Std	3Std. / Tag * 365 = 1.095 Std	3Std. / Tag * 365 = 1.095 Std
<b>Lichtstrom</b>	3.200 lm / Lampe	3.200 lm / Lampe	1.710 lm / Lampe
<b>Lichtausbeute [lm / W]</b>	73 lm / W	76 lm / W	90 lm / W
<b>Farbwiedergabe R<sub>a</sub> (CRI)</b>	82	≥ 80	> 80
<b>Gesamtverbrauch nach 10 Jahren</b>	124.173,00 kWh	124.173,00 kWh	31.043,25 kWh
<b>Strompreis [€/ kWh]</b>	€ 0,144045	€ 0,144045	€ 0,144045
<b>Entsorgungskosten / Lampe</b>	€ 0,14	€ 0,14	€ 0,00
<b>Kaufpreis Lampe</b>	€ 5,40	€ 15,05	€ 200,00
<b>CO<sub>2</sub>-Emission bei 0,188 kg CO<sub>2</sub> / kWh<sub>el</sub></b>	23.344,52 kg	23.344,522 kg	5.836,13 kg
<b>Quecksilbergehalt des Anlagenbereiches</b>	378 mg (1,4 mg/ Lampe)*2 = 756,0 mg	810 mg (3 mg/ Lampe)*1 = 810,0 mg	0,0 mg
<b>Restnutzungsdauer nach 10 Jahren bis zum nächsten Wechsel</b>	11.905 h (92%) bei 2-maligem Lampentausch innerhalb der 10 Jahre	31.050 h (74%)	39.050 h (78%)

**Tabelle 3** Eckdaten und technische Werte Bereich 2 (violett)

## Berechnung

<b>Arbeitszeit<sup>24</sup> für Lampentausch, Reinigung der 135 Stk Reflektoren beim Lampentausch (10 min / Leuchte)</b>	2 <sup>25</sup> * € 1.017,00 (22,5 Std 1 Facharbeiter à € 45,20 / Std.) = € 2.034,00	1 * € 1.017,00 (22,5 Std 1 Facharbeiter à € 45,20 / Std.) = € 1.017,00	Installation der LED-Leuchten inkl. Zusatzteile = € 3.564,00 <sup>26</sup>
<b>Zwischenreinigung Reinigungsintervall alle ~2Jahre / 3 Jahre bei der LED da Gehäuse verschlossen (5 min / L)</b>	4 * € 576,00 (€ 32,00 / Std. à 18 Std 1 E-Helfer) = € 2.304,00	5 * € 576,00 (€ 32,00 / Std. à 18 Std 1 E-Helfer) = € 2.880,00	3 * 288,00 (€ 32,00 / Std. à 9 Std 1 E-Helfer) = € 864,00
<b>Gesamte Leuchtmittelkosten gesamt über 10 Jahre</b>	((5,40 * 2 * 135 Stk) * 2 = € 2.916,00	((15,05 * 2 * 135 Stk) * 1 = € 4.063,50	((200,00 * 1 * 135 Stk) * 1 = € 27.000,00
<b>20% Ersatzleuchten<sup>27</sup> geschätzt auf 10 Jahre</b>	€ 100,00 * 13 Stk = € 2.600,00	€ 100,00 * 13 Stk = € 2.600,00	€ 200,00 * 0 Stk = € 0,00€
<b>Arbeitszeit für Wechsel von 26 konventionellen Leuchten über 10 Jahre (30min<sub>konv</sub> / Leuchte)</b>	26 Stk * € 22,80 = € 592,80	26 Stk * € 22,80 = € 592,80	0 Stk * € 22,80 = € 0,00
<b>Gesamte Energiekosten über 10 Jahre</b>	124.173,00 kWh * € 0,144045 / kWh = € 17.886,50	124.173,00kWh* € 0,144045 / kWh = € 17.886,50	31.043,25 kWh * € 0,144045 / kWh = € 4.471,62
<b>Wechsel- + Betriebskosten</b>	<b>= € 28.333,30</b>	<b>= € 29.039,00</b>	<b>= € 35.899,62</b>

**Tabelle 4** Rentabilitätsberechnung Bereich 2 (violett)

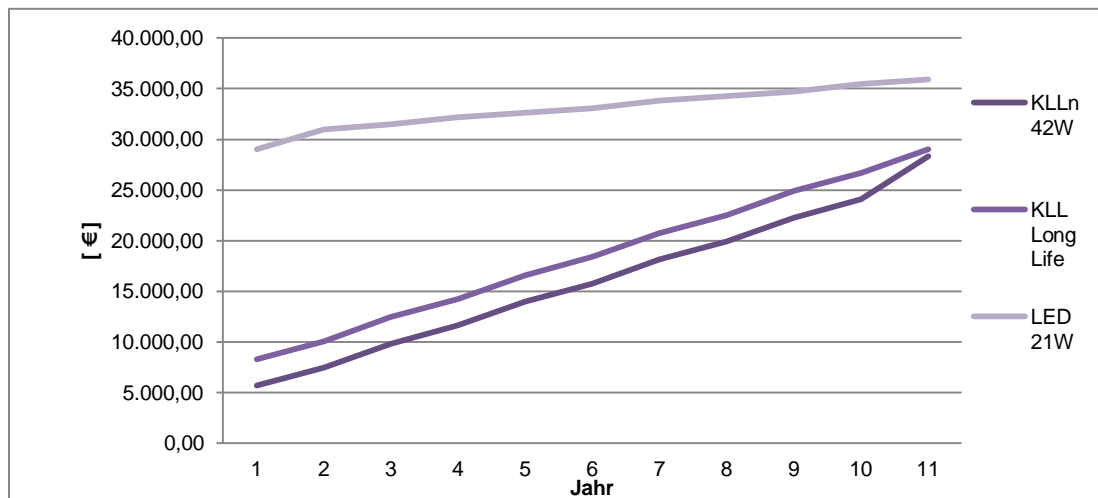
<sup>24</sup> Personalkosten zur vereinbarten internen Verrechnung, die bei Fremdvergabe wesentlich höher wären

<sup>25</sup> Nach 10 Jahren werden alle Leuchtmittel getauscht und Leuchten gereinigt da von einer mittleren Lebensdauer von 50% ausgegangen wird und nach 10 Jahren 10.950Std vergangen sind, sodass ein Großteil der Leuchtmittel defekt sein werden und die anderen erst 50% bzw. 20% ihrer Lebensdauer erreicht haben

<sup>26</sup> Auf Grund des geringeren Durchmessers der LED-Leuchte muss zusätzlich ein Reduzierring montiert werden

<sup>27</sup> Preis + Anzahl gemäß Kauf von Leuchten 2010 zwischen 2003 und 2010 von 21 Stk.

### Rentabilitätsbetrachtung KLLn + Long Life vs. LED



**Grafik 2** Grafische Rentabilitätsdarstellung Bereich 2 (violett) Betriebsdauer 3 Std./ Tag

Im Bereich 2 ergibt sich kein Schnittpunkt bei einem Wechsel auf LED-Leuchten innerhalb von 10 Jahren. Der Break-Even-Punkt ergibt sich, bei der 20-jährigen Betrachtung, nach 16 Jahren. Bei der Betriebszeit von drei Std / täglich kann die LED ihre Effizienz durch Strom-, und Wartungseinsparungen auf Grund der hohen Anzahl an Leuchten (135 Stk) gegenüber der hohen Anfangsinvestition nicht erzielen. Die Energieersparnis beträgt dennoch 75%.

Zu beachten ist jedoch, dass die LED innerhalb des hier betrachteten Zeitraumes von 10 Jahren erst ca. 20% ihrer Nutzlebensdauer erreicht hat und die  $KLL_{normal}$  bereits als getauscht angenommen wurde um einen etwa gleichen Beleuchtungsgrad gegenüberstellen zu können. Auch wenn die Rentabilität mit einer 10%-igen statt 50%-igen Ausfallrate des normalen Leuchtmittels, gerechnet wird amortisiert sich die Umrüstung auf LED-Leuchten nicht innerhalb der 10 Jahre. Bei einer 10%-igen Ausfallrate hat die  $KLL_{normal}$  eine Lebensdauer lt. Philips Datenblatt von 8.000 Std. (siehe Anhang B Abbildung B2). Wenn die Betriebszeiten durch eine individuelle Licht-/ Leuchtensteuerung erhöht würde, könnte die LED auf Grund ihrer geringeren elektrischen Leistung, ihren Vorteil gegenüber der Kompaktleuchtstofflampe erhöhen. Dieser Fall wird in dieser Fallstudie jedoch nicht dargestellt noch gerechnet. Es sollen die schwierigsten Gegebenheiten zur Rentabilität-/ Amortisationsbetrachtung betrachtet werden.

### 3.1.6 Break-Even-Berechnung Bereich 3 (grün)

Der grüne Bereich umfasst insgesamt, 1. OG und 2. OG gemeinsam, 82 Leuchten. Die Leuchten sind ebenfalls mit 2 x 42W Kompaktleuchtstofflampen bestückt. Die Betriebszeiten betragen 21 Stunden pro Tag. Im Bereich 3 gelten grundsätzlich die Gleichen Rahmenbedingungen wie in den anderen Bereichen.

#### Eckdaten und technische Werte

	<b>Konventionelle Lampe z.B. Philips PL-T 2 x 42 W 830/ 4pin</b>	<b>Long Life Lampe z.B. AURA Unique 2 x 42 W 830/ 4pin</b>	<b>LED-Leuchte z.B. Osram LEDvance Downlight XL 1 x 21 W / 3000 K</b>
<b>Mittlere Lebensdauer (50%)</b>	13.000 Stunden	42.000 Stunden	50.000 Stunden (L70; t <sub>a</sub> 25°C)
<b>Anzahl der Lampen</b>	<b>82 Stk</b>	<b>82 Stk</b>	<b>41 Stk</b>
<b>Energieverbrauch</b>	84 W / 3.444 W	84 W / 3.444 W	21 W / 861 W
<b>Betriebsstunden / Jahr</b>	21 Std. / Tag * 365 = 7.665,0 Std.	21 Std. / Tag * 365 = 7.665,0 Std.	21 Std. / Tag * 365 = 7.665,0 Std.
<b>Lichtstrom</b>	3.200 lm / Lampe	3.200 lm / Lampe	1.710 lm / Lampe
<b>Lichtausbeute</b>	73 lm / W	76 lm / W	90 lm / W
<b>Farbwiedergabe</b>	82	≥ 80	> 80
<b>Gesamtverbrauch nach 10 Jahren</b>	263.982,60 kWh	263.982,60 kWh	65.995,65 kWh
<b>Strompreis [€/ kWh]</b>	€ 0,144045	€ 0,144045	€ 0,144045
<b>Entsorgungskosten / Lampe</b>	€ 0,14	€ 0,14	€ 0,00
<b>Kaufpreis / Lampe</b>	€ 5,40	€ 15,05	€ 200,00
<b>CO<sub>2</sub>-Emission bei 0,188 kg CO<sub>2</sub> / kWh<sub>el</sub></b>	49.628,73 kg	49.628,73 kg	12.407,18 kg
<b>Quecksilbergehalt des Anlagenbereiches</b>	114,8 mg (1,4 mg/ Lampe) * 7 = 803,60 mg	264 mg (3 mg/ Lampe) * 2 = 492,0 mg	0,0 mg
<b>Restnutzungsdauer nach 10 Jahren bis zum nächsten Wechsel</b>	1.350 h (10%)	7.350 h (18%)	23.350 h (47%)

**Tabelle 5** Eckdaten und technische Werte Bereich 3 (grün)

## Berechnung

<b>Arbeitszeit<sup>28</sup> für Wechsel, Reinigung der 41 Stk Reflektoren beim Lampentausch (10min<sup>29</sup>/ Leuchte)</b>	7 * € 361,60 (8 Std. (6,83 Std) 1 Facharbeiter. à € 45,20 / Std.) = € 2.531,20	2 * € 361,60 (8 Std. (6,83Std) 1 Facharbeiter à € 45,20 / Std.) = € 723,20	Installation der LED-Leuchten inkl. Zusatzteile = € 1.082,40 <sup>30</sup>
<b>Arbeitszeit für Wechsel von 8 konventionellen Leuchten über 10 Jahre + 41 Stk LED Leuchten (30min<sub>konv</sub>/ 15min<sub>LED</sub>/ Leuchte)</b>	8 Stk * € 22,80 = € 182,40	8 Stk * € 22,80 = € 182,40	1 * € 467,40 (~ 10,5 Std. 1 Facharbeiter à € 45,20 / Std.) = € 467,40
<b>Zwischenreinigung (8min / Lampe 3min<sup>31</sup>/ LED-Lampe)</b>	= € 0,00 <i>(Reinigung wird jeweils beim Lampentausch durchgeführt)</i>	= 4 * € 192,00 (€ 32,00 / Std. à 6 Std (5,47) 1 E-Helfer) = € 768,00	3 * 65,60 (~ € 32,00/ Std. à 2 Std 1 E-Helfer) = € 196,80
<b>20% Ersatzleuchten<sup>32</sup> geschätzt auf 10 Jahre</b>	€ 100,00 * 8 Stk = € 800,00	€ 100,00 * 8 Stk = € 800,00	€ 200,00 * 0 Stk = € 0,00
<b>Gesamte Leuchtmittelkosten gesamt über 10 Jahre</b>	((5,40 * 2) * 41 Stk) * 7 = € 3.099,60	((15,05 * 2) * 41 Stk) * 2 = € 2.468,20	((200,0) * 41 Stk) * 2 = € 16.400,00
<b>Gesamte Energiekosten über 10 Jahre</b>	263.982,60 kWh * € 0,144045 / kWh = € 38,025,37	263.982,60 kWh * € 0,144045 / kWh = € 38.025,37	65.995,65 kWh * € 0,144045 / kWh = € 9.506,34
<b>Betriebs- + Wechselkosten</b>	<b>= € 44.638,57</b> <b>(€ 44.269,44 exl)</b>	<b>= € 42.967,17</b> <b>(€ 42.793,44 exl)</b>	<b>= € 27.652,94</b> <b>(€ 27.652,94 exl)</b>

Tabelle 6 Rentabilitätsberechnung Bereich 3 (grün)

<sup>28</sup> Personalkosten zur vereinbarten internen Verrechnung die bei Fremdvergabe wesentlich höher sind

<sup>29</sup> Teilweise auf halben bzw. ganzen Tag auf gerundet im Gegensatz zur Tabelle im Anhang

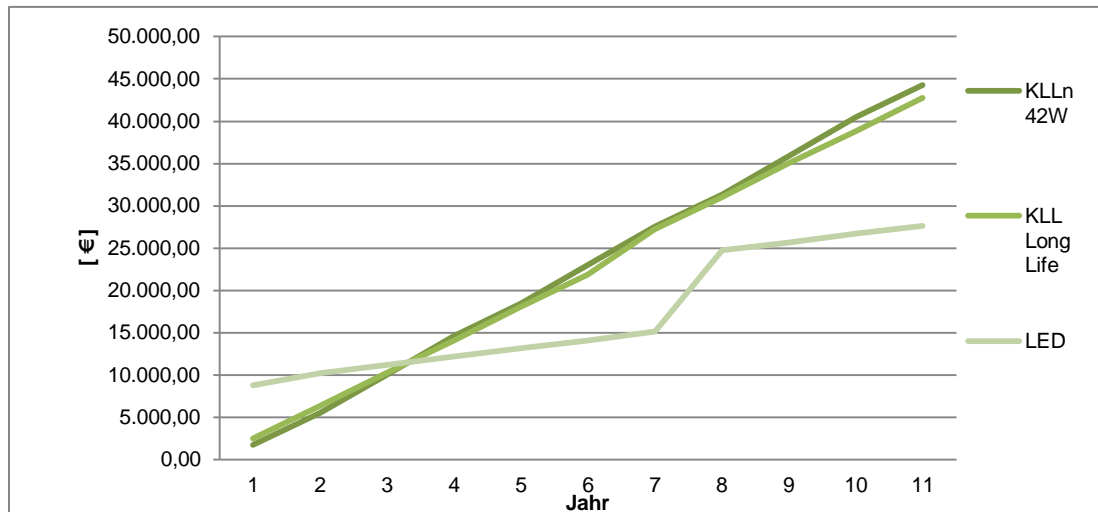
<sup>30</sup> Auf Grund des geringeren Durchmessers der LED-Leuchte muss zusätzlich ein Reduzierring montiert werden

<sup>31</sup> Bei der ausgewählten Leuchte besteht wesentlich weniger Reinigungsaufwand durch den verschlossenen Leuchtenkörper

<sup>32</sup> Preis + Anzahl gemäß Kauf von Leuchten 2010 zwischen 2003 und 2010 von 21 Stk

Die  $KKL_{normal}$  wurde innerhalb der 10 Jahre als sieben mal getauscht angenommen um wieder eine ähnliche Beleuchtungsstärke gegenüber der Long Life Lampe zu erhalten.

### Rentabilitätsbetrachtung $KLL_n + Long\ Life$ vs. LED



**Grafik 3** Grafische Rentabilitätsdarstellung Bereich 3 (grün) Betriebsdauer 21 Std./ Tag

In dieser Grafik sieht man den Vorteil der LED gegenüber der Kompaktleuchtstofflampe und in diesem Fall auch gegenüber der *Long Life Lampe*. Ihren Vorteil spielt die Long Life Lampe bei hohen Rüstkosten aus. Der Break-Even-Punkt liegt bei ca. 3,5 Jahren. Bei den Linien „KLL<sub>n</sub>“ und „KLL<sub>Long Life</sub>“ heben sich die höheren Leuchtmittel-, und Wechselkosten gegenüber den höheren Wartungskosten und geringeren Leuchtmittelkosten bei der KLL<sub>n</sub> 42W Lampe auf. Würde man zwei neue Beleuchtungsanlagekalkulationen gegenüberstellen, wäre vermtl. der Break Even Punkt zwischen LED und KLL schneller erreicht, wobei man eine Neuanlage, so wie sie im Bestand ist, in der Art und Weise, nicht mehr planen würde. Die Planung sollte Leuchten mit kleinerer Wattage, oder zu mindest ein individuelles Lichtsteuerungssystem vorsehen.

### 3.1.7 Rentabilitätsberechnung Bereich 4 (oberhalb der Rolltreppe)

Zehn Leuchten befinden sich oberhalb einer Rolltreppe. Die Leuchten können nur mittels einer Gerüstkonstruktion, die auf die Rolltreppe gestellt wird, gewartet werden. Die Gerüstkosten sind pro Einsatz € 1.200 / Woche. Sie werden aber auf sonstige Instandhaltungsarbeiten in diesem Bereich während dieser Zeit aufgeteilt, so dass hier mit € 600,00/ Instandhaltung kalkuliert wird. Dieser Bereich war zu Beginn der Fallstudie ein gedachter Haupteinsatzort einer LED Leuchte, weil hier hohen Rüstkosten für den Lampentausch anfallen. Auf Grund dieses exponierten Bereiches wurden aus wirtschaftlichen Gründen bereits im Jahr 2008, die bei der Errichtung des Objektes eingebauten Leuchten mit Frontscheibe, gegen ebenfalls doppelflämmige tiefstrahlende Leuchten aus der selben Leuchtenfamilie, Reggiani Supertech, nur ohne Frontscheibe, ausgetauscht. Durch die fehlende Frontscheibe bleiben die Leuchten lange in einem relative sauberen Zustand, da sich kein Schmutz und Insekten ablagern können. Durch den neuen tiefstrahlenden Reflektor konnte hier die Leuchtmittelleistungen von 2 x 42 W (84 W) bereits auf 2 x 18 W (36 W) reduziert werden.

Die anschließende Berechnung ist auf einen Zeitraum von 10 Jahren und somit auf eine gesamte Betriebszeit von ca. 80.300 Std gerechnet. Bei der LED-Leuchte wird von einer Nutzungsdauer von  $L_{70}$  lt. Herstellerangaben ausgegangen. Bei den LED-Leuchten wird vermtl. über die gesamte Lebensdauer in Bezug auf die Funktion der Leuchten ein homogenes Deckenbild erhalten bleiben, sodass die Leuchten ggf. auch noch über die kalkulierte Nutzungsdauer hinaus betrieben werden können solange die gewünschte/ geforderte Beleuchtungsstärke erfüllt ist. Dies würde die Rentabilität der LED-Leuchte weiter erhöhen.

Der CO<sub>2</sub>-Verbrauch einer Lampe wird mit dem österreichischen Energieerzeugungsmix von 0,188 kg CO<sub>2</sub>/ kWh<sub>el</sub> berechnet (Angabe ecoCalc, Software Zumtobel).

## Eckdaten und technische Werte

	<b>Konventionelle Lampe</b> z.B. Philips PL-T 2 x 18 W 830 / 4pin	<b>Long Life Lampe</b> z.B. AURA Unique 2 x 18 W 830 / 4pin	<b>LED-Leuchte hier Osram LEDvance Downlight XL</b> 1 x 21 W / 3000 K
<b>Mittlere Lebensdauer</b>	13.000 Stunden <sup>33</sup>	42.000 Stunden <sup>34</sup>	50.000 Stunden (L70; t <sub>a</sub> 25°C) <sup>35</sup>
<b>Anzahl der Lampen</b>	20 Stk	20 Stk	10 Stk
<b>Energieverbrauch</b>	360 W	360 W	210 W
<b>Lichtstrom</b>	1.200 lm / Lampe	1.200 lm / Lampe	1.710 lm / Lampe
<b>Lichtausbeute [lm/W]</b>	73 lm / W	67 lm / W	90 lm / W
<b>Farbwiedergabe R<sub>a</sub></b>	82	≥ 80	> 80
<b>Betriebsstunden/ Jahr</b>	8.030 h	8.030 h	8.030 h
<b>Strompreis [€/ kWh]</b>	€ 0,144045	€ 0,144045	€ 0,144045
<b>Entsorgungskosten</b>	€ 0,14	€ 0,14	€ 0,00
<b>Kaufpreis/ Lampe</b>	€ 3,00	€ 13,65	€ 200,00
<b>CO<sub>2</sub>-Emission bei 0,188kg CO<sub>2</sub>/ kWh<sub>el</sub></b>	6.359,79 kg	6.359,79 kg	3.709,86 kg
<b>Quecksilbergehalt des Anlagenbereiches</b>	28 mg (1,4 mg/ Lampe) * 7 = 196,0 mg	60 mg (3 mg/ Lampe) * 2 = 120,0 mg	0,0 mg
<b>Restnutzungsdauer nach 10 Jahren bis zum nächsten Wechsel</b>	ca. 4.000 h (12%)	ca. 3.700 h (4%)	ca. 19.700 h (20%)

**Tabelle 7** Eckdaten und technische Werte Bereich 4 (orange)

<sup>33</sup> Lebensdauer lt. Herstellerangaben, Philips, am EVG bei Warmstart Lebensdauer bei 50% Ausfallrate

<sup>34</sup> Lebensdauer lt. Herstellerangaben AURA Light am EVG bei Warmstart 12 STD. davon 11 STD. EIN, 1 STD. AUS (12B10).

<sup>35</sup> Lebensdauer lt. Herstellerangaben OSRAM LEDVANCE XL Datenblatt

## Berechnung

<b>Arbeitszeit<sup>36</sup> für Wechsel, Reinigung der Reflektoren</b>	7 * € 180,80 ( à 4 Std 1 Facharbeiter à € 45,20 / Std.) = € 1.265,60	2 * € 180,80 ( à 4 Std 1 Facharbeiter à € 45,20 / Std.) = € 361,60	Installation der LED-Leuchten inkl. Zusatzteile = € 492,00 <sup>37</sup>
<b>Arbeitszeit für Wechsel von 5 konventionell Leuchten über 10 Jahre + 41 Stk LED Leuchten (30min<sub>konv</sub> / 15min<sub>LED</sub> / Leuchte) nach ca. 50.000Std.</b>	10 Stk * € 22,80 = € 228,00	5 Stk * € 22,80 = € 228,00	1 * € 342,00 (à 5 Std 2 Facharbeiter à € 45,20 / Std.) = € 342,00
<b>Zwischenreinigung (5min<sup>23</sup> / Lampe) (Reinigung beim Lampen-tausch)</b>	= € 0,00	= € 0,00	= € 0,00
<b>20% Ersatzleuchten<sup>38</sup> geschätzt auf 10 Jahre</b>	€ 100,00 * 10 Stk = € 1.000,00	€ 100,00 * 10 Stk = € 1.000,00	€ 200,00 * 0 Stk = € 0,00
<b>Gesamte Leuchtmittelkosten gesamt über 10 Jahre</b>	((3,00 * 2) * 10 Stk) * 7 = € 420,00	((13,65 * 2) * 10 Stk) * 2 = € 546,00	10 Stk * € 200,00 * 2 = € 4.000,00
<b>Gerüstkosten/ Wechsel à € 1.200,00</b>	7 * Gerüstkosten à € 600,00 = € 4.200,00	2 * Gerüstkosten à € 600,00 = € 1.200,00	2 * Gerüstkosten à € 600,00 = € 1.200,00
<b>Gesamte Energiekosten über 10 Jahre</b>	28.908,00 kWh * € 0,144045 / kWh = € 4.164,05	28.908,00 kWh * € 0,144045 / kWh = € 4.164,05	16.863,00 kWh * € 0,144045€/ kWh = € 2.429,03
<b>Betriebs- + Wechselkosten</b>	<b>= € 11.277,65</b>	<b>= € 7.499,65</b>	<b>= € 8.463,03</b>

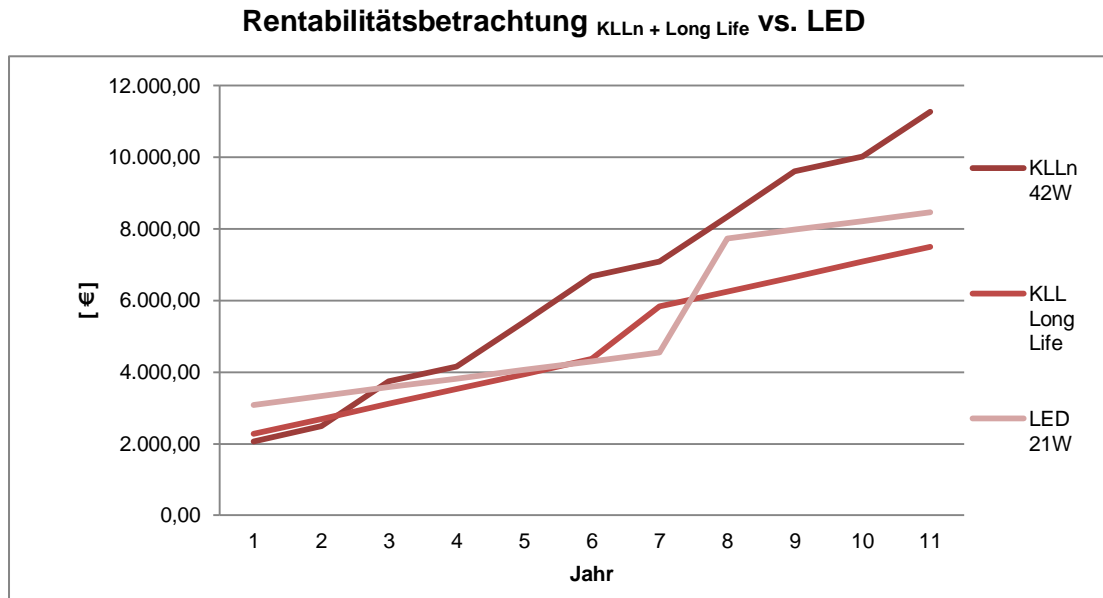
**Tabelle 8** Rentabilitätsberechnung Bereich 4 (oberhalb der Rolltreppe)

<sup>36</sup> Personalkosten zur vereinbarten internen Verrechnung die bei Fremdvergabe wesentlich höher sind

<sup>37</sup> Auf Grund des geringeren Durchmessers der LED-Leuchte muss zusätzlich ein Reduzierring montiert werden

<sup>38</sup> Preis + Anzahl gemäß Kauf von Leuchten 2010 zwischen 2003 und 2010 von 21 Stk

In diesem Bereich beträgt die Energieersparnis ca. 42% von den Stromkosten der Kompaktleuchtstofflampen. Die LED weist noch ca. 20.000 Std an Restlebensdauer auf, das sind ca. 2,5 Jahre bis zum errechneten Komplettwechsel.



**Grafik 4** Grafische Rentabilitätsdarstellung Bereich 3 (orange) Betriebsdauer 22 Std./ Tag

Wie man vielleicht vermuten würde, stellt dieser Bereich einen optimalen Einsatzort für die langlebige und effiziente LED-Technologie auf Grund der hohen Rüstkosten dar. Im Vergleich zur konventionellen Kompaktleuchtstofflampe kann die LED ihre Vorteile, wie man in der Grafik erkennen kann, trotz des geringen Leistungsunterschieds, ausnutzen. Der Break-Even-Punkt ist hier bereits kurz vor Ende des 3. Jahres erreicht. Stellt man die Long Life-Lampe der LED gegenüber kann die LED auf Grund der geringen Quantität an Leuchten und den dadurch geringeren Stromersparnissen in diesem Bereich, ihre Energieeffizienz nicht in dem Maße geltend machen wie gegenüber der Standard Lampe.

### 3.1.8 Conclusio Rentabilität 10 Jahresbetrachtung

Die Differenzen der Spalte zwei und drei in der Tabelle 9 resultieren aus Aufrunden von Wartungs-, und Reinigungseinsätzen auf einen halben oder ganzen Tag. Dies konnte in der Excel-Berechnung nicht berücksichtigt werden.

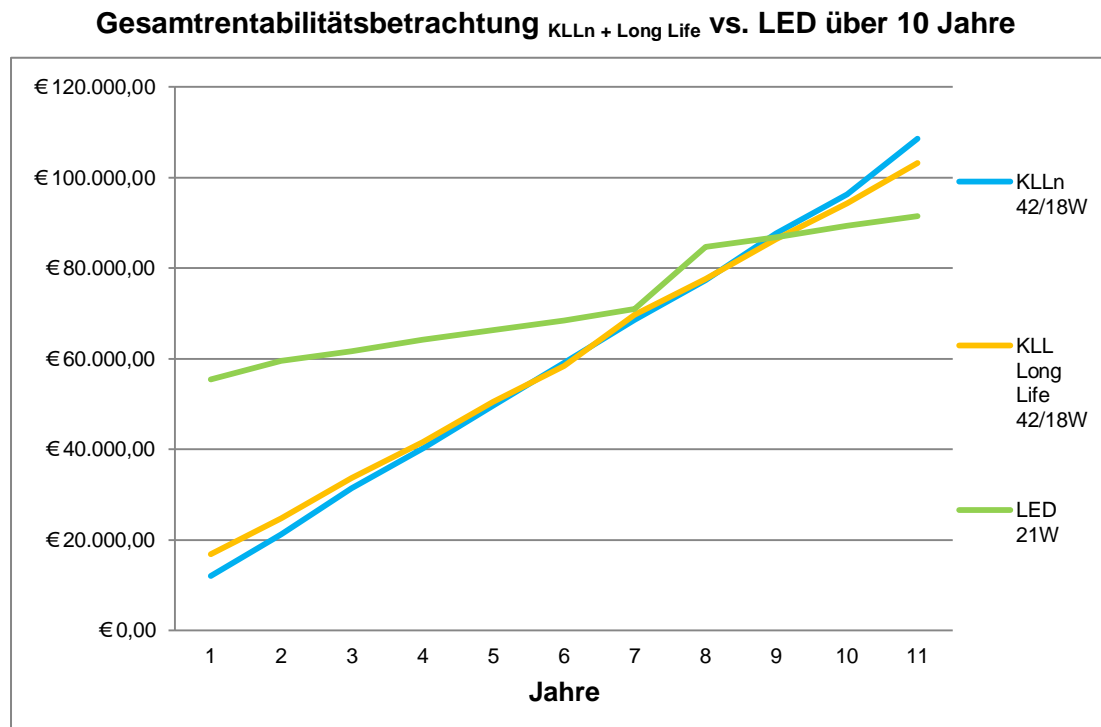
Die Darstellung zeigt eine Einsparung bei dem Einsatz der LED von € 17.448,57 innerhalb von 10 Jahren. Diesem Betrag steht die Investitionen von insgesamt 247 Leuchten à € 200,00 = € 49.400,00 zzgl. Installationskosten gegenüber. Die folgende Grafik 5, stellt den Gesamtkostenverlauf auf zehn Jahren dar.

<b>Beleuchtungsbereiche Bereiche</b>	<b>Konventionelle Lampe z.B. Philips PL-T 2 x 42 W / 18W / 830 / 4pin</b>	<b>Long Life Lampe z.B. AURA Unique 2 x 42 W / 18W/ 830/ 4pin</b>	<b>LED-Leuchte hier Osram LEDvance Downlight XL 1x21W/ 3000K</b>
<b>Betriebs - + Wechselkosten</b>	= €24.727,77	= €23.928,67	= €19.513,13
<b>Wechsel + Betriebskosten</b>	= €28.333,30	= €29.039,00	= €35.899,62
<b>Betriebs- + Wechselkosten</b>	= €44.638,57 (€44.269,44exl)	= €42.967,17 (€42.793,44 exl)	= €27.652,94 (€27.652,94 exl)
<b>Betriebs- + Wechselkosten</b>	= €11.277,65	= €7.499,65	= €8.463,03
<b>Kosten Zusammenfassung aller Bereiche</b>	€108.977,29 (€ 108.608,17) Diff. €369,12	€103.434,49 (€ 103.261,57) Diff. € 172,92	€91.528,72 (€91.528,73) Diff. € 0,00

**Tabelle 9** Zusammenfassung der Gesamtkosten der jeweiligen Beleuchtungsbereiche von Betriebs- und Wartungskosten

Es ergibt sich ein Break-Even-Punkt bei neun Jahren. Dies ist bedingt durch extrem unterschiedliche Betriebszeiten zwischen einer hohen Anzahl an Leuchten die nur drei Stunden am Tag leuchten und einer Anzahl weniger Leuchten die bis zu 22 Stunden pro Tag in Betrieb sind. Ein Fehlen von individuell steuerbaren Vorschaltgeräten (z.B. Dali, 1-10V, etc.) und einer entsprechenden Lichtsteuerung verschlechtert nicht nur die Amortisierungszeit, sondern auch das Erscheinungsbild der Allgemeinbereiche. Der lange Zeitraum bis zum Break-Even-Punkt resultiert auch daraus, dass nur die Investition für die LED Leuchten kalkuliert wurden und

kein Investment von zwei Neuanlagen. Dies ist aber Hintergrund der Fallstudie. Sie soll zeigen, wann und wie, in welcher Konstellation ein Austausch einer schlecht geplanten bestehenden, zum größten Teil aber noch intakten Beleuchtungsanlage, gegen eine neue LED-Anlage rentabel ist bzw. wie sich der Kostenverlauf darstellt. Die Grafik 9 im Anhang B stellt den Kostenverlauf bei der Betrachtung zweier Neuanlagen gegenüber.



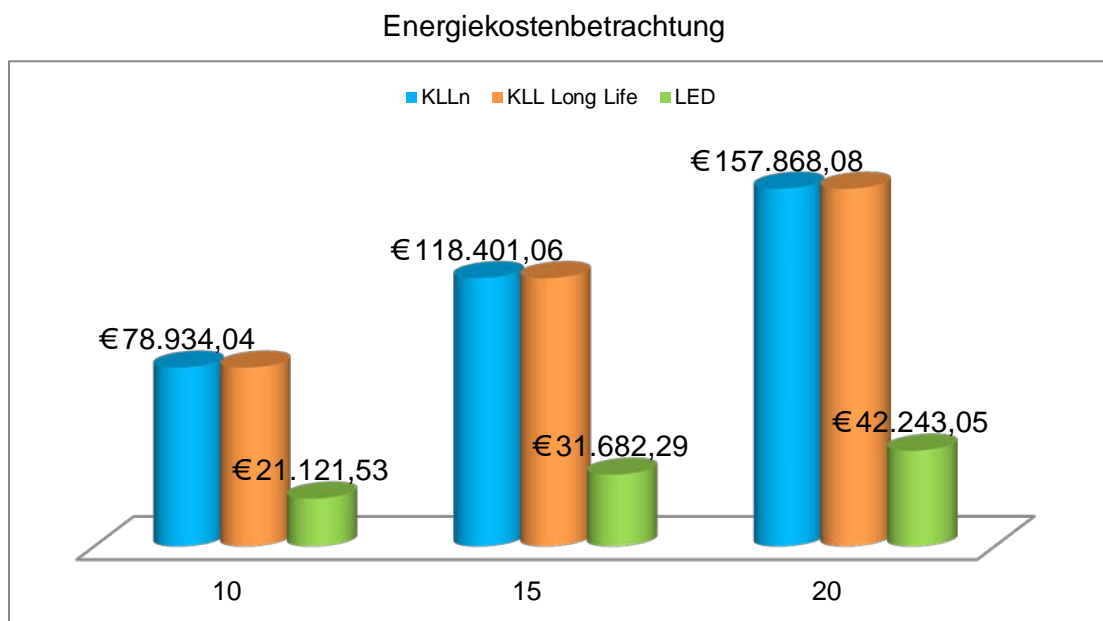
**Grafik 5** Grafische Darstellung des Gesamtkostenverlaufes

Ein effektiveres Betreiben der bestehenden sowie der LED-Leuchten setzt eine flexible Lichtsteuerung voraus. Dieser Aspekt wurde aus der Betrachtung heraus gelassen, da für beide Anlagenvarianten dieses Investment zu tätigen wäre. Ein weiteres Problem der LED-Lösung, bei dieser Darstellung, könnte die Sicherheit der Verfügbarkeit von eventuellen Ersatzteilen oder gar der kompletten Leuchte werden. Dies könnte zu einem frühen Mix an Leuchten in einer Anlage führen und das Erscheinungsbild negativ beeinflussen. Bei der Vielzahl an völlig neuen Marktteilnehmern, die sich zur Zeit am Markt befinden und keinen Image zu verlieren haben, eine bestimmt nicht zu vernachlässigende Betrachtungsweise. Hinsichtlich dieses Problems sollte bei LED-Leuchten auf solide sich schon lange am Markt befindende Unternehmen zurückgegriffen werden. Die Beschaffung von

elektronischen Vorschaltgeräten sollte wegen des Fortschreitens der Technologie und der besser werdenden Akzeptanz zu keinem Problem führen. Jedoch muss auch hier auf elektrotechnische Aspekte geachtet werden. Ein in Zukunft weiterer Verfall der Einkaufspreise durch höhere Produktionszahlen könnte die Rentabilität steigern (Fördergemeinschaft Gutes Licht, 2012).

Die Betrachtung der Energiekosten zeigt das Einsparpotenzial, das durch den Einsatz von LED-Leuchten in dieser speziellen Konstellation nach 10, 15 und 20 Jahren zu erreichen wäre. Die auf Grund der, in diesem Projekt sehr hohen Einsparmöglichkeiten in Höhe von ca. 75% sind, wegen schon weiter oben im Text erwähnten Gegebenheiten, nicht generalisierbar.

Die Long Life Lampe kann ihre Vorteile nur im Bereich 4 (siehe Grafik 4; orange) gelten machen. Energetisch bringt sie jedoch keinen Vorteil gegenüber der normalen Kompaktleuchtstofflampe. In ökologischer Hinsicht ist die Long-Life-Lampe mit insgesamt benötigten 1.788,0 mg an Quecksilber besser als die normale Kompaktleuchtstofflampe mit 2.268,0 mg an Quecksilber. Bezüglich ihres Quecksilbergehaltes schneidet die LED mit 0,0 mg am Besten ab.



**Grafik 6** Grafische Darstellung der Energiekosten über 10, 15 und 20 Jahre

### 3.1.9 Vor- und Nachteile der LED Beleuchtung

Bei den Vor- und Nachteilen der ausgewählten LED-Leuchte werden teilweise projektspezifische Kriterien angeführt, die selbstverständlich für jedes Projekt gesamtheitlich oder einzeln betrachtet, ihre individuelle Berücksichtigung erfahren

müssen. Sie geben aber bestimmte Denkanstöße um mehr Aspekte bei einer Auswahl einer geeigneten LED-Leuchten zu berücksichtigen.

Ein Vorteil ist hier der sich in gewisser Konstellation ergebende Aspekt der Wirtschaftlichkeit. Durch das ähnliche Design der bestehenden und der LED Leuchte wäre ein bereichsweiser Tausch der konventionellen Leuchte möglich. Dadurch könnten auch die Investitionskosten verringert werden. Ein weiterer Vorteil ist die komplett gekapselte Leuchte dadurch können sich keine Verunreinigungen wie Staub, Abgaspartikel, Lampenpartikel und Insekten auf der Innenseite der Scheibe ablagern. Das Erscheinungsbild der Beleuchtungsanlage und des Objektbereiches im Betrieb wird beim Besucher und Kunden stark verbessert. Die Beleuchtungsanlage befindet sich in einem sauberen Zustand. Hauptaugenmerk ist hier auf eine Verringerung des Wartungsaufwand gerichtet (Fördergemeinschaft Gutes Licht, 2010). Bei der Durchführung von Sonderreinigungen der Metalldecke kann die Leuchte vom Reinigungspersonal in einem Arbeitsgang einfach abgewischt werden ohne das eine Gefahr für das Personal, in Verbindung mit Feuchtigkeit und des elektrischen Betriebsmittels, besteht. Desweiteren besteht keine Beschädigungsgefahr an der Leuchte selbst, die durch das Reinigungspersonal, z.B. Beschädigung / herausfallen des Frontglases, verursacht werden können. Dies spart Instandsetzungszeit für das Beseitigen des Schadens, Scoutingzeiten und Kosten für die Ersatzteilbeschaffung, wenn diese Teile überhaupt zum Zeitpunkt der Beschädigung noch lieferbar sind, und sowie die Zeit für die Wiedermontage (LTG, 2012). Die LED-Leuchte lässt sich in ein Lichtsteuersystem integrieren und kann dadurch individuell auf die Bedürfnisse des Betriebes programmiert werden. Durch eine grundsätzliche einfache Dimmung der LED-Leuchte kann die Lebensdauer wegen der verringerten Chiptemperatur der einzelnen LEDs verlängert werden und so die Effektivität gesteigert werden. Dies setzt jedoch eine Reserve beim benötigten Lichtstrom voraus. Die vor dem LED-Modul situierte satinierte Scheibe verringert die photochemische Gefährdung des Auges sehr. Die Blendung ist in einem Selbsttest sogar geringer eingestuft worden als bei der vorhandenen Leuchte mit klarer Scheibe, durch die das Leuchtmittel direkt zu sehen ist. Dadurch entsteht eine bessere Lichtqualität. Durch eine verringerte Wärmeentwicklung bei der LED-Leuchte entsteht weniger Abwärme die im Sommer nicht gekühlt werden muss. Im Winter müsste entsprechend mehr geheizt werden. Diese beiden Aspekte, kühlen/ heizen, spielen auf Grund hoher gastronomischer Nutzung und hoher Besucherzahlen eher einen untergeordneten Aspekt. Ein Gesichtspunkt, der bei den bestehen Leuchten immer wieder für hohe

Instandsetzungskosten sorgt, ist das Auswechseln von beschädigten Fassungen und Fassungsbefestigungen die durch lange Betriebszeiten spröde werden und beim Tausch zerbrechen. Diese Arbeiten fallen bei der LED–Beleuchtung ebenfalls weg. Dies spart nicht nur die Zeit des Austausches, sondern auch Lager-, Materialkosten und die Zeit für die administrativen Arbeiten. Generell braucht auch kein Kapital für das Vorhalten von Reservelampen bereitgestellt werden. In entsprechender Quantität an Lagerflächeneinsparung, für die Leuchtmittelbevorratung, könnte diese Fläche eventuell an Bestandnehmer vermietet werden und steht so für Mieteinnahmen zur Verfügung.

Ein weiterer Vorteil, der zwar im hier betrachteten Objekt nicht vorrangig beachtet werden muss, ist das Fehlen der UV-, und Infrarotstrahlung. Dies ist aber bei Beleuchtungsanlagen im Museums- oder Retailbereich ein Vorteil. Bei der Vielzahl an publizierten Themen bezüglich LED-Beleuchtung ist bei der Recherche für die Erstellung der Arbeit dieses Thema, der generellen Schädigung von angestrahlten Objekten durch jegliche sichtbare künstliche Strahlung, ein kaum beschriebenes Problem. Die Firma ERCO wies auf den Schädigungsfaktor ( $P_{dm}$ ) bzw. das Schädigungspotenzial durch sichtbare Strahlung hin. *„Die Definition des Schädigungspotenzials  $P_{dm}$  als Verhältnis der objektschädigenden Bestrahlungsstärke zur Beleuchtungsstärke“* (Fördergemeinschaft Gutes Licht, Dezember 2006). Dieser Wert existiert auch bei LED-Beleuchtung. Weiterführende Informationen sind in der bezeichneten Quelle zu finden.

light source	relative damage factor f [mW / lm]
LEDww Ra 90, 2014	0,149
QT 12-RE	0,169
QT12-RE mit UV -Filter	0,159
Xicato Artist Module	0,167
HIT 930	0,182
daylight	0,610

**Abbildung 12** Darstellung der Lichtschädigungsfaktors von Lichtquellen<sup>39</sup>

Ein weiterer Nachteil ist generell die Festlegung der Lichtfarbe bei der Projektierung der Beleuchtungsanlage. Sie kann später beim Betrieb nicht mehr einfach wie beim konventionellen Leuchtmittel verändert werden. Ein Blick in die Praxis zeigt dass dieser Aspekt, der starren Farbtemperatur, aber auch einen Vorteil haben kann.

<sup>39</sup> Quelle: ERCO

Dadurch wird verhindert, dass keine andere Lichtfarbe durch das Wartungspersonal montiert wird und so keine versehentliche Lichtfarbenunterschiede zwischen den Leuchten auftreten können. Es kommt immer wieder vor, dass statt der kälteren Lichtfarbe, 4000 K, die wärmer Lichtfarbe mit 3000 K oder umgekehrt installiert wird.

Auf Grund der ausgewerteten Ergebnisse dieser Arbeit und auch um ein Praxisbeispiel kennen zu lernen, das schon länger in Betrieb ist, wurde ein telefonisches Interview am 11.02.2014 mit Herrn Müller, dem Facility Manager des Unilever-Gebäudes in Hamburg geführt. Das Gebäude soll weltweit das größte Gebäude sein, das seine Allgemeinbeleuchtung ausschließlich mit der LED-Technologie realisiert hat (Sengmüller, et al., 2011). Die Frage in welchem Ausmaß die LED-Beleuchtung im Haus installiert wurde beantwortete Herr Müller damit, dass in den Bürobereichen auf LED-Beleuchtung gesetzt wurde. Er beschrieb das Feedback der Nutzer als sehr unterschiedlich. Einige NutzerInnen empfinden die Beleuchtung als zu grell oder zu hell. Manche MitarbeiterInnen seien wiederum sehr zu frieden. Teilweise erreiche die Beleuchtungsstärke am Arbeitsplatz über 1.000 Lux. Eine individuelle Steuerbarkeit der Beleuchtung sei in gewissen Bereichen vorhanden und möglich erzählt Herr Müller. Die Beleuchtung der Allgemein- und Tiefgaragenbereiche wurde mit konventioneller Beleuchtungstechnik realisiert. Die Ursache läge hier an den hohen Investitionskosten, sagt Herr Müller, die entsprechend vom Investor getätigt werden müssten. Die Frage, ob Unilever für die Kosten des LED-Leuchtaustausches, nach Erreichen der Nutzlebensdauer, verantwortlich ist, verneint er und verwies auf den Eigentümer des Objektes (Anmerkung des Verfassers: Hier scheint aber eine hohe Lichtleistung installiert worden zu sein, sodass ein Tausch vermutlich erst nach einer langen Zeit erforderlich wird). Weitere Fragen nach einer Rentabilitätsberechnung, Wartungersparnissen, Auswirkungen auf die Netzqualität, Verringerung der Kälte- / Erhöhung des Wärmebedarfs wurden, laut Aussage von Herrn Müller, nicht durchgeführt. Ob Rückstellungen für die Erneuerung der Beleuchtungsanlage getätigt werden, konnte nicht in Erfahrung gebracht werden. Die Installation der LED-Beleuchtung sei medienwirksam aufbereitet worden (sämtliche Aussagen von Herrn Müller sind inhaltlich wiedergegeben worden).

### 3.1.10 Vor- und Nachteile der bestehenden Beleuchtungstechnologie

In Betracht auf die hohe Investitionssumme und des langen gesamtheitlichen Break-Even-Zeitraumes, bei einem Wechsel zur LED-Technologie, werden in der folgenden Tabelle die Vorteile und die Nachteile der bestehenden, konventionellen Beleuchtungsanlage, tabellarische dargestellt.

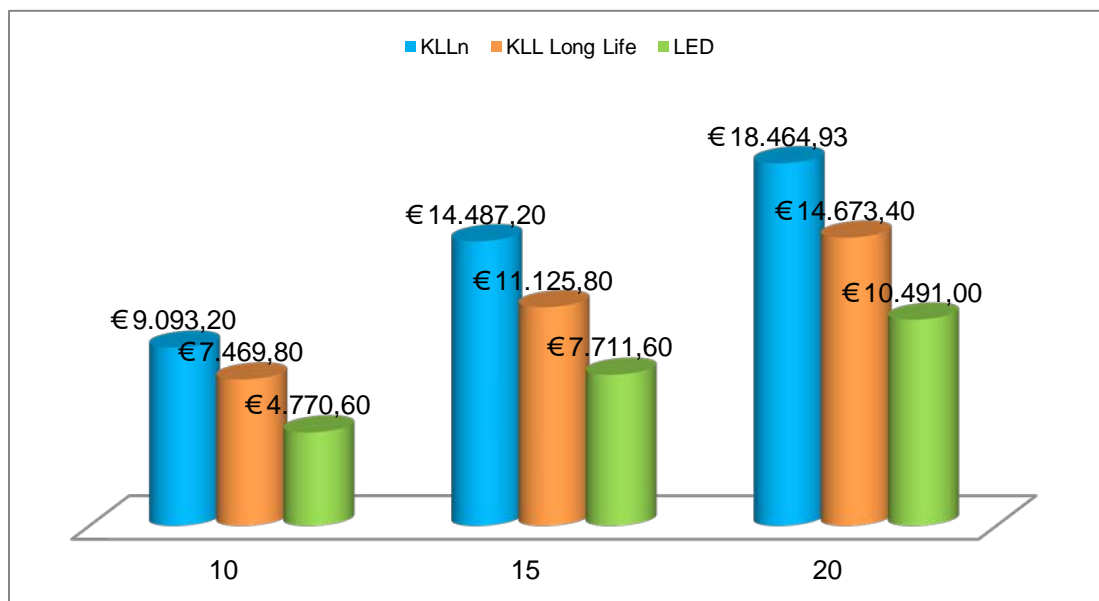
Vorteile	Nachteile
<b>(+) Günstige Leuchte</b> , auch für weitere Instandhaltung z.Zt. noch verfügbar	<b>(-) Hohe Verschmutzungsanfälligkeit</b>
<b>(+) keine hohen Investitionen</b>	<b>(-) Aufwendige Reinigung</b> der Leuchten; leichte Bruchgefahr der Frontscheibe
<b>(+) Lichtfarbenänderung</b> jederzeit bereichsweise oder gesamtheitlich möglich (827, 830, 840)	<b>(-) Quecksilbergehalt</b> mit allen weiteren Folgen
<b>(+) normal übliche Farbwiedergabe (R<sub>a</sub>=82)</b>	<b>(-) Thermische Probleme</b> an Fassungen bei Leuchten mit langen Betriebszeiten
<b>(+) Integriert sich gut in die Architektur</b>	
<b>(+) Fassungen</b> sind nur wenn die Haltekonstruktion noch verwendbar ist austauschbar	<b>(-) Hoher Wartungsaufwand</b> durch Reinigung und Fassungstausch wenn möglich. Wenn nicht neue Leuchte

**Tabelle 10** Projektspezifische Vorteile + Nachteile der bestehenden Beleuchtungstechnologie

### 3.1.11 Wartungskosten

Die Betrachtung der Wartungs-, und Instandhaltungskosten bei der Fallstudie belegt auch die in der Literatur immer wieder zu findenden Einsparungspotenziale beim Einsatz von LED-Leuchten.

## Wartungs-, Instandhaltungskosten



**Grafik 7** Grafische Darstellung der personellen Wartungs-, und Instandhaltungskosten

Jedoch darf nicht auf die Betrachtung nötiger Reinigungskosten vergessen werden. Teilweise können diese die Effektivität der LED-Technologie verringern. Der Wartungs-, und Instandhaltungsabschnitt in der Broschüre der Lichttechnischen Gesellschaft Österreichs „Revolution in der Lichttechnik“ beschreibt einige zu bedenkende Aspekte beim Einsatz der LED. Der Bericht bezieht sich zwar eher auf den Einsatz von LED in der Straßenbeleuchtung. Diese sind aber auf unsensiblere Innenraum Bereiche, wie sie in den untersuchten Bereichen vorherrschen, übertragbar. Hier wird auf ein hochwertiges Dichtungssystem, seltener aber dafür höhere Instandsetzungskosten gegenüber konventioneller Leuchten verwiesen (LTG, 2012). Für die Bereitstellung des Investments für die Erneuerung der LED - Beleuchtungsanlage nach ihrer Nutzungsphase und der damit verbundenen hohen Anschaffungskosten kann keine generelle Lösung bei der Recherche gefunden werden. Es kommt immer auf die entsprechenden Konstellationen im Gebäude an, wie sind z.B. die Eigentums-, Vertragsverhältnisse. Um die Betriebskosten auf einem relativ konstantem Niveau zu halten könnte möglicherweise ein kontinuierlicher Nachkauf an Leuchten bezogen die berechneten Nutzungszeitraum eine Lösung sein. Dadurch könnten aber technologische Fortschritte eventuell verloren gehen. Weitere Möglichkeiten könnten entsprechende Rückstellungen für die Erneuerungsinvestition oder ein Contractingmodell sein. Die Frage ist auch, wie wirkt sich die zu tätige Investitionssumme generell auf die Höhe der Betriebskosten aus. In welcher Höhe würden die Betriebskosten steigen wenn die Erneuerung anfällt.

## 3.2 Elektrotechnische Aspekte

Hintergrund der technischen Betrachtung dieses Themas der Oberschwingungen, im Rahmen dieser Arbeit, ist abermals der interdisziplinäre Ansatz im Facility Management. In der Literatur wird immer auf die Problematik aufmerksam gemacht, dass elektronische Betriebsgeräte für das Versorgungsnetz und andere Verbraucher gefährliche Oberwellenschwingungen erzeugen und dass dadurch die verschiedensten negativen Netzurückwirkungen entstehen. Es stellt sich die Frage, wie, die doch in hoher Quantität zum Einsatz kommenden EVGs für LED-Leuchten im Vergleich zu herkömmlichen elektronischen Vorschaltgeräten für Kompaktleuchtstoff- und Metalldampflampen, in Bezug auf die Netzqualität, abschneiden. Es soll untersucht werden ob man mit dem Einsatz der LED Technologie andere Probleme im Gebäude erzeugt durch die im Nachhinein die Energieeffizienz und die Wartungsfreundlichkeit der LED-Technologie negativ beeinflusst wird.

### 3.2.1 Oberschwingungen und Netzurückwirkungen

Die Problematik und die Behandlung der auftretenden Probleme ist ein großes elektrotechnisches Thema. Die Entstehung von Oberwellenspannungen und -strömen ist kein Thema, das ausschließlich bzw. nur durch den Einsatz von elektronischen Betriebsgeräten in der Beleuchtungstechnik zurückzuführen ist. Deshalb ist die Behandlung in seiner Gesamtheit nicht Gegenstand dieser Abhandlung. Zum besseren Verständnis der durchgeführten Messungen soll aber auf die entsprechenden Aspekte der Oberwellen im Rahmen der Messung eingegangen werden.

Elektronische Verbraucher werden meist mit Gleichspannung betrieben oder benötigen andere Spannungen um sie betreiben zu können. Auch in der Beleuchtungstechnik werden Zündspannungen für Lampen je nach Lampentyp im zwei-stelligen kV<sup>40</sup> - Bereich benötigt. Um diese Betriebsanforderungen aus dem normalen Versorgungsnetz von ~400V / 230 V Wechselspannung bereitstellen zu können, müssen ihnen entsprechende elektronische Betriebsmittel vorgeschaltet werden um die normale sinusförmige Wechselspannung des allgemeinen Versorgungsnetzes in eine für sie verwendbare Spannung um zu wandeln. Die Elektronik stellt aber für das Versorgungsnetz einen nicht linearen Verbraucher da, der auf Grund von verschiedenen zum Einsatz kommenden

---

<sup>40</sup> kV = kilo Volt. 1.000V = 1kV

Gleichrichterschaltungen, den Strom pulsmäßig bezieht. Gleichrichterschaltungen entnehmen den benötigten Strom, bauartbedingt, nicht linear aus dem ~400 / 230 Netz dadurch entstehen Oberschwingungen. Diese Schwingungen werden in harmonische und nicht-harmonische Schwingungen unterteilt. Harmonische Oberschwingungen sind immer ein vielfaches der 50 Hz Grundsinsusschwingung des elektrischen Versorgungsnetzes. Nicht-harmonische Schwingungen sind Schwingungen verschiedenster Formen (Rechteckkurve, Trapezkurve).

Die verschiedenen Oberschwingungen werden zum Einen mit der entsprechenden Frequenz oder mit dem entsprechenden Faktor, die auch Ordnungszahlen genannt wird, bezeichnet. Die Oberschwingung mit der Frequenz 100Hz hat somit die Ordnungszahl 2; 150Hz Ordnungszahl 3; 200Hz Ordnungszahl 4; 250Hz Ordnungszahl 5; 300Hz Ordnungszahl 6; 350Hz Ordnungszahl 7; 400Hz Ordnungszahl 8; etc. Üblicherweise werden die Oberschwingungen bis zur 49. Oberwelle, was einer Schwingung von 2.450 Hz entspricht, gemessen. Oberschwingungen sind Spannungsüberschwingungen, die aus den Stromüberschwingungen resultieren, die dann, wie bei der Wirkleistung eine Oberschwingungsleistung aus deren Produkt bilden.

In Bezug auf Netzurückwirkungen bzgl. Erhöhung des Neutralleiterstromes wird nur die dritte harmonische und die durch drei teilbaren Oberschwingungen betrachtet da diese hauptsächlich für die negativen Auswirkungen im Neutralleiter „verantwortlich“ sind. Sie haben stets den maßgeblichen Maximalwert und den Nulldurchgang zum gleichen Zeitpunkt während einer Periode wie die Netzfrequenz (50Hz).

Im Neutralleiter addieren sich alle Ströme. Im „Normalfall“, resultiert daraus bei einer symmetrischen Belastung, dass die Summe der Außenleiterströme im Neutralleiter nahezu Null ist. Die Summe des Neutralleiterstromes besteht nun, bei symmetrischer Belastung der Außenleiter, aus dem Neutralleiterstrom der 50Hz Grundsinschwingung plus dem Neutralleiterstrom aller durch drei teilbaren Oberwellenschwingungen. Durch den Anschluss mehrerer ein –poliger Wechselspannungsverbraucher, die im Verbund auf das drei-polige Versorgungsnetz angeschlossen werden, kommt es jedoch in der Praxis meist zu unsymmetrischen Belastungen der einzelnen Außenleiter. Bei der Planung bzw. der Installation einer Verbraucheranlage wird meist auf eine weitest gehend gleichmäßige Belastung geachtet. Eine gleichmäßige Aufteilung der Verbraucherleistungen auf die drei Außenleiter ist aber weder bei der Planung noch in Bezug auf den Betrieb vollständig zu gewährleisten. Deshalb wird der Neutralleiter immer mit „normalen“ Ausgleichsströmen belastet sein. Eine

symmetrische Belastung ist nur durch den Anschluss von drei-poligen Verbrauchern wie z.B. Drehstrommotore oder Heizgeräten mit jeweils gleicher Belastung der Außenleiter 100%ig möglich.

In der Praxis kann eine übermäßige Belastung nun u.a. zu Neutralleiterströmen führen, die das Doppelte des Außenleiterstromes annehmen. Bei älteren Gebäudeinstallationen kann dies auf Grund früher zulässiger Verminderungen des Neutralleiterquerschnittes bis zur Hälfte des Außenleiterquerschnittes heutzutage zu seiner Überlastung mit nachfolgender Überhitzung kommen. Diese Überhitzung kann im schlimmsten Fall einen Brand auslösen. Auch bei Anlagen mit einem Neutralleiter gleichen Querschnittes, wie die des Außenleiters, kann es zu starken Überlastungen im Neutralleiter kommen. Auf Grund von prozentual zu erwartenden Oberwellen werden in internationalen Normen, z.B. IEC 60364, bereits vier- oder fünfadrig Kabel und Leitungen nicht nach dem zu erwartenden Außenleiterstrom, sondern nach dem Neutralleiterstrom dimensioniert (natürlich sind zusätzliche Querschnitts bestimmende Faktoren, wie Kabel-, Leitungslänge, etc. zusätzlich zu berücksichtigen).

Desweiteren bewirken hohe Ströme in Neutralleitern die Anhebung des Neutralleiterpotentials. Dadurch entsteht ein zusätzlicher Potentialanstieg zwischen Schutzleiter PE und N der zu Funktionsstörungen bei anderen Betriebsmitteln führen kann. Eine Zusammenfassung real auftretender Netzauswirkungen auf Grund von allen Oberwellenanteilen aus geraden Schwingungen wie 2., 4., 6., etc. und ungerade wie der 3., 7., 9., 11., etc. Oberwellen werden in der Literatur wie folgt beschrieben:

- Verformung der Spannungskurve;
- Extrem hohe Einschaltstromspitzen;
- Abweichende Anzeigewerte verschiedener Meßgeräte;
- Höhere Belastung der Leiter;
- Überlastung des Neutralleiters;
- Überhitzungs- und Hochlaufprobleme bei Drehstromasynchronmotoren (durch Gegensystem, Mitsystem, Nullsystem);
- Zusätzliche Verluste in Transformatoren und auf Leitungen;
- Rückwirkungen von Generatoren auf das Netz;
- Einfluss auf Kondensatoren wie z.B. Überhitzungen und Netzresonanzen und als besondere Folgen im TN-C-Netz;
- Betriebsströme mit höheren Frequenzen im Potenzialausgleich, magnetische Streufelder und EMV-Probleme;

- Betriebsstörungen in der EDV und Störungen im Datenfluss;
- Betriebsströme im Erder, Korrosionsschäden;
- Blitzströme in Geräten und Betriebsmittel (Mörk-Mörkenstein, 2010)<sup>41</sup> (Mörx, 2010)<sup>42</sup>.

Im Hinblick auf die Vielzahl an dargestellten Problemen, die durch den Einsatz von elektronischen Betriebsmitteln entstehen, gelten eine Vielzahl an verpflichtend einzuhaltenden technischen Vorschriften und Normen. Für deren Ausbildung und in Verkehr bringen, gemäß dem österreichischen Elektrotechnikgesetz 1992 §1, sind somit Leuchten im Allgemeinen und Leuchten mit LED-Lampen als elektrische Betriebsmittel zu verstehen. Nach dem ETG 1992 sind *„Elektrische Betriebsmittel [...] innerhalb des ganzen Bundesgebietes so [...] herzustellen [...], dass ihre Betriebssicherheit, die Sicherheit von Personen und Sachen, ...ferner in ihrem Gefährdungs- und Störungsbereich der sicheren und ungestörten Betrieb anderer elektrischer Anlagen und Betriebsmittel sowie sonstiger Anlagen gewährleistet ist“* (Elektrotechnikgesetz, 1992)<sup>43</sup>.

Alle in den Verkehr, des Rechtsbereich der EU, gebrachten Leuchten, Lampen und LED-Leuchtmittel usw. haben somit den Anforderungen der Europäischen Union bzw. den Anforderung österreichischen Rechts zu entsprechen. Diese Konformität wird mit dem CE-Zeichen ausgedrückt. Wenn Geräte das CE-Zeichen tragen kann davon ausgegangen werden das die notwendigen Inhalte der Richtlinien und Verordnungen wie CE-Richtlinie (Niederspannungsgeräteverordnung und EMV-Verordnung), Ökodesign Verordnung, die Produkte-Verbrauchsangabenverordnung und die RoHS-Richtlinie eingehalten bzw. erfüllt werden (Mörx, 2012)<sup>44</sup>.

---

<sup>41</sup> Elektro Journal Ausgabe 10 / 2010

<sup>42</sup> Elektro Journal Ausgabe 05 / 2010

<sup>43</sup> Elektrotechnikgesetz 1992 in letzt gültigen Fassung

<sup>44</sup> [https://www.wko.at/Content.Node/Service/Bildung-und-Lehre/Weiterbildung/Weiterbildung/LED\\_Leuchten\\_17\\_12\\_2012.pdf](https://www.wko.at/Content.Node/Service/Bildung-und-Lehre/Weiterbildung/Weiterbildung/LED_Leuchten_17_12_2012.pdf)

### 3.2.2 Messtechnische Untersuchung

Anhand einer selbst durchgeführten Messreihe, der im Folgenden angeführten Beleuchtungstechnologien, soll der Einfluss einer Beleuchtungsanlage auf die Netzqualität bzgl. des Oberwellenstromes dokumentiert und analysiert werden um auch einem nicht elektrotechnisch ausgebildeten Facility Manager die Notwendigkeit dieses Themas für den Betrieb eines Gebäudes auf zu zeigen.

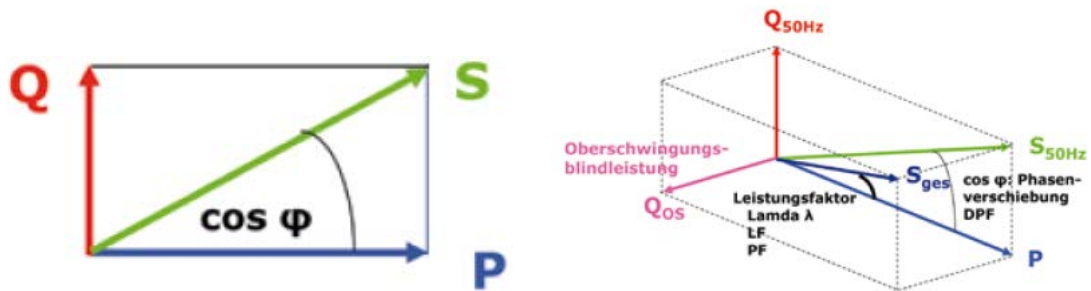
Verglichen werden in der Messreihe folgende Leuchten:

- **01\_Glühlampe OSRAM** Typ: 60 W / E27 / 230V als Referenz für die Oberwellenerzeugung.
- **02\_Energiesparlampe OSRAM** Typ: 11 W / E27 / 230 V
- **03\_LED Leuchte ERCO** Typ: Compact LED Downlight 24 W; 2.280 lm; 3000 K; 95 lm / W (rechnerisch ermittelt); mit EVG: Tridonic LCI 030 / 0700 Lampda 0,96
- **04\_Kompaktleuchtstofflampe** Reggiani Typ: 6603 2 x 42 W mit einem extern vorgeschalteten elektronischen Vorschaltgerät (EVG Typ: Philips HF Performer HF-P 2 26 - 42 PL-T / C)
- **05\_LED Leuchte OSRAM** Typ: LEDVANCE Downlight XL 21 W; 1.710 lm; 3000 K; 90 lm / W (lt. Datenblatt)
- **06\_ Metaldampfampe** mit Leuchte ERCO mit Leuchtmittel Typ: Philips 35 W / 830 G12 mit einem externen vorgeschaltetem elektronischen Vorschaltgerät Typ Vossloh Schwalbe Typ EHXc 35.325

Die Messungen für die Oberwellenbetrachtung wurden mit dem Netzanalyse Messgerät 434 Power Quality Analyzer EN 50160 der Firma Fluke durchgeführt.

Die Probanden der Messreihe sowie die zum Betrieb notwendigen elektrischen Betriebsgeräte haben alle die notwendige Kennzeichnung des CE-Zeichens.

Bei der Betrachtung der Netzqualität inkl. der Oberwellen kommt zu dem bestehenden Phasenverschiebungsfaktor  $\cos \varphi$  ein weiterer Faktor hinzu. *Der Wert wird „PF“ (Lampda  $\lambda$ )* genannt. Aus diesem Gesamtfaktor resultiert entsprechend die effektiv aufgenommene Scheinleistung des Verbrauchers. Der Wert-Lampda inkludiert somit den  $\cos \varphi$ , zwischen Strom und Spannung der Grundschiwingung und die Phasenverschiebung eines ungleichen Oberschwingungspaares von Strom und Spannung (Staska, 2012).



**Abbildung 13** Grafische Darstellung des Leistungsfaktors  $\cos \varphi$ ; DPF (links) und des Gesamtleistungsfaktors  $\Lambda$  inkl. Oberschwingungsblindleistung ( $Q_{OS}$ ) (Staska, 2012)

Um ein Verständnis für die Begriffe zu bekommen folgt eine kurze Erläuterung. Die Leistungen „S“, „P“ und „Q“ verhalten sich folgendermaßen zu einander: Die **Scheinleistung** „S“ muss vom Kraftwerk erzeugt werden. Die **Wirkleistung** „P“ wird vom Kunden verbraucht und muss verbrauchsabhängig bezahlt werden. Die **Blindleistung** „Q“ muss, bei gewerblicher Nutzung bis zu einer vertraglich vereinbarten Höhe, wie beim privaten Verbrauch, nicht bezahlt werden. Sie hat aber unter elektrotechnischer Betrachtung negative Auswirkungen (Erwärmung der Leitungen, etc.). Die Formel zum Errechnen der effektiv aufgenommenen Scheinleistung „S“ [VA] des Verbrauchers lautet:

$$S = U^{45} \cdot I^{46} = \sqrt{(P^2 + Q^2)}$$

Das Ziel ist, eine möglichst kleine Differenz zwischen Schein-, und Wirkleistung zu erhalten. Unter Beibehaltung aller Verbindungen in Abbildung 13 links ist zu erkennen oder sich vorzustellen, dass die Scheinleistung „S“ [VA] mit zunehmender Blindleistung „Q“ [VA] und gleichbleibender Wirkleistung [W] größer wird. Der elektrotechnische Einfluss des Leistungsfaktors  $\cos \varphi$  wird je senkrechter er wird desto schlechter (die Scheinleistung wird größer). Schlechter heißt, der Wert des Leistungsfaktors verändert sich in Richtung „0“. Wenn die Blindleistung sich verkleinert wird der  $\cos \varphi$  besser, d.h. der Wert des Leistungsfaktor verändert sich in Richtung „1“ (siehe Proband 01: Glühbirne; keine Blindleistung; keine Scheinleistung d.h. Scheinleistung ist gleich der Wirkleistung).

Beim Auftreten von Blindleistungen wird elektrotechnisch das Kraftwerk sowie alle Leitungen zusätzlich zum Wirkstrom mit einem Blindstrom belastet. Der Idealfall

<sup>45</sup> U= Spannung ;Volt [V]

<sup>46</sup> I= Strom; Ampère [A]

wäre eine reine Wirkstrombelastung. Die Blindleistung ist leicht mit entsprechend dimensionierten Kondensatoren auf Endverbraucherebene oder bei gewerblichen Anlagen, zentral oder im Mischbetrieb, elektrotechnisch in den Griff zu bekommen. Die Wirkleistung berechnet sich aus

$$P^{47} = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

Man sieht, dass sich die Wirkleistung um den Wert des Leistungsfaktors Scheinleistung verringert. Daraus folgt, dass sich bei niedrigem  $\cos \varphi$  die Versorgungsnetze durch die Blindleistung entsprechend erwärmen und folglich ausreichend dimensioniert werden müssen damit sie sich nicht unzulässig hoch erwärmen. Bei der Betrachtung der Auswirkungen auf die bestehenden Versorgungsnetze, aller Ebenen, ist der Querschnitt von Kabeln und Leitungen aus wirtschaftlichen Gründen nur sehr schwierig aber eigentlich gar nicht veränderbar. Auch technisch sind hier Grenzen gesetzt. Deshalb werden in Verbraucheranlagen entsprechende Maßnahmen getroffen um die Entstehung der Blindleistung so gering wie möglich zu halten.

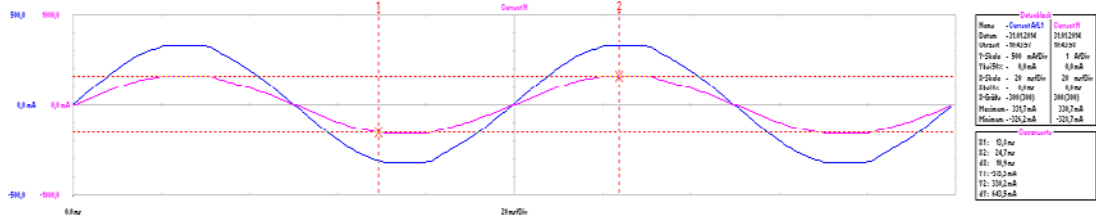
Betrachte man nun das rechte Diagramm in der Abbildung 13 ist zu erkennen, dass bei auftretenden Oberwellen- und Blindleistungen die Scheinleistung nochmals beeinflusst wird. Mathematisch und elektrotechnisch betrachte, wird die Scheinleistung nochmals größer als bei „reiner“ induktiver Belastung. Die Auswirkung, in Bezug auf die effektive aufgenommene Scheinleistung, sind die Gleichen wie beim  $\cos \varphi$ . Weitere Einflüsse werden im Verlauf der Messreihe dargestellt.

---

<sup>47</sup> P= Wirkleistung , Watt [W]

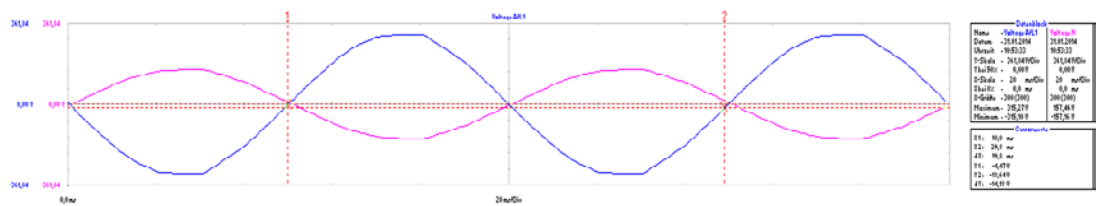
- Messreihe 1<sup>48</sup>

**Proband: 01\_Glühlampe OSRAM Typ: 60W/ E27/ 230V**



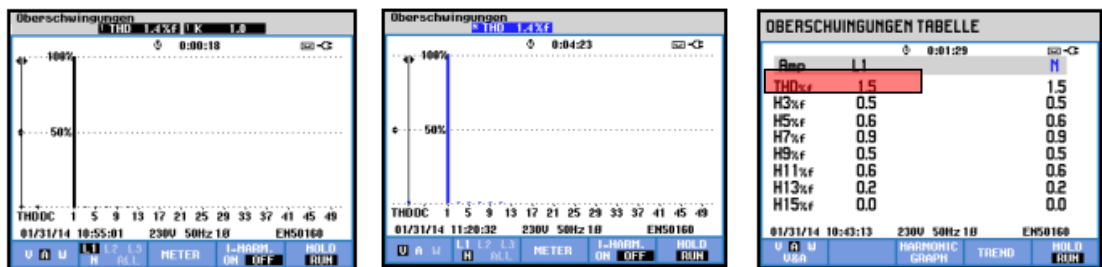
**Abbildung 14** Stromverlauf der Glühlampe 60W;  $I_{max}= 313,3mA$  (blaue Kurve)

Beim Betrieb ohmscher Verbraucher ist der Stromverlauf eine sinusförmig verlaufende Kurve wie die Netzspannung.



**Abbildung 15** Spannungsverlauf bei der Glühlampe 60W;  $U_{max}=315,27V$  (blaue Kurve)

Es ergeben sich keine Beeinflussungen durch den Betrieb des Betriebsmittels auf die Netzqualität. Einerseits wegen der geringen Belastung für das Netz und andererseits auf Grund des sinusförmigen Stromverlaufes in physikalischer / elektrotechnischer Hinsicht im Außen- und Neutraleiter.



**Abbildung 16** Darstellung der Oberwellenanteile der Glühlampe 60W als Balken Diagramm (links, mittig) und tabellarischer Form (rechts)

<sup>48</sup> Eigen Quelle

Leistung und Energie		
	FUND	Total
	L1	
U	53.3	53.3
VA	53.3	53.3
VAR	1.6	1.6
PF	1.00	1.00
Cosφ	1.00	
A <sub>rms</sub>	0.237	
	L1	
U <sub>rms</sub>	225.4	
01/31/14 10:40:31 230V 50Hz 1Ø ENS0160		
<span>VIEW PAGE</span> <span>ENERGY</span> <span>TREND</span> <span>HOLD RUN</span>		



**Abbildung 17** Darstellung der Phasenverschiebungswinkel  $\cos\phi$  und PF (links) zur Grundschwingung bei der Glühlampe 60W<sup>49</sup> (rechts)

In der Abbildung 17, und in den weiter unten folgenden Abbildungen dieses Typs „Leistung und Energie“ der verschiedenen Probanden, ist auf der linken Seite der Grafik die **Wirkleistung** in [W] Watt, die **Scheinleistung** in [VA] Volt-Ampère, die **Blindleistung** in [VAR] Volt-Ampère-reaktiv, ein Kondensator rechts neben dem Blindleistungswert symbolisiert eine kapazitive Blindleistung, weiter ist der o.g. Leistungsfaktor „PF“ und der „ $\cos\phi$ “, der effektive Stromfluss [ $A_{rms}$ ] und die Netzspannung [ $U_{rms}$ ] zu sehen. Auf der rechten Seite die Total-Werte.

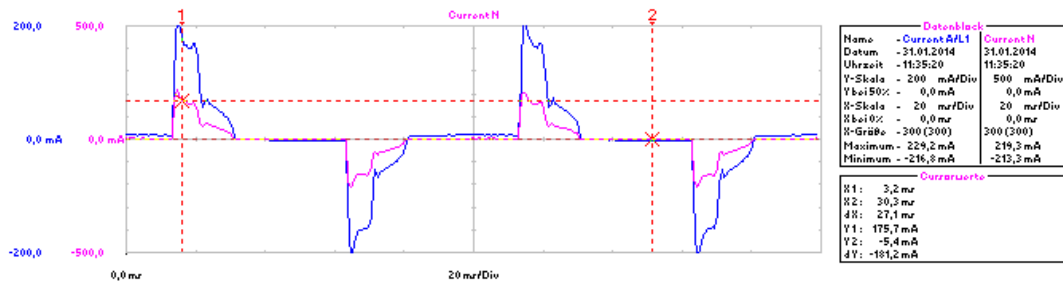
Der Power Factor und der  $\cos\phi$  in Abbildung 17 (links) ist „1“; d.h. es entsteht keine Phasenverschiebung ( $\cos\phi$ ) zwischen Strom und Spannung. Es entstehen keine Oberwellen. Die Scheinleistung [VA] ist gleich der Wirkleistung [W]. Es entsteht nur eine kleine induktive Blindleistung. Dies bedeutet, dass nur genau so viel Energie bezogen werden muss wie tatsächlich verbraucht wird. Die Versorgungsleitungen werden nur mit der reinen Wirkenergie elektrisch und thermisch belastet. Beim Anschluss von mindestens drei Glühlampen an ein 3-phasen Netz wäre der Strom im Neutralleiter Null, wenn man die äußeren und sonstigen Umstände nicht berücksichtigt.

<sup>49</sup> Quelle: (Mörk-Mörkenstein, 2010)

- Messreihe 2

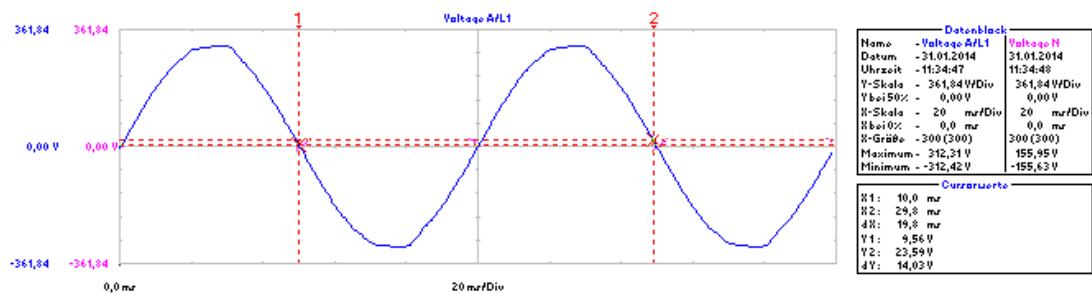
## Proband: 02\_Energiesparlampe

OSRAM Typ: 11W/ E27/ 230



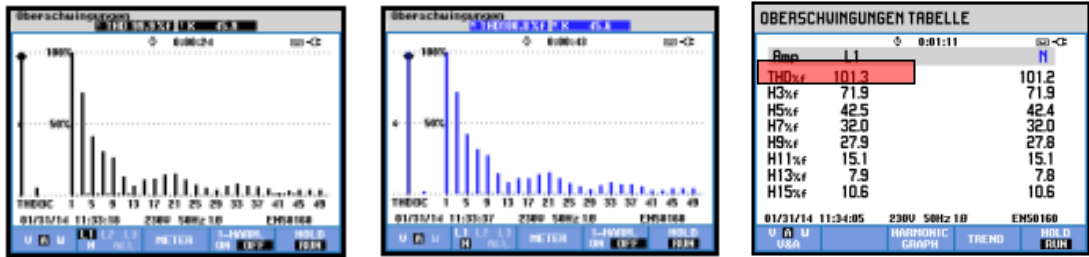
**Abbildung 18** Stromverlauf im Außen- und Neutralleiter bei der 11W Energiesparlampe (blaue Kurve; Current A/ L1). Um beide Kurven erkennen zu können wurde für die Stromkurve im Neutralleiter ein größerer Maßstab gewählt (rote Kurve; Current N).

In Abbildung 18 ist ein sinusförmiger Strom bei dieser Lampe kaum mehr zu erkennen. Ebenfalls zu sehen sind die hohen Einschaltströme die auf Grund der elektronischen Bauteile, im speziellen die Kondensatoren und Gleichrichterdiolen, verursacht werden. Aufgrund von fehlendem Platz innerhalb der Lampe muss auf entsprechende Qualitätsverbesserungen, wie Filter zur Erhaltung der Netzqualität, verzichtet werden. Bei der Verwendung einer Lampe machen sich diese Auswirkungen nicht bemerkbar. Betrachtet man jedoch eine Vielzahl dieser Verbrauchern wird sich dies auf die Netzqualität negativ auswirken.



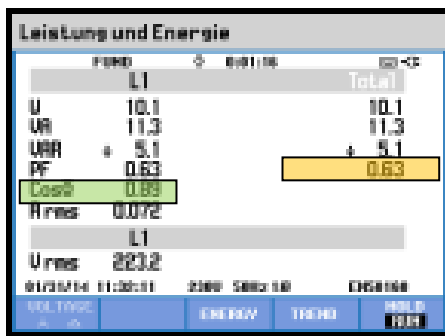
**Abbildung 19** Spannungsverlauf bei der 11W Energiesparlampe

Auf die Spannungsqualität, Verzerrung der Grundschwingung, haben die in Abbildung 20 nachgewiesenen hohen Oberwellen wegen ihrer geringen Leistung in diesem Rahmen keinen Einfluss. Anhand der Abbildung 20 sieht man die prozentualen Oberwellenströme der jeweiligen Oberwelle zur Grundwelle (50Hz).



**Abbildung 20** Darstellung der Oberwellenanteile als Balken Diagramm (links, mittig) und tabellarischer Form der 11W Energiesparlampe

Die Schwingungen sind als Balken dargestellt die durch den in Abbildung 18 dargestellten pulsierenden Stromverlauf entstehen und u.a. für die Erhöhung des Stromes im Neutralleiter bei dreiphasiger Verkabelung verantwortlich sind (3., 6., 9., n / 3-Oberwellen). Auch die 7. Oberwelle die im Drehstromsystem bei Motore einen störenden Einfluss, Mitsystem,<sup>50</sup> hat, wird durch das Leuchtmittel erzeugt (siehe rechte Grafik Abbildung 20) (Mörk-Mörkenstein, 2010). Der Balken „1“ ist die 50Hz Grundschiwingung zu 100 %. Der kleinere Balken, THD DC, links neben der Grundschiwingung zeigt sogar eine Gleichstrombelastung gegenüber der Grundschiwingung an (Henning Thomas)<sup>51</sup>. Die folgenden Balken nach rechts, der 3., 6., 9., etc. Oberwellen, zeigen Belastungen bis zur 49. Oberwelle bezogen auf die Grundschiwingung, verursacht durch das elektronische Vorschaltgerät, auf.



**Abbildung 21** Darstellung u.a. der Phasenverschiebungswinkel  $\cos\phi$  und PF (links); Foto Proband 01<sup>52</sup> (rechts)

Aus diesen Werten „PF“ und „ $\cos\phi$ “ ergibt sich eine kapazitive! Blindleistung von 5,1 VAR. Der Power Factor „PF“ bestätigt das Vorhandensein von ungleichen Oberwellenpaaren aus Spannung und Strom. Das sind 45 % der aufgenommen

<sup>50</sup> (Mörk-Mörkenstein, 2010)

<sup>51</sup> <http://www.svb-henning.de/netzqualitaet/netzqualitaet.html#Oben>

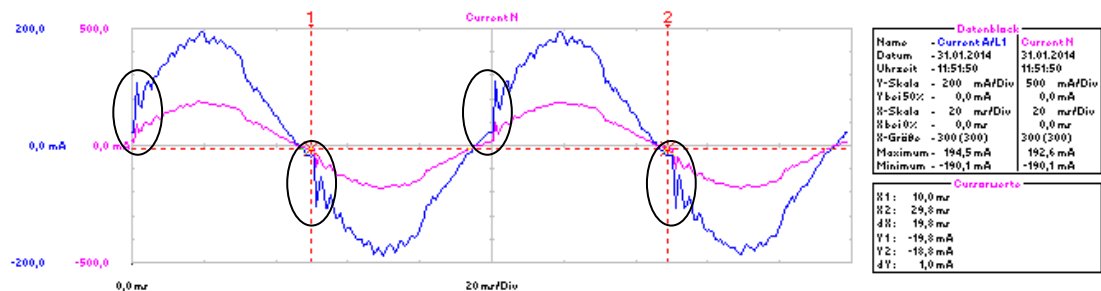
<sup>52</sup> Quelle: [www.conrad.de](http://www.conrad.de)

Scheinleistung. Die Blindleistung addiert sich bei Verwendung „mehrerer“ Lampen/Verbrauchen dieser Art entsprechend. Die Blindleistung kann zur Verrichtung elektrische Arbeit nicht verwendet werden, deshalb ist sie aus o.g. Gründen immer so gering wie möglich zu halten. Blindleistungen können durch verschiedene Ausführungen von Kompensationsanlagen verringert werden. Oberwellenleistungen können durch entsprechend dimensionierte Filteranlagen verkleinert bzw. gelöscht werden. Wie schon weiter oben im Text erwähnt, muss bei verschiedensten EVUs Blindleistung ab einer vertraglich festgelegten Höhe, die durch einen  $\cos\phi$ -Wert  $< 0,90$  entsteht, zusätzlich zur Wirkleistung, bezahlt werden. Dies zieht zwangsweise höhere Betriebskosten nach sich. Hohe Blindleistungen haben natürlich aber nicht nur kaufmännisch negative Auswirkungen, sondern tragen vor allem zur Erwärmung von Kabeln und Leitungen bei.

- Messreihe 3

### Proband: 03\_LED Leuchte

ERCO Typ: Compact LED Downlight 24 W



**Abbildung 22** Graphische Darstellung Stromverlauf der LED Leuchte ERCO (blaue Kurve); Um beide Kurven erkennen zu können wurde für die Stromkurve im Neutralleiter ein größerer Maßstab gewählt (rote Kurve; Current N).

In der Abbildung 22 kann auf Grund besserer elektronischer Schaltungen im externen elektronischen Vorschaltgerät der sinusförmige Stromverlauf erkannt werden. Dies hat positive Auswirkung auf die Verkleinerung der Oberwellen. Wieder sieht man den schnell ansteigenden Einschaltstrom (Kreise).

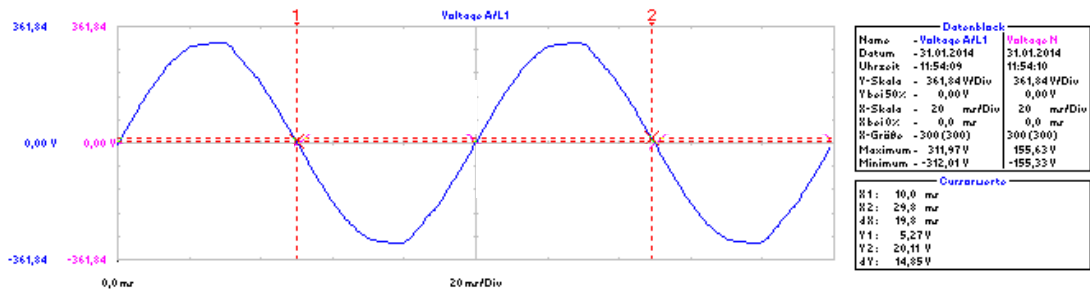


Abbildung 23 Spannungsverlauf bei der LED Leuchte ERCO (blaue Kurve)

Auch in Abbildung 23 kann man keine Verringerung bei der Netzqualität auf Grund der geringen Leistung des Probanden feststellen.

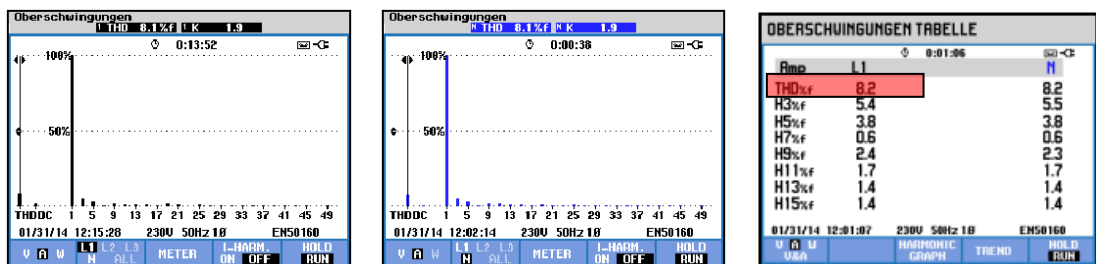


Abbildung 24 Darstellung der Oberwellenanteile als Balken Diagramm (links, mittig) und tabellarischer Form (rechts) der ERCO LED Leuchte

In Abbildung 24 ist der THD<sub>%f</sub> in Bezug auf die Grundschiwingung von 101,3% bei der Kompaktleuchtstofflampe mit E27-Gewinde auf Grund verbesserter Elektronik auf 8,2% zurückgegangen. Dies macht sich auch bei den weiteren Frequenzen 3. – 49. bzw. 150Hz – 2.450Hz bemerkbar. Sie treten bei dieser Leuchte nur mehr zu einem sehr geringen Teil bis praktisch gar nicht mehr in Erscheinung.

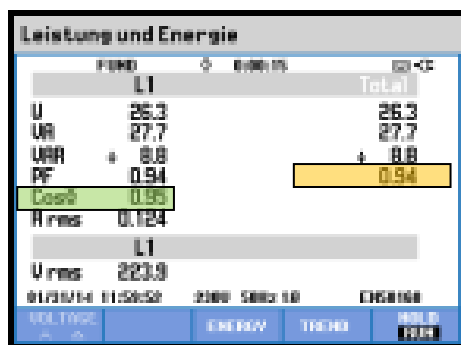


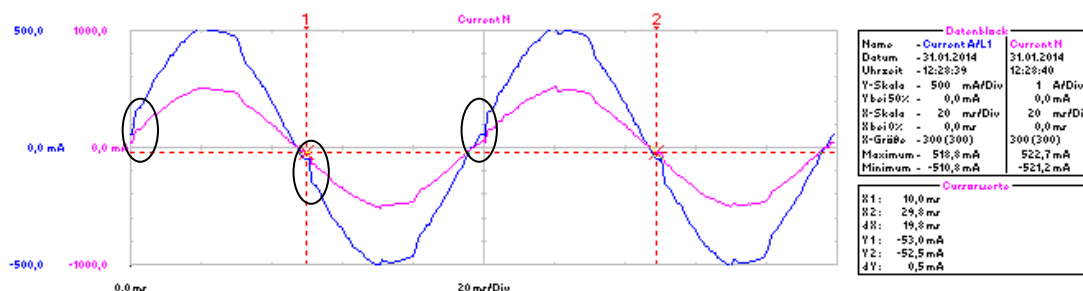
Abbildung 25 Darstellung u.a. der Leistungsfaktoren  $\cos\phi$  und PF des Probandens 03 (links) Proband 03 (rechts)

Der, bei der Betrachtung von Oberwellen, zu berücksichtigende gesamtheitliche Leistungsfaktor  $\lambda$  (gelb) ist hier 0,94 was noch auf einen Anteil an Oberschwingungen schließen lässt (Idealwert = eins). Dies wird auch durch den Blindleistungsanteil von 8,8 VAR gezeigt. Die kapazitive Blindleistung hat bei dieser

Lampe einen 32%-igen Anteil an der Scheinleistung. Die E27-Kompaktleuchtstofflampe, Proband\_02, hat einen Lampda-Wert von 0,63. Bei ihr entstehen höhere Blind-, und Oberwellenströme.

### Proband: 04\_Kompaktleuchtstofflampe

Reggiani Typ: 6603 2 x 42 W mit einem extern vorgeschalteten elektronischen Vorschaltgerät (EVG Typ: Philips HF Performer HF-P 2 26-42 PL-T / C; Leuchtmittel Phillips PL-T 42 W / 840 / 4Pin).



**Abbildung 26** Graphische Darstellung des Stromverlaufes Kompaktleuchtstofflampe Reggiani (blaue Kurve); Um beide Kurven erkennen zu können wurde für die Stromkurve im Neutralleiter ein größerer Maßstab gewählt (rote Kurve; Current N).

Bei dem in Abbildung 26 gezeigten Stromverlauf ist, bis auf wenige Unregelmäßigkeiten, kaum ein Unterschied zur normalen 50Hz-Sinus-Grundschiwingung zu erkennen. Dies lässt auf keine hohen Netzrückwirkungen schließen. Es sind wiederum die fast senkrechten Flanken am Anfang jeder Halbwelle zu sehen, die einen schnellen Ansteigen des Stromes zeigen. Was wiederum mit den elektronischen Bauteilen zusammen hängt (Kondensatoraufladung, Diodenverhalten etc.). Beim Einschalten von vielen kapazitiven Verbrauchern kommt es so zu hohen Einschaltströmen. Sieht man sich die Auswirkung der Einschaltströme bezogen auf einen Stromkreis an, so ist die Anzahl an Leuchten mit elektronischen Vorschaltgeräten, die auf diesen Stromkreis zusammen angeschlossen sein dürfen, begrenzt ist, da sonst der Einschaltstrom zu groß wird und der Leitungsschutzschalter auslösen würde. Die entsprechende Anzahl an Leuchten die pro Stromkreis angeschlossen werden dürfen ist jeweils aus dem Datenblatt der Leuchte zu entnehmen oder beim Hersteller zu erfragen. In entsprechender Leistungshöhe ist dieser Aspekt auf Versorgungsnetze übertragbar. Die Kraftwerke werden, bezogen auf dieses Beispiel, mit hohen Einschaltströmen belastet. Die Ströme müssten selbstverständlich eine entsprechende Höhe betragen

damit dies Auswirkungen im Kraftwerke hätte. Dies wird durch eine Beleuchtungsanlage nicht der Fall sein.

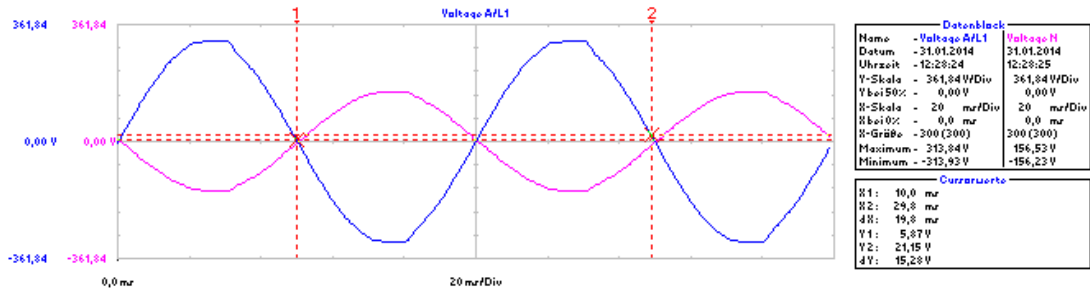


Abbildung 27 Graphische Darstellung des Spannungsverlaufs der Kompaktleuchtstofflampe

Auch in Abbildung 27 kann man keine Verringerung bei der Netzqualität auf Grund der geringen Leistung und des relativ guten THD-Wertes des Probanden feststellen.

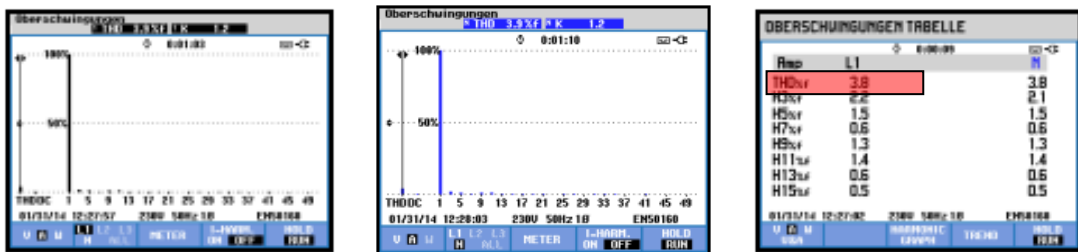


Abbildung 28 Darstellung der Oberwellenanteile als Balken Diagramm (links, mittig) und tabellarischer Form (rechts) der Kompaktleuchtstofflampe mit elektronischem Vorschaltgerät.

Der Gleichspannungsanteil  $THD_{DC}$  links in Abbildung 28 neben dem Balken der Grundschwingung ist fast nicht mehr erkennbar. Ebenfalls sind die Oberwellen von der 3. - 49. kaum mehr vorhanden.



Abbildung 29 Darstellung u.a. der Leistungsfaktoren  $\cos\phi$  und PF des Probandens 04 (links) Probanden 04 (rechts)<sup>53</sup>

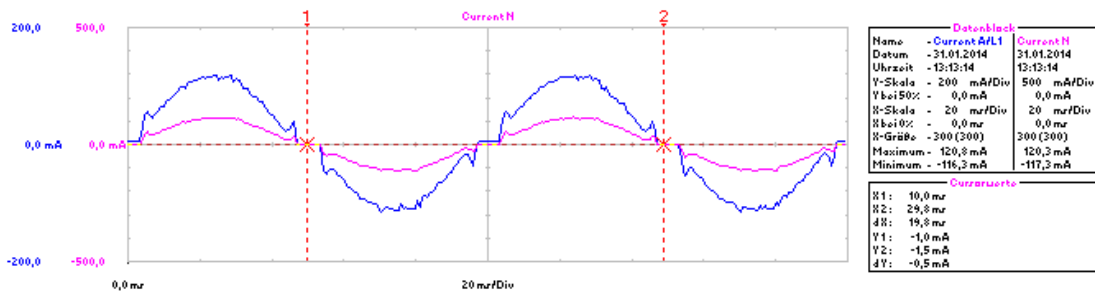
<sup>53</sup> Philips

Dies macht sich auch in Abbildung 29 an dem Wert des Power Factors  $\lambda$  (PF) bemerkbar. Der Wert kommt fast an den Ideal-Wert eins heran. Der Blindleistungsanteil beträgt bei dieser Lampe dennoch 20% der Scheinleistung.

- Messreihe 5

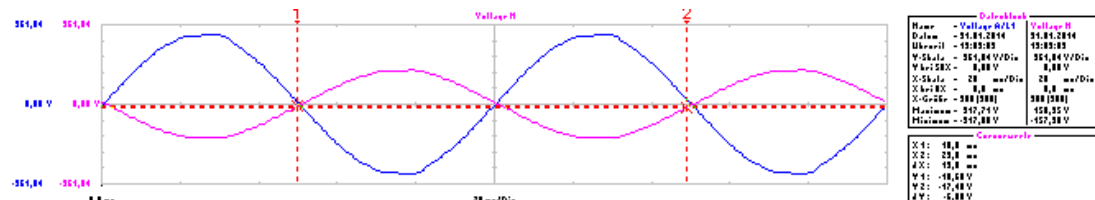
**Proband: 05\_LED Leuchte**

**OSRAM Typ: LEDVANCE Downlight XL 21 W; 1.710 lm; 3000 K; 90lm / W (lt. Datenblatt)**



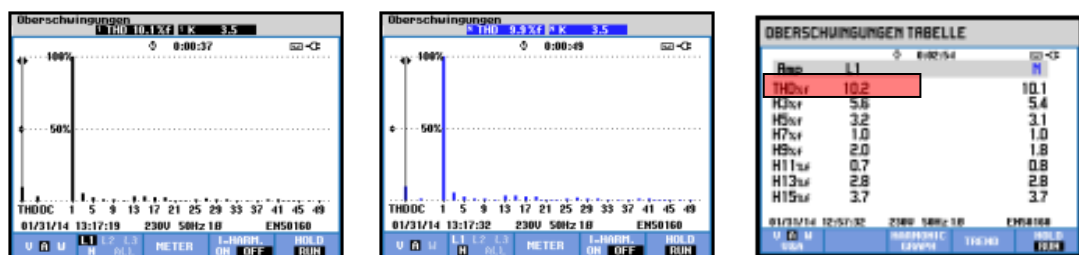
**Abbildung 30** Graphische Darstellung des Stromverlaufes des LED-Downlight LEDVANCE (blaue Kurve)

Ähnlich wie bei dem anderen LED Probanden\_03 zeigt Abbildung 30 einen gezackten Stromverlauf. Auch hier ist wieder der steile / schnelle Anstieg des Stromes am Anfang jeder Halbwelle ausgeprägt.

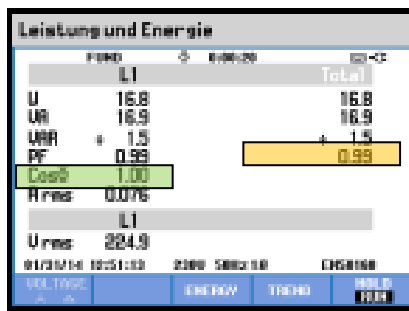


**Abbildung 31** Graphische Darstellung des Spannungsverlaufes des LED-Downlight LEDVANCE (blaue Kurve)

Auch in Abbildung 31 kann man keine Beeinflussung der Netzqualität auf Grund der geringen Leistung des Probanden feststellen.



**Abbildung 32** Darstellung der Oberwellenanteile der LED Leuchte LEDvance Osram als Balken Diagramm (links, mittig) und tabellarischer Form (rechts).



**Abbildung 33** Darstellung u.a. der Leistungsfaktoren  $\cos \varphi$  und PF (links) Proband 05 OSRAM LEDVANCE XL (rechts)<sup>54</sup>

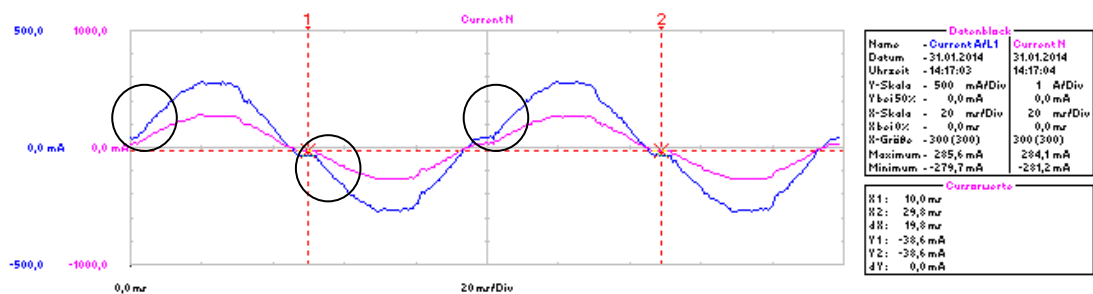
Durch den in Abbildung 33 dargestellten niedrigen Powerfaktor von  $\lambda$  (PF) = 0,99 ergibt sich bei dieser LED-Leuchte nur eine Blindleistung von 1,5 VAR aber immer noch ein 9%-tiger Blindleistungsanteil in Bezug auf die Scheinleistung. Der gesamt THD (A) ist bei 10,2% auf Grund der fast bis zur 49. Oberwelle erkennbaren Werte.

- Messreihe 6

### Proband: 06\_ Halogen-Metaldampfampe

mit ERCO-Leuchte mit Leuchtmittel Typ: Philips 35 W / 830 G12 mit einem externen vorgeschaltetem elektronischen Vorschaltgerät Typ Vossloh Schwabe Typ EHx35.325

Auf Grund z.Zt. immer noch weitverbreiteten Verwendung und weiterhin zum Einsatz kommenden Halogen-Metaldampflampentechnologie soll diese hier ebenfalls analysiert werden.

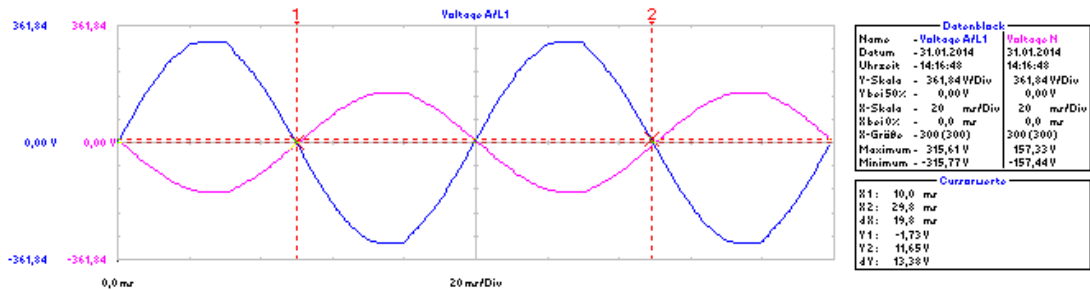


**Abbildung 34** Graphische Darstellung des Stromverlaufes des HIT-Leuchtmittels mit EVG (blaue Kurve)

Der Stromverlauf wie in Abbildung 34 zu erkennen ist, ähnelt der Sinusform recht gut. Die Anfänge der jeweiligen Halbwellen zeigen einen nicht so schnellen

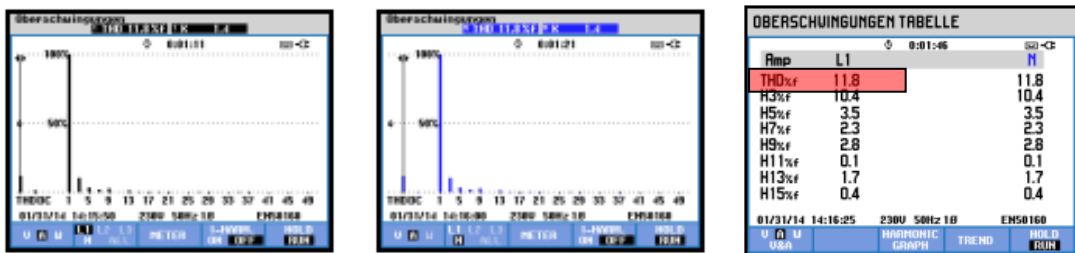
<sup>54</sup> Osram Datenblatt

Stromanstieg wie bei den LED-Leuchten auf. Dennoch entstehen einige Unregelmäßigkeiten die hauptsächlich zur Entstehung der 3. – 7. Harmonischen Oberwelle von 11.8 % führen (Abbildung 36).

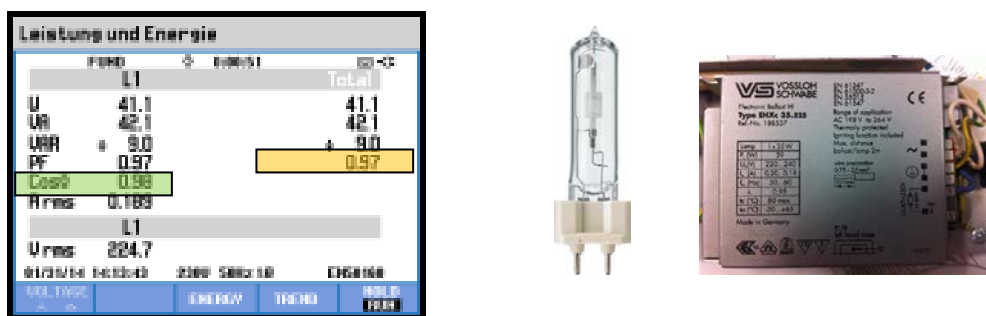


**Abbildung 35** Graphische Darstellung des Spannungsverlaufes der Halogen-Metaldampf-Lampe (blaue Kurve)

Wie auch in den vorherigen Spannungsgrafiken kann auch in Abbildung 35 keine Verringerung bei der Netzqualität auf Grund des geringen Einflusses der Oberwellen auf die Netzspannung wegen der geringen Leistung des Probanden festgestellt werden.



**Abbildung 36** Darstellung der Oberwellenanteile im Außen- und Neutralleiter als Balken Diagramm (links, mittig) und tabellarischer Form (rechts) der Halogen-Metaldampf-Lampe 35 W inkl. EVG.



**Abbildung 37** Darstellung u.a. der Leistungsfaktoren  $\cos \phi$  und PF (links); Proband 07 (rechts)  
Bei dieser Konstellation beträgt die Blindleistung 21% der aufgenommenen Scheinleistung.

### Auszug aus der EN 50160 (Stand 2011)

Phänomen	Grenzwerte	Mess- Intervall	Überwachung s- zeitraum	Akzeptanz
<b>Spannungsänderung</b>	$U_n \pm 10\%$	10 Min	1 Woche	95%
	$U_n + 10\% / -15\%$	10 Min	1 Woche	100%
<b>Flicker</b>	$Plt = 1$	2 h	1 Woche	95%
<b>Oberschwingungsspannungen</b>	bis 0,25 THD = 8%	10 Min	1 Woche	95%
<b>Unsymmetrie</b>	$DI / U_d = 2\%$	10 Min	1 Woche	95%
<b>Wellige Steuersignale</b>	$< 5 U_n$	3 s	1 Tag	99%
<b>Frequenz</b>	49,5 Hz bis 50,5 Hz	10 Min	1 Woche	95%
	47 Hz bis 52 Hz	10 Min	1 Woche	100%

**Abbildung 38** Auszug aus der EN 50160 Maximalwerte in Bezug auf die Netzqualität der Gesamtanlage<sup>55</sup>

Die Werte der Abbildung 38 beziehen sich nicht auf einzelne Verbraucherwerte wie zum Beispiel auf die Werte der durchgeführten Messreihe, sondern auf die Gesamtanlage eines Gebäudes.

#### 3.2.3 Conclusio der elektrotechnische Aspekt

Die Glühlampe wurde als Referenzproband bei der Messung betrachtet und fällt aus der Bewertung heraus.

Die Antwort auf die Grundthese, ob durch die LED-Technologie eventuell mehr Probleme auf elektrotechnischer Ebene erzeugt werden und dadurch die Effektivität negativ beeinflusst wird, hat sich bei der Versuchsreihe nicht bestätigt. Es existieren bereits Technologien am Markt die wesentlich höhere Auswirkungen auf die Netzqualität haben (siehe Proband 02). Die LED-Technologie liegt bei der Messung leicht vor der Halogen-Metall dampflampe in Bezug auf die Oberwellenstromproblematik. Am Besten schneidet bei der Betrachtung der Oberwellen der Proband 04, das Vorschaltgerät der Kompaktleuchtstofflampe, ab. Die LED- und Metall dampflampe liegen sehr eng beieinander und werden bei einer Beleuchtungsanlage ähnliche Auswirkungen hervorrufen. Auf Grund dessen, dass

<sup>55</sup> Quelle: Fluke Handbuch Grundlagen der Netzqualität 2012

man im professionellen Bereich nicht mehr um den Einsatz elektronischer Vorschaltgeräte herum kommt, muss man darauf achten, dass alle Betriebsgeräte mit dem *CE-Zeichen*, das die grundlegenden Anforderungen der EU-Richtlinie bestätigt, versehen sind. Als weitere Beweis, dass das Betriebsgerät nach den geltenden Normen geprüft ist und überwacht wird gibt das *ENEC/ VDE- Prüfzeichen* an. Für die elektromagnetische Verträglichkeit steht das *EMV-Zeichen*, da von Betriebsmitteln und Leuchten zu keiner Zeit Störungen für andere Geräte ausgehen dürfen (Fördergemeinschaft Gutes Licht, 2010).

### Überblick über die Messungen

Proband	Power factor $\lambda$	Cos $\varphi$	THD <sub>%f</sub> (A)
01_Glühlampe 60W	1,00	1,0	1,5%
02_Energiesparlampe 11W	0,63	0,89	101,3 %
03_LED_ERCO mit tridonic Vorschaltgerät LCI 030/0700	0,94	0,95	8,2%
04_Kompaktleuchtstofflampe 2x42W mit Philips EVG HF-P 2 26-42W	0,98	0,98	3,8%
05_LED Osram LEDVANCE XL 21W (Prototyp)	0,99	1,00	10,2%
06_Metall dampflampe 35W EVG Vossloh Schwabe	0,97	0,98	11,8%

**Tabelle 11** Zusammenstellung der einzelnen Meßergebnisse

Den direkten Einfluss hat aber grundsätzlich der *Lampda* Wert auf die Netzqualität. Beim Einsatz von Leuchten mit elektronischen Betriebsgeräten muss auf einen hohen Wert *Lampda/ Power Faktor*, nahe eins, geachtet werden. Auf Grund der Vielzahl an Anbietern von minderer LED Leuchten Qualität, in denen teilweise die Vorschaltgeräte bereits in der Leuchte integriert sind und die ausschließlich über einen günstigen Preis ihre Ware verkaufen wollen, kann ein schlechter *Lampda*-Wert, z.B. 0,80, bei einer entsprechenden Leuchtenanzahl, schnell zu den beschriebenen Problemen führen. Diese Leuchten haben aber auch ein *CE-Zeichen*.

Die Entscheidung welche Technologie im speziellen Fall zum Einsatz kommt muss nach wirtschaftlichen und beleuchtungstechnischen Aspekten getroffen werden. Der Einbau entsprechender Kompensations- oder Filteranlagen muss bezogen auf die Gesamtlast der Anlage dimensioniert werden.

### 3.3 Betrachtung der Lichtsteuerungsmöglichkeiten

Um Beleuchtungsanlagen professionell und somit effektiv betreiben zu können benötigt man nicht nur einen manuellen „Ein - Ausschalter“, sondern greift im öffentlichen, gewerblichen und gehobenen privaten Bereich auf automatische Beleuchtungssteuerungen zurück. Für Lichtsteuerungsmöglichkeiten eignen sich LED-Lösungen sehr gut, da ihr Licht je nach Bedarf mit einfachen technischen Möglichkeiten stufenlos zu regulieren ist. Lichtmanagementsysteme regeln nach entsprechender Programmierung den Regelbetrieb der Beleuchtungsanlage automatisch. Für z.B. Beleuchtungsanlagen im Außenbereich, zur Architekturbeleuchtung, können diese Systeme abhängig von der natürlichen Beleuchtungsstärke oder entsprechenden Astroprogrammen die programmierten Beleuchtungsszenen ein-, und ausschalten. Der Ein- und Ausschaltvorgang kann auch linear zur ab-, oder zunehmenden natürlichen Lichtstärke heller oder dunkler werdend gesteuert werden. Auch im öffentlichen Bereich, auch für PPP-Modelle interessant, ist dies doch ein großer Vorteil bei der nächtlichen Beleuchtung von Straßen und Wegen. So kann die LED-Beleuchtung bei wenig Betrieb auf ein gewünschtes Minimum herunter gedimmt werden und bei Bedarf z.B. durch Bewegungsmelder umgehend wieder auf 100% geschaltet werden. So konnten, lt. einer Studie<sup>56</sup> bei einer Umstellung von 300 Außenleuchten auf LED – Leuchten zusätzlich zu 63%igen Stromeinsparungen durch eine Dimmfunktion weitere 15% - 20% Energiekosten eingespart werden.

In Gebäuden ist das gängigste Lichtsteuerungssystem im Folgenden beschrieben.

#### 3.3.1 DALI

Digital Addressable Lighting Interface kurz auch DALI ist eine selbstständige reine Beleuchtungssteuerungssoftware. Ihre Schnittstellen sind standardisiert, sodass die verschiedensten Hersteller, von DALI-fähigen Geräten, die entsprechende Beschaffenheiten von Schnittstellen und Datensignalen in identischer Form bereitstellen. Ein DALI Netzwerk besteht aus einer, für die Netzspannung zugelassenen, fünf poligen Leitung. Die fünf Adern beinhalten die Spannungsversorgung inkl. Schutzleiter (drei Adern) und die Kommunikationsadern (zwei Adern). Das System benötigt keine besondere Verdrahtungstopologie und ist daher einfach zu installieren. Dies spart Kosten bei Planung und Installation.

---

<sup>56</sup> Energy 2.0 | Ausgabe 2.2013 STRASSENBELEUCHTUNG | NACHHALTIGE GEBÄUDE & FACILITY MANAGEMENT Peter Zsohar, Leiter Entwicklung bei der Hess AG in Villingen-Schwenningen

Beleuchtungsgruppen werden nicht mehr verdrahtet, sondern Software-mäßig gekoppelt. Lichtszenen-, Raumnutzungsänderung können einfach umprogrammiert werden. So entfällt kostspieliges und aufwendiges Umverdrahten wie zum Beispiel bei der 1-10V-Technologie. Durch die hohe Flexibilität passt sich DALI den verschiedensten Bedürfnissen eines Gebäudelebens an. DALI ist somit auch ein nachhaltiges und kosteneffizientes System. Tageslicht-, und Anwesenheitssensoren, Konstantlichtsensoren sowie jegliche automatisierbaren Steuerungen wie z.B. dimmen können mit DALI durchgeführt werden. Die LED-Technologie eignet sich gut für Lichtsteuerungssysteme durch ihren verzögerungsfreien Betrieb. Die Anbindung an ein Gebäudemanagementsystem wie KNX<sup>57</sup> (ehemals EIB) oder LON ist über eine Datenschnittstelle möglich (DALI, November 2013). Ein weiterer Vorteil in Bezug auf die LED-Technologie, ist der generelle individuelle Zugriff auf jede einzelne Leuchte. Sollte es im Betrieb zu unterschiedlichen Lebensdauern der z.B. LED-Leuchten kommen, können die neuen Leuchten an die Helligkeit der restlichen Leuchten angepasst werden um wieder ein einheitliches Beleuchtungsniveau zu erhalten. Auch bei eventuellen Totalausfällen lässt sich die zu ersetzende Leuchte wieder in das vorherrschende Helligkeitsniveau bringen.

---

<sup>57</sup> <http://www.knx.de/knx-de/>

### 3.4 Entsorgung, Recycling

In Bezug auf eine ganzheitliche Betrachtungsweise und zwar aus Sicht des Facility Managements, und nicht nur bei Immobilien mit z.B. Green- oder Blue Building-Zertifikaten, soll kurz auf das Handling im Lebenszyklus von LED-Lampen / Leuchten nach dem Betrieb eingegangen werden.

#### 3.4.1 Entsorgung

Eine Studie von OSRAM und Siemens zur Gesamt-Ökobilanz von LED-Lampen, die alle Material- und Energieströme von der Herstellung bis zum Ende der Nutzungsdauer einbezog, hatte zum Ergebnis, dass 98 Prozent des Gesamtenergieverbrauchs auf die Erzeugung von Licht entfallen und nur zwei Prozent auf die Produktion. LED-Lampen sind demnach sowohl in der Nutzung, als auch in der Herstellung sehr effizient. Laut Auswertung der Stiftung Warentest (2013) ist die Ökobilanz der LED-Lampen besser als etwa bei Kompaktleuchtstofflampen oder gar Halogenlampen.

Zu beachten ist, dass nicht nur für den Bau und die Funktion von LED, sondern auch für deren Betriebsgeräte *Seltene Erden* verwendet werden, von denen es weltweit nur wenige Abbaustätten gibt. Sieben Prozent dieser wertvollen Ressourcen gehen in die Produktion von Leuchtmitteln. Aus oben angeführtem Grund müssen LEDs und deren Elektronikbauteile als Elektronikschrott entsorgt werden<sup>58</sup>. Die Kosten, die durch die notwendige Entsorgung den Recyclingunternehmen entstehen, werden z. Zt. über einen Pauschalbetrag beim Erwerb pro entsorgungspflichtigem Leuchtmittel eingehoben (€ 014 sind beim Erwerb pro Lampe zu zahlen; Stand 18.03.2014).

#### 3.4.2 Recycling

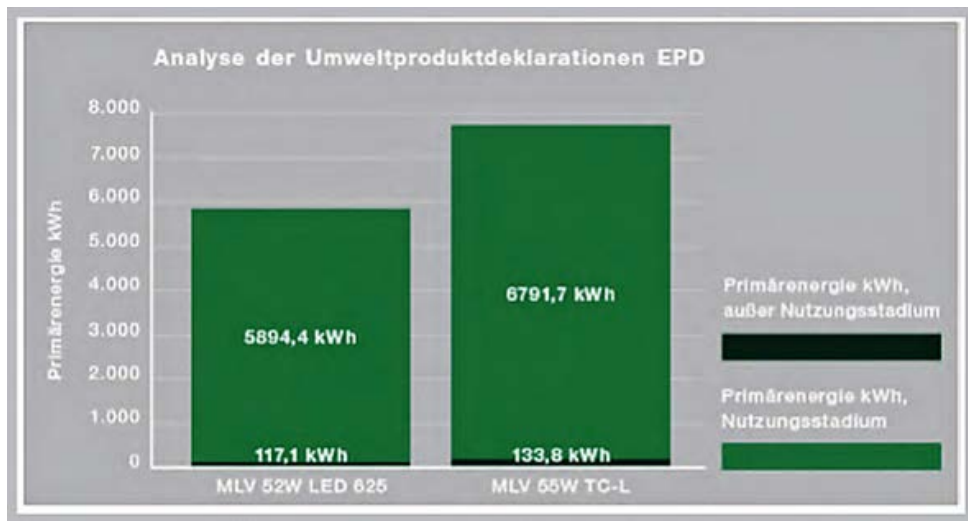
Auf Grund der erst kurzen Präsenz der LED-Technologie sind die Erfahrungen für Recycling oder Verwertungsmöglichkeiten speziell für die LED-Chips noch nicht entsprechend fortgeschritten. Ein spezielles Recyclingverfahren für LEDs ist noch nicht bekannt. Wirtschaftlich problematisch ist der geringe Anteil an seltenen Erden die ein LED-Chip enthält. Der wirtschaftliche Gegenwert von dem Bestandteil Gallium sind ca. 0,03ct. Der Anteil von Indium soll noch geringer sein. Die sich im Markt befindlichen Stoffe wie Indium, Gallium (50%) und Germanium stammen zwar

---

<sup>58</sup> <http://umweltinstitut.org/fragen--antworten/energie/rohstoffe/led-938.html>

aus Recycling der aber zum größten Teil bei der Produktion von anderen Produkten abfällt. Chemikalien kommen bei der Wiederverwendung zur Verwendung. LEDs fallen unter die Richtlinie 2002/ 96/EG und müssen demnach dem Recyclingsystem zu geführt werden. Der Bericht Paper 14.4 des Wuppertaler Institutes für Klima, Umwelt, Energie nimmt an, dass die seltenen Metalle nicht rückgewonnen werden. LEDs werden demnach einer sicheren Endlagerung zu geführt. In Ländern in den weder eine kontrollierte Rücknahme noch eine Verbrennung möglich ist, kann die Freisetzung von Gallium und Arsen, auf Grund hoher Mengen auf Deponien, ein Problem darstellen (Thema, et al., 2010). Die Studie weist weites darauf hin, dass die großen Kühlkörper aus Aluminium, die im Recyclingprozess eine hohe Menge an Energie benötigen, ein Recyclingproblem darstellen könnten. Die Nachfrage bei der Fa. ERCO ergab, dass die LED-Module in Ihren Leuchten ausgetauscht werden können. Ein Austausch könne aber aus Gewährleistungsgründen in Bezug auf das Thermomanagement aber nur im Werk durchgeführt werden. Die Kosten für den Austausch des LED-Moduls konnten nicht beziffert werden. Es ist aber ein Schritt zur Ressourcenschonung.

Ein Bericht der Redaktion Lichtzeichen, der Lightcycle Retourlogistik und Service GmbH, stellt u.a. dar, dass die verwendeten Ressourcen beim Einsatz der Glühlampe, wegen der Entsorgung über den „normalen Hausmüll“, verloren gingen. Die damals verlorenen Bestandteile wie Glas und Metall können nun dem Recyclingprozess zu geführt werden. Das Unternehmen gibt auch an, dass die Bestandteile von LED - oder Kompaktleuchtstofflampen bis zu 90 % recycelt werden (Redaktionsbüro LICHTZEICHEN, März 2014). Eine Aussage bzgl. des LED-Chips wird hier nicht getätigt.



**Abbildung 39** Darstellung des Primärenergieeinsatzes LED vs. KLL über der Lebenszyklus

„Als Primärenergie bezeichnet man in der Energiewirtschaft die Energie, die mit den natürlich vorkommenden Energieformen oder Energiequellen zur Verfügung steht, etwas als Kohle, Gas oder Wind“ (Artner, 2013).

Von der Zumtobel-Gruppe werden seit einiger Zeit EPD-Datenblätter produktspezifisch durch unabhängige Institutionen erstellt. Diese Datenblätter beinhalten Informationen über die Umweltbeeinflussung auf den Lebenszyklus des Produktes. Dadurch sollen sich die verschiedenen Produkte direkt vergleichen lassen (Artner, 2013).

## 4 Schlussfolgerung

Die Effektivität des Einsatzes der LED-Technologie in Gebäuden hängt von mehreren Parametern ab. Die Hauptkriterien für das Facility Management, die LED-Technologie sinnvoll zum Einsatz zu bringen, ist bei den meisten Verwendungszwecken, der geringere Energieverbrauch, der geringerer Wartungs-, und Instandhaltungsaufwand. Die Fallstudie hat gezeigt, dass keine generalisierte seriöse positive oder negative Aussage, betreffend des effektiven und wirtschaftlichen Einsatzes von LED-Leuchten, getätigt werden kann. Es ist letztendlich von Einsatzort zu Einsatzort verschieden. Dies wird ebenfalls durch einen Artikel, der auf Grund von Aussagen führender Industrievertreter, veröffentlicht wurde, bestätigt (Artner, 2013). Die in der Fallstudie betrachtete konventionelle Technologie hat die gleiche Existenzberechtigung wie die LED-Technologie gemäß dem derzeitigen Stand der Technik. Die LED wird aber, wie in der Vergangenheit, leistungsstärker und in der Anschaffung günstiger, was den Einsatz weiter vorantreiben wird. In Bezug auf die Fallstudie, wäre ein gesamtheitlicher Wechsel zur LED-Technologie, für die betrachteten Bereiche auf Grund der verhältnismäßig langen Amortisationszeit, nur dann in Erwägung zu ziehen, wenn grundsätzlich das Erscheinungsbild des Deckenbildes und die Lichtqualität der beschriebenen Bereiche verbessert werden soll. Zur weiteren Optimierung sollte eine Lichtsteuerungssoftware zur Steigerung der Effizienz installiert werden. Als Mindestmaßnahme wäre ein Austausch der bestehenden Vorschaltgeräte gegen Dali-fähige EVGs notwendig. Einem gesamten Austausch der bestehenden Leuchten gegen Dali-fähige LED-Leuchten sollte aber einem bloßen Wechsels der Vorschaltgeräte, der Vorzug gegeben werden. Ein wirtschaftlicher Vergleich mit der bestehen Anlage ist in diesem Fall nicht mehr direkt herzustellen, da sich die Betriebszeiten und Lichtszenen der gesamten Anlage verändern. Die Fallstudie zeigte desweiteren auf, dass ein Technologiewechsel aus rein wirtschaftlichen Aspekten, wenn überhaupt bei bestehenden Anlagen, nur im größeren Umfang oder im Rahmen von Komplettsanierungen durchgeführt werden sollte. Bei der Planung muss sich der Projektant jedoch genau mit den Gegebenheiten, die vor Ort herrschen oder zukünftig herrschenden sollen, auseinandersetzen um die bestmögliche Amortisationszeit, bei den höheren Investitionskosten, schnellst möglich zu erreichen. Das größte Einsparpotential über die Zeit ist der geringere Stromverbrauch und ein geringerer Wartungsaufwand, wenn von einem sauberen

Einsatzort ausgegangen wird. Die LED kann ggf. über die vom Hersteller prognostizierte 50.000 stündige Nutzungsdauer, auf Grund ihrer geringeren Ausfallrate, hinaus betrieben werden, solange die gewünschte oder geforderte Mindestbeleuchtungsstärke nicht unterschritten ist. Dies erhöht entsprechend die Rentabilität.

Die Schlussfolgerung aus dem elektrotechnischen Abschnitt dieser Arbeit ist, dass nicht nur auf lichttechnische Parameter der Leuchte geachtet werden muss, sondern auch auf die Qualität des EVGs, das die Leuchte zum Betrieb benötigt. Dies spielt für die Netzqualität und die elektrotechnische Sicherheit des Gebäudes eine wichtige Rolle. Vor allem ist der Power Faktor,  $\lambda$ , der unbedingt zu berücksichtigende Parameter.

Bei der Betrachtung der direkten gesundheitlichen Aspekte in Bezug auf den Menschen ist die LED der Kompaktleuchtstofflampe vorzuziehen. Die LED enthält wie die Kompaktleuchtstofflampe zwar auch schädliche Substanzen diese haben aber beim Endverbraucher keinen direkten Einfluss auf seine Gesundheit, wie das eventuell entweichende Quecksilber, beim Zerschlagen der Kompakt-, und Stableuchtstofflampen.

## 4.1 Zukunftsaussichten

### 4.1.1 LED

Die LED wird ihren Einfluss in die Nutzung bei Beleuchtungsanlagen weiter ausbauen. Ihre Lichtausbeute wird bis 2018 bis zu 160 – 180 lm / Watt betragen, so die Aussage von Roland Heinz (Philips Akademie) im Rahmen eines LTG Kongresses. Wie bei jeder neuen Technologie gibt es auch bei der LED Schattenseiten (Artner, 2013). Die LED wird durch ihre Vielfalt an Einsatzmöglichkeiten; z.B. wegen Ihrer hohen Farbdiversität, auch in anderen Einsatzgebieten wie dem „Human Centric Lighting“ zukünftig eine wichtige Rolle spielen. Human Centric Lighting wird u.a. bei Beleuchtungsanlagen von Büro-, Bildung-, Groß -, und Einzelhandels-, in Wohnbereichen inkl. Altenpflege, Industrie- sowie in Gesundheitsbereichen verstärkt zum Einsatz kommen (Kearney, Juni 2013) (Fördergemeinschaft Gutes Licht, 2010).

### 4.1.2 OLED

Die *organische LED* wird in Zukunft eine Alternative zur LED auch im Einsatz bei der Allgemeinbeleuchtung sein. OLED-Panels lassen sich nicht nur in Glühlampenform produzieren wie die TU Braunschweig gemeinsam mit dem Unternehmen EmdeOLED GmbH bereits durch einen Prototypen bewies. Mit der OLED stehen noch vielfältigere Beleuchtungsvarianten zur Verfügung als mit der LED.



**Abbildung 40** OLED-Glühlampe links und konventionelle Glühlampe rechts<sup>59</sup>

---

<sup>59</sup> <http://www.braunschweiger-zeitung.de/nachrichten/Deutschland/skandal-um-oeko-gluehbirne-id977600.html> (Zugriff: 15.03.2014)

Die OLED wird die Alternative für flächige Lichtlösungen werden. Mit ihr werden Glasflächen, Tapeten, Wände, zu Bildschirmen. Aber nicht nur der immobile Einsatz steht dann zur Verfügung. Für den mobilen Einsatz lassen sich OLED Panels zusammenrollen und sind dadurch leicht zu transportieren. Durch ihre extrem flache Bauweise von z.Zt. 1,8 mm ist die OLED sehr leicht. Ihre hohe Farbwiedergabe, blendfreies Licht und die Gleichmäßigkeit sind ein weiterer Vorteil. Wie die LED bringt sie sofort nach dem Einschalten ihre volle Leistung und kann, wie die LED, leicht über die Stromaufnahme in ihrer Helligkeit geregelt werden. Durch ihre kaum spürbare Erwärmung können sie keine Verbrennungen und Brände verursachen. Einer der wichtigsten Vorteile ist die Umweltverträglichkeit von OLEDs. Sie enthalten keine Schadstoffe wie Quecksilber oder seltene Erden. Sie können dem Recyclingprozess zu geführt werden. Auf dem momentanen Stand der Technik werden sie in z.B. Mobiltelefonen, Displays oder Monitoren eingesetzt. Informationen von der Japan Lighting 2014 berichten von OLED-Leistung von 70 lm / W mit 3.000 cd / m<sup>2</sup> die von Osram entwickelt wurden. Dieses Panel wird noch im Jahr 2014 auf den Markt kommen. Bei Osram will man 110 lm / W im Jahr 2016 realisiert, 2018 sollte man 125 lm / W erreicht haben. Mit dieser Leistung würde man der LED-Beleuchtungstechnologie gleichwertig sein so die Aussagen der OLED Association.<sup>60 + 61</sup>

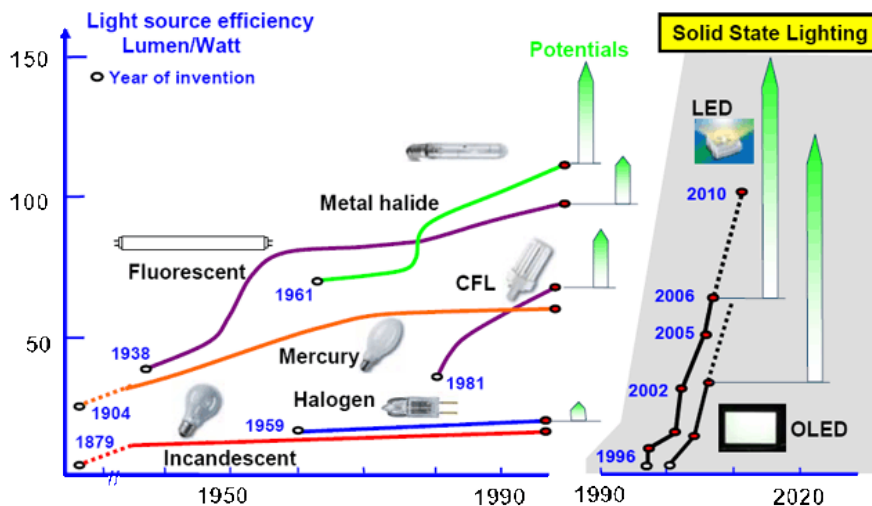


Abbildung 41 Effizienz verschiedener Lampentypen<sup>62</sup>Förderungen

<sup>60</sup> <http://www.oled.at/category/philips/>

<sup>61</sup> [http://www.youtube.com/watch?feature=player\\_embedded&v=tr\\_WMg0ldo&list=UUZv133zMVxUaidd\\_HLJkKbA](http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=tr_WMg0ldo&list=UUZv133zMVxUaidd_HLJkKbA)

<sup>62</sup> [www.aktuelle-wochenschau.de](http://www.aktuelle-wochenschau.de) (Osram OS, Regensburg)

### 4.1.3 Förderungen

Umstellungen auf LED Beleuchtungsanlagen werden in Österreich durch das *Lebensministerium* gefördert. Abgewickelt werden die Förderung über die Kommunal Kredit Public Consulting. Die KPC prüft auch, ob zusätzliche Förderungen einzelner Bundesländer in Anspruch genommen werden können. Die Förderung hängt vom Anschlusswert der LED-Anlage ab. Der Anschlusswert der neuen LED-Beleuchtung muss mindesten 500W betragen. Darüber hinaus gibt sich ein Maximalbetrag beträgt € 600,00 / kW LED Leistung. Der Förderungsbetrag ist jedoch auf maximal 30% der förderungsfähigen Kosten begrenzt. Desweiteren können € 100,00 / kW als Zuschlagsmöglichkeit für die Installation einer Lichtsteuerung in Anspruch genommen werden. Für eine externe Energieberatung von mindestens 8 Stunden können nochmals € 300,00 geltend gemacht werden. Für Gebäude in denen ein sehr guter thermischer Standard umgesetzt wird, können ebenfalls Zuschlagsmöglichkeiten zum Tragen kommen<sup>63</sup>. Keine Förderung gibt es für den Tausch gegen Retrofit Leuchtmitteln, Werbebeleuchtungen und Außenbeleuchtungen an Gebäuden. *„Einreichen können alle Betriebe, sonstige unternehmerisch tätigen Organisationen sowie Vereine und konfessionelle Einrichtungen (Kommunalkredit Public Consulting, Januar.2014)*

---

<sup>63</sup> [www.umweltfoerderung.at/energiesparen](http://www.umweltfoerderung.at/energiesparen)

## Kurzfassung

Zu Beginn der Arbeit werden vorerst Grundbegriffe der Lichttechnik aber auch neue Begriffe und deren Problematiken, die durch die LED –Technik entstanden sind, beschrieben. Bei der Betrachtung der Einflüsse auf den Menschen werden physiologische und arbeitsplatztechnische Auswirkungen behandelt. Es zeigt sich, dass die LED wegen ihrer Energieeffizienz, Wartungsfreundlichkeit und farblichen Vielfalt, neue Einsatzgebiete nicht nur in der Beleuchtungstechnik, sondern auch im Human Centric Lighting erfahren wird. Mit dieser Art der Beleuchtung lassen sich spezielle Räume in Gebäuden aber vor allem Arbeitsplätze für das menschliche Empfinden optimal beleuchten. Im Rahmen einer Fallstudie wird der wirtschaftliche Aspekt, sich im Facility Management für oder gegen die Installation einer LED-Beleuchtung zu entscheiden, an Hand verschiedener Beleuchtungssituationen untersucht. Die in der Fallstudie untersuchten Bereiche unterscheiden sich sehr durch verschiedene Betriebszeiten, unterschiedliche Wartungsintervalle und Wartungskosten. Die einzelnen Break-Even-Betrachtungen und eine gesamtheitliche Rentabilitätsbetrachtung, über 10 und 20 Jahre, werden dargestellt. Das praktische Beispiel stellt die Effektivität und die geringe Wartungsintensität der LED der Art in Frage, dass sich die LED nicht nur im Vergleich zwischen zwei Neuanlagen, sondern als reine Austauschvariante, behaupten muss. Es wird darauf aufmerksam gemacht, dass viele Aspekte zu einer rentablen und effizienten Beleuchtungsanlage notwendig sind und dass die LED-Technologie, wirtschaftlich betrachtet, bei manchen Einsatzgebieten noch nicht die optimalste Lösung ist. Im Rahmen der Fallstudie werden Erfahrungen dargestellt, die bei einem Kurzinterview mit dem Facility Manager des Unilever Gebäudes in Hamburg, mit der bestehenden LED-Beleuchtungsanlage im Bürobereich im täglichen Umgang gemacht werden. Anschließend werden im elektrotechnischen Abschnitt die Betriebsgeräte von der konventionellen und der LED-Leuchte betrachtet um die Effektivität der LED, bedingt durch einen eventuellen negativen Einfluss auf die Netzqualität, nicht zu beeinträchtigen. Hier hat sich herausgestellt, dass der sogenannte Lampda Wert (Power Factor), der auf den Vorschaltgeräten angegeben ist, für den gewerblichen Einsatz einen wichtigen Wert ausdrückt. Er spielt bei der Entstehung von Oberschwingungen die entscheidende Rolle. Im weiteren Verlauf befasst sich die Arbeit mit den Themen Entsorgung und Recycling der LED-Technologie. Abschließend werden auf interessante Zukunftsaussichten und Technologien, wie

die OLED, und auf nationale finanzielle Förderungen durch Bund und / oder Länder hingewiesen.

## Literaturverzeichnis

**Artner Franz** LED & Co Totale Erleuchtung [Artikel] // a3 B:Tec Building Technologies Solutions. - A- 2340 Mödling (A) : a3-Wirtschaftsverlag GmbH, 2013. - monatlich. - Juni 2013.

**Cree, Inc.4600 Silicon Drive Durham, NC 27703 USA**  
<http://www.cree.com/~media/Files/Cree/LED%20Components%20and%20Modules/XLamp/Data%20and%20Binning/XLampMKR.pdf>. [Online]. - 2012-2013.

**DALI Activity Group** DALI. Genial einfach. Einfach genial [Bericht]. - Frankfurt am Main : ZVEI Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronik Industrie e.V., November 2013.

**Elektrotechnikgesetz** Elektrotechnikgesetz [Online]. - Bundesministerium des Inneren, 1992. - 23. Februar 2014. - <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=bundesnormen&gesetzesnummer=10012241>.

**Fördergemeinschaft Gutes Licht** LED.wissen 17 LED: Licht der Zukunft [Bericht]. - Frankfurt am Main : Licht.de, 2010. - S. 21.

**Fördergemeinschaft Gutes Licht** Licht.wissen 01 [Bericht]. - Frankfurt am Main : licht.de, 2008.

**Fördergemeinschaft Gutes Licht** Licht.wissen 02 Besser lernen mit gutem Licht [Bericht]. - Frankfurt am Main : licht.de, 2012.

**Fördergemeinschaft Gutes Licht** Licht.wissen 19 Wirkung des Lichtes auf den Menschen [Bericht]. - Frankfurt am Main : licht.de, 2010.

**Fördergemeinschaft Gutes Licht** Museumsbeleuchtung [Dokument]. - Frankfurt am Main : Fördergemeinschaft Gutes Licht ; Fördergemeinschaft Gutes Licht, Dezember 2006. - Bd. Strahlung und ihr Schädigungspotenzial.

**Henning Thomas** [www.svb-henning.de/netzqualitaet/netzqualitaet.html#Oben](http://www.svb-henning.de/netzqualitaet/netzqualitaet.html#Oben) [Online]. - Sachverständiger Thomas Henning. - 24. Februar 2014. - <http://www.svb-henning.de/netzqualitaet/netzqualitaet.html#Oben>.

**Kearney A.T.** Human Centric Lighting: Going Beyond Energy Efficiency [Bericht]. - Frankfurt am Main : ZVEI, Lighting Europe, Licht.de, Juni 2013.

**Kommunalkredit Public Consulting** Der schnelle Weg zur Förderung [Bericht]. - Wien : Lebensministerium, Januar.2014.

**Licht.de** Licht für Zuhause [Online]. - rfw. kommunikation, 2014. - 18. Februar 2014. - <http://www.licht.de/de/licht-fuer-zuhause/licht-und-raum/>.

**Licht.de** Licht Knowhow [Online]. - rfw. kommunikation, 2014. - 09. März 2014. - <http://www.licht.de/de/licht-know-how/wissen-kompakt/lichtlexikon/details-lichtlexikon/wartungswert/>.

**Licht.de** Licht Knowhow [Online]. - rfw. kommunikation, 2014. - 12. Januar 2014. - <http://www.licht.de/de/licht-know-how/wissen-kompakt/lichtlexikon/details-lichtlexikon/degradation/>.

**Licht.de** Licht Knowhow [Online] // Lexikon. - rfw. kommunikation, Januar 2014. - 12. Februar 2014. - <http://www.licht.de/de/licht-know-how/wissen-kompakt/lichtlexikon/noc/1/>.

**LTG** Revolution in der Lichttechnik [Bericht]. - Wien : Lichttechnische Gesellschaft Österreich, 2012.

**Messer Wolfgang** [www.fastvoice.net](http://www.fastvoice.net) [Online]. - Wolfgang Messer, 23. Februar 2013. - 08. März 2014. - <http://fastvoice.net/2013/02/23/die-lumen-falle-wie-lichtstrom-werte-hinters-licht-fuhren/>.

**Mörk-Mörkenstein Rudolf** Folgewirkungen von Oberschwingungen im Drehstromnetz [Artikel] // Elektro Journal. - Wien : Der Wirtschaftsverlag, 2010. - monatlich. - 2010 : Bd. 10. - S. 24 - 26.

**Mörx Alfred** Charakterisierung von Oberschwingungen [Artikel] // Elektro Journal. - Wien : der Wirtschaftsverlag, 2010. - Monatlich. - 2010 : Bd. 5. - S. 26-28.

**Mörx Alfred** [www.wko.at](http://www.wko.at) [Online]. - WIFI Unternehmensservice der Wirtschaftskammer Österreich, November 2012. - 349. - 12. Februar 2014. - [https://www.wko.at/Content.Node/Service/Bildung-und-Lehre/Weiterbildung/Weiterbildung/LED\\_Leuchten\\_17\\_12\\_2012.pdf](https://www.wko.at/Content.Node/Service/Bildung-und-Lehre/Weiterbildung/Weiterbildung/LED_Leuchten_17_12_2012.pdf).

**Posch Thomas [et al.]** Das Ende der Nacht: Lichtsmog: Gefahren - Perspektiven - Lösungen [Buch]. - Weinheim (D) : Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, 2013. - Bd. 2. Auflage.

**Redaktionsbüro LICHTZEICHEN** LED- und Energiesparlampen reduzieren den Müllberg [Bericht]. - München : Lightcycle Retourlogistik und Service GmbH, März 2014.

**Sengmüller Ulrike und Haindl Uta** BauWerk\_10 Behnisch Architekten Stuttgart Unilever-Haus Hamburg [Bericht]. - München : DBZ+BAU Colleg, 2011.

**Staska Martin** Grundlagen der Netzqualität [Bericht]. - Brunn am Gebirge : Fluke Messgeräte, 2012.

**Thema Johannes, Wohlauf Gerhard und Wittmer Domonic** Umwelt- und Ressourcenaspekte einer verstärkten Nutzung von Leuchtdioden (LED)

[Kurzexpertise]. - Wuppertal : Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, 2010. - Bd. 14.4.

**Thiemann Nikolaus** Grundlagen der Lichttechnik und Wahrnehmung [Konferenz] // Ausbildungsunterlagen zum Lichttechniker Innenraumbeleuchtung. - Wien : Austrian Standards, November 2013.

**Tralau Bithe** Bewertung von Lichtqualität mit dem "ELI"- Umsetzung des Bewertungsverfahrens und empirische Untersuchung seiner Anwendung [Bericht]. - Dornbirn /A) : Zumtobel, 2007.

**Udovicic L. [et al.]** Photobiologische Sicherheit von Licht emittierenden Dioden (LED) [Bericht]. - Dortmund : Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2013.

**Vees G. [et al.]** Gesundheitsrisiken durch neuartige Hochleistungs-Leuchtdioden (LED) [Bericht]. - Wien\_Seibersdorf : Allgemeine Unfallversicherung, 2010.

**Volgger Michael** Lichtmikroskopie online - Theorie und Anwendung [Online]. - Core Facility Cell Imaging und Ultrastrukturforschung der Universität Wien, 29. Februar 2008. - 08. März 2014. - <http://www.univie.ac.at/mikroskopie>.

**Weindl Christoph [et al.]** Technologieleitfaden Beleuchtung [Buch] / Hrsg. MA 27 EU-Strategie und Wirtschaftsentwicklung. - Wien : MA 27, EU-Strategie und Wirtschaftsentwicklung, Juni 2007. - Bd. Technologieleitfaden Beleuchtung.

**Wickleder Claudia** Energieeinsparung durch neue Entwicklungen in der Beleuchtungstechnik / Hrsg. Society Gesellschaft Deutscher Chemiker e.V. (GDCh) / German Chemical. - Frankfurt : [s.n.], 16. 01 2010.

**Xal GmbH** [www.xal.com](http://www.xal.com) [Online]. - Xal GmbH, April 2013. - 09. März 2014. - <http://www.xal.com/58>.

**Zsohar Peter** ES werde LED [Dokument]. - Villingen-Schwenningen : energy 2.0 ; energy 2.0, 2013. - Bd. Februar 2013.

**ZUMTOBEL LIGHTING GmbH** ecoCALC [Software]. - A-6850 Dornbirn) : ZUMtobel lighting GmbH, August 2013. - Bd. Version 3.04.

**ZVEI Fachverband Licht** // Biologisch wirksame Beleuchtung: Viel mehr als Energieeffizienz. - Frankfurt am Main : ZVEI Zentralverband der Elektrotechnik und Elektronik Industrie e.V., 2013. - Bd. Übersetzung.

**ZVEI Fachverband Licht** // Planungssicherheit in der LED-Beleuchtung. - Frankfurt am Main : ZVEI Zentralverband der Elektroindustrie und Elektronikindustrie e.V., November 2013. - Bd. Leitfaden.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Klassifizierungsdarstellung des ANSI- und SDCM Verfahrens Quelle: Xal Report 24	6
Abbildung 2	Detaildarstellung der Farbkategorisierung durch Mac Adam Ellipse	6
Abbildung 3	Vergleichstabelle Lumen Watt; Glühlampe vs. LED	8
Abbildung 4	Fehlerdarstellung Neuzustand, Degradation und Totalausfall	11
Abbildung 5	Prinzip der Lumineszenzkonversion mittels Phosphorschicht	13
Abbildung 6	Beispiel einer High Power LED in SMD-Bauform; Einsatzgebiet einer SMD-LED; LED Strip (rechts)	16
Abbildung 7	Schematischer Aufbau einer COB – LED	17
Abbildung 8	Darstellung einer tageslichtgesteuerte Leuchte	18
Abbildung 9	Planausschnitt Teil 1 des allgemeinen Beleuchtungsbereiches 1.OG	25
Abbildung 10	Planausschnitt Teil 2 des allgemeinen Beleuchtungsbereiches 1.OG	26
Abbildung 11	Planausschnitt Teil 3 des allgemeinen Beleuchtungsbereiches 2.OG	27
Abbildung 12	Darstellung der Lichtschädigungsfaktors von Lichtquellen	47
Abbildung 13	Grafische Darstellung des Leistungsfaktors $\cos \varphi$ ; DPF (links) und des Gesamtleistungsfaktors $\text{Lampda}$ inkl. Oberschwingungsblindleistung (Q OS) (Staska, 2012)	56
Abbildung 14	Stromverlauf der Glühbirne 60W; $I_{\max}= 313,3\text{mA}$ (blaue Kurve)	58
Abbildung 15	Spannungsverlauf bei der Glühbirne 60W; $U_{\max}=315,27\text{V}$ (blaue Kurve)	58
Abbildung 16	Darstellung der Oberwellenanteile der Glühlampe 60W als Balken Diagramm (links, mittig) und tabellarischer Form (rechts)	58
Abbildung 17	Darstellung der Phasenverschiebungswinkel $\cos\varphi$ und PF (links) zur Grundschwingung bei der Glühbirne 60W (rechts)	59
Abbildung 18	Stromverlauf im Außen- und Neutralleiter bei der 11W Energiesparlampe (blaue Kurve; Current A/ L1). Um beide Kurven erkennen zu können wurde für die Stromkurve im Neutralleiter ein größerer Maßstab gewählt (rote Kurve; Current N).	60
Abbildung 19	Spannungsverlauf bei der 11W Energiesparlampe	60
Abbildung 20	Darstellung der Oberwellenanteile als Balken Diagramm (links, mittig) und tabellarischer Form der 11W Energiesparlampe	61
Abbildung 21	Darstellung u.a. der Phasenverschiebungswinkel $\cos\varphi$ und PF (links); Foto Proband 01 (rechts)	61
Abbildung 22	Graphische Darstellung Stromverlauf der LED Leuchte ERCO (blaue Kurve); Um beide Kurven erkennen zu können wurde für die Stromkurve im Neutralleiter ein größerer Maßstab gewählt (rote Kurve; Current N).	62
Abbildung 23	Spannungsverlauf bei der LED Leuchte ERCO (blaue Kurve)	63
Abbildung 24	Darstellung der Oberwellenanteile als Balken Diagramm (links, mittig) und tabellarischer Form (rechts) der ERCO LED Leuchte	63

Abbildung 25	Darstellung u.a. der Leistungsfaktoren $\cos\varphi$ und PF des Probandens 03 (links) Proband 03 (rechts)	63
Abbildung 26	Graphische Darstellung des Stromverlaufes Kompaktleuchtstofflampe Reggiani (blaue Kurve); Um beide Kurven erkennen zu können wurde für die Stromkurve im Neutralleiter ein größerer Maßstab gewählt (rote Kurve; Current N).	64
Abbildung 27	Graphische Darstellung des Spannungsverlaufes der Kompaktleuchtstofflampe	65
Abbildung 28	Darstellung der Oberwellenanteile als Balken Diagramm (links, mittig) und tabellarischer Form (rechts) der Kompaktleuchtstofflampe mit elektronischem Vorschaltgerät.	65
Abbildung 29	Darstellung u.a. der Leistungsfaktoren $\cos\varphi$ und PF des Probandens 04 (links) Probanden 04 (rechts)	65
Abbildung 30	Graphische Darstellung des Stromverlaufes des LED-Downlight LEDVANCE (blaue Kurve)	66
Abbildung 31	Graphische Darstellung des Spannungsverlaufes des LED-Downlight LEDVANCE (blaue Kurve)	66
Abbildung 32	Darstellung der Oberwellenanteile der LED Leuchte LEDvance Osram als Balken Diagramm (links, mittig) und tabellarischer Form (rechts).	66
Abbildung 33	Darstellung u.a. der Leistungsfaktoren $\cos\varphi$ und PF (links) Proband 05 OSRAM LEDVANCE XL (rechts)	67
Abbildung 34	Graphische Darstellung des Stromverlaufes des HIT-Leuchtmittels mit EVG (blaue Kurve)	67
Abbildung 35	Graphische Darstellung des Spannungsverlaufes der Halogen-Metaldampf-Lampe (blaue Kurve)	68
Abbildung 36	Darstellung der Oberwellenanteile im Außen- und Neutralleiter als Balken Diagramm (links, mittig) und tabellarischer Form (rechts) der Halogen-Metaldampf-Lampe 35 W inkl. EVG.	68
Abbildung 37	Darstellung u.a. der Leistungsfaktoren $\cos\varphi$ und PF (links); Proband 07 (rechts)	68
Abbildung 38	Auszug aus der EN50160 Maximalwerte in Bezug auf die Netzqualität der Gesamtanlage	69
Abbildung 39	Darstellung des Primärenergieeinsatzes LED vs. KLL über der Lebenszyklus	75
Abbildung 40	OLED-Glühlampe links und konventionelle Glühlampe rechts	78
Abbildung 41	Effizienz verschiedener Lampentypen Förderungen	79
Abbildung A 1	Farbspektrum verschiedener Lichtfarben, -temperaturen	90
Abbildung A 3	Lichtspektrumsbeispiele der Glühlampe <sup>26</sup>	92
Abbildung A 4	Lichtspektrumsbeispiele von Energiesparlampen <sup>26</sup>	92
Abbildung A 5	Lichtspektrumsbeispiele von LED Lampen <sup>26</sup>	92

Abbildung B 1	Datenblatt AURA Light Kompaktleuchtstofflampe _____	93
Abbildung B 2	Datenblattauszug Philips PL-T 42W _____	93
Abbildung B 3	Datenblattauszug OSRAM LED-Leuchte LEDVANCE XL 21W _____	95
Abbildung B 4	Kalkulationstabelle Rentabilität Bereich 1 (blau) Seite 1 von 2 _____	96
Abbildung B 5	Kalkulationstabelle Rentabilität Bereich 1 (blau) Seite 2 von 2 _____	96
Abbildung B 6	Kalkulationstabelle Rentabilität Bereich 2 (violett) Seite 1 von 2 _____	97
Abbildung B 7	Kalkulationstabelle Rentabilität Bereich 2 (violett) Seite 2 von 2 _____	97
Abbildung B 8	Kalkulationstabelle Rentabilität Bereich 3 (grün) Seite 1 von 2 _____	98
Abbildung B 9	Kalkulationstabelle Rentabilität Bereich 3 (grün) Seite 2 von 2 _____	98
Abbildung B 10	Kalkulationstabelle Rentabilität Bereich 3 (orange) Seite 1 von 3 _____	99
Abbildung B 11	Kalkulationstabelle Rentabilität Bereich 3 (orange) Seite 2 von 3 _____	99
Abbildung B 12	Kalkulationstabelle Rentabilität Bereich 3 (orange) Seite 3 von 3 _____	100
Abbildung B 13	Gesamtüberblick der Kosten über 20 Jahre _____	101

## Grafikverzeichnis

Grafik 1	Grafische Rentabilitätsdarstellung Bereich 1 (blau) Betriebsdauer 7 Std./ Tag _	32
Grafik 2	Grafische Rentabilitätsdarstellung Bereich 2 (violett) Betriebsdauer 3 Std./ Tag	35
Grafik 3	Grafische Rentabilitätsdarstellung Bereich 3 (grün) Betriebsdauer 21 Std./ Tag	38
Grafik 4	Grafische Rentabilitätsdarstellung Bereich 3 (orange) Betriebsdauer 22 Std./ Tag	42
Grafik 5	Grafische Darstellung des Gesamtkostenverlaufes _____	44
Grafik 6	Grafische Darstellung der Energiekosten über 10, 15 und 20 Jahre _____	45
Grafik 7	Grafische Darstellung der personellen Wartungs-, und Instandhaltungskosten _	50
Grafik 8	Grafische Darstellung des Kostenverlaufes und des Break Even Punktes über 20 Jahre _____	95
Grafik 9	Darstellung des Break Even von zwei Neuanlagen _____	102
Grafik 10	Darstellung der Energiekosten bei zwei Neuanlagen _____	102
Grafik 11	Darstellung der Wartungs-, und Instandsetzungskosten bei zwei Neuanlagen	102

## Anhang A

- Lichtbegriffe allgemein

Als Hintergrundinformationen für den Inhalt dieser Arbeit sind einige lichttechnische Begriffe auch wenn sie keine LED-spezifischen Begriffe sind in diesem Rahmen erwähnenswert und sinnvoll sie hier zusammen gefasst zur Verfügung zu haben.

### Leuchtdichte

Die Leuchtdichte (Kurzzeichen:  $L$ ; Maßeinheit [ $\text{cd}/\text{cm}^2$ ]) beschreibt das Maß für den Helligkeitseindruck, den das Auge von einer leuchtenden oder beleuchteten Fläche hat. Gemessen wird die Leuchtdichte in Candela pro Flächeneinheit ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ), bei Lampen meist in  $\text{cd}/\text{cm}^2$ . Die Leuchtdichte beschreibt die physiologische Wirkung des Lichts auf das Auge und wird in der Außenbeleuchtung als Planungsgröße verwendet.

### Lichtstärke

ist der Teil des Lichtstromes, der in eine bestimmte Richtung strahlt (Kurzzeichen:  $I$ , Maßeinheit: Candela [ $\text{cd}$ ]) Die räumliche Verteilung der Lichtstärke (Lichtstärkeverteilung) charakterisiert die Lichtausstrahlung von Leuchten und Reflektorlampen. Die Lichtstärkeverteilung wird grafisch in Form von Kurven dargestellt, den Lichtstärkeverteilungskurven (LVK) – siehe Lichtstärkeverteilung

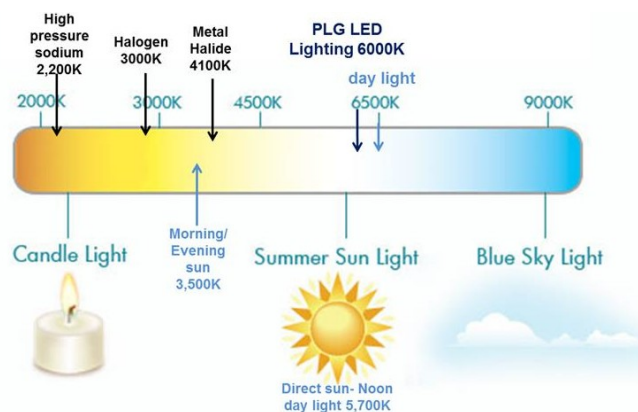
### Lichtstärkeverteilung

Die Lichtstärkeverteilung beschreibt die räumliche Verteilung der Lichtstärke. Form und Symmetrie der Lichtstärkeverteilung kennzeichnen tief- und breitstrahlende bzw. symmetrisch und asymmetrisch strahlende Leuchten oder Reflektorlampen. Zur Darstellung dient die Lichtstärkeverteilungskurve (LVK): Sie entsteht, wenn die in Polarkoordinaten dargestellten Lichtstärken einer Leuchte oder Reflektorlampe in ihren verschiedenen Ausstrahlungsrichtungen miteinander zu einem Kurvenzug verbunden werden.

### Farbtemperatur / Lichtfarbe

Die Lichtfarbe einer Lampe wird beschrieben durch die Farbtemperatur in Kelvin [K]. Die gebräuchlichen Lampen haben Farbtemperaturen in den Größenordnungen von unter 3.300 Kelvin (Warmweiß), 3.300 bis 5.300 Kelvin (Neutralweiß) bis über 5.300 Kelvin (Tageslichtweiß). Die Farbtemperatur der Farbcodierung einer Lichtquelle

wird durch den Vergleich des Farbverlaufes beim langsamen Erhitzen eines „Schwarzen Strahlers“ bestimmt. Ein schwarzer Strahler ist ein aus z.B. Platin idealisierter Körper, der alles Licht schluckt, das auf ihn fällt, sodass seine Reflexionsstrahlung gleich Null ist. Erhitzt man den Körper langsam, strahlt er Licht des gesamten Lichtspektrums mit ansteigender Temperatur ab. Beginnend bei dunkelrot, rot, orange, gelb, weiß bis hellblau. Die jeweilige Lichtfarbe entspricht also einer Temperatur des Strahlers und wird in Kelvin angegeben. Dieser Wert in Kelvin entspricht der entsprechenden Lichtfarbe, die auf dem Leuchtmittel angegeben ist. Die Lichtfarbe beschreibt das „farbliche Aussehen“ des Lichts einer Lichtquelle. Die am häufigsten verwendeten Lichtfarben sind Warmweiß (ww) < 3.300 K; ein Neutralweiß (nw) 3.300 K bis 5.300 K, wobei hier meist die Lichtfarbe/Temperatur 4.000 K zum Einsatz kommt, und Tageslichtweiß (tw) > 5.300 K. Das Licht von Lampen gleicher Lichtfarbe kann unterschiedliche Farbwiedergabeeigenschaften haben. Für die Farbwiedergabe wird der  $R_a$ - bzw. CRI-Wert angegeben (siehe unten Farbwiedergabe). Die Lichtfarben beeinflussen die Raumatmosphäre: Warmweißes Licht wird vorwiegend als gemütlich und behaglich empfunden, neutralweißes Licht eher als sachlich. Tageslichtweißes Licht in Innenräumen wirkt bei Beleuchtungsstärken unter 1.000 Lux fahl und langweilig. Diese Bewertung der Lichtstimmung entspricht dem Empfinden in Mitteleuropa. Südeuropäer bevorzugen zum Beispiel tageslichtweißes Licht.



**Abbildung A 1** Farbspektrum verschiedener Lichtfarben, -temperaturen<sup>65</sup>

<sup>65</sup> Quelle: <http://www.solarlightaustralia.com.au/2013/04/14/colour-temperature-and-colour-rendering-index/>

## Beleuchtungsstärke

Die Beleuchtungsstärke (Kurzzeichen: E, Maßeinheit: Lux [lx]) beschreibt allerdings nicht präzise den Helligkeitseindruck eines Raumes, da dieser wesentlich von den Reflexionseigenschaften der Raumflächen abhängt. So erscheint ein weißer Raum bei gleicher Beleuchtungsstärke heller als ein dunkler Raum. Siehe auch: halbzylindrische Beleuchtungsstärke. Weil die Lichtverteilung einer normalen Beleuchtung nicht absolut gleichmäßig ist, geben Normen in der Regel die mittlere Beleuchtungsstärke an. Sie berücksichtigt die Ungleichmäßigkeiten rechnerisch: Die mittlere Beleuchtungsstärke ist das gewichtete arithmetische Mittel aller Beleuchtungsstärken im Raum.<sup>66</sup>

## Lux

Die Beleuchtungsstärke wird in Lux [lx] gemessen. Sie gibt an, wie viel Lichtstrom – auf eine bestimmte Fläche fällt. Zum Messen der Beleuchtungsstärke wird ein Luxmeter verwendet. Die Beleuchtungsstärke beträgt 1Lux wenn der Lichtstrom von einem Lumen einen Quadratmeter Fläche gleichmäßig ausleuchtet. Zum Beispiel hat eine normale Kerzenflamme im Abstand von einem Meter ungefähr eine Beleuchtungsstärke von einem Lux. In einem Büro sind beispielsweise zum Arbeiten am Schreibtisch mindestens 500 Lux Beleuchtungsstärke vorgeschrieben.

## Farbwiedergabe

Die Farbwiedergabe, (Kurzzeichen:  $R_a = (CRI)$ ), einer Lampe kennzeichnet die farbliche Wirkung, die ihr Licht auf farbigen Gegenständen oder Personen hervorruft. Sie wird mit dem allgemeinen Farbwiedergabe-Index  $R_a$  bewertet. Er gibt an, wie natürlich Farben im Licht einer Lampe wiedergegeben werden. Der Farbwiedergabe-Index ist von acht häufig vorkommenden Testfarben abgeleitet.  $R_a = 100$  steht für den besten Wert; je niedriger der Index, umso schlechter sind die Farbwiedergabeeigenschaften. Lampen mit einem  $R_a$ -Index kleiner als 80 sollten in Innenräumen, in denen Menschen für längere Zeit arbeiten oder sich aufhalten, nicht verwendet werden. Der Farbwiedergabeindex wird bei Lampen meist zusammen mit der Lichtfarbe angegeben (840, 830, 942, 930, etc.). Die 1.Ziffer acht/ neuen gibt den Farbwiedergabeindex  $\geq 80$  bzw. 90 an. Die 2. und 3. Ziffer die Farbtemperatur. Die Angabe „40“ entspricht einer Farbtemperatur 4000K; die Angabe 30 entspricht 3000K und 42 entspricht 4200K.

---

<sup>66</sup> (Licht.de, 2014)

## Lichtspektrumsbeispiele von verschiedenen Lichtquellen:

### Natürliche Lichtquellen

Ri = Richtung, O, SW, W, S = Himmelsrichtungen

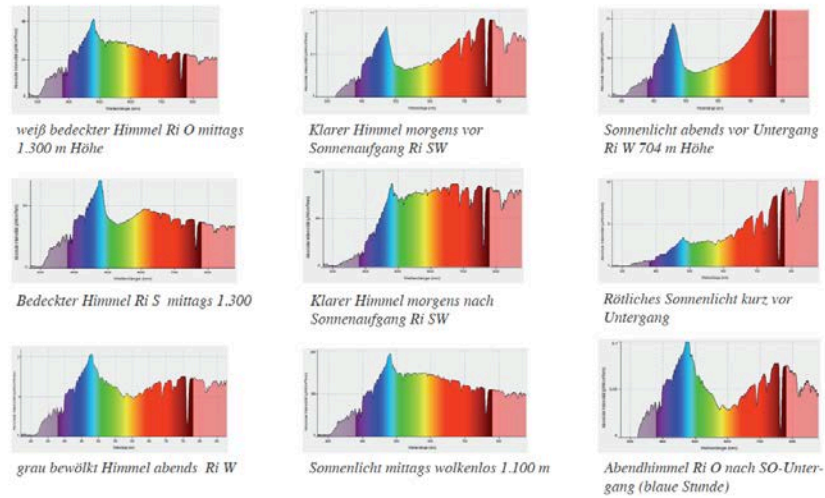


Abbildung A 2 Lichtspektrumsbeispiele natürlicher Lichtquellen<sup>67</sup>

### Glühlampen

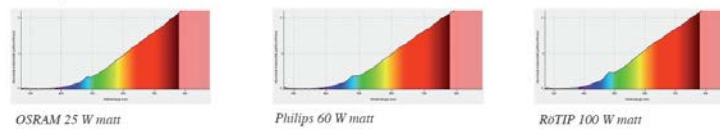


Abbildung A 3 Lichtspektrumsbeispiele der Glühlampe<sup>26</sup>

### Energiesparlampen

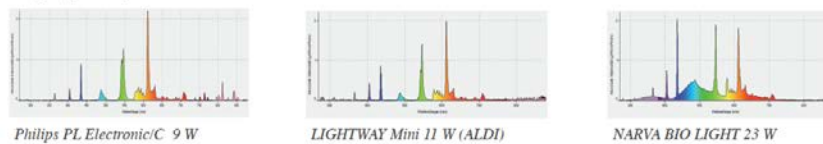


Abbildung A 4 Lichtspektrumsbeispiele von Energiesparlampen<sup>26</sup>

### LED-Lampen

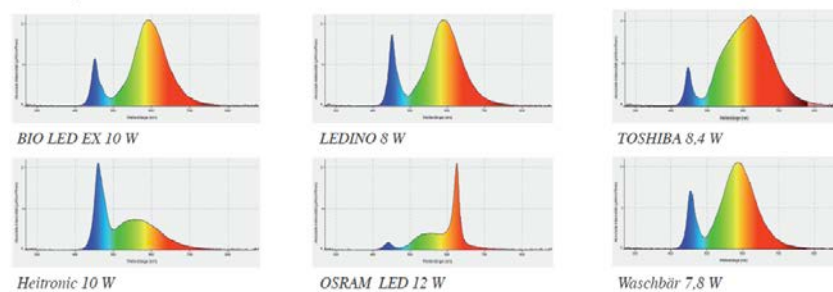


Abbildung A 5 Lichtspektrumsbeispiele von LED Lampen<sup>26</sup>

<sup>67</sup> <http://www.baubiologie.de/downloads/wug/farbspektren.pdf>

# Anhang B

Aura Unique S/E-D/E-T/E Long Life | Technische Daten

LEBENSDAUER	SCHALZENUMMER	EVG (NACHTRAG)	UNIQUE S/E-D/E-T/E
12 986 h*	27x120 (S/E) 27x120 (D/E) 27x120 (T/E)	UNIQUE S/E-D/E-T/E	27x120 (S/E) 27x120 (D/E) 27x120 (T/E)
3 986 h**	27x120 (S/E) 27x120 (D/E) 27x120 (T/E)	UNIQUE S/E-D/E-T/E	27x120 (S/E) 27x120 (D/E) 27x120 (T/E)

ARTIKEL-NR.	TYP	FAHRE	ABMR. (mm)	LEUCHTSTROM (lm)	LEUCHTSTROMDICHTE (lm/W)	Ø (mm)	LENGE (mm)	SOCKET	ENERGIEEFFIZIENZKLASSE	VPE (Stück)
Aura Unique S/E Long Life (T/C S/E)										
AF1022	27x120	Warmweiß	2700	800	29	12	120	G24	A	30
AF1023	27x120	Warmweiß	3000	800	26	12	120	G24	A	30
AF1024	27x120	Warmweiß	3500	800	23	12	120	G24	A	30
AF1025	27x120	Warmweiß	4000	800	20	12	120	G24	A	30
AF1026	27x120	Warmweiß	4500	800	18	12	120	G24	A	30
AF1027	27x120	Warmweiß	5000	800	16	12	120	G24	A	30
AF1028	27x120	Warmweiß	5500	800	14	12	120	G24	A	30
AF1029	27x120	Warmweiß	6000	800	13	12	120	G24	A	30
AF1030	27x120	Warmweiß	6500	800	12	12	120	G24	A	30
AF1031	27x120	Warmweiß	7000	800	11	12	120	G24	A	30
AF1032	27x120	Warmweiß	7500	800	10	12	120	G24	A	30
AF1033	27x120	Warmweiß	8000	800	9	12	120	G24	A	30
AF1034	27x120	Warmweiß	8500	800	8	12	120	G24	A	30
AF1035	27x120	Warmweiß	9000	800	8	12	120	G24	A	30
AF1036	27x120	Warmweiß	9500	800	8	12	120	G24	A	30
AF1037	27x120	Warmweiß	10000	800	8	12	120	G24	A	30
AF1038	27x120	Warmweiß	10500	800	8	12	120	G24	A	30
AF1039	27x120	Warmweiß	11000	800	7	12	120	G24	A	30
AF1040	27x120	Warmweiß	11500	800	7	12	120	G24	A	30
AF1041	27x120	Warmweiß	12000	800	7	12	120	G24	A	30
AF1042	27x120	Warmweiß	12500	800	6	12	120	G24	A	30
AF1043	27x120	Warmweiß	13000	800	6	12	120	G24	A	30
AF1044	27x120	Warmweiß	13500	800	6	12	120	G24	A	30
AF1045	27x120	Warmweiß	14000	800	6	12	120	G24	A	30
AF1046	27x120	Warmweiß	14500	800	5	12	120	G24	A	30
AF1047	27x120	Warmweiß	15000	800	5	12	120	G24	A	30
AF1048	27x120	Warmweiß	15500	800	5	12	120	G24	A	30
AF1049	27x120	Warmweiß	16000	800	5	12	120	G24	A	30
AF1050	27x120	Warmweiß	16500	800	5	12	120	G24	A	30
AF1051	27x120	Warmweiß	17000	800	5	12	120	G24	A	30
AF1052	27x120	Warmweiß	17500	800	4	12	120	G24	A	30
AF1053	27x120	Warmweiß	18000	800	4	12	120	G24	A	30
AF1054	27x120	Warmweiß	18500	800	4	12	120	G24	A	30
AF1055	27x120	Warmweiß	19000	800	4	12	120	G24	A	30
AF1056	27x120	Warmweiß	19500	800	4	12	120	G24	A	30
AF1057	27x120	Warmweiß	20000	800	4	12	120	G24	A	30
AF1058	27x120	Warmweiß	20500	800	4	12	120	G24	A	30
AF1059	27x120	Warmweiß	21000	800	3	12	120	G24	A	30
AF1060	27x120	Warmweiß	21500	800	3	12	120	G24	A	30
AF1061	27x120	Warmweiß	22000	800	3	12	120	G24	A	30
AF1062	27x120	Warmweiß	22500	800	3	12	120	G24	A	30
AF1063	27x120	Warmweiß	23000	800	3	12	120	G24	A	30
AF1064	27x120	Warmweiß	23500	800	3	12	120	G24	A	30
AF1065	27x120	Warmweiß	24000	800	3	12	120	G24	A	30
AF1066	27x120	Warmweiß	24500	800	3	12	120	G24	A	30
AF1067	27x120	Warmweiß	25000	800	3	12	120	G24	A	30
AF1068	27x120	Warmweiß	25500	800	3	12	120	G24	A	30
AF1069	27x120	Warmweiß	26000	800	3	12	120	G24	A	30
AF1070	27x120	Warmweiß	26500	800	3	12	120	G24	A	30
AF1071	27x120	Warmweiß	27000	800	3	12	120	G24	A	30
AF1072	27x120	Warmweiß	27500	800	3	12	120	G24	A	30
AF1073	27x120	Warmweiß	28000	800	3	12	120	G24	A	30
AF1074	27x120	Warmweiß	28500	800	3	12	120	G24	A	30
AF1075	27x120	Warmweiß	29000	800	3	12	120	G24	A	30
AF1076	27x120	Warmweiß	29500	800	3	12	120	G24	A	30
AF1077	27x120	Warmweiß	30000	800	3	12	120	G24	A	30
AF1078	27x120	Warmweiß	30500	800	3	12	120	G24	A	30
AF1079	27x120	Warmweiß	31000	800	3	12	120	G24	A	30
AF1080	27x120	Warmweiß	31500	800	3	12	120	G24	A	30
AF1081	27x120	Warmweiß	32000	800	3	12	120	G24	A	30
AF1082	27x120	Warmweiß	32500	800	3	12	120	G24	A	30
AF1083	27x120	Warmweiß	33000	800	3	12	120	G24	A	30
AF1084	27x120	Warmweiß	33500	800	3	12	120	G24	A	30
AF1085	27x120	Warmweiß	34000	800	3	12	120	G24	A	30
AF1086	27x120	Warmweiß	34500	800	3	12	120	G24	A	30
AF1087	27x120	Warmweiß	35000	800	3	12	120	G24	A	30
AF1088	27x120	Warmweiß	35500	800	3	12	120	G24	A	30
AF1089	27x120	Warmweiß	36000	800	3	12	120	G24	A	30
AF1090	27x120	Warmweiß	36500	800	3	12	120	G24	A	30
AF1091	27x120	Warmweiß	37000	800	3	12	120	G24	A	30
AF1092	27x120	Warmweiß	37500	800	3	12	120	G24	A	30
AF1093	27x120	Warmweiß	38000	800	3	12	120	G24	A	30
AF1094	27x120	Warmweiß	38500	800	3	12	120	G24	A	30
AF1095	27x120	Warmweiß	39000	800	3	12	120	G24	A	30
AF1096	27x120	Warmweiß	39500	800	3	12	120	G24	A	30
AF1097	27x120	Warmweiß	40000	800	3	12	120	G24	A	30
AF1098	27x120	Warmweiß	40500	800	3	12	120	G24	A	30
AF1099	27x120	Warmweiß	41000	800	3	12	120	G24	A	30
AF1100	27x120	Warmweiß	41500	800	3	12	120	G24	A	30
AF1101	27x120	Warmweiß	42000	800	3	12	120	G24	A	30
AF1102	27x120	Warmweiß	42500	800	3	12	120	G24	A	30
AF1103	27x120	Warmweiß	43000	800	3	12	120	G24	A	30
AF1104	27x120	Warmweiß	43500	800	3	12	120	G24	A	30
AF1105	27x120	Warmweiß	44000	800	3	12	120	G24	A	30
AF1106	27x120	Warmweiß	44500	800	3	12	120	G24	A	30
AF1107	27x120	Warmweiß	45000	800	3	12	120	G24	A	30
AF1108	27x120	Warmweiß	45500	800	3	12	120	G24	A	30
AF1109	27x120	Warmweiß	46000	800	3	12	120	G24	A	30
AF1110	27x120	Warmweiß	46500	800	3	12	120	G24	A	30
AF1111	27x120	Warmweiß	47000	800	3	12	120	G24	A	30
AF1112	27x120	Warmweiß	47500	800	3	12	120	G24	A	30
AF1113	27x120	Warmweiß	48000	800	3	12	120	G24	A	30
AF1114	27x120	Warmweiß	48500	800	3	12	120	G24	A	30
AF1115	27x120	Warmweiß	49000	800	3	12	120	G24	A	30
AF1116	27x120	Warmweiß	49500	800	3	12	120	G24	A	30
AF1117	27x120	Warmweiß	50000	800	3	12	120	G24	A	30
AF1118	27x120	Warmweiß	50500	800	3	12	120	G24	A	30
AF1119	27x120	Warmweiß	51000	800	3	12	120	G24	A	30
AF1120	27x120	Warmweiß	51500	800	3	12	120	G24	A	30
AF1121	27x120	Warmweiß	52000	800	3	12	120	G24	A	30
AF1122	27x120	Warmweiß	52500	800	3	12	120	G24	A	30
AF1123	27x120	Warmweiß	53000	800	3	12	120	G24	A	30
AF1124	27x120	Warmweiß	53500	800	3	12	120	G24	A	30
AF1125	27x120	Warmweiß	54000	800	3	12	120	G24	A	30
AF1126	27x120	Warmweiß	54500	800	3	12	120	G24	A	30
AF1127	27x120	Warmweiß	55000	800	3	12	120	G24	A	30
AF1128	27x120	Warmweiß	55500	800	3	12	120	G24	A	30
AF1129	27x120	Warmweiß	56000	800	3	12	120	G24	A	30
AF1130	27x120	Warmweiß	56500	800	3	12	120	G24	A	30
AF1131	27x120	Warmweiß	57000	800	3	12	120	G24	A	30
AF1132	27x120	Warmweiß	57500	800	3	12	120	G24	A	30
AF1133	27x120	Warmweiß	58000	800	3	12	120	G24	A	30
AF1134	27x120	Warmweiß	58500	800	3	12	120	G24	A	30
AF1135	27x120	Warmweiß	59000	800	3	12	120			

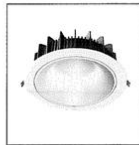
# Datenblatt OSRAM LEDVANCE 21W XL



## LEDVANCE® Downlight XL



### Technical Information



Energy efficient LED luminaire for downlight applications

#### Tender text

- Replacing CFL downlight applications → perfect and replaceable light distribution
- Respecting refurbishment requirements → covering cut outs from 199-215mm
- Sustainable and energy saving → Luminaire efficacy up to 92 lm/W
- Easy connection to mains voltage → Integrated power supply and open wire ends
- Compact size: benefits for planner and installer → only 99mm installation depth
- Contemporary ceiling integration → opal diffuser and Silco Lunis2 ring design

#### Table of contents:

Tender text.....	1
A) Technical Information.....	2
1) Housing, Mounting and Accessories .....	2
2) Electrical Installation .....	3
3) Optical features.....	3
4) Control .....	4
B) Logistic Data.....	4

## LEDVANCE® Downlight XL



### A) Technical Information

#### 1) Housing, Mounting and Accessories

LEDVANCE® Downlight XL	
Product name	LEDVANCE® Downlight XL
Body material	Thermally conductive polymer
Ring colour (RAL)	White RAL 9016 matt
Cover material	Polymer
Type of cover	Diffuser
Symmetry	Rotational symmetric
Adjustable	No
Total height h1 [mm]	81
Total diameter d1 [mm]	236
Backside depth h2 [mm]	78
Backside diameter d2 [mm]	198
Cut out diameter [mm]	Range 199-215 (std. diameter 212)
Installation depth [mm]	Min. 99 mm in the false ceiling

Drawing of Dimension:  
-/-

### LEDVANCE® Downlight XL



Mounting type	Recessed Downlight
Net weight [g]	750
Ceiling thickness [mm]	1-25
Protection class	II
Type of protection (IP code)	IP 21 accessible part, IP20 recessed part
Protection against ignition and fire	F
Approval marks	CE
Ambient temperature [C°]	25

#### Installation in concrete ceilings

LEDVANCE Downlight XL is suitable for the installation in concrete ceilings. The concrete installation housings specified below from KAISER Elektro are recommended. For further details, for example relating to slab ceilings or suspended ceilings, please contact your specialist dealer or refer to www.kaiser-elektro.de

Name	Art. No.	Qty
KompaX® 3 Housing for on-slab recessed concrete	1294-00	1
KompaX® 3 Front ring 200 mm	1055-14	1

\* slight luminous flux decline when installed in suspended ceilings

#### 2) Electrical Installation

Product name	LEDVANCE® Downlight XL
Nominal wattage typ. [W]	18
Mains voltage [V]	220/240
Mains frequency [Hz]	50/60
Type of connection	Open wires 2x 0.75mm <sup>2</sup> 600mm cable length Cable diameter: 5mm Recommended
Suitable connection	1x connection both ways using 2225/1295 2x connection using 2224-413
Through wiring	Yes (by using suitable connection)

#### 3) Optical features

Product name	LEDVANCE® Downlight XL
Light source	LED
Lifetime LED [h] @ T <sub>a</sub> : 25°C	50,000 h (L70; T <sub>a</sub> =25°C)
Light color	White
CRI	>80
Beam angle FWHM [°]	80

Technical Information LEDVANCE® Downlight XL Status as of 28/06/2013 Page 3 / 4

### LEDVANCE® Downlight XL



UGR	<22	
Color temperature [K]	3000	4000
Luminous flux typ. [lm]	1710	1740
Luminaire efficiency lm/W	90	92

#### 4) Control

Product name	LEDVANCE® Downlight XL
Ballast / Control gear	Internal electronic control gear (ECG)
Permissible sinusoidal operating voltage [V <sub>eff</sub> ]	220-240
Dimmable	No (DALI dimmable in preparation)

#### B) Logistic Data

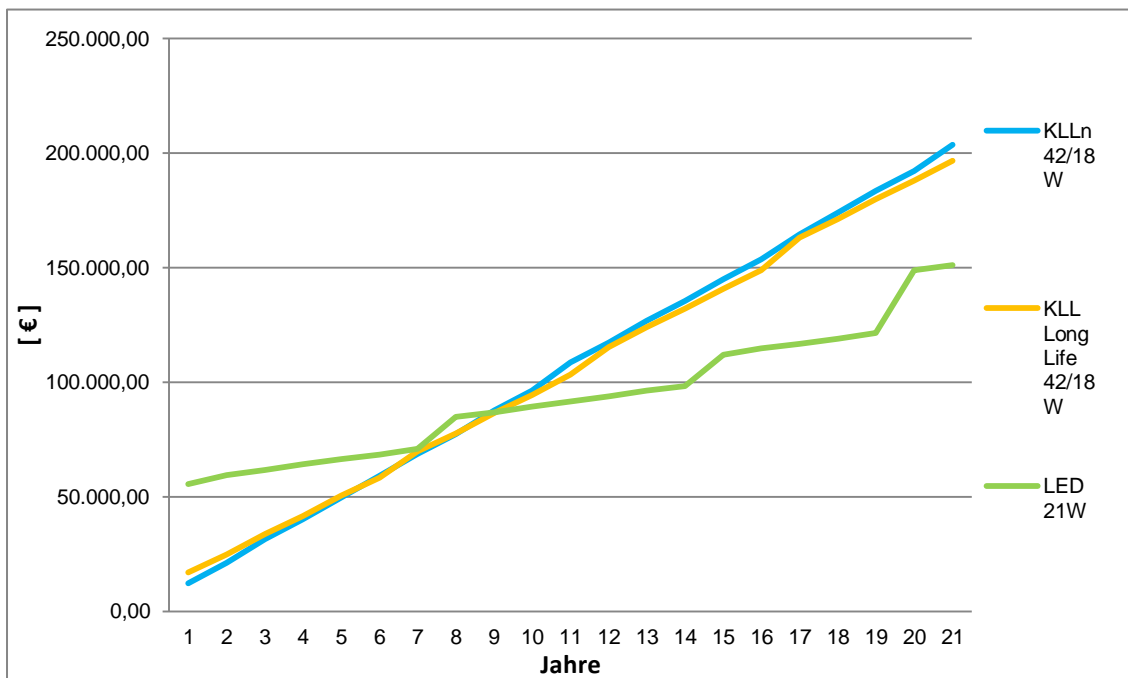
Product reference	Product number EAN 19	MLFB	SU
LEDVANCE® DOWNLIGHT XL WT 830 L80		-	4x1
LEDVANCE® DOWNLIGHT XL WT 830 L80		-	4x1

WT	white
830	CRI >80 warm white 3000 K
840	CRI >80 cool white 4000 K
L80	80° FWHM beam angle

Technical Information LEDVANCE® Downlight XL Status as of 28/06/2013 Page 4 / 4

Abbildung B 3 Datenblattauszug OSRAM LED-Leuchte LEDVANCE XL 21W

### Gesamtrentabilitätsbetrachtung KLLn + Long Life vs. LED über 20 Jahre



Grafik 8 Grafische Darstellung des Kostenverlaufes und des Break Even Punktes über 20 Jahre<sup>68</sup>

<sup>68</sup> Eigene Quelle

Jahr	Beschreibung	Kompaktleuchtstofflampe				Kompaktleuchtstofflampe Long Life				LED			
		Zwischenreinigungen [€]	Reinigung + Leuchtmittel-tausch [€]	Stromkostenverlauf [€/kWh]	Kostenverlauf Gesamt [€]	Zwischenreinigungen [€]	Reinigung + Leuchtmittel-tausch [€]	Stromkostenverlauf [€/kWh]	Kostenverlauf Gesamt [€]	Zwischenreinigungen [€]	Reinigung + Leuchtmittel-tausch [€]	Stromkostenverlauf [€/kWh]	Kostenverlauf Gesamt [€]
0	Anlageinvestitionen bei KLT in neue Lampen und Reinigung. Bei Anlageinvestitionen: Leuchte inkl. Demontage, Montage & neuem Leuchte (Einbau, Anschluss, Brandabschirmung/ Installationskosten Leuchtmittel Gesamtkostenartanz NCU)		273,60 439,53 638,80	1.200,00	2.511,93		273,60 439,53 1.836,10	1.200,00	3.769,23		1.390,92		13.115,00
1	Stromkosten nach 1.Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	0,00	0,00	1.885,81	4.477,74	0,00	0,00	1.885,81	5.655,04	0,00	0,00	471,45	14.972,25
2	Stromkosten nach 2.Jahr Zwischenreinigung nach 2. Jahr Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	760,27	0,00	3.771,62	8.623,82	760,27	0,00	3.771,62	12.401,13	0,00	0,00	942,91	15.448,71
3	Stromkosten nach 3.Jahr Zwischenreinigung nach ca. 3,5 Jahren Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	760,27	0,00	5.607,43	13.659,86	0,00	0,00	5.607,43	19.018,56	97,60	0,00	1.414,36	16.027,76
4	Stromkosten nach 4.Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	0,00	0,00	7.543,24	18.655,71	760,27	0,00	7.543,24	26.561,75	0,00	0,00	1.885,81	16.489,21
5	Stromkosten nach 5. Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	0,00	439,53 638,80	9.429,06	21.659,86	0,00	0,00	9.429,06	31.990,81	0,00	0,00	2.357,26	16.960,66
6	Stromkosten nach 6.Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	0,00	0,00	11.314,87	25.545,67	760,27	0,00	11.314,87	43.305,68	97,60	0,00	2.829,72	17.529,72
7	Stromkosten nach 7.Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	760,27	0,00	13.200,68	27.691,75	0,00	0,00	13.200,68	56.506,36	0,00	0,00	3.300,17	18.001,17
8	Stromkosten nach 8.Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	0,00	0,00	15.086,49	30.778,24	760,27	0,00	15.086,49	71.592,85	0,00	0,00	3.771,62	18.472,62
9	Stromkosten nach 9.Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	760,27	0,00	16.972,30	33.900,54	0,00	0,00	16.972,30	88.565,15	97,60	0,00	4.243,08	19.041,68
10	Stromkosten nach 10.Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	0,00	439,53 638,80	18.858,11	36.727,78	760,27	0,00	18.858,11	107.423,26	0,00	0,00	4.714,53	19.513,13
Zwischensumme nach 10 Jahren		1.941,07	1.355,00	18.858,11	54.727,78	1.520,54	2.295,60	18.858,11	126.423,26	292,80	1.390,92	4.714,53	19.513,13
Wartungs- und Instandhaltungskosten nach 10 Jahren					2.691,27				2.691,27				1.683,63

Abbildung B 4 Kalkulationstabelle Rentabilität Bereich 1 (blau) Seite 1 von 2<sup>69</sup>

Jahr	Beschreibung	Kompaktleuchtstofflampe				Kompaktleuchtstofflampe Long Life				LED			
		Zwischenreinigungen [€]	Reinigung + Leuchtmittel-tausch [€]	Stromkostenverlauf [€/kWh]	Kostenverlauf Gesamt [€]	Zwischenreinigungen [€]	Reinigung + Leuchtmittel-tausch [€]	Stromkostenverlauf [€/kWh]	Kostenverlauf Gesamt [€]	Zwischenreinigungen [€]	Reinigung + Leuchtmittel-tausch [€]	Stromkostenverlauf [€/kWh]	Kostenverlauf Gesamt [€]
11	Stromkosten nach 11.Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	0,00	0,00	20.743,90	56.113,59	0,00	0,00	20.743,90	127.267,15	97,60	0,00	5.185,98	20.082,18
12	Stromkosten nach 12.Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	760,27	0,00	22.629,73	78.759,67	760,27	0,00	22.629,73	150.896,88	0,00	0,00	5.667,43	20.558,63
13	Stromkosten nach 13.Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	0,00	0,00	24.515,55	103.275,22	0,00	0,00	24.515,55	175.412,43	97,60	0,00	6.128,80	21.122,69
14	Stromkosten nach 14.Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	760,27	0,00	26.401,36	129.676,58	760,27	0,00	26.401,36	201.813,79	0,00	0,00	6.600,34	21.594,14
15	Stromkosten nach 15.Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	0,00	439,53 638,80	28.287,17	157.993,75	0,00	0,00	28.287,17	230.100,96	97,60	0,00	7.071,79	22.163,18
Zwischensumme 15 Jahre		1.561,60	4.473,83	28.287,17	35.795,70	1.821,87	2.295,60	28.287,17	33.878,77	981,60	1.390,92	7.071,79	22.163,18
Wartungs- und Instandhaltungskosten nach 15 Jahren					3.675,31				3.675,31				1.976,69
16	Stromkosten nach 16.Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	0,00	0,00	30.172,98	168.166,68	0,00	439,53 1.836,10	30.172,98	368.979,75	0,00	0,00	7.543,24	22.834,64
17	Stromkosten nach 17.Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	760,27	0,00	32.058,79	190.225,47	0,00	0,00	32.058,79	399.038,54	97,60	0,00	8.014,70	23.208,70
18	Stromkosten nach 18.Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	0,00	0,00	33.944,60	224.170,07	760,27	0,00	33.944,60	532.983,14	0,00	0,00	8.486,15	23.675,15
19	Stromkosten nach 19.Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	760,27	0,00	35.830,41	260.000,48	0,00	0,00	35.830,41	668.813,55	0,00	1.390,92	8.957,60	24.142,65
20	Stromkosten nach 20.Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	0,00	0,00	37.716,22	297.716,70	760,27	0,00	37.716,22	806.529,77	0,00	12.200,00	9.429,06	24.614,71
Zwischensumme 20 Jahre		2.082,13	4.473,83	37.716,22	45.474,69	2.342,40	4.591,27	37.716,22	101.423,69	683,20	14.981,60	9.429,06	25.206,86
Wartungs- und Instandhaltungskosten nach 20 Jahren					4.191,87				4.191,87				1.464,63

Abbildung B 5 Kalkulationstabelle Rentabilität Bereich 1 (blau) Seite 2 von 2

<sup>69</sup> Eigene Quelle

Jahr	Beschreibung	Kompaktleuchtstofflampe				Kompaktleuchtstofflampe LongLife				LED			
		Zwischenreinigungen [€]	Reinigung + Leuchtmittel-tausch [€]	Stromkostenverlauf [€ kWh]	Kostenverlauf Gesamt [€]	Zwischenreinigungen [€]	Reinigung + Leuchtmittel-tausch [€]	Stromkostenverlauf [€ kWh]	Kostenverlauf Gesamt [€]	Zwischenreinigungen [€]	Reinigung + Leuchtmittel-tausch [€]	Stromkostenverlauf [€ kWh]	Kostenverlauf Gesamt [€]
0	Anfangsinvestment bei KLLn (neue Lampen und Reinigung); Bei Anfangsinvestment LED (Leuchte inkl. Demontage, Montage d. neuen Leuchten, Anschluss, Reduzierung Grundreinigung Leuchtmittel Grundausstattung NEU		592,80 1.017,00 1.458,00		2.600,00 5.667,90		592,80 1.017,00 4.063,50		2.600,00 8.273,30		1.539,00 0,00 0,00		29.025,00 30.564,00
1	Stromkosten nach 1 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	0,00		1.788,65		0,00		1.788,65		0,00		447,16	
2	Stromkosten nach 2 Jahr Zwischenreinigung nach 2 Jahr Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel		576,00		3.577,30		576,00		3.577,30		0,00		894,32
3	Stromkosten nach 3 Jahr Zwischenreinigung nach ca. 3,5 Jahren Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	0,00		5.365,95		0,00		5.365,95		296,00		1.341,49	
4	Stromkosten nach 4 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel		576,00		7.154,60		576,00		7.154,60		0,00		1.788,65
5	Stromkosten nach 5 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	0,00		8.943,25		0,00		8.943,25		0,00		2.235,81	
6	Stromkosten nach 6 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel		576,00		10.731,90		576,00		10.731,90		296,00		2.682,97
7	Stromkosten nach 7 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	0,00		12.520,55		0,00		12.520,55		0,00		3.130,14	
8	Stromkosten nach 8 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel		576,00		14.308,20		576,00		14.308,20		0,00		3.577,30
9	Stromkosten nach 9 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	0,00		16.097,85		0,00		16.097,85		296,00		4.024,46	
10	Stromkosten nach 10 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel		576,00		17.886,50		576,00		17.886,50		0,00		4.471,82
	Zwischensumme nach 10 Jahren	2.304,00	4.950,00	17.886,50	28.333,30	2.880,00	5.080,50	17.886,50	29.039,80	864,00	0,00	4.471,82	35.899,62
	Wartungs- und Instandhaltungskosten nach 10 Jahren				4.354,80				4.489,80				2.403,00

Seite 1 von 2

Abbildung B 6 Kalkulationstabelle Rentabilität Bereich 2 (violett) Seite 1 von 2

Jahr	Beschreibung	Kompaktleuchtstofflampe				Kompaktleuchtstofflampe LongLife				LED			
		Zwischenreinigungen [€]	Reinigung + Leuchtmittel-tausch [€]	Stromkostenverlauf [€ kWh]	Kostenverlauf Gesamt [€]	Zwischenreinigungen [€]	Reinigung + Leuchtmittel-tausch [€]	Stromkostenverlauf [€ kWh]	Kostenverlauf Gesamt [€]	Zwischenreinigungen [€]	Reinigung + Leuchtmittel-tausch [€]	Stromkostenverlauf [€ kWh]	Kostenverlauf Gesamt [€]
11	Stromkosten nach 11 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	0,00		19.675,15		0,00		19.675,15		0,00		4.918,79	
12	Stromkosten nach 12 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel		576,00		21.463,80		576,00		21.463,80		296,00		5.365,95
13	Stromkosten nach 13 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	0,00		23.252,45		0,00		23.252,45		0,00		5.813,11	
14	Stromkosten nach 14 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel		576,00		25.041,10		576,00		25.041,10		0,00		6.260,27
15	Stromkosten nach 15 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	0,00		26.829,75		0,00		26.829,75		296,00		6.707,44	
	Zwischensumme 15 Jahre	3.456,00	4.950,00	26.829,75	38.428,55	4.032,00	5.080,50	26.829,75	38.135,05	1.440,00	0,00	6.707,44	37.172,44
	Wartungs- und Instandhaltungskosten nach 15 Jahren				5.506,80				5.641,80				2.879,00
16	Stromkosten nach 16 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel		576,00		29.618,40		576,00		29.618,40		0,00		7.154,60
17	Stromkosten nach 17 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	0,00		30.407,05		0,00		30.407,05		0,00		7.601,76	
18	Stromkosten nach 18 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel		576,00		32.195,70		576,00		32.195,70		296,00		8.048,92
19	Stromkosten nach 19 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	0,00		33.984,35		0,00		33.984,35		0,00		8.496,09	
20	Stromkosten nach 20 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel		576,00		35.773,00		576,00		35.773,00		0,00		8.943,25
	Zwischensumme 20 Jahre	4.608,00	7.425,00	35.773,00	50.999,80	5.760,00	5.080,50	35.773,00	49.806,30	1.728,00	0,00	8.943,25	41.235,25
	Wartungs- und Instandhaltungskosten nach 20 Jahren				7.875,80				7.369,80				3.287,00

Abbildung B 7 Kalkulationstabelle Rentabilität Bereich 2 (violett) Seite 2 von 2

Jahr	Beschreibung	Kompaktleuchtstofflampe				Kompaktleuchtstofflampe LongLife				LED			
		Zwischenreinigungen [h]	Reinigung + Leuchtmittel-tausch [€]	Stromkostenverlauf [€ kWh]	Kostenverlauf Gesamt [€]	Zwischenreinigungen [h]	Reinigung + Leuchtmittel-tausch [€]	Stromkostenverlauf [€ kWh]	Kostenverlauf Gesamt [€]	Zwischenreinigungen [h]	Reinigung + Leuchtmittel-tausch [€]	Stromkostenverlauf [€ kWh]	Kostenverlauf Gesamt [€]
0	Lampen und Reinigung; Bei Anlagensinvestment Leuchte inkl. Demontage, Montage d. neuen Leuchte (Einbau, Anschluss, Grundreinigung Leuchtmittel Grundzustattung NEU		182,40 308,87 442,80		800,00 1.734,07		182,40 308,87 1.234,10		800,00 2.525,37		467,40 0,00 0,00		8.815,00 9.282,40
1	Stromkosten nach 1 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	0,00	0,00	3.802,54	5.538,60	0,00	0,00	3.802,54	6.327,90	0,00	0,00	960,83	10.233,03
2	Stromkosten nach 2 Jahr Zwischenreinigung nach 2. Jahr Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	0,00	308,87 442,80	7.805,07	10.099,81	174,90	0,00	7.805,07	10.305,37	0,00	0,00	1.901,27	11.183,67
3	Stromkosten nach 3 Jahr Zwischenreinigung nach ca. 3,5 Jahren Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	0,00	308,87 442,80	11.407,61	14.645,01	0,00	0,00	11.407,61	14.107,91	65,90	0,00	2.851,90	12.199,90
4	Stromkosten nach 4 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	0,00	0,00	15.210,15	18.447,55	174,90	0,00	15.210,15	18.085,38	0,00	0,00	3.802,54	13.150,54
5	Stromkosten nach 5. Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	0,00	308,87 442,80	19.012,68	23.001,75	0,00	0,00	19.012,68	21.887,92	0,00	0,00	4.753,17	14.101,17
6	Stromkosten nach 6 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	0,00	308,87 442,80	22.815,22	27.555,96	0,00	308,87 1.234,10	22.815,22	27.233,42	65,90	0,00	5.703,91	15.117,41
7	Stromkosten nach 7 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	0,00	0,00	26.617,76	31.358,49	0,00	0,00	26.617,76	31.035,96	0,00	467,40	6.654,44	24.735,44
8	Stromkosten nach 8 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	0,00	308,87 442,80	30.420,30	35.912,70	174,90	0,00	30.420,30	35.813,43	0,00	0,00	7.805,07	25.688,07
9	Stromkosten nach 9 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	0,00	308,87 442,80	34.222,84	40.466,90	0,00	0,00	34.222,84	38.815,97	65,90	0,00	8.555,71	26.702,31
10	Stromkosten nach 10 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	0,00	0,00	38.025,37	44.269,44	174,90	0,00	38.025,37	42.793,44	0,00	0,00	9.506,34	27.652,94
Zwischensumme nach 10 Jahren		0,00	5.261,67	38.025,37	44.269,44	699,73	3.085,93	38.025,37	42.793,44	196,80	8.667,40	9.506,34	27.652,94
Differenz zu Tabellen 3+4/6 wegen Stundenrundung		0,00	5.813,20	38.025,37	44.838,57	768,00	3.373,60	38.025,37	42.966,07				
Differenz zu Tabellen 3+4/6 wegen Stundenrundung		0,00	551,53		551,53	68,27	287,67		355,93				
Wartungs-, Instandhaltungskosten nach 10 Jahren					2.344,47				1.499,87				1.131,60

Abbildung B 8 Kalkulationstabelle Rentabilität Bereich 3 (grün) Seite 1 von 2<sup>70</sup>

Jahr	Beschreibung	Kompaktleuchtstofflampe				Kompaktleuchtstofflampe LongLife				LED			
		Zwischenreinigungen [h]	Reinigung + Leuchtmittel-tausch [€]	Stromkostenverlauf [€ kWh]	Kostenverlauf Gesamt [€]	Zwischenreinigungen [h]	Reinigung + Leuchtmittel-tausch [€]	Stromkostenverlauf [€ kWh]	Kostenverlauf Gesamt [€]	Zwischenreinigungen [h]	Reinigung + Leuchtmittel-tausch [€]	Stromkostenverlauf [€ kWh]	Kostenverlauf Gesamt [€]
11	Stromkosten nach 11 Jahr Zwischenreinigung	0,00		41.827,91		0,00		41.827,91		0,00		10.456,98	
10,5	Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel		308,87 442,80		48.823,64		308,87 1.234,10		48.138,94		0,00		28.603,58
12	Stromkosten nach 12 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	0,00	308,87 442,80	45.630,45	53.377,85	0,00	0,00	45.630,45	51.941,48	65,90	0,00	11.407,61	26.619,81
13	Stromkosten nach 13 Jahr Zwischenreinigung	0,00		49.432,99		174,90		49.432,99		0,00		12.368,25	
13,5	Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel		0,00		57.180,39		0,00		55.918,95		0,00		30.570,45
14	Stromkosten nach 14 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	0,00	308,87 442,80	53.235,52	61.734,59	0,00	0,00	53.235,52	59.721,49	0,00	467,40	8.200,00	40.188,48
15	Stromkosten nach 15 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	0,00	0,00	57.038,06	65.537,13	174,90	0,00	57.038,06	63.698,96	65,90	0,00	14.259,52	41.204,72
Zwischensumme 15 Jahre		0,00	7.516,67	57.038,06	65.537,13	1.048,60	4.628,90	57.038,06	63.698,96	328,00	17.334,80	14.259,52	40.737,32
Wartungs-, Instandhaltungskosten nach 10 Jahren					3.271,07				2.158,60				1.730,20
16	Stromkosten nach 16 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	0,00	0,00	60.840,60	69.339,66	0,00	308,87 1.234,10	60.840,60	69.044,46	0,00	0,00	15.210,15	42.155,35
17	Stromkosten nach 17 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	0,00	308,87 442,80	64.643,14	73.893,87	0,00	0,00	64.643,14	72.847,90	0,00	0,00	16.160,78	43.105,98
18	Stromkosten nach 18 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	0,00	308,87 442,80	68.445,67	78.448,07	174,90	0,00	68.445,67	76.824,47	65,90	0,00	17.111,42	44.122,22
19	Stromkosten nach 19 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	0,00	0,00	72.248,21	82.250,61	0,00	0,00	72.248,21	80.827,91	0,00	467,40	18.062,05	53.740,25
20	Stromkosten nach 20 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel	0,00	308,87 442,80	76.050,75	86.804,81	174,90	0,00	76.050,75	84.604,48	0,00	0,00	19.012,69	54.696,89
Zwischensumme 20 Jahre		0,00	9.771,67	76.050,75	86.804,81	1.399,47	6.171,87	76.050,75	84.604,48	393,90	26.002,20	19.012,69	54.696,89
Wartungs-, Instandhaltungskosten nach 10 Jahren					4.197,67				2.817,33				2.263,20

Abbildung B 9 Kalkulationstabelle Rentabilität Bereich 3 (grün) Seite 2 von 2<sup>71</sup>

<sup>70</sup> Eigene Quelle

Jahr	Beschreibung	Kompaktleuchtstofflampe				Kompaktleuchtstofflampe LongLife				LED			
		Zwischenreinigungen [h]	Reinigung + Leuchtmittel-tausch [€]	Stromkostenverlauf [€ kWh]	Kostenverlauf Gesamt [€]	Zwischenreinigungen [h]	Reinigung + Leuchtmittel-tausch [€]	Stromkostenverlauf [€ kWh]	Kostenverlauf Gesamt [€]	Zwischenreinigungen [h]	Reinigung + Leuchtmittel-tausch [€]	Stromkostenverlauf [€ kWh]	Kostenverlauf Gesamt [€]
0	Lampen und Reinigung, Bei Anfangsinvestment Leuchte inkl. Demontage, Montage d. neuen Leuchte Einbau, Anschluss, Grundreinigung Leuchtmittel Grundausstattung NEU Kosten für Aufstieghilfe/ Gerüst		228,00		1.000,00		228,00		1.000,00		342,00		2.150,00
			180,80				180,80				0,00		
			60,00				273,00				0,00		
			600,00				600,00		2.291,80		600,00		3.082,00
1	Stromkosten nach 1 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel Kosten für Aufstieghilfe/ Gerüst	0,00		416,41		0,00		416,41		0,00		242,90	
			0,00				0,00				0,00		
			0,00		2.485,21		0,00		2.688,21		0,00		3.334,90
2	Stromkosten nach 2 Jahr Zwischenreinigung nach 2 Jahr Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel Kosten für Aufstieghilfe/ Gerüst	0,00		832,81		0,00		832,81		0,00		486,81	
			180,80				0,00				0,00		
			60,00				0,00				0,00		
			600,00		3.742,41		0,00		3.114,61		0,00		3.577,81
3	Stromkosten nach 3 Jahr Zwischenreinigung nach ca. 3,5 Jahren Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel Kosten für Aufstieghilfe/ Gerüst	0,00		1.249,22		0,00		1.249,22		0,00		728,71	
			0,00				0,00				0,00		
			0,00		4.158,82		0,00		3.531,62		0,00		3.828,71
4	Stromkosten nach 4 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel Kosten für Aufstieghilfe/ Gerüst	0,00		1.665,62		0,00		1.665,62		0,00		971,61	
			180,80				0,00				0,00		
			60,00				0,00				0,00		
			600,00		5.416,02		0,00		3.947,42		0,00		4.063,61
5	Stromkosten nach 5 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel Kosten für Aufstieghilfe/ Gerüst	0,00		2.082,03		0,00		2.082,03		0,00		1.214,52	
			180,80				0,00				0,00		
			60,00				0,00				0,00		
			600,00		6.673,23		0,00		4.363,93		0,00		4.306,52
6	Stromkosten nach 6 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel Kosten für Aufstieghilfe/ Gerüst	0,00		2.498,43		0,00		2.498,43		0,00		1.457,42	
			180,80				0,00				0,00		
			60,00				0,00				0,00		
			600,00		7.089,63		0,00		5.834,63		0,00		4.549,42
7	Stromkosten nach 7 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel Kosten für Aufstieghilfe/ Gerüst	0,00		2.914,84		0,00		2.914,84		0,00		1.700,32	
			180,80				0,00				342,00		
			60,00				0,00				2.000,00		
			600,00		8.348,84		0,00		6.256,44		600,00		7.734,32
8	Stromkosten nach 8 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel Kosten für Aufstieghilfe/ Gerüst	0,00		3.331,24		0,00		3.331,24		0,00		1.943,22	
			180,80				0,00				0,00		
			60,00				0,00				0,00		
			600,00		9.064,04		0,00		6.666,84		0,00		7.977,22

Abbildung B 10 Kalkulationstabelle Rentabilität Bereich 3 (orange) Seite 1 von 3<sup>72</sup>

Jahr	Beschreibung	Kompaktleuchtstofflampe				Kompaktleuchtstofflampe LongLife				LED			
		Zwischenreinigungen [h]	Reinigung + Leuchtmittel-tausch [€]	Stromkostenverlauf [€ kWh]	Kostenverlauf Gesamt [€]	Zwischenreinigungen [h]	Reinigung + Leuchtmittel-tausch [€]	Stromkostenverlauf [€ kWh]	Kostenverlauf Gesamt [€]	Zwischenreinigungen [h]	Reinigung + Leuchtmittel-tausch [€]	Stromkostenverlauf [€ kWh]	Kostenverlauf Gesamt [€]
9	Stromkosten nach 9 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel Kosten für Aufstieghilfe/ Gerüst	0,00		3.747,65		0,00		3.747,65		0,00		2.188,13	
			0,00				0,00				0,00		
			0,00		10.920,45		0,00		7.083,25		0,00		8.226,13
10	Stromkosten nach 10 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel Kosten für Aufstieghilfe/ Gerüst	0,00		4.164,05		0,00		4.164,05		0,00		2.429,03	
			180,80				0,00				0,00		
			60,00				0,00				0,00		
			600,00		11.277,85		0,00		7.499,65		0,00		8.463,03
Zwischensumme nach 10 Jahren		0,00	5.885,60	4.164,05	11.277,85	0,00	2.107,60	4.164,05	7.499,65	0,00	3.542,00	2.429,03	8.463,03
Wartungs-, Instandhaltungskosten nach 10 Jahren					1.493,80				588,60				684,00
11	Stromkosten nach 11 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel Kosten für Aufstieghilfe/ Gerüst	0,00		4.580,46		0,00		4.580,46		0,00		2.671,93	
			180,80				180,80				0,00		
			60,00				1.234,10				0,00		
			600,00		12.534,86		0,00		10.530,96		0,00		8.705,93
12	Stromkosten nach 12 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel Kosten für Aufstieghilfe/ Gerüst	0,00		4.996,86		0,00		4.996,86		0,00		2.914,84	
			0,00				0,00				0,00		
			0,00		12.951,26		0,00		10.947,36		0,00		8.948,84
13	Stromkosten nach 13 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel Kosten für Aufstieghilfe/ Gerüst	0,00		5.413,27		0,00		5.413,27		0,00		3.157,74	
			180,80				0,00				0,00		
			60,00				0,00				0,00		
			600,00		14.296,47		0,00		11.963,77		0,00		8.191,74
14	Stromkosten nach 14 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel Kosten für Aufstieghilfe/ Gerüst	0,00		5.829,67		0,00		5.829,67		0,00		3.400,64	
			0,00				0,00				342,00		
			0,00				0,00				2.000,00		
			0,00		14.624,87		0,00		11.780,17		600,00		12.376,64
15	Stromkosten nach 15 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel Kosten für Aufstieghilfe/ Gerüst	0,00		6.248,08		0,00		6.248,08		0,00		3.643,55	
			180,80				0,00				0,00		
			60,00				0,00				0,00		
			600,00		15.882,08		0,00		12.196,58		0,00		12.619,55
Zwischensumme 15 Jahr		0,00	8.408,00	6.248,08	15.882,08	0,00	4.722,50	6.248,08	12.196,58	0,00	6.484,00	3.643,55	12.619,55
Wartungs-, Instandhaltungskosten nach 15 Jahren					2.026,00				770,40				1.026,00
16	Stromkosten nach 16 Jahr Zwischenreinigung Reinigung inkl. Leuchtmittel-tausch Leuchtmittel Kosten für Aufstieghilfe/ Gerüst	0,00		6.662,48		0,00		6.662,48		42,67		3.896,45	
			0,00				180,80				0,00		
			0,00				1.234,10				0,00		
			0,00		16.298,48		0,00		14.627,88		0,00		12.905,12

Abbildung B 11 Kalkulationstabelle Rentabilität Bereich 3 (orange) Seite 2 von 3<sup>73</sup>

<sup>71</sup> Eigene Quelle

<sup>72</sup> Eigene Quelle

<sup>73</sup> Eigene Quelle

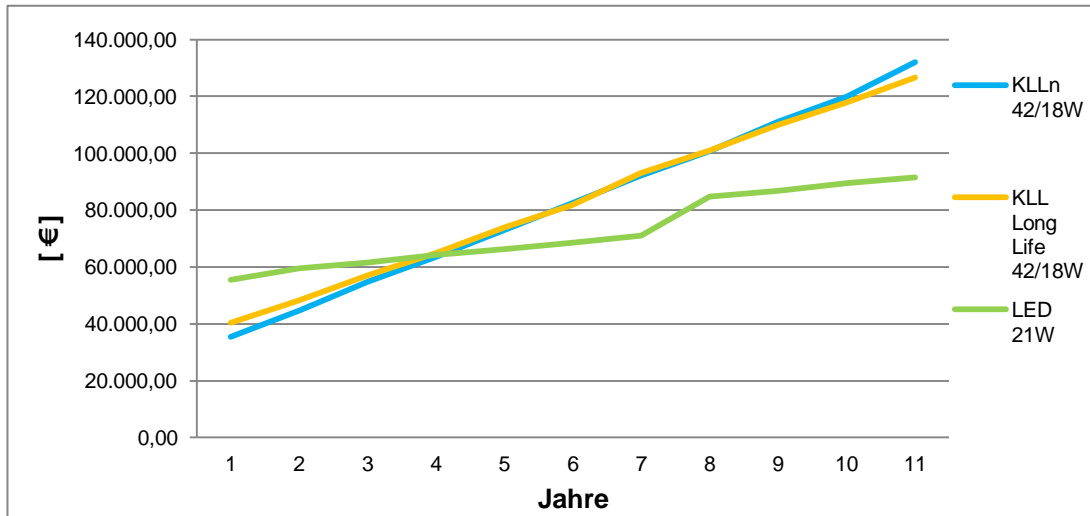
Jahr	Beschreibung	Kompaktleuchtstofflampe				Kompaktleuchtstofflampe LongLife				LED			
		Zwischen- reinigungen [h]	Reinigung + Leuchtmittel- tausch [€]	Strom- kostenverlauf [€ kWh]	Kostenverlauf Gesamt [€]	Zwischen- reinigungen [h]	Reinigung + Leuchtmittel- tausch [€]	Strom- kostenverlauf [€ kWh]	Kostenverlauf Gesamt [€]	Zwischen- reinigungen [h]	Reinigung + Leuchtmittel- tausch [€]	Strom- kostenverlauf [€ kWh]	Kostenverlauf Gesamt [€]
17	Stromkosten nach 17.Jahr			7.078,89			7.078,89			4.129,55			
	Zwischenreinigung	0,00			0,00				0,00				
	Reinigung inkl. Leuchtmitteltausch		180,00		0,00				0,00				
	Leuchtmittel		80,00		0,00				0,00				
	Kosten für Aufstieghilfe/ Gerüst		600,00		17.555,89			15.044,29				13.148,02	
18	Stromkosten nach 18.Jahr			7.495,30			7.495,30			4.372,26			
	Zwischenreinigung	0,00			0,00				42,67				
	Reinigung inkl. Leuchtmitteltausch		0,00		0,00				0,00				
	Leuchtmittel		0,00		0,00				0,00				
	Kosten für Aufstieghilfe/ Gerüst		0,00		17.972,10			15.460,70				13.433,59	
19	Stromkosten nach 19.Jahr			7.911,70			7.911,70			4.615,16			
	Zwischenreinigung	0,00			0,00				0,00				
	Reinigung inkl. Leuchtmitteltausch		180,00		0,00				342,00				
	Leuchtmittel		80,00		0,00				2.000,00				
	Kosten für Aufstieghilfe/ Gerüst		600,00		19.229,30			15.877,10	600,00			16.618,49	
20	Stromkosten nach 20.Jahr			8.328,11			8.328,11			4.858,06			
	Zwischenreinigung	0,00			0,00				42,67				
	Reinigung inkl. Leuchtmitteltausch		0,00		0,00				0,00				
	Leuchtmittel		0,00		0,00				0,00				
	Kosten für Aufstieghilfe/ Gerüst		0,00		19.645,71			16.293,51				16.904,06	
Zwischensumme 20 Jahre		0,00	10.069,60	8.328,11	19.645,71	0,00	6.737,40	8.328,11	16.293,51	128,00	9.426,00	4.858,06	16.904,06
Wartungs- Instandhaltungskosten nach 10 Jahren					2.387,60				961,20				1.456,00

Abbildung B 12 Kalkulationstabelle Rentabilität Bereich 3 (orange) Seite 3 von 3<sup>74</sup>

<sup>74</sup> Eigene Quelle

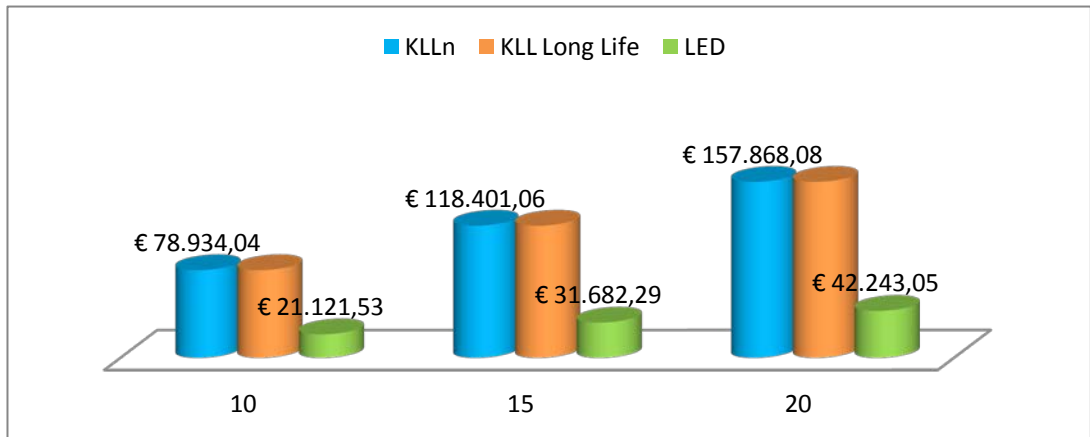


### Vergleich der Rentabilität KLLn vs. Long Life vs. LED bei zwei Neuanlagen



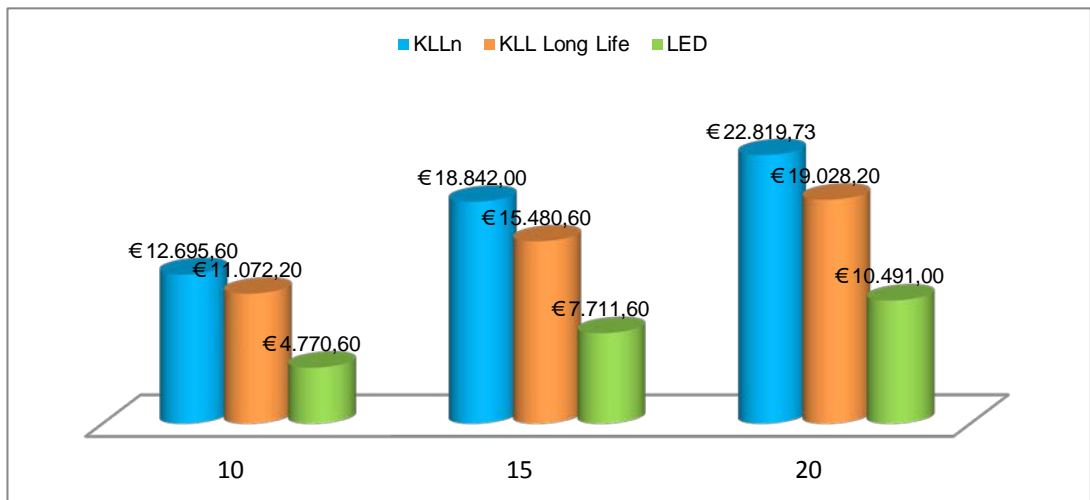
**Grafik 9** Darstellung des Break Even von zwei Neuanlagen

### Energiekostenvergleich bei zwei Neuanlagen



**Grafik 10** Darstellung der Energiekosten bei zwei Neuanlagen

### Wartungs-, und Instandsetzungskosten bei zwei Neuanlagen



**Grafik 11** Darstellung der Wartungs-, und Instandsetzungskosten bei zwei Neuanlagen

## Normen

**DIN EN 1838** Emergency lighting

**DIN EN 12193** Sports lighting

**DIN EN 12464-1** Indoor Workplace

**DIN EN 12464-2** Outdoor Workplace

**DIN EN 13032** (Part 1 to 3) Photometry, data transfer and presentation

**DIN EN 13201** (Part 1 to 4) Road lighting

**DIN EN 15193** Energy requirements for lighting in buildings

**DIN V 18599-4** "Energetische Bewertung von Gebäuden, Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 4: Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung"

**DIN EN 50160** Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen.

**DIN EN 50172** Emergency lighting systems

### RoHs Richtlinie

**DIN IEC 60364** Electrical Installations of Buildings, Part 5-52: Selection and erection of electrical equipment – Wiring systems; Dok. 64/ 1373/ CD: 2003

**DIN EN 60598-1** Leuchten – Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Prüfungen

**DIN EN 60598-2** Leuchten – Teil 2: Besondere Anforderungen

**DIN EN 60825-1** Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 1: Klassifizierung von Anlagen, Anforderungen und Benutzer-Richtlinien

**DIN EN 61000 -3-2** Elektromagnetische Verträglichkeit Grenzwerte für Oberschwingungsströme (Geräte Eingangsstrom  $\leq 16$  A je Leiter)

**DIN EN 61000 -3-3** Elektromagnetische Verträglichkeit Grenzwerte; Begrenzung von Spannungsänderungen, Spannungsschwankungen und Flicker in öffentlichen Niederspannungs-Versorgungsnetzen für Geräte mit einem Bemessungsstrom  $\leq 16$  A je Leiter, die keiner Sonderanschlussbedingung unterliegen.

**DIN EN 62471** Photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen

**DIN EN 62776** für beidseitig gesockelte Retrofit LED-Röhren zu beachten.

Die neue Norm DIN EN 62776 fasst im Wesentlichen folgende Anforderungen (aus versch. Einzelnormen) zusammen.

Sicherheit gegen Stromschlag (keine Durchverdrahtung)

Sicherheit gegen Rausfallen (Gewicht der Röhre  $< 500$ g)

Sicherheit gegen Berührungsspannung (Isolationswiderstand  $> 2$  M-OHM)

Einhaltung der Grenzwerte elektromagnetischer Felder (EMV Test)

Einhaltung der Grenzwerte zu Funkstöreigenschaften

Einhaltung der photobiologischen Sicherheit (max. Lichtstrom)

**DIN EN 61347-1 – A1 und A2** (Entwürfe) Geräte für Lampen, Teil 1: Allgemeine und Sicherheitsanforderungen

**DIN EN 61347-2-13** (Entwurf) Geräte für Lampen, Teil 2-13: Besondere Anforderungen an gleich-, und wechselstromversorgte elektronische Betriebsgeräte für LED-Module.

**DIN IEC 62384** (in Vorbereitung) Gleich- und wechselstromversorgte elektronische Geräte für LED-Module - Anforderungen an die Arbeitsweise

**VOPSt** Verordnung optischer Strahlung