



Fakultät für Holztechnik und Bau
Studiengang Innenausbau

**Qualitative und baubiologische Bewertung von marktüblichen
LED-Leuchtmitteln**

Bachelor-Thesis

von

Marie Neher
Matrikelnummer: 992664

Bearbeitungsstand: 17.11.2025

Erstprüfer: Prof. Dr. Michael Krödel

Zweitprüfer: Prof. Mathias Wambsganß

Eigenständigkeitserklärung / Declaration of Originality

Hiermit bestätige ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Die Stellen der Arbeit, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken (dazu zählen auch Internetquellen) entnommen sind, wurden unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Anmerkung zur Nutzung digitaler Assistenzsysteme / Note on the Use of Digital Assistance Systems

Ein KI-gestütztes Sprachsystem (ChatGPT-5, OpenAI) wurde für die Erarbeitung und Erstellung von Excel-Formeln verwendet. Diese wurden von der Autorin überprüft, angepasst und validiert. Der vollständige Chatverlauf kann im Quellenverzeichnis eingesehen werden. [1]

Das KI-System wurde weiterhin bei der sprachlichen Überarbeitung sowie der Vereinheitlichung von Formulierungen eingesetzt. Hierbei erfolgte der Einsatz der KI ausschließlich im Sinne einer Hilfestellung bei der Textoptimierung.

An AI-based language system (ChatGPT-5, OpenAI) was used for the development and creation of Excel formulas. These were reviewed, adapted, and validated by the author. The complete chat record can be found in the list of references. [1]

The AI system was also employed to support linguistic revision and the harmonization of formulations. In this context its use was strictly limited to assisting with text optimization.

Sprachlicher Hinweis

In dieser Arbeit wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit das generische Maskulinum verwendet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten jedoch gleichermaßen für alle Geschlechter. Die gewählte Formulierung beinhaltet keine Wertung und dient ausschließlich der sprachlichen Vereinfachung.

Rosenheim, 17.11.2025



Marie Neher

Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit ist die baubiologische Einordnung des aktuellen LED-Markts mit Fokus auf den Bereichen Lichtqualität, Flimmerverhalten und elektromagnetische Emissionen. Diese Aspekte werden zunächst theoretisch aufgearbeitet, ihre Bedeutung für die Baubiologie aufgezeigt und ihre Wirkung auf den menschlichen Körper eingeordnet.

Zu diesem Zweck werden je Bereich relevante Parameter für eine Untersuchung definiert. Um Objektivität und Vergleichbarkeit sicherzustellen, wird ein Messaufbau konzipiert. Auf dessen Grundlage werden eigene Messungen durchgeführt.

Untersuchungsgegenstand ist eine Stichprobe von insgesamt 23 GU10- und E27-LED verschiedener Hersteller. Unter den ausgewählten Modellen befinden sich sowohl Baumarkt- als auch Premiumprodukte sowie eine explizit als baubiologisch hochwertig beworbene Variante.

Die Ergebnisse werden zusammenfassend in einem Lampenkatalog dargestellt, der die untersuchten Lampen vorstellt und Verbrauchern die Grundlage für eine qualitative Einordnung bietet. Zur einheitlichen Bewertung wird ein eigenes Bewertungsschema entwickelt.

Neben den baubiologischen Parametern werden im Katalog auch Energieeffizienz und Preis als zusätzliche Orientierung für Verbraucher aufgenommen. Die Messergebnisse werden außerdem mit Herstellerdaten ergänzt und, wo vorhanden, verglichen. Diese Daten werden dem EPREL-System entnommen, einer EU-weiten Datenbank für alle Produkte mit Energie-Label.

Die Auswertung zeigt in allen Bewertungskriterien eine große Bandbreite an Ergebnissen.

Bei Lichtqualität und Flimmerverhalten erreichen einige Lampen sehr gute Werte, was das Potenzial der LED-Technologie für baubiologisch hochqualitative Modelle in diesen Bereichen zeigt.

Im Bereich elektrischer Wechselfelder überschreiten alle Lampen bei einem Abstand von 80 cm oder weniger die Richtwerte für Orte mit längerem Aufenthalt, wie Arbeits- oder Schlafbereiche. Magnetische Wechselfelder und hochfrequente Strahlung sind unauffällig.

Keines der energieeffizienten Modelle hat gleichzeitig eine gute Farbwiedergabe. Hier besteht Potenzial für Verbesserung, ohne dass dabei die Lichtqualität beeinträchtigt werden sollte.

Ein Zusammenhang zwischen Kosten und Qualität ist nicht zu erkennen.

Die melanopische Wirkung wird ausgewertet, aber nicht in die Bewertung aufgenommen, da sie in Abhängigkeit der Anwendung zu beurteilen ist.

Keine der untersuchten Lampen erzielt in allen fünf Kategorien sehr gute Ergebnisse. Unter Berücksichtigung der baubiologisch vorrangigen Kriterien Lichtqualität, Flimmerverhalten und Elektrosmog erweisen sich elf der 23 Lampen als geeignet, wobei die Lampen 3 und 11 von BioLicht sowie die Lampe 14 von Ledvance besonders hervorstechen.

Unter Berücksichtigung aller fünf Kriterien schneidet Lampe 8 von IKEA am besten ab, Lampe 19 von Paulmann und Lampe 21 von Ardit am schlechtesten.

Abstract

The aim of this work is to provide a building-biology assessment of the current LED market, focusing on light quality, flicker behaviour, and electromagnetic emissions. These aspects are first examined theoretically, their relevance for building biology is outlined, and their effects on the human body are described.

For each area, relevant parameters for an examination are defined. To ensure objectivity and comparability, a measurement setup is designed. Based on this setup, independent measurements are carried out.

The objects of investigation are a sample of 23 GU10 and E27 LEDs from various manufacturers. The selected models include both hardware store and premium products, as well as one variant explicitly marketed as high quality from a building-biology perspective.

The results are summarised in a lamp catalogue, which presents the examined lamps and provides consumers with a basis for qualitative assessment. A custom evaluation scheme is developed to ensure uniform evaluation.

In addition to the building-biology parameters, the catalogue also includes energy efficiency and price to offer consumers further guidance. The measurement results are supplemented with – and, where available, compared to – manufacturer data. These data are taken from the EPREL system, an EU-wide database for all products with an energy label.

The analysis shows a wide range of results across all evaluation criteria.

In light quality and flicker behaviour, some lamps achieve very good results, demonstrating the potential of LED technology for high quality models in these areas from a building-biologically perspective.

Concerning electric fields, all lamps exceed the guideline values for areas with extended occupancy, such as workplaces or sleeping areas, at distances of 80 cm or less. Magnetic fields and high-frequency radiation show no notable issues.

None of the energy-efficient models simultaneously offer good colour rendering. This shows potential for improvement, which should be addressed without compromising light quality.

No correlation between cost and quality can be identified.

The melanopic effect is examined but not included in the evaluation, as it must be assessed depending on the intended application.

None of the examined lamps achieve excellent results in all five categories. Considering the criteria prioritized in building-biologically, meaning light quality, flicker behaviour, and electromagnetic fields, eleven of the 23 lamps prove suitable, with lamps 3 and 11 from BioLicht and lamp 14 from Ledvance on top.

Taking all five criteria into account, lamp 8 from IKEA performs best, while lamp 19 from Paulmann and lamp 21 from Arditi perform the worst.

Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle bei allen bedanken, die mich während der Erstellung dieser Arbeit unterstützt haben. Mein besonderer Dank gilt dem Institut IBN, das mich nicht nur bei der Themenwahl begleitet hat, sondern mir auch die notwendigen Materialien, einen Teil der Lampen und ihren Versandraum für meine Messungen bereitgestellt hat.

Dem Jugendzentrum Energy danke ich ebenfalls herzlich für die Möglichkeit, auch ihre Räumlichkeiten für meine Messungen nutzen zu dürfen.

Ebenso bin ich allen Unternehmen dankbar, die mich durch die Bereitstellung von Lampen bei der praktischen Umsetzung meiner Arbeit unterstützt haben:

- BioLicht GbR
- Ledvance GmbH (auch mit ihren Osram-Produkten)
- Müller Licht International GmbH (inklusive der Lampe von Casaya)
- Nordlux A/S
- Paulmann Licht GmbH
- SLV GmbH

Mein Dank gilt außerdem der Firma Fauser Elektrotechnik GmbH für die Bereitstellung ihres Messgeräts *ZadPad*, die persönliche Nutzungseinweisung und ihre wertvolle Beratung zu einigen Punkten meiner Bachelorarbeit.

Ebenso gilt mein Dank der Lichtwerkstatt der Hochschule Rosenheim unter der Leitung von Herrn Prof. Mathias Wambsganß für die Nutzung des Messgeräts *GL-Spectis 1.0 touch* sowie die Leihgabe der für die Arbeit getesteten Lampe von Arditi.

Schlussendlich möchte ich auch besonders Herrn Prof. Dr. Michael Krödel danken, der weitere Messgeräte für die Erfassung elektromagnetischer Felder zu Verfügung stellte und Unterstützung bei der Konzeption und dem Bau der Leuchten für den Messaufbau leistete.

Inhaltverzeichnis

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	8
TABELLENVERZEICHNIS	9
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	10
1 EINLEITUNG	11
1.1 MOTIVATION	11
1.2 ZIELSETZUNG	11
2 THEORETISCHE GRUNDLAGEN	12
2.1 BAUBIOLOGIE	12
2.1.1 <i>Das Konzept der Baubiologie</i>	12
2.1.2 <i>Übersicht über baubiologische Kriterien in der Beleuchtung</i>	13
2.2 LEUCHTMITTEL IM ÜBERBLICK	14
2.2.1 <i>Thermische Strahler</i>	14
2.2.2 <i>Gasentladungslampen</i>	15
2.2.3 <i>Festkörperlichtquellen</i>	16
2.3 FOKUS: LICHTEMITTIERENDE DIODEN	17
2.3.1 <i>Aufbau, Typen und Anwendungen von LED-Leuchtmitteln</i>	17
2.3.2 <i>Umweltbelastung durch LED-Leuchtmittel</i>	19
2.4 GRÖßEN ZUR BEWERTUNG VON LICHT UND LAMPEN	21
2.4.1 <i>Photometrische Lichtgrößen</i>	21
2.4.2 <i>Lichttechnische Eigenschaften und deren Wirkung auf den Menschen</i>	22
2.4.3 <i>Lichtflimmern und Folgewirkungen</i>	26
2.4.4 <i>Elektromagnetische Felder und Strahlung</i>	29
2.4.5 <i>Ökonomische Größen und Langlebigkeit</i>	31
2.5 ÜBERSICHT ZUR EU-DATENBANK EPREL	31
3 METHODIK	33
3.1 AUSWAHL DER LAMPENKRITERIEN	33
3.2 AUSWAHL DER UNTERNEHMEN UND LAMPENMODELLE	35
3.3 PARAMETER UND MESSGRÖßEN DER UNTERSUCHUNG	37
3.4 EINGESETZTE MESSGERÄTE	38
3.5 LICHTMESSUNG	42
3.6 FELDMESSUNG	45
3.7 FESTLEGUNG DES BEWERTUNGSSCHEMAS	47
4 ERGEBNISSE	52
4.1 DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE	52
4.2 BEWERTUNG DER ERGEBNISSE	55

5	FAZIT UND AUSBLICK	60
5.1	WICHTIGSTE ERKENNTNISSE	60
5.2	ANSÄTZE FÜR WEITERFÜHRENDE FORSCHUNG	61
6	LITERATUR	63
	ANHANG	68

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Darstellung einer Glühlampe [12, S. 56]	14
Abbildung 2: Darstellung einer Halogenglühlampe [12, S. 56]	14
Abbildung 3: Darstellung einer linearen Leuchtstofflampe [12, S. 56]	15
Abbildung 4: Darstellung einer Kompaktleuchtstofflampe [12, S. 56]	15
Abbildung 5: Darstellung einer Hochdruckentladungslampe [12, S. 56]	15
Abbildung 6: Veränderung der prozentualen Anteile am Gesamtleuchtmittelmarkt am Beispiel der Schweiz [18, S. 18]	16
Abbildung 7: Prinzip der Farbmischung von blauem LED-Chip und gelbem Leuchtstoff [20, S. 20]	17
Abbildung 8: Aufbau einer einzelnen LED [21, S. 2028]	18
Abbildung 9: Lebenszyklus einer Lampe (eigene Darstellung)	19
Abbildung 10: Entwicklung der Lichtausbeute von Haushaltslampen [12, S. 20]	20
Abbildung 11: Voraussichtliche Entwicklung des Lampenabsatzes in der EU aufgrund der längeren Lebensdauer von LED-Lampen [12, S. 59]	20
Abbildung 12: Weiß bedeckter Himmel mittags [25, S. 26]	22
Abbildung 13: Rötliches Sonnenlicht kurz vor Sonnenuntergang [25, S. 26]	22
Abbildung 14: Abendhimmel nach Sonnenuntergang (blaue Stunde) [25, S. 26]	22
Abbildung 15: Beleuchtungsarten mit geringem Blauanteil [25, S. 26-27]	23
Abbildung 16: LED (BIO LED EX 10 W) [25, S. 27]	23
Abbildung 17: Beleuchtungsarten mit Linienspektrum [25, S. 26-27]	24
Abbildung 18: Normtafel nach CIE 1931 [30]	25
Abbildung 19: CIE-Testfarben nach DIN 6169-2 [20, S. 13]	25
Abbildung 20: Illustration der Farberscheinung der 99 Testfarben des TM30-15 [20, S. 15]	26
Abbildung 21: Vergleich der Dimm-Methoden Stromabsenkung und Pulsweitenmodulation [9, S. 10]	27
Abbildung 22: Risikobewertung nach IEEE mit der grünen Fläche ohne Wirkung des Lichtflimmerns und der gelben Fläche mit geringem Risiko für Flimmern oder Stroboskopeffekte [9, S. 36]	28
Abbildung 23: Aufbau des EU-Energie-Labels [39, S. 82]	31
Abbildung 24: GL SPECTIS 1.0 touch [43]	38
Abbildung 25: HF 35C [44]	39
Abbildung 26: ZadPad Multimeter mit FMZ30 Kombisonde [45]	40
Abbildung 27: Aufbau der Lichtmessung (eigene Aufnahme)	42
Abbildung 28: Nahaufnahme der Messsituation (eigene Aufnahme)	43
Abbildung 29: Aufbau der Leuchten, Variante E27 (eigene Aufnahme)	43
Abbildung 30: Aufbau der Elektrosmogmessung, dargestellt im IBN (eigene Aufnahme)	46
Abbildung 31: SVM-Sensitivitätskurve [32]	49
Abbildung 32: Aufbau eines Katalogeintrags am Beispiel der Lampe 22 mit den Erweiterungen für Dimmbarkeit und Fernsteuerung (eigene Darstellung)	53

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Parameter der Lampenauswahl (eigene Darstellung)</i>	<i>34</i>
<i>Tabelle 8: Liste der Lampenauswahl (eigene Darstellung)</i>	<i>36</i>
<i>Tabelle 2: Firmenbesetzung der Lampenkategorien (eigene Darstellung)</i>	<i>37</i>
<i>Tabelle 3: Technische Daten der Messgeräte, eigene Darstellung in Anlehnung an Produktdatenblätter</i>	<i>41</i>
<i>Tabelle 4: Bewertungsschlüssel (eigene Darstellung)</i>	<i>48</i>
<i>Tabelle 5: Ausgewählte Richtwerte des SBM-2024, eigene Darstellung in Anlehnung an [33]</i>	<i>50</i>
<i>Tabelle 6: Ergebnisübersicht CRI-R9 (eigene Darstellung)</i>	<i>55</i>
<i>Tabelle 7: Ergebnisübersicht F_i und F_p (eigene Darstellung)</i>	<i>57</i>

Abkürzungsverzeichnis

CCT	<i>Correlated Color Temperature</i>
CRI	<i>Color Rendering Index</i>
EHS	<i>Elektrohypersensitivität</i>
EMF	<i>Elektromagnetische Felder</i>
EML	<i>Equivalent Melanopic Lux</i>
EMLR	<i>Melanopic Ratio</i>
ESD	<i>Electrostatic Discharge</i>
F _i	<i>Flicker-Index</i>
F _p	<i>Flicker-Percent</i>
HF	<i>Hochfrequente elektromagnetische Strahlung</i>
IBN	<i>Institut für Baubiologie und Nachhaltigkeit</i>
LCA	<i>Life-Cycle Analysis</i>
LED	<i>Licht emittierende Dioden</i>
MEDI	<i>melanopic equivalent daylight illuminance</i>
PstLM	<i>short-term Light Modulation Indicator</i>
SBM	<i>Standard der baubiologischen Messtechnik</i>
SVM	<i>Stroboscopic Visibility Measure</i>
TCO	<i>Tjänstemännens Centralorganisation</i>

1 Einleitung

1.1 Motivation

LED-Leuchtmittel haben sich in den letzten Jahren als energieeffiziente Alternative zu klassischen Glüh- und Halogenlampen etabliert. Zuvor galt die Energiesparlampe als vielversprechende Lösung für die Senkung des Energieverbrauchs, konnte sich jedoch aufgrund technischer und qualitativer Einschränkungen nicht langfristig durchsetzen. Erst mit der Weiterentwicklung der LED-Technologie – insbesondere in Bezug auf Kosten, Effizienz, Lichtqualität und Alltagstauglichkeit – gelang der Durchbruch moderner, stromsparender Beleuchtungslösungen.

Im Vergleich zu Glüh- und Halogenlampen bringt die LED-Technik jedoch auch neue Herausforderungen mit sich. Lichtqualitative und gesundheitliche Aspekte, wie etwa Flimmerverhalten, spektrale Zusammensetzung und elektromagnetische Emissionen, rücken zunehmend in den Fokus. Diese Arbeit untersucht eine Auswahl marktüblicher LED-Leuchtmittel hinsichtlich dieser baubiologischen Kriterien.

Die Untersuchung soll nicht nur eine Momentaufnahme des Markts bieten, sondern auch eine Vergleichsgrundlage für zukünftige Untersuchungen und eine kritische Verbraucheraufklärung unterstützen.

1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist die Untersuchung marktüblicher LED-Leuchtmittel im Hinblick auf die baubiologischen Kriterien Lichtqualität, Flimmerverhalten und elektromagnetische Emissionen.

Zu diesem Zweck sollen zunächst die genannten Kriterien sowie deren Wirkung auf den menschlichen Körper theoretisch erläutert und eingeordnet werden.

Auf Basis eigener Messungen soll mit einer Stichprobe von Lampen verschiedener Hersteller eine baubiologische Einordnung des aktuellen LED-Markts vorgenommen werden. Es wird untersucht, welche Bandbreite die Qualitätsunterschiede haben und ob eine Preissteigerung tatsächlich mit einer Qualitätssteigerung korreliert.

Für die Zusammenfassung der Ergebnisse soll ein Lampenkatalog erstellt werden, der die untersuchten Lampen vorstellt und die Messergebnisse übersichtlich darstellt. Zur einheitlichen Bewertung wird hierfür ein eigenes Bewertungsschema entwickelt. Dies soll als Grundlage für eine objektive Verbraucheraufklärung dienen und die Möglichkeit geben, individuelle Schwerpunkte bei der Beurteilung der Lampen zu setzen.

Kein Ziel dieser Bachelorarbeit ist die Untersuchung der Lampen auf Ultraschallemissionen.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Baubiologie

Da die Baubiologie eine wichtige Grundlage für diese Arbeit bildet, erfolgt zunächst eine Einführung in die zentralen Prinzipien und Ansätze der Baubiologie.

2.1.1 Das Konzept der Baubiologie

Die Baubiologie verfolgt einen ganzheitlichen Ansatz, der sowohl gesundheitliche als auch ökologische und gestalterische Aspekte beim Bau berücksichtigt [2, S. 9]. In der Literatur wird sie definiert als „die Lehre von den ganzheitlichen Beziehungen zwischen den Menschen und ihrer gebauten Umwelt“ mit dem Ziel „ein gesundes, naturnahes, nachhaltiges und schön gestaltetes Wohn- und Arbeitsumfeld zu schaffen“ [3]. Dabei steht der Mensch mit seinen körperlichen und seelischen Bedürfnissen im Mittelpunkt, gleichzeitig wird – sowohl im ökologischen, als auch im sozialen Sinne – ein möglichst nachhaltiges Bauen angestrebt [4, S. 13]. Aufgrund dieser Grundsätze wird eine Bandbreite von Kategorien beachtet, wie etwa die verwendeten Materialien, Schutz vor elektromagnetischer Strahlung, Lärm und Schadstoffen, sowie das Anstreben naturnaher Lichtverhältnisse [2, S. 6-7].

Ein wichtiger Leitsatz lautet: In der Baubiologie „geht es um das Machbare“ [5, S. 18]. Das bedeutet einerseits, dass nicht immer die vollständige Einhaltung aller Richtwerte möglich ist – sei es aus technischen oder finanziellen Gründen. Dennoch ist jede Verbesserung ein Fortschritt.

Andererseits bedeutet dieser Grundsatz auch, dass alle realisierbaren Verbesserungen angestrebt werden, auch wenn entsprechende Richtwerte bereits erreicht sind. Im Rahmen der individuellen Möglichkeiten soll also das bestmögliche baubiologische Ergebnis erreicht werden.

In diesem Sinne lautet seit 1992 das Grundprinzip des Standards der baubiologischen Messtechnik (SBM):

„Jede Risikoreduzierung ist anzustreben. Richtwerte sind Orientierungshilfen. Maßstab ist die Natur.“ [6]

2.1.2 Übersicht über baubiologische Kriterien in der Beleuchtung

Das Institut für Baubiologie und Nachhaltigkeit (IBN) teilt den Wirkungsbereich der Baubiologie in fünf Kategorien mit jeweils fünf Unterpunkten auf. Diese bilden die „25 Leitlinien“. Die fünf Kategorien lauten [2, S. 6-7]:

1. Innenraumklima
2. Baustoffe und Raumausstattung
3. Raumgestaltung und Architektur
4. Umwelt, Energie und Wasser
5. Ökosozialer Lebensraum

Die Beleuchtungsbewertung ist dabei Teil der dritten Kategorie mit der Leitlinie „Auf naturnahe Lichtverhältnisse und Farben achten, flimmerfreie Leuchtmittel verwenden“. Diese nennt die Kriterien, die bei der baubiologischen Wahl der Beleuchtung zu berücksichtigen sind:

Lichtfarbe und Helligkeit sind dem Zweck der beleuchteten Räumlichkeit anzupassen. Eine wichtige Größe ist der Farbwiedergabewert, welcher Aufschluss über die menschliche Farbwahrnehmung beleuchteter Objekte gibt [7, S. 65].

Im Kontext der natürlichen Beleuchtung ist ein besonders wichtiger Aspekt die sogenannte circadiane, die nicht-visuelle, Wirkung von Licht. Sie beeinflusst die innere biologische Uhr des Menschen, die den Organismus mit dem natürlichen Tag-Nacht-Rhythmus synchronisiert. Ein ausgewogenes Lichtangebot – helles Licht am Tag und Dunkelheit oder gedämpftes Licht in der Nacht – ist entscheidend für Gesundheit, Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit. Störungen dieser Lichtverhältnisse können unter anderem negative Auswirkungen auf den Schlaf-Wach-Rhythmus, die Aktivität und kognitive Funktionen haben. [8, S. VIII]

Da der menschliche Organismus sich also nach dem natürlichen Licht der Sonne richtet, sollte dieses in der Lichtplanung vorrangig genutzt werden. Kommt künstliches Licht zum Einsatz, sollte dieses nach natürlichem Vorbild gestaltet sein.

Zentral wird in der Leitlinie auch das Flimmerverhalten erwähnt. Lichtflimmern kann sowohl im sichtbaren als auch im nicht-sichtbaren Bereich vorkommen. Als gesundheitliche Folgen von Exposition können beispielsweise Unwohlsein, Kopfschmerzen und Beeinträchtigung der Sehleistung auftreten [9, S. 24].

Im Sinne der Baubiologie muss auch die Lichtplanung mit ihren Komponenten ganzheitlich betrachtet werden und so spielen zusätzlich Leitlinien aus anderen Kategorien eine wichtige Rolle [2, S. 6-7]:

Den Energieverbrauch minimieren und erneuerbare Energiequellen nutzen – die Beleuchtung sollte energieeffizient sein.

Natürliche Ressourcen schonen, Flora und Fauna schützen – bei verwendeten Materialien ist auf einen geringen Ressourcenverbrauch und eine umweltschonende Ressourcenbeschaffung zu achten.

Natürliche, schadstofffreie Materialien mit möglichst geringer Radioaktivität verwenden – die verarbeiteten Materialien sollen arm an Schadstoffen sein, um die Belastung auf den Menschen und die Umwelt gering zu halten.

Elektromagnetische Felder und Funkwellen minimieren – da es sich um elektrische Komponenten handelt, müssen auch die elektromagnetischen Emissionen beachtet werden.

2.2 Leuchtmittel im Überblick

Im technischen Sprachgebrauch werden die Begriffe Lampe und Leuchte klar voneinander unterschieden.

Eine Lampe – auch Leuchtmittel – beschreibt das Element, das das Licht erzeugt [10, S. 27]. Die Leuchte wiederum ist das Beleuchtungssystem, in das eine oder mehrere Lampen eingesetzt werden. Teile einer Leuchte können beispielsweise Schutzvorrichtungen für die Lampe, Reflektoren, Diffusoren oder elektrische Anschlüsse sein [10, S. 28].

Leuchtmittel lassen sich in drei Hauptkategorien einteilen: thermische Strahler, Gasentladungslampen und Festkörperlichtquellen [11, S. 70]. Jede dieser Technologien basiert auf unterschiedlichen physikalischen Prinzipien, ihre bekanntesten Vertreter werden im Folgenden erläutert. Die bildlichen Darstellungen dienen lediglich der Veranschaulichung typischer Bauformen, je nach Lampenart können weitere Varianten existieren.

2.2.1 Thermische Strahler

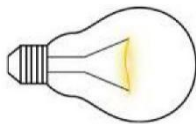


Abbildung 1: Darstellung einer Glühlampe [12, S. 56]

Glühlampen (Abbildung 1) gehören zu den thermischen Strahlern und waren nach ihrer Erfindung 1897 [13, S. 36] über ein Jahrhundert hinweg das dominierende Leuchtmittel im Haushaltsbereich. Sie erzeugen Licht durch Erhitzung eines Wolframfadens, was mit einer geringen Energieeffizienz einhergeht, da ein Großteil der Energie in Wärme, statt Licht verwandelt wird. [7, S. 195-196]

Aufgrund dieser signifikanten Ineffizienz wurden sie in der EU ab 2009 schrittweise vom Markt genommen und dürfen seit 2012 nicht mehr verkauft werden. [14]

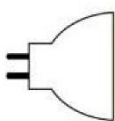


Abbildung 2: Darstellung einer Halogenglühlampe [12, S. 56]

Ab den 1960ern wird der Markt durch **Halogenglühlampen** (Abbildung 2) erweitert [13, S. 36], welche ein ähnliches Wirkprinzip haben. Mit anderen Füllgasen und einem komplexeren, aber wirkungsvolleren Prozess können hier einige für Glühlampen typische Probleme umgangen und eine gesteigerte Lichtausbeute erreicht werden. [7, S. 198-200]

Aufgrund einer EU-Verordnung von 2018 dürfen unter anderem Halogenlampen mit dem Energielabel „D“ oder schlechter nicht mehr hergestellt werden [15], was auch sie zu großen Teilen vom europäischen Markt nimmt.

2.2.2 Gasentladungslampen

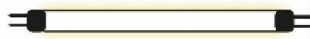


Abbildung 3: Darstellung einer linearen Leuchtstofflampe [12, S. 56]

Leuchtstofflampen und Kompaktleuchtstofflampen gehören zu den bekanntesten Vertretern der Niederdruckgasentladungslampen und zeichnen sich durch höhere Effizienzwerte aus. **Leuchtstofflampen** (Abbildung 3) benötigen ohne Zusatztechnik eine gewisse Aufwärmzeit, um die volle Leuchtkraft zu erreichen und enthalten Quecksilber, welches gesundheitsschädlich ist und ihre Entsorgung problematisch macht. [7, S. 200-208]

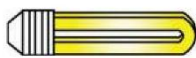


Abbildung 4: Darstellung einer Kompaktleuchtstofflampe [12, S. 56]

Kompaktleuchtstofflampen (Abbildung 4) funktionieren nach dem technisch gleichen Prinzip. Sie sind anders als die langen Röhren der Leuchtstofflampen allerdings dem Namen nach klein und kompakt, sodass sie in herkömmliche Fassungen passen. Es gibt sie mit Steck- und Schraubsockeln. Letztere wurden mit der Bezeichnung *Energiesparlampe* als Ersatz für Glühlampen auf den Markt gebracht. [7, S. 200-208]

Durchsetzen konnten sie sich jedoch nicht, da Konsumenten unter anderem die lange Aufwärmzeit, die schlechte Dimmbarkeit und die Lichtqualität kritisieren. [12, S. 57]

Der Handel mit Leuchtstofflampen, deren Quecksilbergehalt 2,5 mg je Brennstelle übersteigt, ist ab Ende des Jahres 2025 in der EU verboten [16, S. 3], was auch große Teile dieser Lampenart aus dem Markt nimmt.

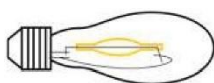


Abbildung 5: Darstellung einer Hochdruckentladungslampe [12, S. 56]

Hochdruckentladungslampen (Abbildung 5) erreichen durch höheren Druck auf das eingeseetzte Gas eine höhere Lichtausbeute und Lichtintensität auf kleiner Fläche. Zudem benötigen Hochdrucklampen höhere Zündspannungen, spezielle Vorschaltgeräte und längere Startzeiten. Ihr Licht ist meist punktförmiger und heller, während Niederdrucklampen eher flächiges, diffuseres Licht erzeugen. [7, S. 210]

2.2.3 Festkörperlichtquellen

Licht emittierende Dioden (LED) [17, S. 15] haben sich seit den 2000er-Jahren als sogenannte Festkörperlichtquellen etabliert [13].

Im Gegensatz zu Glühlampen, die Licht durch Erhitzung eines Drahtes erzeugen, arbeiten LED mit einer direkten Umwandlung von elektrischer Energie in Licht, wodurch sie bei geeigneter Kühlung eine hohe Energieeffizienz und eine lange Lebensdauer aufweisen. Auch grenzt sie zu anderen Lampenarten ab, dass in aller Regel kein Quecksilber enthalten ist und keine Aufwärmzeit benötigt wird.

Auf die Funktionsweise der LED wird in Kapitel 2.3.1 genauer eingegangen.

Durch bereits genannte EU-Verordnungen, welche unter anderem Glühlampen und Leuchtstofflampen stark einschränken, sowie durch die genannten Vorteile der Technologie, konnten LED eine dominante Marktstellung erlangen.

Abbildung 6 zeigt am Beispiel der Schweiz, wie der Leuchtmittelmarkt sich von 2015 bis 2022 prozentual entwickelte. Es ist ein deutlicher Anstieg von LED-Lampen zu beobachten, welche 2022 beinahe zwei Drittel des Marktvolumens abdecken. Weiteres Wachstum ist zu erwarten: Eine von der Europäischen Kommission beauftragte Analyse prognostiziert, dass bis zum Jahr 2030 96 % aller Haushaltslampen in der EU mit LED-Technologie funktionieren werden [12, S. 58].

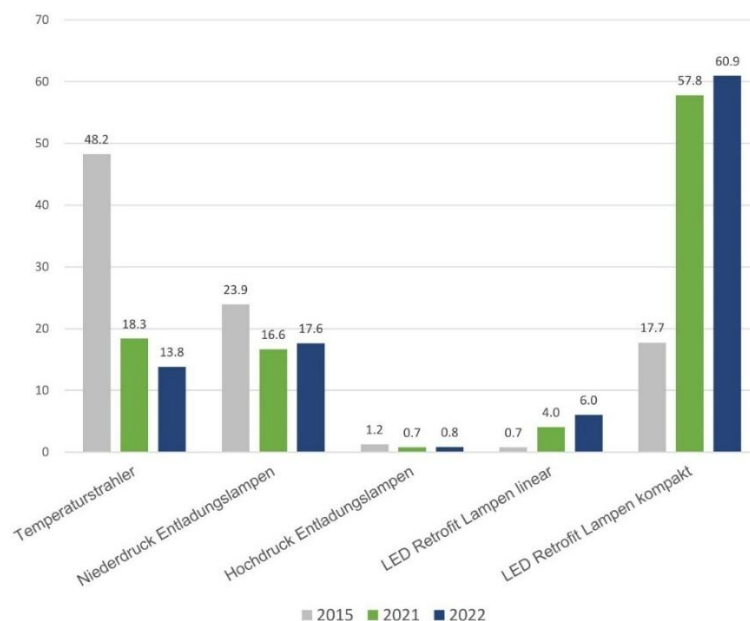


Abbildung 6: Veränderung der prozentualen Anteile am Gesamtleuchtmittelmarkt am Beispiel der Schweiz [18, S. 18]

2.3 Fokus: Lichtemittierende Dioden

Da der Fokus der vorliegenden Arbeit auf LED liegt, wird deren Funktionsweise und ökologischer Fußabdruck im Folgenden eingehender behandelt.

2.3.1 Aufbau, Typen und Anwendungen von LED-Leuchtmitteln

Ein LED-Chip besteht aus zwei unterschiedlich dotierten Halbleiterschichten, die einen Elektronenüberschuss, bzw. einen Elektronenmangel, aufweisen. Wird eine Spannung angelegt, bewegen sich Elektronen, wodurch Energie in Form von Licht freigesetzt wird. Mit der Auswahl der Halbleitermaterialien wird der Bereich der ausgesendeten Wellenlänge festgelegt. [19, S. 152-154]

Da weißes Licht aus einer Kombination aus Wellenlängen besteht, kann es nicht direkt durch einen solchen Aufbau erzeugt werden. Um weißes Licht zu erhalten, gibt es verschiedene Vorgehensweisen. Eine Möglichkeit ist, mehrere farbige LED zusammenzuschalten, die in ihrer Kombination weißes Licht erzeugen. Das kann durch rote, grüne und blaue (RGB) Komponenten erreicht werden. [19, S. 154]

Um weißes Licht bei einer einzelnen LED zu erreichen, kann eine Kombination aus einer Basis-LED und speziellen Phosphorfarbstoffen verwendet werden. Dabei wird energiereiches, kurzwelliges Licht, zum Beispiel aus einer UV- oder blauen LED, in langwelliges Licht umgewandelt. Das Funktionsprinzip ist in Abbildung 7 dargestellt. Durch die gezielte Überlagerung der Farben entsteht schließlich weißes Licht. [20, S. 17-20]

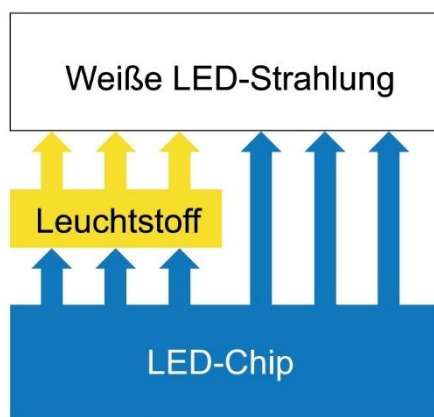


Abbildung 7: Prinzip der Farbmischung von blauem LED-Chip und gelbem Leuchtstoff [20, S. 20]

Der typische Aufbau einer einzelnen LED im Bereich der allgemeinen Beleuchtung besteht, wie in Abbildung 8 dargestellt, aus einem LED-Chip, der auf einem Basisträger (in der Abbildung: „package“) befestigt ist. Eine vergrößerte Darstellung des Chips zeigt beispielhaft sowohl die verschiedenen Halbleiterschichten, als auch die farbgebende Phosphorschicht. Vom Chip aus geht ein Anoden- und ein Katodenkontakt ab. Nach oben wird der LED-Chip mit einer Linse abgeschlossen, die das abgestrahlte Licht bündelt und vor Umwelteinflüssen schützt. Die hier dargestellte ESD-Diode, kurz für Electrostatic-Discharge-Diode, schützt vor Schäden

durch elektrostatische Entladung, ist jedoch nicht standardmäßig in allen LED verbaut. [21, S. 2028-2029]

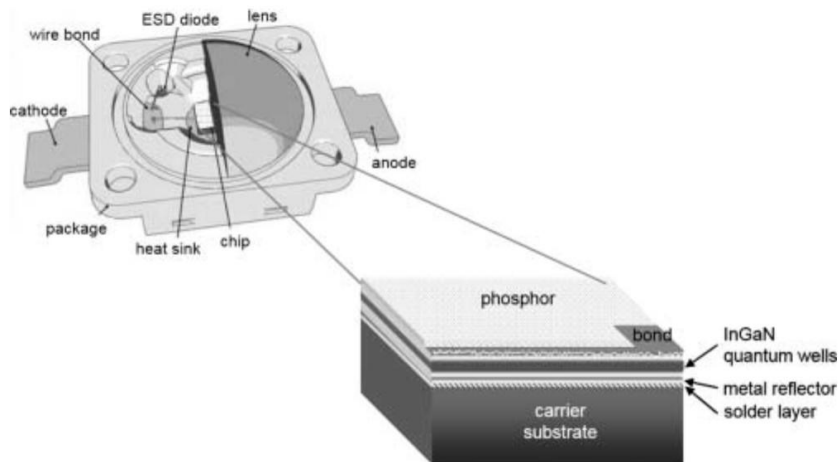


Abbildung 8: Aufbau einer einzelnen LED [21, S. 2028]

Die einzelne LED wird im Normalfall im Anschluss auf eine Leiterplatte montiert. Je nach Bauform wird sie entweder direkt auf der Oberfläche der Leiterplatte montiert oder durch ein Loch hindurch angeschlossen. Es können mehrere LED auf derselben Leiterplatte montiert werden, dann spricht man von einem LED-Array oder Multichip-Array. Es wird außerdem ein elektronisches Vorschaltgerät benötigt. [22, S. 95-97]

Mit den vielfältigen Ausführungen der LED-Technologie beginnen die Begriffe von Leuchte und Lampe zunehmend zu verschwimmen. Da die Montage auf der Leiterplatte durch eine Lötung geschieht, ist das Leuchtmittel nicht mehr als eigenständiges, austauschbares Element vorhanden, sondern fest in die Leuchte integriert. LED-Module, Kühlung und Vorschalt elektronik bilden oft eine untrennbare Einheit.

Der Wirkungsgrad und die Lebensdauer von LED ist stark von der Temperatur abhängig. Im Gegensatz zu anderen Beleuchtungstechnologien erzeugen LED kaum Wärme durch Infrarot- oder UV-Strahlung. Stattdessen entsteht Wärme überwiegend dadurch, dass ein Teil der zugeführten elektrischen Energie nicht in Licht, sondern in Wärme umgewandelt wird, was zu einem Temperaturanstieg im Inneren der LED führt. Daher sollte die Leiterplatte der LED so konzipiert sein, dass sie eine entsprechende Wärmeabgabe gewährleistet. Dies ist in Abbildung 8 mit dem Modul „heat sink“ dargestellt. [22, S. 95-97] [21, S. 2024] [23, S. 26]

Um andere Leuchtmittel schnell und einfach durch LED ersetzen zu können, müssen LED an deren Aufbau angepasst werden – dies sind die sogenannten „Retrofit“-LED, die in gängige Fassungen passen [17, S. 12] und damit im Gegensatz zu anderen LED ganz klar als Leuchtmittel oder Lampe definiert werden können. Noch mehr an die Glühlampe angepasst sind die „Filament“-Lampen, die neben der Lampenform auch mit vielen LED auf einem Band den Draht von Glühlampen nachahmen. Diese steuern die Wärmeabgabe nicht über einen metallischen Träger, sondern über das umgebende Gas und die Glas- oder Kunststoffbirne. [21, S. 2023]

2.3.2 Umweltbelastung durch LED-Leuchtmittel

Für eine baubiologische Betrachtung ist auch die ökologische Auswirkung eines Produkts relevant.

Die LED wird aufgrund ihrer hohen Energieeffizienz oft als umweltfreundliche Alternative zu anderen Leuchtmitteln gesehen. Um die Umweltbelastung eines Produktes beurteilen zu können, ist allerdings nicht nur der Energieverbrauch relevant. Es ist eine ganzheitliche Betrachtung über den gesamten Lebenszyklus nötig, welcher für Lampen beispielhaft in Abbildung 9 dargestellt ist. Dafür wird eine Lebenszyklusanalyse, im Englischen Life-Cycle Analysis (LCA), durchgeführt, die neben der Nutzungsphase auch die Ressourcengewinnung, Rohstoffverarbeitung, Herstellung und Entsorgung mitberücksichtigt. [21, S. 2033]

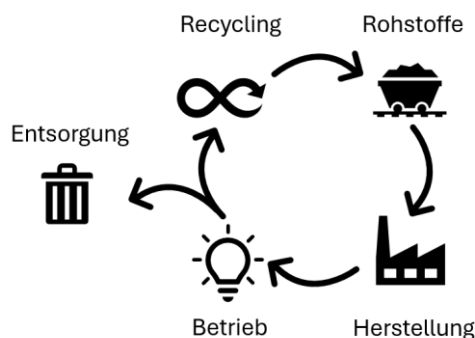


Abbildung 9: Lebenszyklus einer Lampe (eigene Darstellung)

Ein Zeitschriftenaufsatz von Franz und Wenzl in der Fachzeitschrift *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* [21] untersucht und vergleicht verschiedene LCA, die über LED-Lampen erstellt wurden.

Zu den **Ressourcen** für die LED-Herstellung zählen unter anderem Seltenerdmetalle und strategische Metalle. Für den Einsatz in LED müssen Seltenerdmetalle eine nahezu hundertprozentige Reinheit aufweisen, was aufwändige Reinigungs- und Verarbeitungsverfahren erfordert, die energieintensiv und ökologisch belastend sind. Strategische Metalle sind begrenzt verfügbar und unterliegen daher häufig finanziellen Spekulationen. Damit sind diese Materialien, trotz ihrer sehr geringen Mengen, besonders im Fokus der Umweltbilanz. [21, S. 2026-2027]

Die **Herstellung** von LED ist ein hochkomplexer Prozess. Der Vergleich zeigt auf, dass LED in der Herstellungsphase deutlich schlechter abschneiden, als in anderen Phasen des Lebenszyklus [21, S. 2050-2051]. Dies bedeutet, dass die Verluste in der Herstellung erst durch die energieeffiziente Nutzung ausgeglichen werden müssen, bevor ein Vorteil entsteht.

Im **Betrieb** sind die Effizienz und Langlebigkeit der Lampe entscheidend [21, S. 2050-2051]. Die Effizienz hängt von mehreren Faktoren ab: der Qualität des LED-Chips selbst, dem System für die Lichtverteilung, dem Vorschaltgerät und dem Wärmemanagement. Retrofit-LED bleiben hinter anderen LED-Ausführungen zurück, da ihr Design wenig Spielraum für effektive Kühlung lässt [21, S. 2030-2031] – nur so können LED allerdings in bestehenden Systemen

zum Einsatz kommen. Trotz dieses Nachteils im Aufbau schneiden sie, verglichen mit anderen Leuchtmittelarten, gut ab.

Grundsätzlich ist die Energieeffizienz haushaltsüblicher Lampen, wie Abbildung 10 darstellt, durch den Einsatz von LED um ein Vielfaches gestiegen. Wird eine Glühlampe durch eine LED ersetzt, sind Einsparungen um bis zu 85 % erreichbar.

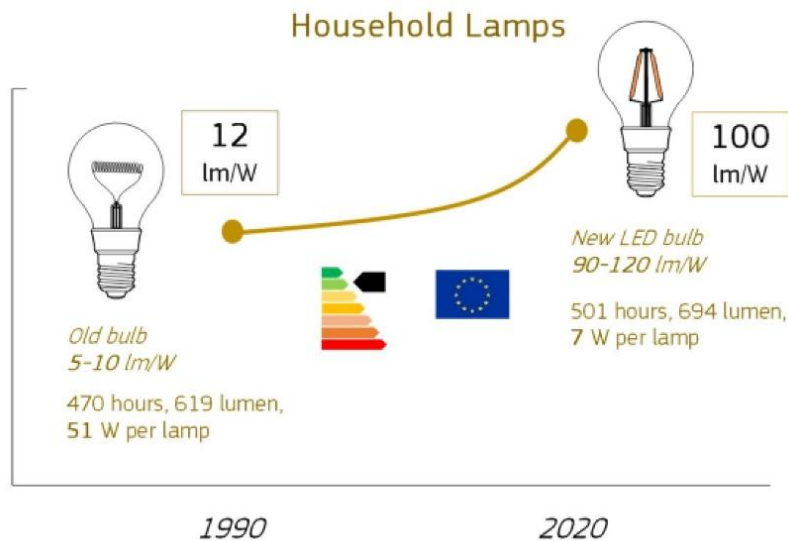


Abbildung 10: Entwicklung der Lichtausbeute von Haushaltslampen [12, S. 20]

Für die Lebensdauer geben Hersteller Werte zwischen 15.000 und 50.000 Stunden an. Der Unterschied zu anderen Lampentypen ist so bedeutsam, dass ein Einbruch der Verkaufszahlen im Lampensektor zu beobachten ist und auch weiter prognostiziert wird, wie Abbildung 11 zeigt.

Dieser Einbruch findet trotz einer Steigerung der durchschnittlichen Lampen pro Haushalt in der EU statt. Von 2005 bis 2015 stieg die Anzahl von 22 Lampen auf 29 Lampen, Tendenz weiter steigend. [12, S. 57]

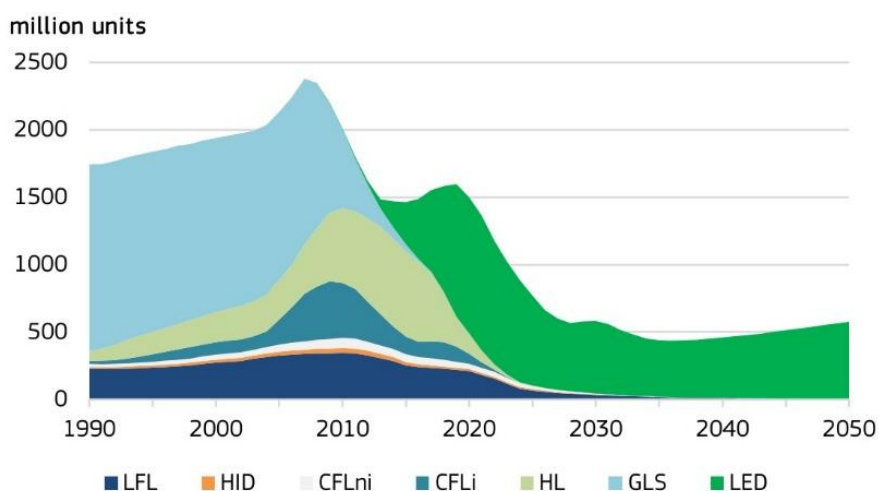


Abbildung 11: Voraussichtliche Entwicklung des Lampenabsatzes in der EU aufgrund der längeren Lebensdauer von LED-Lampen [12, S. 59]

Dies zeigt die Größenordnung der Verbesserung der Lebensdauer und der Energieeffizienz von bisher genutzten Lampen zu LED.

Die **Entsorgung** von LED ist eine Herausforderung. In den untersuchten LCA macht sie bis zu 27 % der Umweltauswirkungen aus.

Recycling ist möglich, wurde allerdings 2017, zum Zeitpunkt des LCA-Vergleichs [21], noch nicht kommerzialisiert, was bei einigen anderen Leuchtmitteln schon der Fall war [21, S. 2051].

Ein Fachbericht aus dem Jahr 2024 [24] zeigt auf, dass die Schwierigkeiten beim LED-Recycling noch aktuell sind. Zum einen wird laut dem Fachbericht eine gute Vorsortierung durch die breite Ausführungsvielfalt von LED erschwert, zum anderen können mit einem Verfahren nicht alle Zielrohstoffe gleichzeitig zurückgewonnen werden, was zu niedrigen Quoten führt und damit den industriellen Einsatz erschwert.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass LED im Bereich des Stromverbrauchs besonders gut abschneiden – als umweltfreundlichstes Leuchtmittel können sie allerdings aufgrund der aufwendigen Herstellung und der Problemstellungen im Recycling nicht ohne weiteres bezeichnet werden. Je nach Anwendungsbereich schneiden Leuchtstofflampen, Induktionslampen, Hochdruck-Natriumdampflampen und keramische Metallhalogenid-Lampen in einer ganzheitlichen LCA ähnlich gut ab. [21, S. 2064]

Zukünftig ist also vorrangig eine gute Recyclingstrategie für LED nötig, um durch die Wiedergewinnung und Wiederverwendung der Materialien sowohl in der Entsorgungsphase als auch in der Herstellungsphase eine Verbesserung zu erzielen.

LCA liefern jedoch nur einen Teil der Informationen, die für die Auswahl einer geeigneten Lampe benötigt werden. Die Kosten und die Lichtqualität werden beispielsweise nicht mit einbezogen [21, S. 2064].

2.4 Größen zur Bewertung von Licht und Lampen

2.4.1 Photometrische Lichtgrößen

Der Lichtstrom ist eine photometrische Größe, die die gesamte sichtbare Strahlungsleistung einer Lichtquelle richtungsunabhängig quantifiziert. Dabei wird nicht die gesamte elektromagnetische Strahlung berücksichtigt, sondern nur der für das menschliche Auge wahrnehmbare Bereich. Die Bewertung erfolgt gemäß der sogenannten spektralen Helligkeitsempfindlichkeit $V(\lambda)$, die beschreibt, wie empfindlich das menschliche Auge auf verschiedene Wellenlängen des Lichts reagiert. Der Lichtstrom wird in der Einheit Lumen (lm) angegeben und wird standardmäßig auf den Produktverpackungen von Lampen angegeben. [7, 24–25]

Die Beleuchtungsstärke gibt an, wie viel Lichtstrom auf eine bestimmte Fläche trifft. Sie wird in Lux (lx) gemessen, wobei ein Lux einem Lumen pro Quadratmeter entspricht. Sie hängt sowohl vom Abstand zur Lichtquelle als auch vom Abstrahlwinkel und der Ausrichtung der Fläche ab. Die Beleuchtungsstärke ist ein wichtiger Wert für die Lichtplanung, da sie – mit

Berücksichtigung der Sehaufgabe im künftigen Anwendungsbereich – für die Dimensionierung der Beleuchtung genutzt wird. [7, S. 27-28]

Die photometrischen Größen der Lichtstärke und Leuchtdichte werden für die Ausführung dieser Arbeit nicht benötigt.

2.4.2 Lichttechnische Eigenschaften und deren Wirkung auf den Menschen

Die spektrale Zusammensetzung von Licht lässt Rückschlüsse über die Wirkung und Eigenschaften einer Lichtquelle zu. Da in der Baubiologie die Natur als Vorbild genommen wird, ist das Lichtspektrum der Sonne die wichtigste Orientierungsgröße. Wie in Abbildung 12, Abbildung 13 und Abbildung 14 zu sehen ist, ändert sich die spektrale Zusammensetzung der Sonne in Abhängigkeit von der Tageszeit.

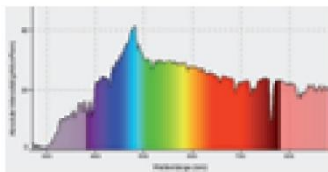


Abbildung 12: Weiß bedeckter Himmel mittags [25, S. 26]

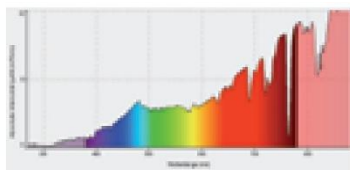


Abbildung 13: Rötliches Sonnenlicht kurz vor Sonnenuntergang [25, S. 26]

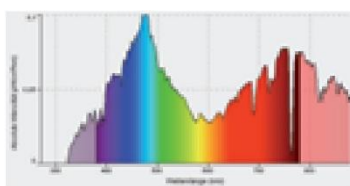


Abbildung 14: Abendhimmel nach Sonnenuntergang (blaue Stunde) [25, S. 26]

Der Mensch hat sich – wie viele andere Organismen – an die Sonne als natürlichen Zeitgeber angepasst [8, S. 20]. Besonders reagiert der Mensch auf den hohen Anteil kurzwelligen Lichts, die hohe Beleuchtungsstärke über eine große Fläche (Himmel) und die Dämmerungsphasen, die den Übergang zwischen Hell- und Dunkelperioden bilden [8, S. 53].

Nach diesen externen Reizen richtet sich der circadiane Rhythmus, der in einem etwa 24-Stunden-Zyklus wichtige körperliche Prozesse wie Schlaf, Hormonproduktion und Körpertemperatur steuert [8, 18 ff.]. Diese Wirkung von Licht wird als nicht-visuelle, biologische, oder auch melanopische Wirkung bezeichnet, da sie von Fotorezeptoren im Auge ausgeht, die nicht zur Sehleistung beitragen, genannt retinale Ganglienzellen [8, S. VIII] [26, S. 7].

Dem Rhythmus der Sonne entsprechend benötigt der Mensch während der ergotropen (aktiven) Phase viel helles, nicht blendendes Licht, welches am besten durch den Himmel bereitgestellt wird. Gegenteilig dazu ist in der trophotropen (ruhenden) Phase warme Beleuchtung mit niedriger Helligkeit – wie etwa von der untergehenden Sonne – geeignet, um sich auf den Nachtschlaf vorzubereiten [8, S. 43]. In der Dämmerungszeit wird, sowohl morgens als auch abends, für eine sehr kurze Zeit besonders blautichiges Licht ausgesendet, was ein intensives Zeitgebersignal für den menschlichen Körper ist. Auch wenn die Wirkung bekannt ist, ist die Wirkungsweise der Dämmerung noch nicht vollständig erforscht [8, S. 32].

Moderne künstliche Beleuchtung kann aufgrund ihrer Helligkeit und spektralen Zusammensetzung ebenfalls eine zeitgebende Wirkung haben und daher den circadianen Rhythmus beeinflussen [8, S. 48].

Abbildung 15 zeigt, dass es Beleuchtungsarten mit geringem Blauanteil gibt, ähnlich der Sonne am Abend. Diese haben eine geringe melanopische Wirkung.

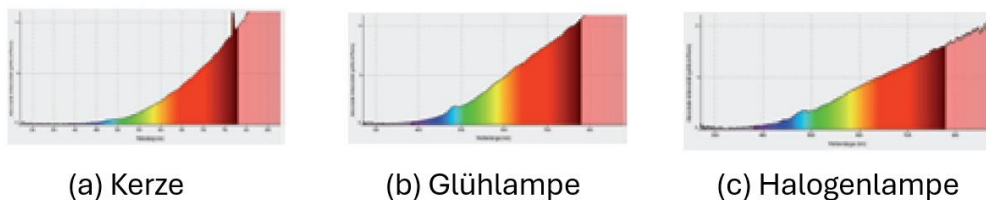


Abbildung 15: Beleuchtungsarten mit geringem Blauanteil [25, S. 26-27]

In der Abbildung 16 ist dagegen eine LED mit dem charakteristischen Blau-Peak zu sehen. Dieser entsteht bei weißen LED häufig durch ihre Funktionsweise auf Basis von blauem Licht, welche in Kapitel 2.3.1 näher beschrieben ist. LED tendieren aufgrund ihrer spektralen Zusammensetzung teils zu einer höheren melanopischen Wirkung und können bei Nutzung in der trophotropen Phase die innere Uhr verstellen.

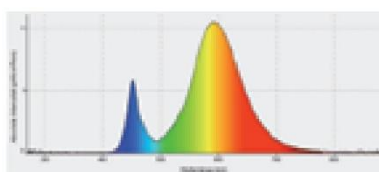


Abbildung 16: LED (BIO LED EX 10 W) [25, S. 27]

Die melanopische Wirkung einer Lichtquelle oder Beleuchtungssituation lässt sich durch sogenannte melanopisch äquivalente Tageslicht-Größen wiedergeben.

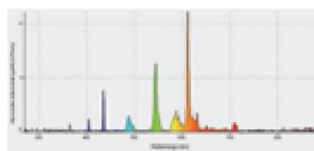
EMLR (Melanopic Ratio) gibt an, welcher Anteil der gemessenen Beleuchtungsstärke melanopisch wirksam ist. Dieser Anteil, angegeben in Lux, ist EML (Equivalent Melanopic Lux). [27, S. 95]

Eine Alternative ist die Größe MEDI (melanopic equivalent daylight illuminance). Diese gibt in Lux an, welche Beleuchtungsstärke von Tageslicht bei einem festgelegten Referenzspektrum dieselbe melanopische Wirkung wie die gemessene Lampe erzielen würde [28, S. 212-213].

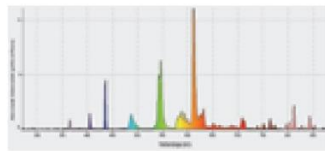
Dabei werden je nach Alter 500 bis 700 lux tagsüber und 10 bis 15 lux abends angestrebt, um einen natürlichen Rhythmus beizubehalten [27, S. 419].

Neben der Einflussnahme auf die innere Uhr kann kurzwellige Strahlung bei besonders hoher Intensität auch eine Blaulicht-Netzhautschädigung verursachen, welche oft bleibende Schädigung am Auge hinterlässt [29, S. 4]. Weiße LED mit üblichen Beleuchtungsdichten, für beispielsweise Arbeitsplätze, sind diesbezüglich unbedenklich, auch bei einem erhöhten Blauanteil [29, S. 6].

Abbildung 17 zeigt sogenannte Linienspektren, die keiner natürlichen Lichtquelle ähneln. Diese zeichnen sich durch einige wenige Intensitätsmaxima ohne kontinuierlichen Verlauf aus. Sollten diese Maxima mit den Testfarben des R_a -Werts übereinstimmen (für weitere Erklärung siehe Seite 25), kann auch mit einem solchen Spektrum ein guter Farbwiedergabewert erreicht werden, ohne in der Praxis eine durchgängig gute Farbwiedergabe zu gewährleisten. Lampen mit diesen Spektren sind baubiologisch nicht empfehlenswert, da sie sich von dem natürlichen Vorbild der Sonne entfernen.



(a) Leuchtstofflampe



(b) Energiesparlampe

Abbildung 17: Beleuchtungsarten mit Linienspektrum [25, S. 26-27]

Neben der spektralen Zusammensetzung gibt es auch viele andere bedeutsame Eigenschaften.

Jedes Licht hat eine Lichtfarbe, die mit einem Farbort auf der CIE-Normfarbtafel (Abbildung 18) korreliert. Dieser wird durch Koordinaten beschrieben. Weißes Licht liegt dabei auf der Planckschen Kurve, welche ebenfalls auf der Abbildung dargestellt ist. Die Farbtemperatur gibt in Kelvin an, wie warm oder kalt dieses weiße Licht ist. Warmes Licht im Bereich von 2700 K bis 3200 K wird dabei für die Beleuchtung von Wohnräumen empfohlen. [20, S. 21] [11, S. 76]

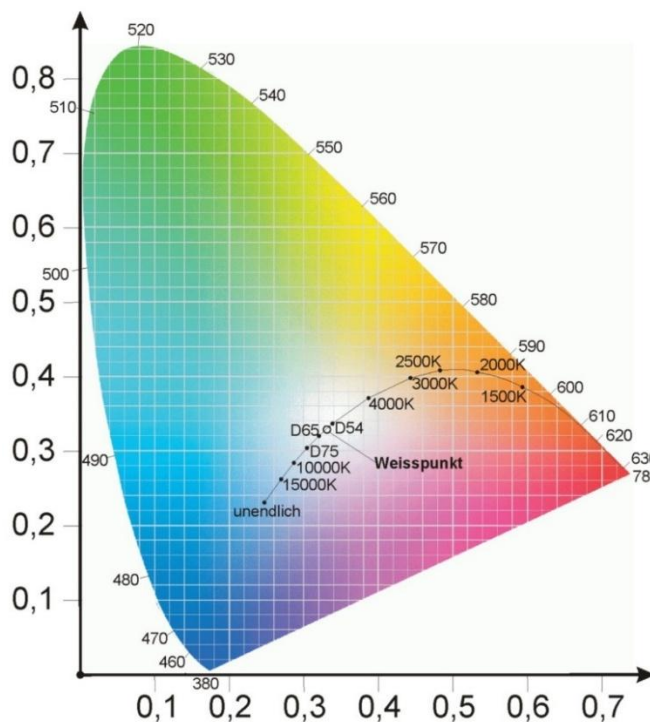


Abbildung 18: Normtafel nach CIE 1931 [30]

Eine weitere wichtige Größe ist der Farbwiedergabeindex (auch CRI = Color Rendering Index) $CIE-R_a$, welcher durch acht Testfarben (Abbildung 19, obere Reihe) ermittelt wird. Bei der zu testenden Lichtquelle wird die Wiedergabe dieser Farben bestimmt und mit einer genormten Referenzbeleuchtung verglichen. Aus den Ergebnissen der einzelnen Farben wird anschließend ein arithmetischer Mittelwert gebildet. Kritik an $CIE-R_a$ beinhaltet, dass die Farbwahrnehmung des Menschen für die Beurteilung nicht genügend berücksichtigt wird, vor allem durch zu wenig Repräsentation von Buntheit in den Testfarben. Daher wurden für eine neue Beurteilung sechs Farben hoher Buntheit (Abbildung 19, untere Reihe) hinzugefügt. [20, S. 12]

2015 wurde schließlich ein neuer Wert – R_f – eingeführt, welcher auf einer Grundlage von 99 Farben ermittelt wird [20, S. 12-14]. Wie Abbildung 20 zeigt, sind in den Farben für R_f helle und dunkle Töne, Farben hoher und niedriger Buntheit und viele verschiedene Farbabstufungen vertreten.

TCS 01	TCS 02	TCS 03	TCS 04	TCS 05	TCS 06	TCS 07	TCS 08
7,5 R 6/4	5 Y 6/4	5 GY 6/8	2,5 G 6/6	10 BG 6/4	5 PB 6/8	2,5 P 6/8	10 P 6/8

TCS 09	TCS 10	TCS 11	TCS 12	TCS 13	TCS 14
4,5 R 4/13	5 Y 8/10	4,5 G 5/8	3 PB 3/11	5 YR 8/4	5 GY 4/4

Abbildung 19: CIE-Testfarben nach DIN 6169-2 [20, S. 13]



Abbildung 20: Illustration der Farberscheinung der 99 Testfarben des TM30-15 [20, S. 15]

R_a - und R_f -Werte sind im Wert oft ähnlich, dieselbe Lichtquelle kann allerdings unterschiedliche R_a - und R_f -Werte aufweisen. Im Einzelhandel wird für die Produktdatenblätter weiterhin der R_a -Wert von 1995 verwendet, basierend auf den ursprünglichen acht Testfarben. [20, S. 17]

Die Farbe R-9, welche ein kräftiges Rot darstellt, ist bei LED aufgrund des technischen Ausbaus meist am schlechtesten bewertet [20, S. 23]. Für die spektrale Bewertung einer Lampe wird oft zusätzlich dieser Einzelwert herangezogen, da die Kombination eines hohen R-9 und R_a -Werts auf eine insgesamt hohe Farbwiedergabequalität hinweist.

2.4.3 Lichtflimmern und Folgewirkungen

Lichtflimmern wird definiert als „sich regelmäßig wiederholende, also periodische Veränderung des Lichtstroms oder des Lichtspektrums“ [9, S. 5].

Als flimmerfrei oder flimmerarm werden Leuchtmittel bezeichnet, die entweder gleichmäßig Licht abgeben oder aber so hohe Frequenzen haben, dass diese vom menschlichen Auge nicht mehr erfasst werden können.

Die Ursache von Lichtflimmern kann periodische Abschattung, Lichtreflexionen von rotierenden Gegenständen oder, wenn es um die Lichtquelle selbst geht, die Betreibung der Leuchtmittel mit Wechselstrom sein [9, S. 5]. Glüh- und Halogenlampen flimmern typischerweise nur wenig aufgrund von Wechselstrom, da der erhitzte Draht nachglüht und somit nur sehr träge auf die Stromzufuhr reagiert. Seit Gasentladungslampen genutzt werden, ist störendes Flimmern ein präsent Problem, weil das Licht der schwankenden Stromversorgung folgt. Durch elektronische Vorschaltgeräte ist auch dort eine flimmerfreie Lichtabgabe, teilweise sogar flimmerfreies Dimmen, möglich. [9, S. 9]

LED reagieren nahezu ohne Verzögerung auf Änderungen der Stromversorgung. Bei dem Betrieb mit Wechselspannung ist mit einer Frequenz von typischerweise 100 Hz - 400 Hz zu rechnen. [31]

Zum Dimmen können zwei Vorgehensweisen eingesetzt werden, deren Funktion in Abbildung 21 dargestellt ist. Stromabsenkung ist teurer und bringt teilweise Veränderungen in der Lichtfarbe und Ausfälle einzelner LED mit sich, trägt aber nicht zu einer Flimmerproblematik bei. Pulsweitenmodulation funktioniert durch ein schnelles Ein- und Ausschalten der Lampe, was

für das menschliche Auge geringere Helligkeit simuliert. Je nach Frequenz kann dies als Flimmern wahrnehmbar sein. Eine stabile und angenehme Lichtqualität kann durch eine Kombination der Methoden erreicht werden. [9, S. 10-11]

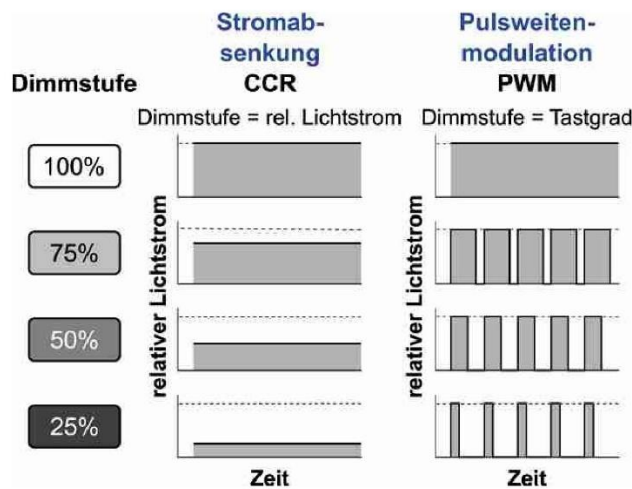


Abbildung 21: Vergleich der Dimm-Methoden Stromabsenkung und Pulsweitenmodulation [9, S. 10]

Lichtflimmern ist je nach Frequenz wahrnehmbar oder nicht wahrnehmbar. Die Grenzfrequenz zwischen diesen beiden Zuständen heißt Flimmerverschmelzungsfrequenz [9, S. 13]. Diese liegt bei einer Modulationstiefe (Amplitude) von 100 % zwischen 80 und 90 Hz [9, S. 14] [32, S. 9]. Die Empfindlichkeit verringert sich mit sinkender Umgebungsbeleuchtung bis ca. 20 Hz - 40 Hz [9, S. 16]. Die Flimmerwahrnehmung ist außerdem abhängig vom Sehwinkel und am deutlichsten, wenn sich die Quelle etwa 30° neben der direkten Sichtlinie befindet [9, S. 17].

Eine flimmernde Lichtquelle kann einen Stroboskopeffekt produzieren, welcher – anders als das Flimmern an sich – auch bei Frequenzen über der Flimmerverschmelzungsfrequenz wahrgenommen werden kann [32, S. 9]. Dieser entsteht, wenn ein sich bewegendes Objekt von flimmerndem Licht so beleuchtet wird, dass es für das menschliche Auge plötzlich langsamer, stillstehend oder ruckartig bewegt aussieht. Das kann zum Beispiel bei sich drehenden Maschinen unter flimmerndem Licht passieren: Dreht sich die Maschine mit derselben Frequenz, mit der das Licht pulsiert, wird die Maschine immer an derselben Stelle kurz beleuchtet und erscheint für das Auge als stillstehend. In diesem Fall ist der Stroboskopeffekt auch eine mögliche Gefahrenquelle. [9, S. 19-21]

Ein weiterer Effekt sind sogenannte Geisterbilder, die auf umgedrehte Weise, also durch einen „nicht statischen Beobachter in einer statischen Umgebung“ [9, S. 22] wahrgenommen werden. Dieser Effekt wird durch den Versuchsaufbau dieser Bachelorarbeit nicht abgedeckt und wird daher nicht weiter ausgeführt.

Durch Lichtflimmern und die genannten Folgeerscheinungen können gesundheitliche Folgen entstehen. Eine längere Exposition von Frequenzen bis zu 200 Hz – also bis weit über den bewusst wahrnehmbaren Bereich hinaus – kann zu Unwohlsein, verminderter Konzentrationsleistung, Ermüdung, Kopfschmerzen und Beeinträchtigung der Sehleistung führen [9, S. 24-

2.4.4 Elektromagnetische Felder und Strahlung

Elektromagnetische Felder (EMF) und Strahlung lassen sich nach dem SBM [33] in verschiedene Bereiche aufteilen:

1. Niederfrequente elektrische und magnetische Wechselfelder

Elektrische Wechselfelder entstehen, sobald eine Wechselspannung vorhanden ist – das ist beispielsweise bei Steckdosen und eingesteckten Verbrauchergeräten der Fall. Spannung reicht aus, um ein elektrisches Feld zu erzeugen. Es ist also auch vorhanden, wenn ein Gerät ausgeschaltet ist. Elektrische Wechselfelder werden in Volt pro Meter (V/m) gemessen. [34, S. 12]

Magnetische Wechselfelder entstehen, sobald elektrischer Wechselstrom fließt. Sie werden in Nanotesla (nT) oder Mikrottesla (μT) angegeben. [34, S. 18]

2. Hochfrequente Elektromagnetische Strahlung (HF)

Diese breitet sich ohne physische Verbindung aus und wird in vielen alltäglichen Bereichen eingesetzt, zum Beispiel bei Mikrowellen, WLAN, Bluetooth und Mobilfunk. In der Baubiologie werden sie in Mikrowatt pro Quadratmeter (μW/m²) angegeben. [34, S. 24]

3. Elektrische und magnetische Gleichfelder

Elektrische Gleichfelder treten häufig an spannungsführenden Oberflächen auf, beispielsweise bei synthetischer Kleidung [34, S. 40]. Magnetische Gleichfelder werden zum Beispiel durch magnetisierte Metalle verursacht [34, S. 42].

Gleichfelder sind für die durchzuführenden Messungen nicht relevant und werden daher nicht weiter ausgeführt.

Umgangssprachlich wird die „Verschmutzung der Umwelt durch technische Felder und Strahlung“ auch als Elektromog bezeichnet [34, S. 4]. Der Begriff wird häufig als Überbegriff aller elektromagnetischer Felder und Strahlung verwendet.

Neben Licht und Wärmestrahlung sind Menschen in der Regel nicht fähig elektromagnetische Felder wahrzunehmen. Trotz dessen können diese Felder – in Abhängigkeit der Intensität – den menschlichen Organismus beeinflussen [34, S. 7]. In der Baubiologie ist zu unterscheiden zwischen natürlichen Feldern, wie beispielsweise dem Erdmagnetfeld oder Gewitteraktivitäten, und künstlichen Feldern, wie etwa Radio- und Mobilfunkstrahlung. Durch den technischen Fortschritt gibt es immer mehr und immer stärkere künstliche Felder, die in ihrer Intensität weit über die natürlichen Felder hinausgehen [34, S. 8–9].

Elektromog ist ein komplexes Forschungsthema, da es viele Variablen beinhaltet. Auf der einen Seite sind elektromagnetische Felder sehr vielfältig und könnten je nach Frequenz, Intensität, Entfernung und Expositionsdauer unterschiedliche Wirkungen auslösen. Auf der anderen Seite ist eine Kausalität in den komplexen biologischen Prozessen des menschlichen Körpers grundsätzlich schwer nachzuweisen [35, S. 14]. Die Forschung wird außerdem aus verschiedenen Gründen zusätzlich erschwert. Die Geschwindigkeit neuer technischer Entwicklungen begrenzt die Möglichkeiten fundierter Untersuchungen über Langzeitwirkungen.

Gleichzeitig gestaltet sich der Vergleich mit einer Kontrollgruppe schwierig, da eine Exposition von künstlichen Feldern weit verbreitet ist.

Die *EUROPAEM EMF Guideline 2016*, welche in der Fachzeitschrift *Environ Health* erschien, weist auf eine klare Verbindung zwischen EMF und gesundheitlichen Problemen hin, belegt durch Studien, empirische Beobachtung und Patientenbefragungen [36, S. 363].

Dabei wird unterschieden in thermische Effekte, bei der sich das Körpergewebe durch Absorption der Strahlung erwärmt, und nicht-thermische Effekte, welche biologische und gesundheitlich relevante Wirkungen bei niedriger Strahlungsintensität zusammenfassen [36, S. 365]. Dazu gehören die Symptome der Elektrohypersensitivität (EHS). Diese beschreibt eine erhöhte Empfindlichkeit gegenüber EMF und zeigt sich durch beispielsweise Kopfschmerzen, Konzentrationsschwierigkeiten, Antriebslosigkeit und Schlafprobleme [36, S. 364]. Diese Krankheit ist teilweise, aber noch nicht allgemein anerkannt. [37]

Es ist außerdem die Langzeitexposition zu betrachten, bei welcher Hinweise auf erhöhte Risikofaktoren für bestimmte Krebsarten, Alzheimer oder Unfruchtbarkeit bestehen, aber noch nicht abschließend bewiesen sind [36, S. 363].

Besonders gut belegt sind die thermischen Effekte und eine Auswirkung auf die Hirnströme [38, S. 66] [35, S. 14].

Als Folge dieser Erkenntnisse haben beispielsweise Österreich und Frankreich ihre gesetzlichen Standards erhöht und es wurde ein internationaler Aufruf an die UN und WHO von 220 Forschern unterschrieben, besser über die potenziellen Risiken aufzuklären und diese ernst zu nehmen. [36, S. 366-367]

Ein in der Baubiologie viel zitierter Ratgeber von diagnose:funk [34], einer Umwelt- und Verbraucherschutzorganisation, berichtet:

„Der sogenannte Elektrosmog kann das vegetative und zentrale Nervensystem, Hormone, Chromosomen und Zellen beeinflussen und auch stören. Eine zu starke und zu lange Belastung ist Stress für lebende Systeme und kann zu teils schweren Krankheiten führen. Plausible Modelle für die Wirkmechanismen dahinter sind bekannt.“ [34, S. 7]

Diese Aussage basiert auf Studien aus dem Zeitraum von 1995 bis 2013 und legt diese als weitaus klarer in ihren Ergebnissen aus als andere Institutionen.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass elektromagnetische Felder und Strahlung sich auf den menschlichen Körper auswirken, die Schwere der Folgen jedoch nicht abschließend erforscht ist. Der Kenntnisstand im Jahr 2025 ist allerdings ausreichend, um Vorsorgemaßnahmen zu treffen.

Aus diesem Grund ist nach baubiologischer Empfehlung Elektrosmog im Wohnbereich zu vermeiden oder nach Möglichkeit zu reduzieren, was unter anderem die Beleuchtung betrifft.

2.4.5 Ökonomische Größen und Langlebigkeit

Ein zentraler Parameter im Marktvergleich von Lampen ist der Preis. Während die qualitative Beurteilung der einzelnen Produkte bereits für sich aussagekräftig ist, orientieren sich Verbraucher in der Praxis häufig am Verhältnis von Preis und Leistung.

Außerdem ist die Lebensdauer einer Lampe relevant. Durch Lichtstromerhalt und Lebensdauerfaktor wird die Qualitätsabnahme der Lampe über einen definierten Testzeitraum quantifiziert. Der Lebensdauerfaktor gibt wieder, wie viele Lampen nach dem Test noch funktionsfähig sind. Der Lichtstromerhalt beschreibt den gemittelten Nennlichtstrom aller Lampen nach dem Test, wobei ausgefallene Lampen nicht berücksichtigt werden. [39, S. 78] [40, S. 239]

2.5 Übersicht zur EU-Datenbank EPREL

Einige der Werte in der Untersuchung dieser Bachelorarbeit werden den Angaben der Hersteller in der EU-weiten Datenbank EPREL entnommen oder mit ihnen verglichen. Es folgt eine kurze Vorstellung der Datenbank.

Im Zuge der Neuauflage der Energieverbrauchskennzeichnung durch die Verordnung 2017/1369 [41] wurde die Einführung eines Online-Katalogs angekündigt. Dies betrifft alle Produkte, die ein Energie-Label benötigen. Der Katalog ermöglicht durch ein standardisiertes Produktdatenblatt, mit genauen Definitionen der Parameter, einfache Produktvergleiche zwischen Artikeln. [41, S. 5]

Der jeweilige Eintrag in der Produktdatenbank ist über den QR-Code auf dem Energie-Label eines Produkts (Abbildung 23, Nr. V) öffentlich zugänglich.

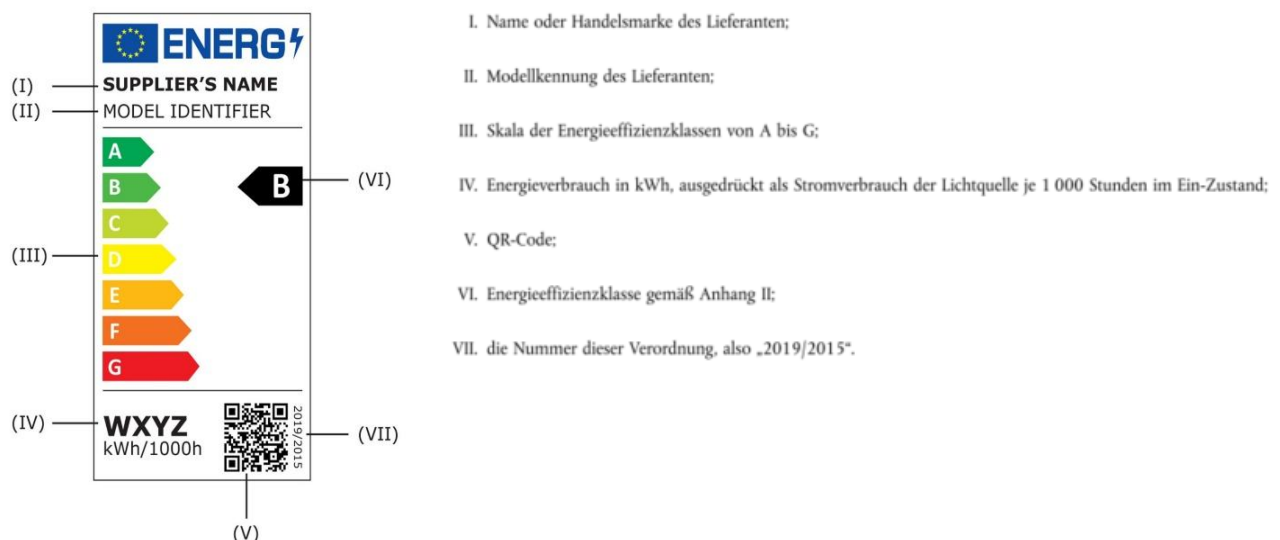


Abbildung 23: Aufbau des EU-Energie-Labels [39, S. 82]

Eine entsprechende Kennzeichnung und Registrierung ist seit September 2021 Pflicht [39, S. 73]. Die Vorgaben über die Energieverbrauchskennzeichnung für Lichtquellen im speziellen

regelt die EU-Verordnung 2019/2015 [39]. Diese gibt unter anderem die anzugebenden Informationen für Lichtquellen vor. Dies beinhaltet für LED:

- Die Energieeffizienzklasse nach Lichtausbeute
- Angaben zur Art der Lichtquelle (Beleuchtungstechnologie, Sockelart, etc.)
- Produktparameter (teilweise durch Überbegriffe zusammengefasst):
 - Energieverbrauch
 - Nutzlichtstrom
 - Abstrahlwinkel
 - Farbtemperatur
 - Diverse Angaben zur Leistungsaufnahme
 - Farbwiedergabe
 - Produktabmessungen
 - Farbortangabe durch x und y
 - Spitzenlichtstärke
 - R9 – Farbwiedergabe
 - Lebensdauerfaktor
 - Lichtstromerhalt
 - Verschiebungsfaktor und Farbkonsistenz
 - Flimmermessgröße PstLM
 - Stroboskobmessgröße SVM
 - Darstellung der Spektralverteilung (im erweiterten Produktdatenblatt)

3 Methodik

Für die qualitative und baubiologische Bewertung von LED soll eine stichprobenartige Untersuchung einiger Produkte am Markt durchgeführt werden. Dies gibt einen Einblick in die Eigenschaften der aktuellen Technologie und wie diese einzuordnen ist. Durch einen strukturierten Messaufbau und ein einheitliches Bewertungsschema soll sichergestellt werden, dass die gewonnenen Daten sowohl hinsichtlich ihrer Aussagekraft als auch ihrer Vergleichbarkeit belastbar sind. Die folgenden methodischen Schritte bilden daher die Grundlage für eine objektive Bewertung.

3.1 Auswahl der Lampenkriterien

Für die vergleichende Analyse werden gezielt LED-Leuchtmittel ausgewählt, die im privaten Bereich besonders häufig zum Einsatz kommen und von zahlreichen Herstellern angeboten werden. Dadurch soll sichergestellt werden, dass die gewonnenen Messergebnisse einen möglichst breiten und praxisnahen Anwendungsbereich abdecken.

Aus diesen Gründen wurde die Untersuchung an Retrofit-LED durchgeführt. Diese lassen sich ohne technische Anpassungen direkt in bestehende Fassungen einsetzen und sind damit eine häufig genutzte LED-Variante. Im Jahr 2024 betrug ihr Anteil im Beleuchtungsmarkt etwa 65 % [42]. Aufgrund ihrer genormten Bauform und Lichtcharakteristik sind sie außerdem gut mit früheren Leuchtmitteln vergleichbar. Zudem sind Retrofit-LED bei einer Vielzahl von Herstellern in ähnlicher Ausführung erhältlich, was eine sinnvolle Grundlage für den Vergleich unterschiedlicher Anbieter schafft.

Aufgrund des begrenzten Umfangs der Arbeit wurde die Analyse auf zwei Sockeltypen beschränkt. Ausgewählt wurden die weit verbreiteten Sockeltypen E27 und GU10.

Die Parameter wurden mit dem Nutzungskontext „private Wohnräume“ in einer abendlichen Nutzungssituation festgelegt. Für die E27-Lampen werden daher eine matte Ausführung für diffuseres Licht, 800 lm für ausreichende, aber nicht übermäßige Helligkeit, eine warmweiße Lichtfarbe von 2700 K für geringen Blauanteil und ein uneingeschränkter Abstrahlwinkel gewählt. Für die GU10 Fassung werden Strahler mit 36° Abstrahlwinkel gewählt, da dies eine weit verbreitete Ausführung ist und matte Varianten unüblich sind. Der Lichtstrom wird niedriger festgelegt, da ein Strahler das Licht gebündelter abgibt.

Eine Übersicht ist in Tabelle 1 festgehalten.

Tabelle 1: Parameter der Lampenauswahl (eigene Darstellung)

Sockelart	E27	GU10
Ausführung	Standard, matt	Strahler
Lichtstrom [lm]	~ 800	350 - 450
Lichtfarbe [K]	2700	2700
Abstrahlwinkel [°]	Nicht eingeschränkt	36

Um eine Varianz an Produkten darzustellen und einzuordnen, werden für beide Kategorien jeweils weitere Unterkategorien festgelegt:

- Energieeffizienzklasse A
- Standard ($R_a \geq 90$) nicht dimmbar
- Standard ($R_a \geq 90$) dimmbar

Eine Farbwiedergabe über 90 ist eine Voraussetzung für eine gute baubiologische Bewertung, weshalb vorrangig Lampen über dieser Grenze gewählt werden. Da energieeffiziente Modelle mit Hinblick auf den Punkt der Nachhaltigkeit auch baubiologisch interessant sind, werden diese trotz der generell schlechteren Farbwiedergabewerte von ≥ 80 ebenfalls in den Versuch aufgenommen.

Dimmbare Lampen werden auch in gedimmtem Zustand untersucht, um mögliche Veränderungen der zu untersuchenden Parameter zu erfassen. Aufgrund von Dimmung könnten, wie im Kapitel 2.4.3 beschrieben wird, erhöhte Flimmerwerte auftreten.

Im baubiologischen Kontext fällt außerdem die aktuelle Entwicklung hin zu „smarter Beleuchtung“ auf. Diese kann je nach Modell über WLAN, Bluetooth oder Fernbedienungen geschaltet, gedimmt und farblich umgestellt werden. Dabei wird von der Autorin durch die Fernsteuerung eine erhöhte HF-Strahlung sowie durch die Farbumschaltung eine schlechtere Farbwiedergabe vermutet.

Zur Überprüfung dieser Vermutungen und zur generellen baubiologischen Einordnung dieser Entwicklung wird für die E27-Fassung eine weitere Kategorie

- Ferngesteuerte Beleuchtung

eingeführt.

3.2 Auswahl der Unternehmen und Lampenmodelle

Nach der Festlegung der Leuchtmitteltypen und deren Kriterien, erfolgt die Auswahl der Hersteller. Die Hersteller sollten

- eine langjährige Präsenz am deutschen Markt aufweisen,
- für den Endverbraucher gut zugänglich sein und
- in der gesamten Auswahl mehrere Preissegmente abdecken.

Die lange Marktpräsenz soll die Relevanz der Ergebnisse der Arbeit auch längerfristig sichern, da diese Firmen mit einer höheren Wahrscheinlichkeit auch zukünftig noch existieren und dadurch Folgeuntersuchungen ermöglichen.

Da keine vollständige öffentlich zugängliche Liste der Marktführer im deutschen LED-Beleuchtungsmarkt vorliegt, wird eine Kombination aus Produktverfügbarkeit in Baumärkten, Online-Sichtbarkeit und Bekanntheit der Marken herangezogen, um eine Auswahl relevanter Unternehmen zu treffen.

Zusätzlich werden Produkte von einem Hersteller aufgenommen, der mit baubiologischer Eigenschaft wirbt, da dies von besonderem Interesse für die vorliegende Bachelorarbeit ist.

Anschließend werden die Produktpaletten dieser Firmen nach Lampen mit den festgelegten Kriterien untersucht. Nur Hersteller mit geeigneten Produkten werden in die finale Auswahl aufgenommen. Diese Auswahl wird stark durch die Festlegung auf eine Farbwiedergabe über 90 eingeschränkt.

Dieses Auswahlverfahren ergibt eine Liste von 23 geeigneten Lampen für die Untersuchung. Eine vollständige Liste der geprüften Lampen ist in Tabelle 2 aufgeführt. Wird in der vorliegenden Arbeit eine Lampe durch eine Nummer referenziert, bezieht sich dies auf die Nummerierung in dieser Tabelle.

Tabelle 2: Liste der Lampenauswahl (eigene Darstellung)

Lampen Nr.	Firma	Fassung	Kategorie	EPREL-Nr.
Lampe 1	Ledvance	GU10	Energieeffizient	AC58800
Lampe 2	Philips	GU10	Energieeffizient	9290036346
Lampe 3	BioLicht	GU10	Nicht Dimmbar	-
Lampe 4	SLV	GU10	Dimmbar	1005076
Lampe 5	SLV	GU10	Dimmbar	1005273
Lampe 6	Ledvance	GU10	Dimmbar	AC58002
Lampe 7	Ledvance	GU10	Dimmbar	AC70535
Lampe 8	IKEA	GU10	Dimmbar	LED2315R3
Lampe 9	Ledvance	E27	Energieeffizient	AC59512
Lampe 10	Philips	E27	Energieeffizient	9290036237
Lampe 11	BioLicht	E27	Nicht Dimmbar	-
Lampe 12	Casaya	E27	Nicht Dimmbar	64018C
Lampe 13	Ledvance	E27	Dimmbar	AC45161
Lampe 14	Ledvance	E27	Dimmbar	AC57838
Lampe 15	SLV	E27	Dimmbar	1005301
Lampe 16	IKEA	E27	Dimmbar	LED2312G5
Lampe 17	BioLicht	E27	3-step CCT	-
Lampe 18	Müller-Licht	E27	Ferngesteuert	404004B
Lampe 19	Paulmann	E27	Ferngesteuert	50124
Lampe 20	Nordlux	E27	Ferngesteuert	2270002700
Lampe 21	Arditi	E27	Ferngesteuert	808896
Lampe 22	Ledvance	E27	Ferngesteuert	AC42219
Lampe 23	Ledvance	E27	Ferngesteuert	AC32829

Von den festgelegten Lampenkriterien sind zwei Abweichungen festzuhalten:

Lampe 11 von BioLicht wurde aufgrund von Lieferschwierigkeiten in der Ausführung 400 lm statt 800 lm getestet. Durch die Orientierung der Messung an der Beleuchtungsstärke sind die Ergebnisse dennoch vergleichbar.

Lampe 14 von Ledvance wurde nur in der klaren Ausführung – statt matt – zur Verfügung gestellt. Die Messung wurde daher nicht an diffusem, sondern gerichtetem Licht durchgeführt, was die Messergebnisse richtungsabhängig macht. Die Werte der Lampe 14 sind daher nur unter Vorbehalt mit den anderen Lampen vergleichbar.

Sämtliche Hersteller wurden im Vorfeld kontaktiert und um Unterstützung in Form einer Leihgabe oder Überlassung der jeweiligen Lampen gebeten. Erhaltene Unterstützungen werden transparent in der Danksagung offengelegt. Die übrigen Lampen wurden für die Durchführung der Messungen eigenständig erworben. Zur besseren Lesbarkeit wird im Folgenden statt der vollständigen Bezeichnung gemäß des Firmen Impressums der im Sprachgebrauch übliche Firmenname verwendet.

Die meisten Firmen haben jeweils Produkte für eine der Lampenkategorien, da sie sich mit ihrem Sortiment entsprechend spezialisiert haben. Ledvance, wozu auch Osram gehört, bildet hier als Marktführer die Ausnahme. Eine Übersicht der Firmen ist in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Firmenbesetzung der Lampenkategorien (eigene Darstellung)

Lampen-Kategorie	Energieeffizient	Standard	Ferngesteuert
Firmen	Ledvance/Osram	Ledvance/Osram	Ledvance
	Philips	BioLicht	Nordlux
		IKEA	Arditi
		SLV	Paulmann
		Casaya	Müller Licht

Die getroffene Auswahl stellt keine vollständige Marktabdeckung dar, sondern eine ausgewählte Stichprobe.

3.3 Parameter und Messgrößen der Untersuchung

Nach den baubiologischen Kriterien für Beleuchtung werden folgende Messwerte für die Untersuchung festgelegt:

Das Lichtspektrum wird in einem Bereich von etwa 350-750 nm gemessen und dargestellt. Zusätzlich wird λ_{dom} , die dominierende Wellenlänge, angegeben.

Für das Lichtflimmern werden Flicker (Frequenz in Hz), Flicker-Percent F_p , Flicker-Index F_i , SVM und PstLM erfasst.

Farbort und Farbtemperatur sind durch CCT (Correlated Color Temperature), CIE x und y, sowie Duv beschrieben. Dabei geben CIE x und y den Farbort und Duv den Abstand zur Plankschen Kurve an, welche in der Normtafel nach CIE 1931 (Abbildung 18) weißes Licht von kalt- bis warmweiß beschreibt.

Die Farbwiedergabe R_a wird durch die separate Angabe der meist am schlechtesten bewerteten Einzelreferenzfarbe CRI-R9 erweitert.

EML und MEDI werden für die Beurteilung der melanopischen Wirkung mit ausgewertet.

Magnetische und elektrische Felder werden erfasst. Ausschlaggebend sind dabei die Größen B und E. Gemessen werden diese potenzialfrei, da dies die Wirkung der Felder auf den menschlichen Körper gut wiedergibt.

Hochfrequente Strahlung wird als solche gemessen.

Für die Auswertung der Ergebnisse sind ebenfalls die von den Herstellern angegebenen Größen interessant. Die gemessenen Werte werden, wenn vorhanden, mit den entsprechenden

EPREL-Angaben verglichen. Einige Daten, wie etwa Leistungsaufnahme und Langlebigkeit, werden ohne eigene Vergleichswerte aus EPREL übernommen, um ein möglichst umfassendes Bild zu erhalten.

3.4 Eingesetzte Messgeräte

Für die Messungen kommen drei verschiedene Messgeräte zum Einsatz, die im Folgenden mit den jeweils für die Untersuchung relevanten Messgrößen vorgestellt werden.

GL SPECTIS 1.0 touch (von GL Optic)

Mit diesem Smart Spektrometer, dargestellt in Abbildung 24, werden die Lichtmessungen durchgeführt. Es werden die relevanten Daten für die Lichtqualität, die biologische Wirksamkeit und das Flimmerverhalten erfasst.



Abbildung 24: GL SPECTIS 1.0 touch [43]

Für die Erfassung des Flimmerverhaltens und zusammenhängender Phänomene wird eine lange Expositionszeit gewählt, womit die Geräteeinstellungen bei Auto Configuration 50 Hz und 32 s betragen.

Die Messungen werden anschließend mit dem Programm GL Spectrosoft (Version: 3.1.111 Prof) ausgewertet. Aus dem Programm werden die Grafiken für die Spektralkurve, den Farbart und die CRI-Farbwiedergabe für den Lampenkatalog übernommen.

Ausgelesen werden außerdem die Daten für:

- CCT
- CIE x
- CIE y
- λ_{dom}
- Duv
- R_a
- CRI-R9
- EML
- EMLR
- Flicker
- Flicker-Percent F_p
- Flicker-Index F_i
- SVM
- PstLM

HF 35C (von Gigahertz Solutions)

Für die Messungen hochfrequenter Strahlung wird ein High Frequency Analyzer eingesetzt. Er erfasst den Bereich von 800 MHz bis 2700 MHz in $\mu\text{W}/\text{m}^2$. Das verwendete Modell HF 35C ist in der folgenden Abbildung 25 dargestellt.



Abbildung 25: HF 35C [44]

Erhöhte Werte sind vor allem bei Funkwellen zu erwarten [33, S. 2], in der vorliegenden Messsituation demnach bei den ferngesteuerten Modellen. Untersucht werden trotz dessen alle Lampen, um mögliche Abweichungen auszuschließen.

Die Messung erfolgt gemäß der Einweisung durch Prof. Dr. Michael Krödel, welcher das Gerät für die Dauer der Bachelorarbeit zur Verfügung stellt.

Die Einstellungen werden aufgrund anfänglicher Testmessungen festgelegt. Mit „1999 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ “ wird der Messbereich gemäß den zu erwartenden Werten definiert und mit „Peak“ wird der Maximalwert ausgegeben.

Die Auswertung erfolgt durch Ablesen und händisches Protokollieren des Wertes.

Die Messunsicherheit des Geräts beträgt nach Angaben des Herstellers $\pm 6 \text{ dB}$ ($\sim$ Faktor vier). Daher sind die absoluten Messwerte nur eingeschränkt interpretierbar. Sie sind aber mit der Referenzmessung und untereinander vergleichbar und liefern damit trotz der hohen Messunsicherheit zusätzliche Erkenntnisse.

ZadPad Multimeter (von Fauser Elektrotechnik)

Dieses Gerät kann mit den entsprechenden Aufsätzen für verschiedene Messungen genutzt werden. Der Photometerkopf VL 10 für Lichtmessungen wird nach einem Probedurchlauf nicht verwendet, da die Mindestleuchtdichten für die Messungen aufgrund des Versuchsaufbaus teilweise nicht erreicht werden können.

Das ZadPad wird mit der Kombisonde FMZ30 für die Messung elektromagnetischer Felder im Frequenzbereich von 10 Hz bis 400 kHz eingesetzt. Dargestellt sind das Messgerät und die Kombisonde in der Abbildung 26.



Abbildung 26: ZadPad Multimeter mit FMZ30 Kombisonde [45]

Zur Messung elektromagnetischer Felder wird eine isotrope Magnetfeldmessung durchgeführt, bei der die Feldstärken B , B_x , B_y , B_z sowie B_{peak} erfasst werden. Zusätzlich erfolgt eine potentialfreie Messung elektrischer Wechselfelder mit den Anzeigen E und E_{peak} . Der Messbereich umfasst bis zu 20.000 nT für Magnetfelder und 2.000 V/m für elektrische Felder, bei einer Auflösung von 1 nT beziehungsweise 0,1 V/m.

Die Messung erfolgt gemäß der Einweisung des Herstellers, durch welchen das Gerät für die Bachelorarbeit zur Verfügung gestellt wurde.

Die Geräteeinstellungen sind entsprechend der Einweisung:

Settings: Autoscale ,10 ms/div, 50 Hz/div

Mode: 1 sec, sample modus continuous

Die kontinuierliche Messung stoppt erst bei manueller Eingabe. So kann eine gleichmäßige Ausgabe abgewartet werden und die Verfälschung von Messwerten durch kurzzeitige äußere Einflüsse wird minimiert.

Die Auswertung der Messungen wird einzeln durch eine Excel-Vorlage des Herstellers vorgenommen.

Tabelle 1 Tabelle 4 fasst die wichtigsten Angaben für alle drei Messgeräte zusammen.

Tabelle 4: Technische Daten der Messgeräte, eigene Darstellung in Anlehnung an Produktdatenblätter

	GL SPECTIS 1.0 touch	HF 35C	ZadPad Multimeter
Seriennummer	Xt0010022/16A00396 Typ GLX10tf	05300031744	0262022
Zubehör	-	-	FMZ3 (Feldaufsatz) SN: 00012024
Auswertung	GL Spectrosoft	händisch	Excel Vorlage des Herstellers
Letzte Kalibrierung	09.10.2021	unbekannt	unbekannt
Messunsicherheit	3,2 %; k = 2 Konfidenzintervall 95 %	CW = ± 6 dB Rollover = ± 9 digits	<5 % [50 Hz] magnetisch <10 % [50 Hz] elektrisch

3.5 Lichtmessung

Die Messungen werden im Versandraum des Instituts für Baubiologie und Nachhaltigkeit IBN in Rosenheim durchgeführt. Das einzige Fenster, sowie der Schlitz unter der Tür werden vollständig verdunkelt.

Die Lichtmessungen der Lampen Nr. 22 und Nr. 23 werden in einer Privatwohnung durchgeführt, da ihre Steuerung WLAN voraussetzt, welches im IBN Rosenheim nicht verwendet wird. Aufbau und Vorgehen sind gleich.

Aufbau der Lichtmessung

Der gesamte Aufbau der Messsituation, welcher im Folgenden beschrieben wird, ist in Abbildung 27 dargestellt.

Die Messung findet in einem Tunnel von zwei ineinander verschiebbaren Kartons (32 cm x 32 cm, bzw. 32 cm x 45 cm) statt, um eine variable Messstrecke zu erhalten. Dieses Detail ist auf der Nahaufnahme in Abbildung 28 zu erkennen. Auf der Rückseite befindet sich ein Loch für die Leuchte, welche aufgrund der zwei verschiedenen Fassungen je nach Messung ausgetauscht wird. Das Messgerät ist statisch auf einem Karton auf Höhe des Leuchtmittels aufgestellt. Für die Messungen und die Protokollführung wird ein Laptop verwendet, der während eines laufenden Messvorgangs mit einem Karton abgedeckt wird.

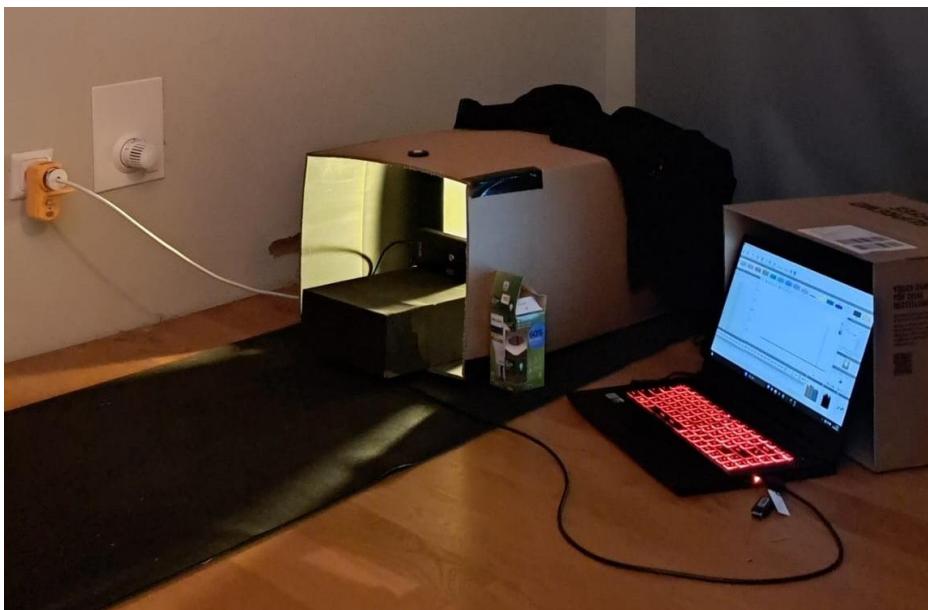


Abbildung 27: Aufbau der Lichtmessung (eigene Aufnahme)

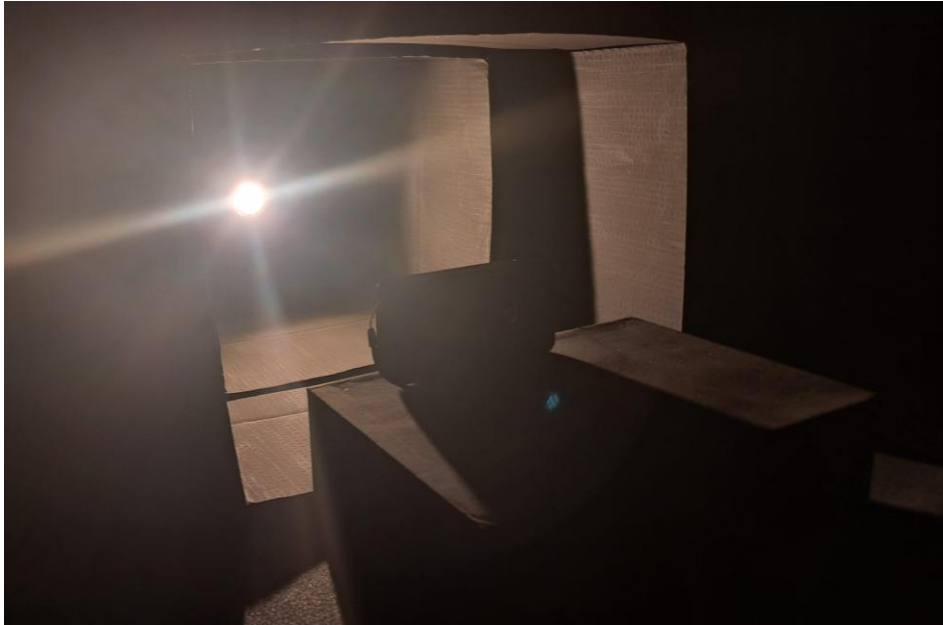


Abbildung 28: Nahaufnahme der Messsituation (eigene Aufnahme)

Die Konstruktion der Leuchten entstand im Eigenbau unter der Anleitung und Aufsicht einer Elektrofachkraft. Der Ausgangspunkt des Aufbaus ist je eine Wandleuchte mit Metallgehäuse, welche durch eine fachgerechte Erdung den Einfluss der Leuchte auf die Messungen elektromagnetischer Felder minimiert. Es wurden außerdem Fassungen gewählt, die das Leuchtmittel möglichst wenig umschließen, um keinen Abschirmungseffekt betreffend Elektrosmog oder Licht zu erhalten. Die Leuchte ist mittig auf einer Grundplatte (Birke Multiplex) von 25 cm x 25 cm montiert. Die Stromzufuhr erfolgt über einen Schuko-Stecker und ein abgeschirmtes Kabel von etwa 1,5 m Länge. Der gesamte Aufbau ist am Beispiel der E27-Leuchte in Abbildung 29 dargestellt.

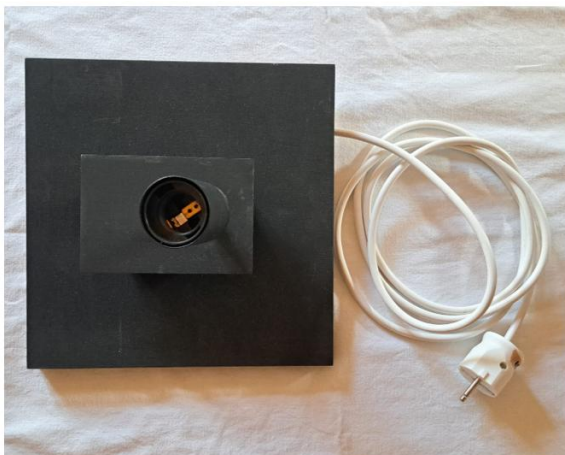


Abbildung 29: Aufbau der Leuchten, Variante E27 (eigene Aufnahme)

Wie Abbildung 28 und Abbildung 29 demonstrieren, sind alle Leuchten- und Kartonoberflächen mattschwarz gestrichen. Auch der Zimmerboden ist mattschwarz ausgelegt und die Lücke zwischen den beiden Kartons, welche aufgrund der unterschiedlichen Breiten entsteht, wird mit schwarzem Stoff abgedeckt. Die Wand hinter dem Messgerät ist mit mattschwarzem Stoff

behängt und die durchführende Person, welche sich ebenfalls hinter dem Messgerät befindet, trägt schwarz. Durch diese Maßnahmen sollen Lichtreflexionen und die dadurch entstehenden Messverfälschungen minimiert werden.

Aus Sicherheitsgründen ist zwischen dem Schuko-Stecker der Leuchte und der Steckdose ein Schutzschalter platziert. Außerdem wird bei der E27-Leuchte geprüft, dass der Strom nicht auf dem Gewinde liegt.

Die Messungen werden bei 1000 lx durchgeführt. Dieser Wert wurde anhand von Probemessungen festgelegt und berücksichtigt sowohl die Messbandbreite des verwendeten Geräts als auch die durch den Aufbau (Länge des Kartontunnels) möglichen Messabstände. Dimmbare Lampen werden zusätzlich mit unverändertem Abstand bei 660 lx und 330 lx gemessen. Für das Dimmen wird ein Universal-Zwischensteckerdimmer genutzt (EAN: 4007873115455; Firma: OBI Group Sourcing GmbH). Die Dimmung wird nicht nach Stufen auf dem Dimmer festgelegt, da dieses Vorgehen zu unterschiedlichen Beleuchtungsstärken führt und die Vergleichbarkeit der Messergebnisse somit nicht gewährleistet ist.

Eine Abweichung der Beleuchtungsstärke bis $\pm 5 \%$ ist als zulässig definiert, da dies einen realistischen Kompromiss zwischen Messgenauigkeit und Aussagekraft darstellt.

Durchführung der Lichtmessung

Die Lichtmessung einer Lampe wird folgendermaßen durchgeführt:

1. Aktivierung des Schutzschalters
2. Einsetzen der zu messenden Lampe
3. Deaktivierung des Schutzschalters, bzw. Einschalten des Lichts
4. Vorbereitung des Protokolleintrags der kommenden Messung
5. Positionierung des GL Spectis 1.0 touch
6. Durchführung von kurzen Standardmessungen für die Abstandsjustierung (1000 lx als Zielwert)
7. Abdecken des Laptops
8. Durchführung von zwei Messungen zu jeweils 32 Sekunden
9. Aufdecken des Laptops
10. Prüfung, Abspeicherung und Protokollierung der Messungen

Bei dimmbaren Lampen wird der Messprozess in gleicher Abfolge bei 660 lx und 330 lx wiederholt, danach wird der Schutzschalter erneut aktiviert und das Leuchtmittel ausgetauscht.

3.6 Feldmessung

Für die Feldmessungen wird ebenfalls der Versandraum des Instituts für Baubiologie und Nachhaltigkeit IBN in Rosenheim genutzt. Die Referenzmessung des Raumes beträgt 0,2 V/m.

Die Messungen der Lampen Nr. 22 und Nr. 23 können, wie die Lichtmessungen, nicht im IBN stattfinden, da für ihre Steuerung WLAN benötigt wird. Stattdessen finden die Messungen in dem überdachten Eingangsbereich des Jugendzentrums „Energy“ in Rosenheim statt, welches nach eigenen Messungen eine geringe Grundbelastung von 0,5 V/m aufweist.

Aufbau der Feldmessung

Die Leuchte wird mit der Grundplatte in eine Holzkonstruktion gesteckt, sodass die Messung waagrecht auf einer Höhe von 0,87 m stattfindet. Dieser Aufbau ist in Abbildung 30 dargestellt. Von der Lampe aus wird in eingeschaltetem Zustand bei 30 cm, 80 cm und 130 cm gemessen. Eine Vergleichsmessung wird bei 30 cm Abstand und unterbrochenem Stromfluss durchgeführt.

Durch die verschiedenen Abstände soll untersucht werden, wie sich die Werte für niederfrequente elektromagnetische Felder auf die Distanz entwickeln. 30 cm ist in diesem Bereich eine gebräuchliche Prüfdistanz und wird auch vom SBM empfohlen [46, S. 8]. Stichprobenartige Messungen der Autorin in vier privaten Haushalten zeigen, dass Nachttisch-, Lese-, und Schreibtischleuchten typischerweise in einem Abstand von 50 bis 100 cm zum Kopf einer stehenden oder liegenden Person positioniert sind. Auf dieser Grundlage wird ein repräsentativer Mittelwert von 80 cm als zweiter Messabstand festgelegt. Der dritte Messabstand von 130 cm orientiert sich nach ähnlichem Vorbild an Pendel- und Stehleuchten. Die Eignung dieser Entfernung für die vorliegenden Untersuchungen wird im Voraus durch Testmessungen untersucht und bestätigt. Diese zeigen auf, dass die gewählten Abstände zu klar voneinander unterscheidbaren Wertebereichen führen und auch bei 130 cm noch geringe, aber messbare Effekte für aussagekräftige Ergebnisse feststellbar sind.

In den jeweiligen Örtlichkeiten wird außerdem eine Referenzmessung ohne den Messaufbau durchgeführt.



Abbildung 30: Aufbau der Elektromogmessung, dargestellt im IBN (eigene Aufnahme)

Durchführung der Feldmessung

Für die Feldmessung werden alle elektrischen Geräte ausgeschaltet, der Laptop wird im Nebenraum aufgebaut und auf Flugmodus gestellt. Der Messablauf ist folgendermaßen:

1. Aktivierung des Schutzschalters
2. Einsetzen der zu messenden Lampe
3. Vergleichsmessung mit 30 cm Abstand
4. Deaktivierung des Schutzschalters, bzw. Einschalten des Lichts
5. HF-Messung mit 30 cm Abstand
6. Messung der elektromagnetischen Felder (30 cm, 80 cm und 130 cm Abstand)
7. Abspeicherung und Protokollierung jeder Messung im Nebenraum
8. (Wiederholung von auffälligen Messungen)

Bei ferngesteuerten Lampen wird die Messung der elektromagnetischen Felder bei 30 cm Entfernung wiederholt, während die Lampe aktiv angesteuert wird. Ebenso wird eine HF-Messung der Lampe und des sendenden Geräts während der Ansteuerung durchgeführt.

Bei der Fernsteuerung durch ein Handy wird die Nutzung mobiler Daten für die Messung deaktiviert.

3.7 Festlegung des Bewertungsschemas

Das Thema Licht ist in der Baubiologie noch nicht so stark verankert und aufgearbeitet wie etwa Schadstoffe oder Elektrosmog. In einem Handbuch zur Baubiologie aus dem Jahr 2022 [47] wird das Thema Licht beispielsweise gar nicht aufgegriffen. In anderer Literatur, wie etwa *Gesundes Bauen und Wohnen* von Liedl und Rühm [2] oder *Baubiologie: Kriterien und architektonische Gestaltung* von Ece [4] wird Licht in der Baubiologie erwähnt, aber nicht in gleicher Tiefe wie andere Themen behandelt.

Der SBM nennt wichtige Größen, gibt jedoch nicht immer vollständige Richtwerte an. Aus diesem Grund wird die Bewertungsskala der Werte aus dem Zusammenspiel anderer Quellen und der Messergebnisse erstellt. Teilweise nennt eine offizielle Ergänzung des SBM-2024 [46] einzelne Werte, welche ebenfalls in die vorliegende Bewertung einfließen.

Für eine übersichtliche Darstellung werden die Messwerte wie folgt in vier Stufen eingeteilt:

Kategorie 1 = sehr gut

Kategorie 2 = gut

Kategorie 3 = ausreichend

Kategorie 4 = ungenügend

Dabei werden, wo möglich, für Kategorie 1 baubiologische Maßstäbe angewandt.

Nicht alle erfassten Daten sind für die Bewertung relevant. Einige Werte treffen keine direkte Aussage über die baubiologische Qualität der Lampe, wie etwa λ_{dom} , Duv und die CIE-Ortsangaben. Diese sind lediglich informativer Natur und werden, wo vorhanden, mit den Angaben des EPREL-Katalogs verglichen.

Auch Lebensdauerfaktor und Lichtstromerhalt fließen nicht in die Bewertung mit ein. Es werden keine eigenen Werte für einen Vergleich erhoben. Zusätzlich basieren die Angaben der Hersteller in EPREL auf einer Messung über 1200 Schaltzyklen zu je 150 Minuten Leuchtdauer und 30 Minuten Pause. Die Lebensdauer bezieht sich demnach auf insgesamt 3000 Betriebsstunden [40, S. 239]. Dieser Zeitraum ist bei einer typischen Lebensdauer von LED um die 25.000 Stunden vergleichsweise gering, was die Aussagekraft der Ergebnisse einschränkt. Die Werte sind dementsprechend fast alle sehr gut und unterscheiden sich nicht merkbar zwischen den Lampen. Der Lebensdauerfaktor bewegt sich zwischen 90 und 100 % und der Lichtstromerhalt ebenso, bis auf Lampe 15, die durch einen Wert von 70 % auffällt.

Auch die Werte EMLR und MEDI für die melanopische Wirkung, sowie die Farbtemperatur werden nicht mitbewertet. Diese sind nicht grundsätzlich als gut oder schlecht zu bewerten, sie sind in Abhängigkeit von Tageszeit und erwünschter Wirkung zu wählen.

Die Messergebnisse von zwei Parametern sind nicht verwendbar für die Auswertung. Für PstLM gibt die Software den Platzhalter „-“ aus. Bei den Flicker-Frequenzen sind die aufgezeichneten Werte nicht plausibel und können daher nicht ausgewertet werden. Eine Kontaktaufnahme beim deutschen Vertreiber von GLSpectis blieb ohne Rückmeldung zu den eben aufgeführten Unstimmigkeiten. Eine Aufführung und Auswertung der beiden Kennwerte aus der Messung ist daher nicht möglich und wird im Ergebnis nicht berücksichtigt.

Über alle relevanten Kriterien mit dem angelegten Bewertungsschlüssel gibt Tabelle 5 Auskunft. Die Begründung der Aufteilung folgt.

Tabelle 5: Bewertungsschlüssel (eigene Darstellung)

Kategorie	Kriterium	1	2	3	4
Lichtqualität	R_a	≥ 95	≥ 90	≥ 80	< 80
	CRI-R9	≥ 74	≥ 53	≥ 32	< 32
Flimmern	Flicker-Index F_i	$\leq 0,04$	$\leq 0,07$	$\leq 0,10$	$> 0,10$
	SVM	$\leq 0,05$	$\leq 0,2$	$\leq 0,4$	$> 0,4$
Elektrosmog (EMF)	E (80 cm)	$\leq 1,5 \text{ V/m}$	$\leq 3,0 \text{ V/m}$	$\leq 4,5 \text{ V/m}$	$> 4,5 \text{ V/m}$
Energieeffizienz	Lichtausbeute	$\geq 174 \text{ lm/W}$	$\geq 136 \text{ lm/W}$	$\geq 98 \text{ lm/W}$	$< 98 \text{ lm/W}$
Preis	Prozentuale Bewertung in Bezug auf den höchsten Wert				

Lichtqualität

Für die Farbwiedergabe R_a wird der Richtwert des SBM $R_a \geq 95$ als beste Kategorie übernommen. $R_a < 80$ wird nach einer Verordnung der Europäischen Union als mindeste Funktionsanforderung an Lichtquellen definiert [40, S. 227] und daher als Stufe vier (ungenügend) festgelegt. Die Stufen drei (≥ 80) und zwei (≥ 90) sind den typischen Qualitätsstufen der Produkte am Markt angepasst.

Für die Aufteilung in die vier Bereiche wird für manche Parameter die Bandbreite der Messergebnisse herangezogen und in vier gleich große Teile unterteilt, da Grenzwerte von offizieller Seite fehlen. Die logische Grundlage ist, dass durch die 23 Lampen ein guter Überblick über den Markt gegeben wird, was die technischen Möglichkeiten betrifft. Somit schafft diese Aufteilung eine Basis für eine Bewertung im Vergleich mit derselben Lampenkategorie. Hier wird nach dem eben erwähnten baubiologischen Prinzip des „Machbaren“ gehandelt, welches in Kapitel 2.1.1 erläutert wird.

Dieses Vorgehen erfolgt bei den Messwerten für CRI-R9, Lichtausbeute und Flicker-Index F_i . Wo möglich werden weitere Ressourcen für die Untermauerung dieser Aufteilung herangezogen.

Flimmerverhalten

Für SVM wird der obere Grenzwert der Kategorie drei gemäß der EU-Verordnung auf 0,4 festgelegt. Wie der Abbildung 31 zu entnehmen ist, ist ab einem Wert von 0,2 die Wahrnehmungsschwelle unterschritten, woraus sich die Grenze der Kategorie zwei ergibt. Kategorie eins wird auf 0,05 gesetzt, da die Messergebnisse zeigen, dass dies ein realistischer Zielwert ist, den viele Lampen am Markt erreichen.

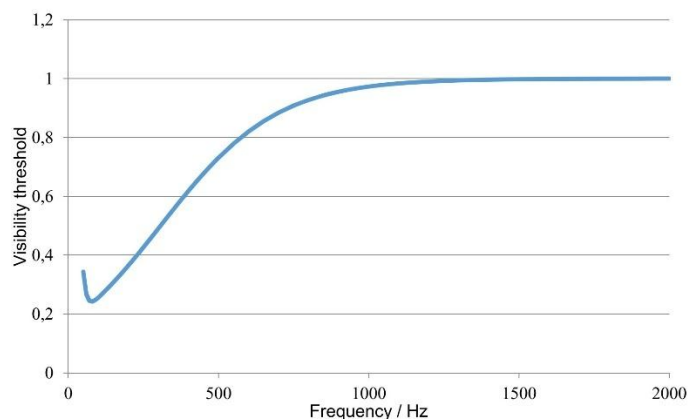


Abbildung 31: SVM-Sensitivitätskurve [32]

Für den Flicker-Index F_i wird die Empfehlung einer Technical Note des CIE herangezogen, den Grenzwert von 0,1 nicht zu überschreiten [32, S. 10]. Dies wird als die obere Grenze der Kategorie drei (ausreichend) festgelegt und liegt nur marginal über dem errechneten Wert. Der zweite Bereich wird daraufhin ebenfalls minimal angepasst, um eine gleichmäßige Aufteilung zu erreichen.

Da die Flimmerfrequenz nicht ausgewertet werden kann, fehlt eine wichtige Komponente für die Interpretation von F_p . Dieser gibt die Modulation in Prozent an, bezogen auf die Flimmerfrequenz, welche maßgeblich die menschliche Wahrnehmung des Flimmerns beeinflusst. Der SBM empfiehlt bis 3000 Hz eine Modulation unter 2 % [33, S. 3].

Elektrosmog

Für die Bewertung des Elektrosmogs wird zunächst der Standard der Baubiologischen Messtechnik (SBM 2024) [48] herangezogen. Speziell im Bereich Beleuchtung verweist ein Zusatzdokument des SBM bezüglich niederfrequenter elektromagnetischer Strahlung auf das Label der Tjänstemännens Centralorganisation (TCO) als Orientierung [46].

„TCO Certified“ ist ein internationaler Umwelt- und Nachhaltigkeitsstandard mit Fokus auf IT-Produkten, wie Monitore oder Notebooks. [49, S. 2]. Lampen werden von dem Label nicht behandelt. Für einige Produkte gibt es Grenzwerte, allerdings ausschließlich für erdbezogene Messungen. Da das Label nicht für Lampen ausgelegt ist und die Messung nicht potenzialfrei vorgeschrieben ist, werden die Vorgaben trotz des Verweises des SBM nicht angewandt.

Tabelle 6 zeigt die Elektrosmog-Richtwerte, welche im SBM selbst angegeben werden. Diese gelten nicht speziell für Lampen, sondern generell für den Schlafbereich.

Tabelle 6: Ausgewählte Richtwerte des SBM-2024, eigene Darstellung in Anlehnung an [33]

	unauffällig	Schwach auffällig	Stark auffällig	Extrem auffällig
Elektrische Wechselfelder [V/m] (potenzialfrei)	< 0,3	0,3 – 1,5	1,5 – 10	> 10
Magnetische Wechselfelder [nT]	< 20	20 – 100	100 – 500	> 500
HF-Strahlung [$\mu\text{W}/\text{m}^2$]	< 0,1	0,1 – 10	10 – 1000	> 1000

Die Grenzwerte für magnetische Wechselfelder und HF-Strahlung werden ohne Abänderung für die vorliegende Untersuchung übernommen.

Da diese Werte für den Schlafbereich ausgelegt sind, werden sie sehr niedrig angesetzt. Die Richtwerte für elektrische Wechselfelder von $\leq 1,5$ V/m sind für die gemessenen Lampen, bei geringen Abständen und ohne zusätzliche Abschirmung, nicht einzuhalten. Die Bereiche „stark auffällig“ und „extrem auffällig“ sind dagegen zu groß, um Unterschiede zwischen den Lampen zu differenzieren. Mit dem SBM als Grundlage wird daher eine eigene Aufteilung vorgenommen.

Kategorie 1 wird nach dem SBM als $\leq 1,5$ V/m festgelegt. Der darüber liegende Bereich wird weiter aufgeteilt, um Unterschiede sichtbar zu machen. Kategorie 2 wird von 1,5 V/m bis 3,0 V/m festgelegt, was eine Verdopplung des Wertes abdeckt, Kategorie 3 wird mit demselben Abstand auf 4,5 V/m weitergeführt. Werte darüber werden folglich als Kategorie 4 eingestuft.

Die Beurteilung erfolgt anhand der Messung bei 80 cm, da dieser Abstand, wie in Kapitel 3.6 erläutert, häufig in der Praxis vorkommt.

Energieeffizienz

Die Einteilung der Lichtausbeute wird unterstützt durch einen Artikel von DIALux [50], welcher die theoretisch maximale Lichtausbeute diskutiert sowie aktuell nicht zufriedenstellende und künftig anzustrebende Werte am Markt nennt. Diese Angaben sind vereinbar mit der mathematischen Aufteilung der Messergebnisse. Die Lichtausbeute wird nicht selbst ermittelt, sondern aus den Herstellerangaben zu Leistungsaufnahme in Watt und Nutzlichtstrom in Lumen errechnet.

Preis

Die Preise unterscheiden sich teilweise zwischen den Onlinehändlern, schwanken über die Zeit und können durch individuelle Angebote verändert werden. Da das Ziel der Vergleich der Lampen untereinander ist, wird nur jeweils der Preis von einem Händler übernommen – wenn möglich vom Hersteller selbst. Die angegebenen Preise können daher vom Marktmittelwert abweichen, sind aber für eine Aussage zur Preisklasse ausreichend.

In der Auswertung wird der Preis jeder Lampe in Relation zum höchsten Wert gesetzt und anschließend anteilig in die Skala von eins bis vier eingeordnet. Zubehör wird nur berücksichtigt, sofern es für die Nutzung der Lampe unerlässlich ist.

4 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Untersuchung werden in Form eines Katalogs dargestellt. Dieser dient nicht nur als Ergebnisdokumentation der Bachelorarbeit, sondern soll darüber hinaus als praktisches Werkzeug zur Verbraucheraufklärung und als Quelle transparenter und unabhängiger Produktdaten zur Verfügung stehen.

Im allgemeinen Einleitungsteil des Katalogs wird der Zweck erklärt sowie die Parameter und der Bewertungsschlüssel vorgestellt. Ebenso werden die untersuchten Lampen zusammengefasst aufgeführt.

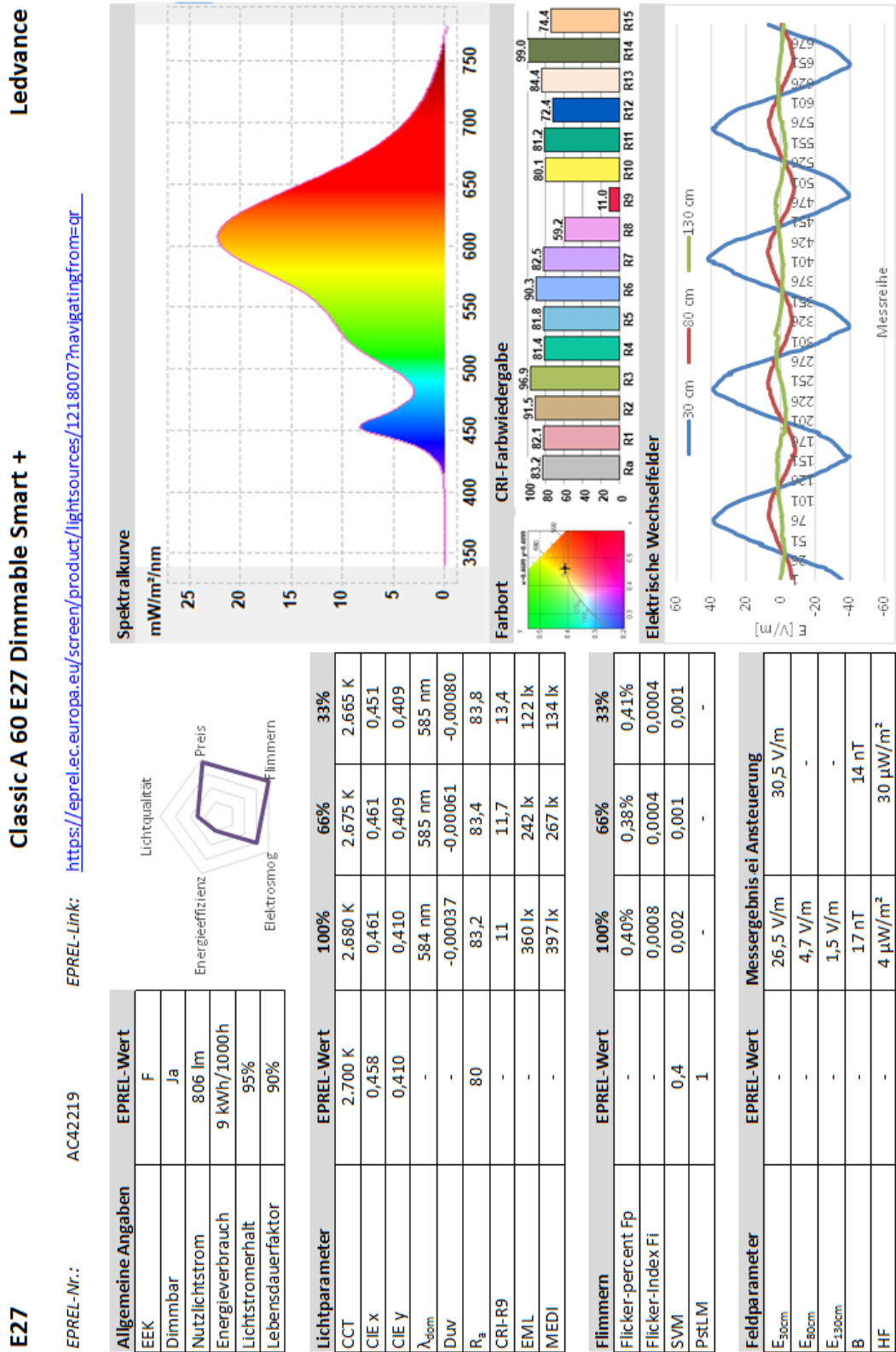
Die nachfolgenden Tabellen geben eine Übersicht über die Ergebnisse. Die erste Tabelle gibt die Bewertung jeder Lampe nach Kategorie wieder, ergänzt durch Minimal-, Maximal- und Durchschnittswerte. Eine weitere Tabelle gibt eine detailliertere Übersicht mit allen bewerteten Parametern je Lampe. Abschließend folgt für jede Kategorie eine Auflistung der Lampen nach Eignung.

Jede untersuchte Lampe erhält im Katalog nachfolgend einen eigenen Eintrag mit allgemeinen Angaben, einer Übersicht über die EPREL- und Messwerte, sowie eine Auswertung je Kategorie in Form eines Spinnennetzdiagramms. Nutzer können dadurch selbst entscheiden, welche der Aspekte für sie besonders wichtig sind und die Ergebnisse für sich interpretieren.

4.1 Darstellung der Ergebnisse

Die Auswertung der Ergebnisse für den Katalog erfolgt über Excel. Für die Übersichten und Einzelbetrachtungen wird jeweils ein eigenes Tabellenblatt verwendet.

Der Aufbau des Datenblatts der einzelnen Lampen wird beispielhaft in Abbildung 32 dargestellt.



In der Kopfzeile werden Fassungsart, Lampennummer, Benennung (nach Vorbild des Herstellers) sowie der Hersteller genannt.

Anschließend werden die entsprechende EPREL-Nr. der Lampe und der direkte Link zum EPREL-Eintrag angegeben. Beides ist nötig, um eine eindeutige Zuordnung zu gewährleisten – sowohl in der digitalen als auch der gedruckten Form des Katalogs. Darunter folgen einige allgemeine Angaben über die Lampen aus EPREL.

Auf der linken Seite sind, aufgeteilt nach den einzelnen Kategorien, alle Parameter mit Angabe des EPREL-Werts und des gemessenen Werts aufgelistet.

Auf der rechten Seite werden die Messergebnisse für die Spektralkurve, den Farbort, die CRI-Farbwiedergabe sowie die elektrischen Wechselfelder in Bildform dargestellt.

Zentral wird in einem Spinnennetzdiagramm eine graphische Auswertung nach den Kategorien Lichtqualität, Energieeffizienz, Elektrosmog, Flimmerverhalten und Preis nach dem Bewertungsschema vorgenommen. Je weiter die farbige Linie vom Zentrum des Diagramms entfernt ist, desto besser ist die Kategorie bewertet.

Für nicht dimmbare Lampen werden die eigenen Messergebnisse in nur einer Spalte angegeben, bei dimmbaren Lampen wird die Darstellung um zwei weitere Spalten für die Messergebnisse bei 660 lx und 330 lx erweitert. Alle bildlichen Darstellungen auf der rechten Seite beziehen sich weiterhin auf die Messergebnisse im ungedimnten Zustand.

Lampen, die über Fernbedienung, WLAN oder Bluetooth gesteuert werden, haben zusätzlich unter der Kategorie Feldparameter eine Spalte, um die Messwerte an der Lampe bei aktiver Ansteuerung mit abzubilden.

Alle Abweichungen oder Besonderheiten einer Lampe sind jeweils mit zusätzlichen Notizen in roter Farbe und kursiver Schrift festgehalten.

Dazu gehören Angaben aus EPREL, die nicht mit den Angaben auf der Produktverpackung übereinstimmen, wie etwa zu Dimmbarkeit, sowie Sonderfälle im Bezug auf die Messungen.

Angemerkt werden außerdem fehlerhafte EPREL-Einträge.

Alle drei QR-Codes der geprüften Lampen von BioLicht führen zu einer Fehlermeldung, worauf der Hersteller hingewiesen wurde. Da dieser Zustand bis zum letzten Zugriff am 10.11.2025 unverändert ist, wird lediglich mit den Angaben auf der Produktverpackung gearbeitet.

Die Lampe von Arditì wurde mit den Werten des EPREL-Eintrags bearbeitet, zuletzt aufgerufen am 21.10.25. Seit mindestens dem 28.10.25 sind die Daten nicht mehr zugänglich, der QR-Code führt nun ebenfalls zu einer Fehlermeldung.

4.2 Bewertung der Ergebnisse

Lichtqualität

Alle Farbtemperaturen befinden sich innerhalb der Prüftoleranz, welche eine maximale Abweichung von 10 % der Herstellerangabe vorgibt [40, S. 237].

Auch die x- und y-Werte für den CIE-Farbart befinden sich zu einem Großteil nahe den Herstellerangaben. Hier bilden die Lampen 20, 21 und 23 eine Ausnahme, da sie Abweichungen von bis zu 43 % des Ursprungswertes aufweisen, was im Vergleich zu den anderen Werten mit Abweichungen von maximal 6 % sehr auffällig ist. Die Differenz der drei Lampen beträgt ca. 0,1 auf der Skala, was einen deutlich merkbaren Unterschied bedeutet. Dies könnte daran liegen, dass alle drei Lampen sowohl dimmbar, als auch in der Farbtemperatur verstellbar sind und daher je nach Einstellung eine unterschiedliche spektrale Verteilung aufweisen. Aber: Nicht alle verstellbaren Lampen weisen diese Abweichungen auf.

Die Duv-Werte bewegen sich alle im Promille-Bereich. Eine Untersuchung der Universität Darmstadt ergab, dass der präferierte Weißton in einem Duv-Bereich zwischen -0,0195 und +0,0165 liegt [33]. Keines der vorliegenden Ergebnisse wird daher als auffällig gewertet.

Alle ermittelten Farbwiedergabewerte liegen innerhalb des Toleranzbereichs. Dieser erlaubt eine Abweichung nach unten von 3,2 %, nach der Messunsicherheit des eingesetzten Messgeräts. Höhere Werte bedeuten eine bessere Farbwiedergabe als der angegebene Mindestwert und sind demnach auch zulässig und positiv zu bewerten.

Der R9-Wert der Farbwiedergabe hat dagegen einige Abweichungen hervorgebracht. Eine Übersicht folgt in Tabelle 7.

Tabelle 7: Ergebnisübersicht CRI-R9 (eigene Darstellung)

	CRI-R9 _{EPREL}	CRI-R9 _{Mess}		CRI-R9 _{EPREL}	CRI-R9 _{Mess}
Lampe 1	17	21,4	Lampe 13	-	56,8
Lampe 2	-	20,7	Lampe 14	91	94,1
Lampe 3	-	66,2	Lampe 15	51	46,3
Lampe 4	56	58,0	Lampe 16	49	57,1
Lampe 5	58	58,2	Lampe 17	-	51,0
Lampe 6	42	44,2	Lampe 18	-	53,2
Lampe 7	75	65,4	Lampe 19	8	11,1
Lampe 8	40	55,5	Lampe 20	-	33,2
Lampe 9	8	12,3	Lampe 21	70	45,3
Lampe 10	-	22,0	Lampe 22	-	11,0
Lampe 11	-	88,5	Lampe 23	-	78,8
Lampe 12	-	49,9			

Legende:

	Werte der Kategorie 1
	Werte der Kategorie 4
	Messergebnisse niedriger als Herstellerangabe

Drei Werte des CRI-R9 sind deutlich niedriger als die Angaben aus EPREL. Die Lampen 11, 14 und 23 sind nach diesem Parameter baubiologisch geeignet, während sechs Lampen als ungenügend einzustufen sind – darunter alle energieeffizienten Modelle.

Die Herstellerdaten zu Farbtemperatur, Farbort und Farbwiedergabe werden größtenteils bestätigt. Es zeigt sich, dass einige Lampen mit hoher Farbwiedergabe am Markt erhältlich sind. Mit EPREL kann bei manchen Herstellern zusätzlich R9 eingesehen werden, um die Wiedergabe bunter Farbtöne im speziellen zu überprüfen. Niedrigere Lichtqualität ist bei allen energiesparenden LED festzustellen, sowie teilweise bei den ferngesteuerten Lampen. Die These, dass Lampen mit der Funktion der Farbumschaltung grundsätzlich eine schlechtere Farbwiedergabe haben, bewahrheitet sich demnach nicht.

Melanopische Wirkung

Sowohl EML als auch MEDI bewegen sich mit 300 - 505 lx fast ausschließlich unter dem tagsüber empfohlenen Bereich von 500 - 700 lux. Je niedriger der Wert, desto besser eignet sich die Lampe für abendliche Beleuchtung. Im Mittel beträgt der melanopisch wirksame Anteil der Beleuchtungsstärke 46 % mit einer mittleren Abweichung von 4 %.

Die melanopische Wirkung ist von Menge und Einfallswinkel des Lichts in das Auge abhängig. Da die Messung in direkter Ausrichtung zur Lampe durchgeführt wurde, handelt es sich um Maximalwerte. Ob mit dieser Lampenauswahl durch passive Beleuchtung eine abendlich empfohlene Menge von 10 – 15 lux zu erreichen ist, wurde nicht untersucht.

Flimmerverhalten

Die für den Stroboskobeffect relevanten SVM-Werte weichen oft stark von den EPREL-Angaben ab. Dort werden die meisten Lampen mit 0,4 angegeben – dem gesetzlich maximal zulässigen Wert. Teilweise wird ein Wert von 0,9 genannt, was einem veralteten Standard entspricht und vermutlich nach der gesetzlichen Neuerung im Jahr 2024 nicht aktualisiert wurde. Betroffen sind die Lampen 12, 18 und 21.

Die meisten Lampen unterschreiten die Grenzwerte deutlich. 17 der gemessenen Lampen liegen unter 0,1 und acht unter 0,01. Negativ fallen auf:

- Lampe 15, die die Hersteller-Angabe von 0,2 mit 0,36 weit überschreitet, aber noch im gesetzlichen Rahmen liegt,
- Lampe 5, die den gesetzlich zulässigen Wert mit 0,88 weit überschreitet,
- Lampe 21, die mit 1,78 beinahe das 4,5-fache des gesetzlichen Grenzwerts beträgt.

Lampe 5 und Lampe 15 sind vom gleichen Hersteller – SLV – welcher darauf hinweist, dass nur bestimmte Dimmer für die Lampen geeignet sind. Diese beiden Ergebnisse könnten also an der Inkompatibilität des genutzten Dimmers liegen und müssten in Kombination mit weite-

ren Dimmern geprüft werden, um eine endgültige Aussage zu treffen. Lampe 21 wurde dagegen ohne Dimmer genutzt und hat, den Ergebnissen nach, ein stark erhöhtes Risiko für Stroboskopeffekte.

Durch die in Kapitel 3.7 angesprochenen Schwierigkeiten bei der Messung von PstLM können hier nur die EPREL-Werte ohne Referenz zu einem Messwert bewertet werden. Ähnlich zu SVM ist auch hier für viele Lampen der höchstmögliche Wert angegeben – in diesem Fall 1,0. Nur Lampe 15 gibt mit 0,1 einen baubiologisch als gut zu bewertenden Wert an.

Auch F_i und F_p zeigen teils auffällige Werte, wie eine Übersicht in Tabelle 8 zeigt. Dabei sind die Ergebnisse von F_p , wie in Kapitel 3.7 beschrieben, von der Flimmerfrequenz abhängig, und im vorliegenden Fall daher nur begrenzt belastbar.

Tabelle 8: Ergebnisübersicht F_i und F_p (eigene Darstellung)

	F_i , Mess	F_p , Mess		F_i , Mess	F_p , Mess
Lampe 1	0,000370	0,32%	Lampe 13	0,003295	1,60%
Lampe 2	0,000310	0,27%	Lampe 14	0,011110	5,25%
Lampe 3	0,000604	0,32%	Lampe 15	0,030720	11,60%
Lampe 4	0,029290	10,16%	Lampe 16	0,006355	2,64%
Lampe 5	0,074320	25,47%	Lampe 17	0,000269	0,25%
Lampe 6	0,004000	1,42%	Lampe 18	0,000566	0,32%
Lampe 7	0,007460	2,59%	Lampe 19	0,010350	38,11%
Lampe 8	0,002487	1,40%	Lampe 20	0,002830	1,69%
Lampe 9	0,003748	1,67%	Lampe 21	0,149100	47,08%
Lampe 10	0,000429	0,34%	Lampe 22	0,000770	0,40%
Lampe 11	0,000704	0,40%	Lampe 23	0,001658	0,76%
Lampe 12	0,643700	99,93%			

Legende

	Kategorie 3
	Kategorie 4
	Leicht erhöhte Werte nach SBM 2024 [33]
	Stark erhöhte Werte nach SBM 2024 [33]

In Bezug auf F_i zeigt Lampe 5 einen erhöhten Wert, die Lampen 12 und 21 liegen über dem Grenzwert von 0,1 des CIE. Dies weist auf ungleichmäßige Schwankungen hin.

Die Werte von F_p sind nach dem Standard des SBM bei knapp 40 % der Lampen erhöht. Besonders fällt Lampe 12 auf, die während der Messungen sichtbar flackerte. Die Lampe wurde ohne Dimmer genutzt, sodass dieser als Fehlerquelle ausgeschlossen werden kann.

Da die Werte für SVM und PstLM in EPREL häufig mit den gesetzlichen Grenzwerten angegeben sind, können Verbraucher nicht selbstständig die Unterschiede zwischen den Lampen nachvollziehen. Die Messungen zeigen eine große Bandbreite in der Qualität des Flimmerverhaltens. Mehr als die Hälfte der gemessenen Lampen ist als unauffällig einzustufen, was zeigt, dass LED in diesem Bereich gute Ergebnisse erzielen können.

Elektrosmog

Die Messung der elektrischen Wechselfelder ergibt deutliche Unterschiede zwischen den drei Abständen.

Bei 130 cm Entfernung sind alle Lampen ähnlich der Referenzmessung oder minimal erhöht.

Bei 80 cm bewegen sich die Werte zwischen 1,8 V/m und 5,0 V/m, was nach dem SBM als „stark auffällig“ einzustufen ist.

Bei 30 cm steigen die Werte auf 12,3 V/m bis 39,1 V/m, was in die Kategorie „extrem auffällig“ fällt.

Dabei befinden sich die höchsten Werte unter den ferngesteuerten Lampen sowie der Lampe 18 von BioLicht. Da die elektrischen Felder einer Lampe, solange Spannung auf der Leitung liegt, auch im ausgeschalteten Zustand bestehen, sind sie in den meisten Fällen eine konstante Belastung. Die Messungen weisen demnach darauf hin, dass Lampen in Bereichen mit längerem Aufenthalt, bei einem Abstand zum Menschen von 80 cm oder weniger, kritisch zu hinterfragen sind.

Die Messergebnisse für magnetische Wechselfelder und hochfrequente Strahlung unterscheiden sich nicht wesentlich von den Referenzmessungen der Umgebung, was positiv zu bewerten ist. Im normalen Gebrauch sind die Lampen demnach für beide Einflüsse keine relevante Quelle.

Es zeigen sich jedoch Auffälligkeiten bei der Fernsteuerung der Lampen 19 bis 23. HF steigt von $4 \mu\text{W}/\text{m}^2$ auf bis zu $30 \mu\text{W}/\text{m}^2$, was nach dem SBM im unteren Bereich der Kategorie „stark auffällig“ liegt. Magnetische Wechselfelder werden nur bei den durch Bluetooth gesteuerten Lampen leicht von 12 nT auf bis zu 22 nT gesteigert, was als „schwach auffällig“ gilt. Beide Erhöhungen sind ausschließlich im Moment der Ansteuerung messbar und demnach vernachlässigbar, da sie über einen kurzen Zeitraum und direkt an der Lampe auftreten.

Näher zu betrachten sind auch die Geräte, die für die Steuerung genutzt werden, da diese sich direkt in der Hand des Anwenders befinden. Die magnetischen Wechselfelder bleiben weiterhin „unauffällig“ oder teils „schwach auffällig“, auch die elektrischen Wechselfelder verändern sich nicht maßgeblich. Bei HF ergeben sich dagegen stark erhöhte Werte.

Die Fernbedienung von Lampe 12 ist im Ruhemodus, wie die Lampen, bei einem Wert von $4 \mu\text{W}/\text{m}^2$, steigt bei Ansteuerung allerdings für etwa fünf Sekunden auf bis zu $250 \mu\text{W}/\text{m}^2$. Das Smartphone, mit dem die Lampen 20-23 gesteuert werden, zeigt bereits im Ruhemodus Werte bis zu $800 \mu\text{W}/\text{m}^2$ und steigt bei der Ansteuerung auf Werte bis zu $1100 \mu\text{W}/\text{m}^2$.

Die Ergebnisse bestätigen die These von erhöhter HF-Strahlung durch ferngesteuerte Lampen, was sich jedoch nur auf eine kurzzeitige Erhöhung der Werte beschränkt. Eine dauerhafte Belastung kann, außer durch das Smartphone, nicht festgestellt werden.

Folgen von Dimmung

Bei den dimmbaren Lampen zeigen sich durch die Reduktion der Helligkeit keine wesentlichen Veränderungen der Farbwiedergabe R_a . CRI-R9 verbessert sich in den meisten Fällen leicht. Die Werte für EML bzw. MEDI nehmen erwartungsgemäß mit geringerer Lichtmenge proportional ab. Die Flimmerwerte F_i , F_p und SVM nehmen ebenfalls leicht ab. Lampe 19 bildet mit einer Erhöhung von sowohl SVM, als auch F_p eine Ausnahme.

Insgesamt ist keine allgemeine Verschlechterung der Lichtqualität oder des Flimmerverhaltens durch die Dimmung festzustellen.

Energieeffizienz

Mit dem niedrigsten Wert von 60 lm/W (Lampe 5) und dem höchsten bei 212 lm/W (Lampe 9) ist eine große Bandbreite gegeben.

Es ist zu erwähnen, dass keine der energieeffizienten Lampen eine gute Farbwiedergabe (≥ 90) vorweisen kann, was nach baubiologischen Standards ein Ausschlusskriterium ist. Die beste Lichtausbeute bei ebenfalls guter Farbwiedergabe weist Lampe 16 mit 161 lm/W auf. Nach baubiologischer Philosophie sollte die Energieeffizienz einer Lampe nicht wichtiger als die Qualität sein, da dies Nachhaltigkeit auf Kosten der menschlichen Gesundheit ist.

Preis

Der Durchschnittspreis aller Lampen ohne Fernsteuerung beträgt etwa 9 €. Die als baubiologisch beworbenen Lampen von BioLicht sind mit 17 – 21 € etwa doppelt so teuer wie der Durchschnittspreis. Die Lampen von IKEA sind mit 2,50 € bis 3 € besonders günstig.

Die ferngesteuerten Lampen bewegen sich zwischen 7 € und 92 €, wobei keine Verbindung zwischen Fernsteuerungsart (WLAN, Bluetooth oder Fernbedienung) und Preis erkennbar ist, außer dass die Fernbedienung zusätzliche Kosten verursacht.

Ein systematischer Zusammenhang zwischen Preis und baubiologischer Qualität ist nicht erkennbar.

5 Fazit und Ausblick

Die vorliegende Arbeit schafft eine Momentaufnahme des aktuellen LED-Markts. Durch eine breite Auswahl an Lampen von etablierten Herstellern am Markt sind die Ergebnisse belastbar und langlebig.

Das Resultat dieser Arbeit ist der im Anhang enthaltene Lampenkatalog. Dieser ist nicht als Ranking der Lampen zu verstehen, sondern soll als Instrument zur Verbraucheraufklärung dienen. Anhand der dort aufbereiteten Messergebnisse und dem in dieser Arbeit entwickelten Bewertungssystems können eigenständig Vergleiche vorgenommen und dafür individuelle Prioritäten bei den Bewertungsparametern gesetzt werden.

Der Katalog ist frei zugänglich und entweder durch die Veröffentlichung dieser Bachelorarbeit über die Technische Hochschule Rosenheim oder auf der Website des Instituts für Baubiologie + Nachhaltigkeit IBN (<https://baubiologie.de>) aufrufbar.

5.1 Wichtigste Erkenntnisse

Alle untersuchten Bewertungskriterien weisen eine große Bandbreite an Ergebnissen auf.

Es zeigt sich, dass einige Lampen in den Kategorien Lichtqualität und Flimmerverhalten sehr gute Ergebnisse erzielen. Durch Dimmung lässt sich keine allgemeine Verschlechterung feststellen. Dies verdeutlicht ein hohes Potenzial der LED-Technologie für hochqualitative Lampen in diesen Bereichen.

Die Betrachtung elektromagnetischer Felder und Strahlung ergibt, dass sowohl niederfrequente magnetische Wechselfelder als auch hochfrequente Strahlung sich als unbedenklich erweisen. Bei ferngesteuerten Lampen sollten allerdings die teilweise hohen Emissionen des Steuerungsgeräts berücksichtigt werden. Hinsichtlich niederfrequenter elektrischer Wechselfelder zeigen sich alle Lampen bei oder unter einem Abstand von 80 cm als auffällig, wenn der Maßstab für Orte mit langer Aufenthaltszeit angewendet wird. Dies kann durch größere Abstände, Abschirmung oder andere Maßnahmen adressiert werden.

Zur Einordnung der Ergebnisse muss erwähnt werden, dass in einem typischen Haushalt oft einige Gerät mit gleicher oder höherer Elektromogbelastung betrieben werden, wie beispielsweise WLAN, Induktionskochfelder oder nicht abgeschirmte Leitungen und Steckdosen. Die Ergebnisse sind demnach nicht als Hinweis auf eine übermäßige Belastung durch LED-Lampen zu verstehen, sondern verdeutlichen vielmehr, dass sie einen Teil einer zunehmenden Gesamtbelastung darstellen, deren gesundheitliche Folgen noch nicht abschließend untersucht sind. Nach baubiologischen Grundsätzen ist jede Verringerung als positiv zu bewerten, wobei vorrangig die stärksten Quellen zuerst berücksichtigt werden sollten.

Energieeffizienz und Preis sind für eine baubiologische Bewertung zweitrangig, werden jedoch für eine vollständige Betrachtung der Lampen mit aufgenommen, da sie für Endverbraucher relevante Kriterien sind.

Keine der energieeffizienten Modelle haben gleichzeitig eine gute Farbwiedergabe. Hier besteht Potenzial für Verbesserung, wobei keine Minderung der Lichtqualität auftreten sollte.

Eine Korrelation von Preis und Qualität ergibt sich durch die vorliegende Untersuchung nicht.

Der EPREL-Katalog, welcher als Quelle für Daten der Hersteller genutzt wird, zeigt sich als gute Ressource für Verbraucher. Über den QR-Code auf dem Energie-Label sind die Daten für die Öffentlichkeit leicht zugänglich. Die Werte erweisen sich allerdings als nicht grundsätzlich verlässlich. Vor allem PstLM und SVM sind auch bei guten Lampen oft mit den gesetzlichen Grenzwerten angegeben, was Vergleiche erschwert. Eine sinnvolle Addition für den Katalog wären Werte zu elektrischen Wechselfeldern und melanopischer Wirkung. Für bessere Kundenaufklärung würden sich ebenfalls Informationen zu den angegebenen Parametern durch einen Infobutton direkt auf der Webseite anbieten.

Die Untersuchung ergibt, dass keine der Lampen in allen fünf Bewertungskategorien sehr gute Ergebnisse erzielt. Betrachtet man ausschließlich die Kriterien Lichtqualität, Flimmerverhalten und Elektrosmog – die aus baubiologischer Sicht gegenüber Preis und Energieeffizienz vorrangig einzustufen sind – so erweisen sich elf der 23 getesteten Lampen als baubiologisch geeignet (Gesamtbewertung $< 2,0$). Besonders hervorzuheben sind hierbei die Lampen 3 und 11 der Firma BioLicht sowie die Lampe 14 von Ledvance, welche alle im Schnitt unter dem Wert von 1,5 liegen.

Unter Berücksichtigung aller fünf Kriterien schneidet die Lampe 8 von IKEA mit einer durchschnittlichen Bewertung von 1,6 am besten ab. Nur die Lampen 19 von Paulmann und 21 von Arditì liegen mit den Mittelwerten 3,3 bzw. 3,7 unter der Bewertungsschwelle für „ausreichend“.

5.2 Ansätze für weiterführende Forschung

Es bieten sich mehrere Ansatzpunkte an, um die vorliegende Arbeit zu ergänzen oder mit weiteren Untersuchungen auf ihr aufzubauen.

Um die baubiologische Betrachtung derselben Lampenauswahl zu vervollständigen, können die Messungen für Flimmerfrequenzen und PstLM wiederholt, sowie für Ultraschall ergänzt werden.

Durch eine höhere Anzahl an Messwiederholungen könnte außerdem die Belastbarkeit der vorliegenden Ergebnisse durch eine Senkung der Messunsicherheit verbessert werden.

Die Untersuchung der melanopischen Wirkung könnte durch weitere Messpunkte und -richtungen erweitert werden, um die alltägliche Auswirkung der Lampen genauer zu erfassen.

Unterschiede innerhalb eines Produkttyps könnten durch vergleichende Messungen von mehreren baugleichen Lampen aufgezeigt werden, da die vorliegenden Ergebnisse Schwankungen in der Herstellung nicht berücksichtigen.

Zur besseren Einordnung der Ergebnisse bietet sich eine vergleichende Untersuchung anderer Lampenarten an, wie etwa Glühlampen und Halogenlampen. Dadurch kann die Entwicklung hin zu LED aus baubiologischer Sicht bewertet und deren Stärken und Schwächen im Verhältnis zu anderen Technologien aufgezeigt werden.

Abschließend könnte ein zukünftiger Vergleich mit einer neuen LED-Generation Aufschluss über technologische Entwicklungen und Fortschritte am Markt geben.

6 Literatur

- [1] ChatGPT-5, OpenAI. "Chatverlauf zur Erstellung von Excel-Formeln." [Online.] Verfügbar: <https://chatgpt.com/share/68ee48b0-b324-8008-9c81-99d5ddbaafa1>
- [2] P. Liedl und B. Rühm, *Gesundes Bauen und Wohnen: Baubiologie für Bauherren und Architekten*, 1. Aufl. München: Deutsche Verlags-Anstalt, 2019.
- [3] IBN. "Über die Baubiologie." Zugriff am: 24. April 2025. [Online.] Verfügbar: <https://baubiologie.de/wissen/ueber-die-baubiologie/>
- [4] N. Ece, *Baubiologie: Kriterien und architektonische Gestaltung*. Basel: Birkhäuser, 2018.
- [5] W. Maes, *Stress durch Strom und Strahlung: Elektrosmog, Mobilfunk, Radioaktivität, Erdstrahlung, Schall, Licht*, 6. Aufl. (Baubiologie Bd. 1). Neubeuern: Inst. für Baubiologie + Oekologie, 2013.
- [6] M. Mierau. "Neuer Standard der Baubiologischen Messtechnik 2024." Zugriff am: 12. Mai 2025. [Online.] Verfügbar: <https://baubiologie.de/wissen/baubiologie-magazin/wohn-gifte-schimmelpilze-schaedlinge/der-neue-standard-der-baubiologischen-messtechnik-2024/>
- [7] R. Baer, D. Seifert und M. Barfuss, *Beleuchtungstechnik: Grundlagen*, 4. Aufl. Berlin: HUSS-MEDIEN GmbH, 2016.
- [8] U. G. Mai und D. Lang, *Über die nicht-visuelle Wirkung des Lichts auf den Menschen*, 1. Aufl. (LiTG-Publikation 32). Berlin: Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V., 2015.
- [9] C. Schierz, *Störungen und gesundheitliche Beeinträchtigung durch das Flimmerverhalten künstlicher Lichtquellen*, 1. Aufl. (LiTG-Publikation 48). Berlin: Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e. V. (LiTG), 2022.
- [10] *Licht und Beleuchtung –Grundlegende Begriffe und Kriterien für die Festlegung von Anforderungen an die Beleuchtung; Deutsche Fassung EN 12665:2024*, 12665, DIN-Normenausschuss Lichttechnik (FNL)DIN-Normenausschuss Farbe (FNF)DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Berlin, 2024.
- [11] T. Knura, "Fernlehrgang Baubiologie - Licht und Beleuchtung," Institut für Baubiologie + Nachhaltigkeit IBN, 2022.
- [12] L. Wierda und J. Viegand, "Ecodesign Impact Accounting - Overview Report 2024," Europäische Kommission, Okt. 2024. Zugriff am: 3. Oktober 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://circabc.europa.eu/ui/group/418195ae-4919-45fa-a959-3b695c9aab28/library/e2a752ef-c365-41df-8e50-98376e6ca756/details>
- [13] R. Weitzel, "Lichtquellen," in *LiTG Publikation*, Bd. 29:2012, Berlin, 2012, S. 36–37.

- [14] Umweltbundesamt. "Klimaschutz: EU beschließt das schrittweise Aus für die Glühlampe ab Ende 2009." Zugriff am: 16. September 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/klimaschutz-eu-beschliesst-das-schrittweise-aus>
- [15] Europäische Kommission. "Halogenlampen verschwinden ab 1.9. vom Markt: Fragen und Antworten zu den neuen Ökodesign-Vorschriften für Leuchtmittel." Zugriff am: 16. September 2025. [Online.] Verfügbar: https://germany.representation.ec.europa.eu/news/halogenlampen-verschwinden-ab-19-vom-markt-fragen-und-antworten-zu-den-neuen-okodesign-vorschriften-2018-08-31_de
- [16] Europäische Kommission, *Delegierte Verordnung (EU) 2023/2049 der Kommission vom 14. Juli 2023 zur Änderung der Verordnung (EU) 2017/852 des Europäischen Parlaments und des Rates in Bezug auf mit Quecksilber versetzte Produkte, die einem Herstellungs-, Einfuhr- und Ausfuhrverbot unterliegen*, 2023. Zugriff am: 17. September 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R2049>
- [17] *Allgemeinbeleuchtung – Licht emittierende Dioden (LED) Produkte und verwandte Ausrüstung – Begriffe und Definitionen*, 62504, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, 2018.
- [18] Schweizer Licht Gesellschaft, "Licht-Markt Schweiz 2022: Erhebung und Analyse der Absatzzahlen 2022 von Lampen und Leuchten in der Schweiz," Bundesamt für Energie BFE, Olten, 11.10.23.
- [19] H. R. Ris, *Beleuchtungstechnik für Praktiker: Grundlagen, Lampen, Leuchten, Planung, Messung*, 5. Aufl. Berlin, Offenbach, Fehrltorf/Schweiz: VDE-Verl.; Electrosuisse, 2015. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.vde-verlag.de/buecher/603617.html>
- [20] T. Q. Khanh, P. Bodrogi und Q. V. Trinh, *Farbqualität von LED-Beleuchtungssystemen*, 1. Aufl. (LiTG-Publikation 39). Berlin: Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V., 2019.
- [21] M. Franz und F. P. Wenzl, "Critical review on life cycle inventories and environmental assessments of LED-lamps," *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, Early Access. doi: 10.1080/10643389.2017.1370989.
- [22] R. Heinz, *Grundlagen der Lichterzeugung: Von der Glühlampe bis zum Laser; Lampen, Leistungsreduktion, LED, OLED, Laser*, 4. Aufl. Rütten: Highlight-Verl.-Ges, 2011.
- [23] A. Trinkl, "Techno-Ökonomische und umwelttechnische Betrachtung von LEDs und Akzeptanz in der Gesellschaft," Masterarbeit, Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und technische Biowissenschaften, Universität für Bodenkultur Wien, Villach, 2016. [Online]. Verfügbar unter: <https://epub.boku.ac.at/obvbokhs/content/titleinfo/1935925/full.pdf>
- [24] S. Sens eRecycling. "LED-Recycling." Zugriff am: 30. April 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.fachbericht.ch/fachbericht-2024/led-recycling.html>

- [25] Institut für Baubiologie + Nachhaltigkeit IBN, "Wenn die Sonne blau macht: Lichtqualität von LED-, Energiespar-, Glüh- und Halogenlampen," *Wohnung + Gesundheit*, Nr. 140, S. 26–27, 2011.
- [26] *Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik: Teil 100: Über das Auge vermittelte, melanopische Wirkung des Lichts auf den Menschen - Größen, Symbole und Wirkungsspektren*, 5031-100, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, 2021.
- [27] "LICHT2021 Tagungsband: zum 24. Europäischen Lichtkongress," LiTG, LTG, NSVV, SLG, 2021. Zugriff am: 21. Oktober 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://licht2021.de/sites/default/files/LICHT2021_Online_Tagungsband.pdf
- [28] K. Bieske, C. Schierz, S. Rabstein und V. Harth, "Steuerung nichtvisueller Lichtwirkungen mit Einbindung arbeitsplatzbezogener Beleuchtung," (Licht 2023: 25. Europäischer Lichttechnischer Kongress; 26-29. März, 2023, Salzburg Congress, p. 212), 2023. doi: 10.22032/DBT.57497. [Online]. Verfügbar unter: https://www.db-thueringen.de/servlets/MCRFileNodeServlet/dbt_derivate_00060423/ilm1-2023200148.pdf
- [29] C. Schierz, "Blaulichtschädigung der Augen-Netzhaut – Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse," TU Ilmenau, 2018. Zugriff am: 5. März 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.tu-ilmenau.de/fileadmin/Bereiche/MB/lichttechnik/Literatur/2018/LICHT2018_Schierz_Christoph_Langfassung.pdf
- [30] Production Partner WIKI. "Farbwiedergabe." Zugriff am: 13. November 2025. [Online.] Verfügbar: <https://wiki.production-partner.de/licht/farbwiedergabe/>
- [31] DIAL. "Die IEEE 1789: Ein neuer Standard zur Bewertung von flimmernden LEDs?" Zugriff am: 3. Oktober 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.dial.de/de-DE/artikel/die-ieee-1789-ein-neuer-standard-zur-bewertung-von-flimmernden-leds>
- [32] CIE, Hg., "CIE TN 006:2016: Visual Aspects of Time-Modulated Lighting Systems – Definitions and Measurement Models," CIE, 2016. Zugriff am: 4. März 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://files.cie.co.at/883_CIE_TN_006-2016.pdf
- [33] "BAUBIOLOGISCHE RICHTWERTE: FÜR SCHLAFBEREICHE," BAUBIOLOGIE MAES, Institut für Baubiologie + Nachhaltigkeit IBN, Ergänzung zum Standard der Baubiologischen Messtechnik SBM-2024, 2024.
- [34] G. Oberfeld und J. Gutbier, "Elektrostress im Alltag: Anregung zur Minimierung - Was jeder selbst tun kann," diagnose:funk, 2021.
- [35] P. Cameron und W. Kühling, "Mobilfunk im Kinderzimmer – eine kritische Betrachtung: Mit Hinweisen zum verantwortungsvollen Umgang," Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e. V., Berlin, 2018. Zugriff am: 24. Oktober 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/ressourcen_und_technik/ressourcen_technik_mobilfunk_im_kinderzimmer.pdf
- [36] I. Belyaev *et al.*, "EUROPAEM EMF Guideline 2016 for the prevention, diagnosis and treatment of EMF-related health problems and illnesses," *Reviews on environmental health*, Jg. 31, Nr. 3, S. 363–397, 2016, doi: 10.1515/reveh-2016-0011.

- [37] T. Haumann und M. Mierau, "Fernlehrgang Baubiologie - Felder – Wellen – Strahlung," Institut für Baubiologie + Nachhaltigkeit, 2025.
- [38] "Bericht Mobilfunk und Strahlung," Arbeitsgruppe Mobilfunk und Strahlung im Auftrag des UVEK, 2019. Zugriff am: 24. Oktober 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://baubiologie.net/media/bericht_mobilfunkstrahlung.pdf
- [39] Europäische Union, *Delegierte Verordnung (EU) 2019/2015 der Kommission vom 11. März 2019 zur Ergänzung der Verordnung (EU) 2017/1369 des Europäischen Parlaments und des Rates in Bezug auf die Energieverbrauchskennzeichnung von Lichtquellen und zur Aufhebung der Delegierten Verordnung (EU) Nr. 874/2012 der Kommission*, 2019. Zugriff am: 2. Oktober 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R2015>
- [40] Europäische Union, *Verordnung (EU) 2019/2020 der Kommission vom 1. Oktober 2019 zur Festlegung von Ökodesign-Anforderungen an Lichtquellen und separate Betriebsgeräte gemäß der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates und zur Aufhebung der Verordnungen (EG) Nr. 244/2009, (EG) Nr. 245/2009 und (EU) Nr. 1194/2012 der Kommission*, 2019. Zugriff am: 5. März 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R2020&from=EN>
- [41] Europäische Union, *Verordnung (EU) 2017/ 1369 des europäischen Parlaments und des Rates - vom 4. Juli 2017 - zur Festlegung eines Rahmens für die Energieverbrauchskennzeichnung und zur Aufhebung der Richtlinie 2010/ 30/ EU*, 2017. [Online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017R1369>
- [42] "Lighting Market Size & Share Analysis - Growth Trends & Forecasts (2025-2030)," Mordor Intelligence, 2025. Zugriff am: 3. Oktober 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/lighting-market>
- [43] GL Optic. "Spektrallichtmessgerät für LED-Lichtmessungen." Zugriff am: 2. Oktober 2025. [Online.] Verfügbar: https://gloptic.com/de/produkte/gl-spectis-1-0-touch/?gad_source=1&gad_campaignid=22653340752&gclid=CjwKCAjwx fjGBhAUEi-wAKWPwDmQcHbLeOwXDUu037ucgpg4llsOyxzAhMjvwGvNhFSsNNv0AE3hmpxoC4i-oQAvD_BwE
- [44] Gigahertz Solutions. "HF-Analysegerät HF35C." Zugriff am: 2. Oktober 2025. [Online.] Verfügbar: https://gigahertz-solutions.de/Elektrosmog-Messgeraete/Hochfrequenz/HF35C?gad_source=1&gad_campaignid=18177758281&gclid=CjwKCAjwx fjGBhAUEi-wAKWPwDoDmQKFJJ0hQ__57MI3JPenNfObajPeDJKBX33NWeXDRs6XNc-2sMhoC-DYQAvD_BwE
- [45] Fauser Elektrotechnik. "Fauser Elektrotechnik - ZadPad - Beschreibung." Zugriff am: 2. Oktober 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.fauser.biz/li/zadpad.htm>

- [46] "MESSTECHNISCHE RANDBEDINGUNGEN: ERLÄUTERUNGEN UND ERGÄNZUNGEN," BAUBIOLOGIE MAES, Institut für Baubiologie + Nachhaltigkeit IBN, Ergänzung zum Standard der Baubiologischen Messtechnik SBM-2024, 2024.
- [47] R. Baden, *Gesund bauen & wohnen: Das baubiologische Passivhaus: ein Handbuch für Architekten, Spezialisten, Bauherren & Interessierte*, 1. Aufl. Luxembourg: Éditions Guy Binsfeld, 2022.
- [48] "STANDARD DER BAUBIOLOGISCHEN MESSTECHNIK: SBM-2024," BAUBIOLOGIE MAES, Institut für Baubiologie + Nachhaltigkeit IBN, 2024.
- [49] "TCO Certified generation 10 for displays Edition 2," TCO Certified, 2024. Zugriff am: 11. Oktober 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://tcocertified.com/files/certification/tco-certified-generation-10-for-displays-edition2.pdf>
- [50] DIAL. "Effizienz von LEDs: Die höchste Lichtausbeute einer weißen LED." Zugriff am: 19. August 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.dial.de/de-DE/artikel/effizienz-von-leds-die-hoechste-lichtausbeute-einer-weissen-led>

Anhang

LED-Lampenkatalog 2025

Von Marie Neher

In Zusammenarbeit mit dem IBN



Inhaltsverzeichnis

Anwendungszweck und Aufbau des Katalogs	3
Parameter.....	4
Bewertungsschlüssel	6
Lampenauswahl	7
Bewertungsübersicht nach Kategorie	8
Bewertung im Detail.....	9
Eignung der Lampen nach Kategorie	11
Lampenprofile.....	12

Anwendungszweck und Aufbau des Katalogs

Dieser Katalog wurde im Rahmen der Bachelorarbeit „Qualitative und baubiologische Bewertung von marktüblichen LED-Leuchtmitteln“ von Marie Neher erstellt und fasst die Ergebnisse der Untersuchung von 23 LED-Lampen zusammen. Im Mittelpunkt stehen die Bewertung der Lichtqualität, des Flimmerverhaltens sowie der elektromagnetischen Emissionen. Die Eignung der Leuchtmittel wird nach baubiologischen Kriterien beurteilt.

Die Aufbereitung der Ergebnisse erfolgt mit dem Ziel, eine transparente und unabhängige Verbraucherinformation zu ermöglichen. Damit soll ein besseres Verständnis für die Unterschiede und Qualitätsmerkmale marktüblicher LED-Lampen geschaffen werden.

Zur Einordnung der Messergebnisse werden nachfolgend die Werte und deren Bedeutung erklärt sowie der Bewertungsschlüssel vorgestellt.

Eine Übersicht wird durch eine Liste der untersuchten Lampen und eine zusammenfassende Darstellung der Bewertung gegeben. Es folgen Einzelseiten zu den jeweiligen Modellen mit mehr Details. Dort werden die Messergebnisse je Lampe aufgeführt und mit den Herstellerangaben verglichen und ergänzt. Die Angaben der Hersteller werden der europäischen EPREL-Datenbank entnommen, in der EU-weit alle energie kennzeichnungspflichtigen Geräte verzeichnet sind. Der Zugriff auf die jeweiligen Einträge ist öffentlich über die auf dem Energielabel abgebildeten QR-Codes möglich. Jede Seite beinhaltet den entsprechenden Link sowie die korrespondierende Nummer für einen direkten Zugriff aus dem Katalog.

Je Lampe wird mit einem Spinnennetzdiagramm die Bewertung der Lampe nach den Bereichen Flimmerverhalten, Elektrosmog, Energieeffizienz, Lichtqualität und Preis dargestellt. Je weiter die Linie sich vom Zentrum des Diagramms entfernt, desto besser ist die Bewertung.

Parameter

Messwerte

CCT	Farbtemperatur (für diese Untersuchung: 2700 K, warmweiß)
CIE x und y	Koordinaten des Farborts nach CIE 1931; bildlich dargestellt
λ_{dom}	Dominierende Wellenlänge des Lichtspektrums; Spektrum bildlich dargestellt
Duv	Entfernung von ideal weißem Licht nach dem Farbort CIE 1931
R_a	Farbwiedergabe; bestehend aus der Wiedergabe von Einzelfarben, bildlich dargestellt
CRI-R9	Einzelfarbe R9 der Farbwiedergabe
EML	Anteil der melanopisch wirksamen Beleuchtungsstärke in Lux (lx)
MEDI	Korrespondierende melanopisch wirksame Beleuchtung von Tageslicht in Lux (lx)
Flicker-percent F_p	Beschreibt die Modulation des Lichtflimmerns in Prozent
Flicker-Index F_i	Beschreibt die Gleichmäßigkeit des Lichtflimmerns, ohne Einheit
SVM	Beschreibt die Wahrnehmbarkeit von Stroboskobeffekten, ohne Einheit
PstLM	Beschreibt die Wahrnehmbarkeit von Lichtflimmern, ohne Einheit
E	Stärke des elektrischen Wechselfelds in Volt pro Meter (V/m)
B	Stärke des magnetischen Wechselfelds in Nano-Tesla (nT)
HF	Stärke hochfrequenter Wellen in Mikrowatt pro Quadratmeter ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)

Angaben des Herstellers nach EPREL

EEK	Energieeffizienzklasse (A-G)
Dimmbar	Angabe zur Dimmbarkeit Ja/Nein
Nutzlichtstrom	Lichtleistung der Lampe in Lumen (lm)
Energieverbrauch	tatsächlich verbrauchte Energiemenge in kWh/1000h
Lichtstromerhalt	Gemittelter Nennlichtstrom nach 3000 Betriebsstunden (ohne ausgefallene Lampen)
Lebensdauerfaktor	Anteil der Lampen, die nach 3000 Betriebsstunden noch funktionsfähig sind

Bewertungsschlüssel

Kategorie	Kriterium	1	2	3	4
Lichtqualität	R _a	≥ 95	≥ 90	≥ 80	< 80
	CRI-R9	≥ 74	≥ 53	≥ 32	< 32
Flimmern	Flicker-Index Fi	≤ 0,04	≤ 0,07	≤ 0,10	> 0,10
	SVM	≤ 0,05	≤ 0,2	≤ 0,4	> 0,4
Elektrosmog	E (80 cm)	≤ 1,5 V/m	≤ 3,0 V/m	≤ 4,5 V/m	> 4,5 V/m
Energieeffizienz	Lichtausbeute	≥ 174 lm/W	≥ 136 lm/W	≥ 98 lm/W	< 98 lm/W
Preis	Prozentuale Bewertung in Bezug auf den höchsten Wert				

Bedeutung der Bereiche 1 bis 4

Bereich 1 = sehr gut und baubiologisch geeignet

Bereich 2 = gut

Bereich 3 = ausreichend

Bereich 4 = ungenügend

Die Aufteilung der Bereiche wird durch die Autorin festgelegt – eine detaillierte Beschreibung des Vorgehens und Begründungen ist in der zugehörigen Bachelorarbeit „Qualitative und baubiologische Bewertung von marktüblichen LED-Leuchtmitteln“ öffentlich zugänglich.

Für die Bewertung der gesamten Kategorie wird der Mittelwert der jeweilig zugehörigen Einzelkriterien gebildet.

Lampenauswahl

Lampen Nr.	Firma	Fassung	Kategorie	EPREL-Nummer	Abweichungen
Lampe 1	Ledvance	GU10	Energieeffizient	AC58800	
Lampe 2	Philips	GU10	Energieeffizient	9290036346	
Lampe 3	BioLicht	GU10	Nicht Dimmbar	Kein EPREL-Eintrag	
Lampe 4	SLV	GU10	Dimmbar	1005076	
Lampe 5	SLV	GU10	Dimmbar	1005273	
Lampe 6	Ledvance	GU10	Dimmbar	AC58002	
Lampe 7	Ledvance	GU10	Dimmbar	AC70535	
Lampe 8	IKEA	GU10	Dimmbar	LED2315R3	
Lampe 9	Ledvance	E27	Energieeffizient	AC59512	
Lampe 10	Philips	E27	Energieeffizient	9290036237	
Lampe 11	BioLicht	E27	Nicht Dimmbar	Kein EPREL-Eintrag	400 lm statt 800 lm
Lampe 12	Casaya	E27	Nicht Dimmbar	64018C	
Lampe 13	Ledvance	E27	Dimmbar	AC45161	
Lampe 14	Ledvance	E27	Dimmbar	AC57838	klar statt matt
Lampe 15	SLV	E27	Dimmbar	1005301	
Lampe 16	IKEA	E27	Dimmbar	LED2312G5	
Lampe 17	BioLicht	E27	3-step CCT	Kein EPREL-Eintrag	
Lampe 18	Müller-Licht	E27	Ferngesteuert	404004B	
Lampe 19	Paulmann	E27	Ferngesteuert	50124	
Lampe 20	Nordlux	E27	Ferngesteuert	2270002700	
Lampe 21	Arditi	E27	Ferngesteuert	Kein EPREL-Eintrag	
Lampe 22	Ledvance	E27	Ferngesteuert	AC42219	
Lampe 23	Ledvance	E27	Ferngesteuert	AC32829	

Bewertungsübersicht nach Kategorie

	Lampe 1	Lampe 2	Lampe 3	Lampe 4	Lampe 5	Lampe 6	Lampe 7	Lampe 8	Lampe 9	Lampe 10	Lampe 11	Lampe 12
Lichtqualität	3,5	3,5	1,5	2,0	2,0	2,5	1,5	2,0	3,5	3,5	1,0	2,5
Preis	1,3	1,4	1,6	1,2	1,3	1,2	1,2	1,1	1,3	1,3	1,6	1,1
Flimmern	1,0	1,0	1,0	2,0	3,5	1,0	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	3,0
Elektrosmog	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Energieeffizienz	1,0	1,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	2,0	1,0	1,0	4,0	3,0

	Lampe 13	Lampe 14	Lampe 15	Lampe 16	Lampe 17	Lampe 18	Lampe 19	Lampe 20	Lampe 21	Lampe 22	Lampe 23
Lichtqualität	2,0	1,0	2,5	2,0	2,5	2,0	3,5	3,0	2,5	3,5	1,5
Preis	1,3	1,2	1,2	1,1	1,7	2,3	3,3	1,3	4,0	1,2	1,6
Flimmern	1,0	1,5	2,0	1,5	1,0	1,0	1,5	1,0	4,0	1,0	1,0
Elektrosmog	2,0	2,0	3,0	3,0	3,0	4,0	4,0	3,0	4,0	3,0	4,0
Energieeffizienz	2,0	3,0	4,0	2,0	4,0	4,0	4,0	3,0	4,0	4,0	4,0

	Bester Wert	Schlechtester Wert	Durchschnittswert
Lichtqualität	1,0	3,5	2,4
Preis	1,1	4,0	1,6
Flimmern	1,0	4,0	1,5
Elektrosmog	2,0	4,0	2,6
Energieeffizienz	1,0	4,0	3,1

Bewertung im Detail

	Lampe 1	Lampe 2	Lampe 3	Lampe 4	Lampe 5	Lampe 6	Lampe 7	Lampe 8	Lampe 9	Lampe 10	Lampe 11	Lampe 12
CCT	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.
CCT 66%				i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.				
CCT 33%				i.O.	i.O.	i.O.	i.O.					
R_a	3	3	1	2	2	2	1	2	3	3	1	2
R_a 66%				2	2	2	1	2				
R_a 33%				2	2	2	1					
CRI-R9	4	4	2	2	2	3	2	2	4	4	1	3
CRI-R9 66%				2	2	3	2	2				
CRI-R9 33%				2	2	3	2					
Flicker-Index Fi	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	4
Flicker-Index Fi 66%				1	3	1	1	1				
Flicker-Index Fi 33%				1	2	1	1					
SVM	1	1	1	3	4	1	2	1	1	1	1	2
SVM 66%				3	4	1	2	1				
SVM 33%				2	4	1	2					
Preis	1,3	1,4	1,6	1,2	1,3	1,2	1,2	1,1	1,3	1,3	1,6	1,1
Lichtausbeute	1	1	4	4	4	4	4	2	1	1	4	3
E_{30cm}	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
E_{80cm}	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
E_{130cm}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
B	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
HF	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

	Lampe 13	Lampe 14	Lampe 15	Lampe 16	Lampe 17	Lampe 18	Lampe 19	Lampe 20	Lampe 21	Lampe 22	Lampe 23
CCT	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.
CCT 66%	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.*		i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.
CCT 33%	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.**		i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.
R_a	2	1	2	2	2	2	3	3	2	3	2
R_a 66%	2	1	2	2	2		3	3	2	3	2
R_a 33%	2	1	2	2	2		3	3	2	3	2
CRI-R9	2	1	3	2	3	2	4	3	3	4	1
CRI-R9 66%	2	1	3	2	1		4	3	3	4	1
CRI-R9 33%	2	1	3	2	2		4	3	3	4	2
Flicker-Index Fi	1	1	1	1	1	1	1	1	4	1	1
Flicker-Index Fi 66%	1	1	1	1	1		2	1	4	1	1
Flicker-Index Fi 33%	1	1	1	1	1		2	1	4	1	1
SVM	1	2	3	2	1	1	2	1	4	1	1
SVM 66%	1	1	3	2	1		4	1	4	1	1
SVM 33%	1	1	2	1	1		4	1	4	1	1
Preis	1,3	1,2	1,2	1,1	1,7	2,3	3,3	1,3	4,0	1,2	1,6
Lichtausbeute	2	3	4	2	4	4	4	3	4	4	4
E_{30cm}	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
E_{80cm}	2	2	3	3	3	4	4	3	4	3	4
E_{130cm}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
B	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
HF	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Legende:

 Parameter, die in die Bewertung eingehen

* nach Binning 4000 K

** nach Binning 6000 K

Eignung der Lampen nach Kategorie

Lichtqualität		Flimmern		Elektrosmog		Energieeffizienz		Preis	
Lampe 11	1,0	Lampe 1	1,0	Lampe 1	2,0	Lampe 1	1,0	Lampe 16	1,1
Lampe 14	1,0	Lampe 2	1,0	Lampe 2	2,0	Lampe 2	1,0	Lampe 8	1,1
Lampe 3	1,5	Lampe 3	1,0	Lampe 3	2,0	Lampe 9	1,0	Lampe 12	1,1
Lampe 7	1,5	Lampe 6	1,0	Lampe 4	2,0	Lampe 10	1,0	Lampe 15	1,2
Lampe 23	1,5	Lampe 8	1,0	Lampe 5	2,0	Lampe 8	2,0	Lampe 4	1,2
Lampe 4	2,0	Lampe 9	1,0	Lampe 6	2,0	Lampe 13	2,0	Lampe 14	1,2
Lampe 5	2,0	Lampe 10	1,0	Lampe 7	2,0	Lampe 16	2,0	Lampe 22	1,2
Lampe 8	2,0	Lampe 11	1,0	Lampe 8	2,0	Lampe 12	3,0	Lampe 7	1,2
Lampe 13	2,0	Lampe 13	1,0	Lampe 9	2,0	Lampe 14	3,0	Lampe 6	1,2
Lampe 16	2,0	Lampe 17	1,0	Lampe 10	2,0	Lampe 20	3,0	Lampe 9	1,3
Lampe 18	2,0	Lampe 18	1,0	Lampe 11	2,0	Lampe 3	4,0	Lampe 10	1,3
Lampe 6	2,5	Lampe 20	1,0	Lampe 12	2,0	Lampe 4	4,0	Lampe 13	1,3
Lampe 12	2,5	Lampe 22	1,0	Lampe 13	2,0	Lampe 5	4,0	Lampe 1	1,3
Lampe 15	2,5	Lampe 23	1,0	Lampe 14	2,0	Lampe 6	4,0	Lampe 20	1,3
Lampe 17	2,5	Lampe 7	1,5	Lampe 15	3,0	Lampe 7	4,0	Lampe 5	1,3
Lampe 21	2,5	Lampe 14	1,5	Lampe 16	3,0	Lampe 11	4,0	Lampe 2	1,4
Lampe 20	3,0	Lampe 16	1,5	Lampe 17	3,0	Lampe 15	4,0	Lampe 11	1,6
Lampe 1	3,5	Lampe 19	1,5	Lampe 20	3,0	Lampe 17	4,0	Lampe 3	1,6
Lampe 2	3,5	Lampe 4	2,0	Lampe 22	3,0	Lampe 18	4,0	Lampe 23	1,6
Lampe 9	3,5	Lampe 15	2,0	Lampe 18	4,0	Lampe 19	4,0	Lampe 17	1,7
Lampe 10	3,5	Lampe 12	3,0	Lampe 19	4,0	Lampe 21	4,0	Lampe 18	2,3
Lampe 19	3,5	Lampe 5	3,5	Lampe 21	4,0	Lampe 22	4,0	Lampe 19	3,3
Lampe 22	3,5	Lampe 21	4,0	Lampe 23	4,0	Lampe 23	4,0	Lampe 21	4,0

Lampenprofile

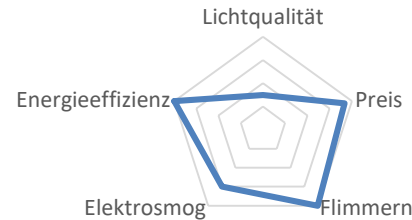
EPREL-Nr.:

AC58800

EPREL-Link:

<https://eprel.ec.europa.eu/screen/product/lightsources/1847348?navigatingfrom=qr>

Allgemeine Angaben	EPREL-Wert
EEK	A
Dimmbar	Nein
Nutzlichtstrom	360 lm
Energieverbrauch	2 kWh/1000h
Lichtstromerhalt	96%
Lebensdauerfaktor	90%

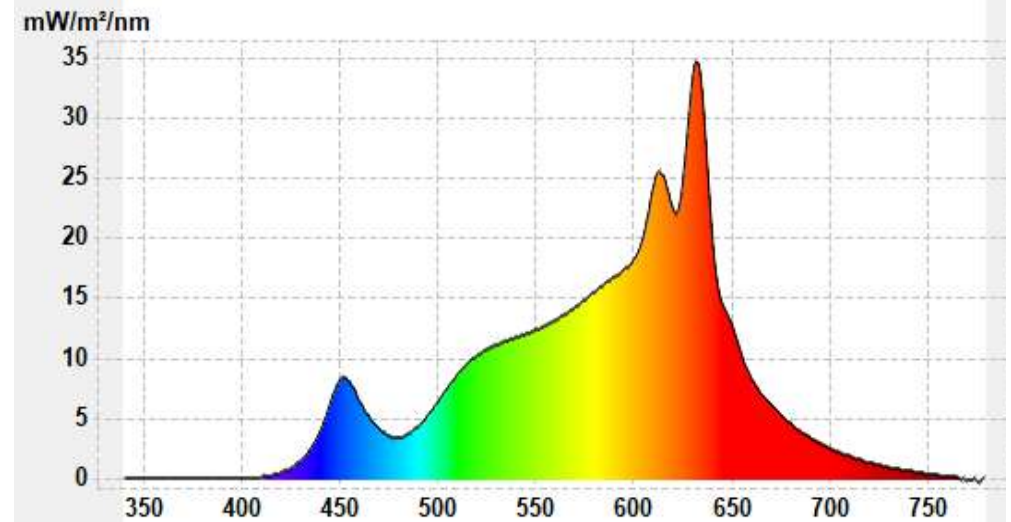


Lichtparameter	EPREL-Wert	Messergebnis
CCT	2.700 K	2.785 K
CIE x	0,458	0,463
CIE y	0,410	0,427
λ_{dom}	-	582 nm
Duv	-	0,00559
R _a	80	80,7
CRI-R9	17	21,4
EML	-	317 lx
MEDI	-	350 lx

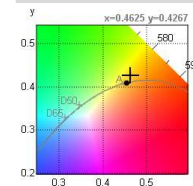
Flimmern	EPREL-Wert	Messergebnis
Flicker-percent Fp	-	0,32%
Flicker-Index Fi	-	0,0004
SVM	0,4	0,003
PstLM	1	-

Feldparameter	EPREL-Wert	Messergebnis
E _{30cm}	-	12,5 V/m
E _{80cm}	-	2,0 V/m
E _{130cm}	-	0,6 V/m
B	-	12 nT
HF	-	3 $\mu\text{W}/\text{m}^2$

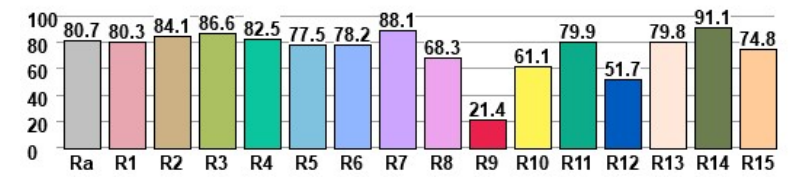
Spektralkurve



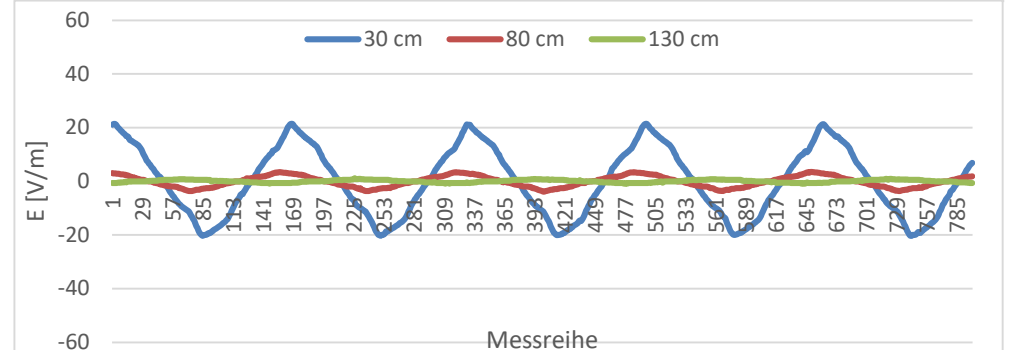
Farbort



CRI-Farbwiedergabe



Elektrische Wechselfelder



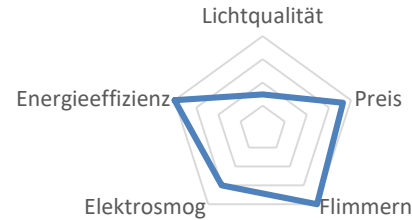
EPREL-Nr.:

9290036346

EPREL-Link:

<https://eprel.ec.europa.eu/screen/product/lightsources/1428242?navigatingfrom=qr>

Allgemeine Angaben	EPREL-Wert
EEK	A
Dimmbar	Nein
Nutzlichtstrom	375 lm
Energieverbrauch	3 kWh/1000h
Lichtstromerhalt	96%
Lebensdauerfaktor	90%

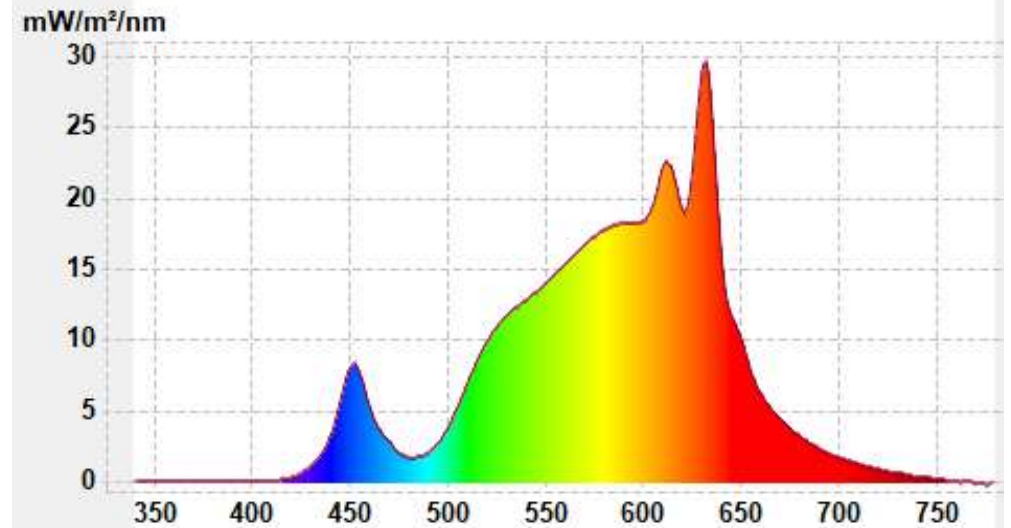


Lichtparameter	EPREL-Wert	Messergebnis
CCT	2.700 K	2.790 K
CIE x	0,465	0,462
CIE y	0,425	0,427
λ_{dom}	-	582 nm
Duv	-	0,00558
R _a	80	81,7
CRI-R9	-	20,7
EML	-	331 lx
MEDI	-	365 lx

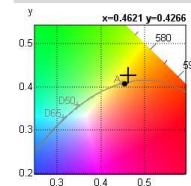
Flimmern	EPREL-Wert	Messergebnis
Flicker-percent Fp	-	0,27%
Flicker-Index Fi	-	0,0003
SVM	0,4	0,002
PstLM	1	-

Feldparameter	EPREL-Wert	Messergebnis
E _{30cm}	-	14,9 V/m
E _{80cm}	-	2,5 V/m
E _{130cm}	-	0,6 V/m
B	-	12 nT
HF	-	4 $\mu\text{W}/\text{m}^2$

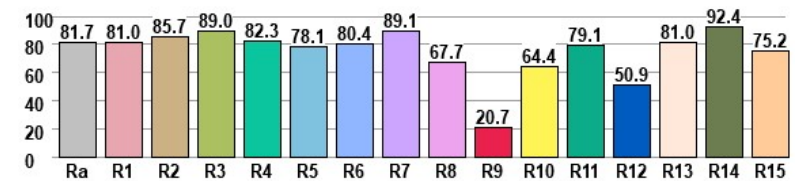
Spektralkurve



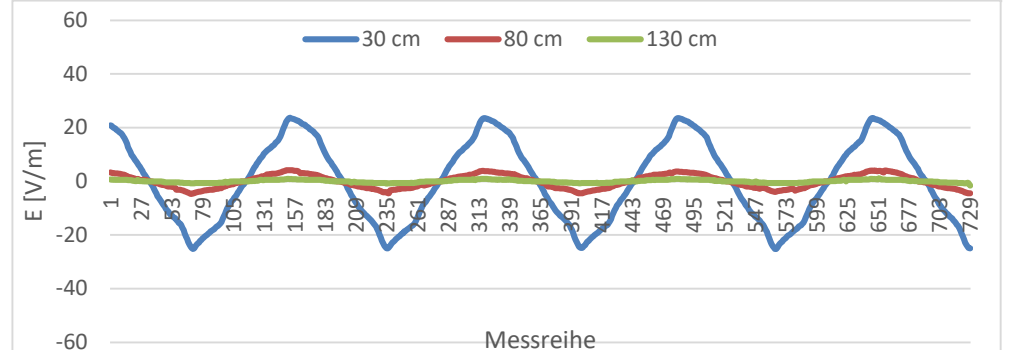
Farbort



CRI-Farbwiedergabe

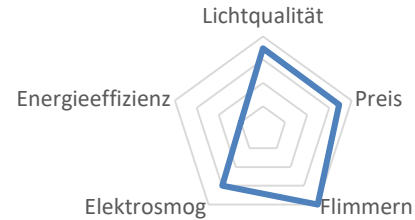


Elektrische Wechselfelder



EPREL-Nr.: - EPREL-Link: - *Angaben gemäß Produktverpackung (kein EPREL-Eintrag vorhanden)

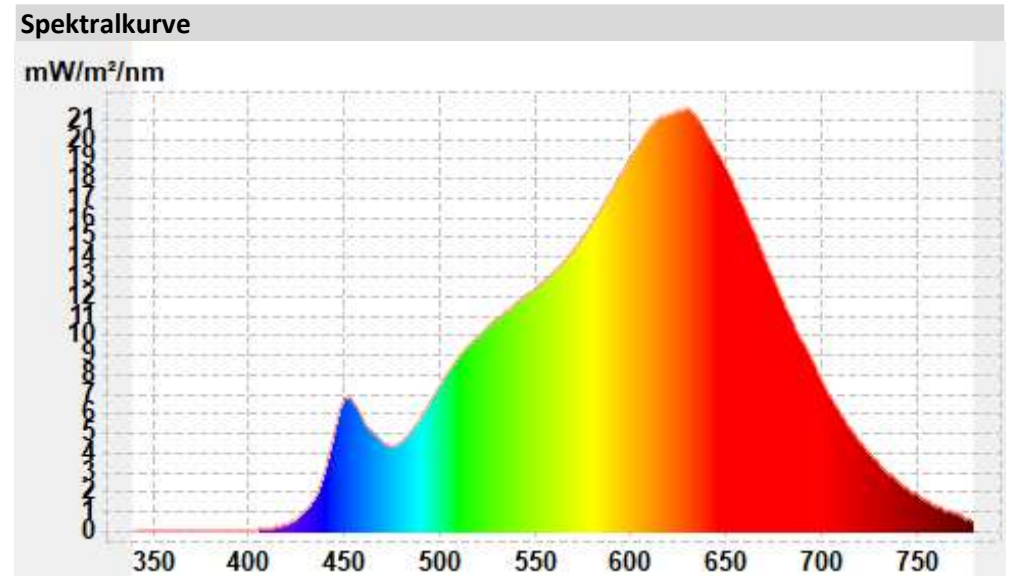
Allgemeine Angaben	Hersteller-Wert*
EEK	G
Dimmbar	Nein
Nutzlichtstrom	480 lm
Energieverbrauch	6 kWh/1000h
Lichtstromerhalt	-
Lebensdauerfaktor	-



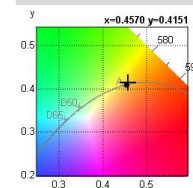
Lichtparameter	Hersteller-Wert*	Messergebnis
CCT	2.700 K	2.775 K
CIE x	-	0,457
CIE y	-	0,415
λ_{dom}	-	583 nm
Duv	-	0,00189
R _a	97	95
CRI-R9	-	66,2
EML	-	408 lx
MEDI	-	450 lx

Flimmern	Hersteller-Wert*	Messergebnis
Flicker-percent Fp	-	0,32%
Flicker-Index Fi	-	0,0006
SVM	-	0,003
PstLM	-	-

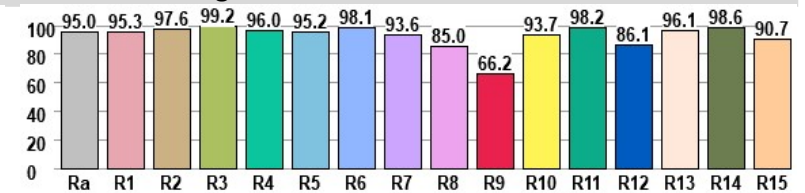
Feldparameter	Hersteller-Wert*	Messergebnis
E _{30cm}	-	18,2 V/m
E _{80cm}	-	2,7 V/m
E _{130cm}	-	0,6 V/m
B	-	12 nT
HF	-	3 $\mu\text{W}/\text{m}^2$



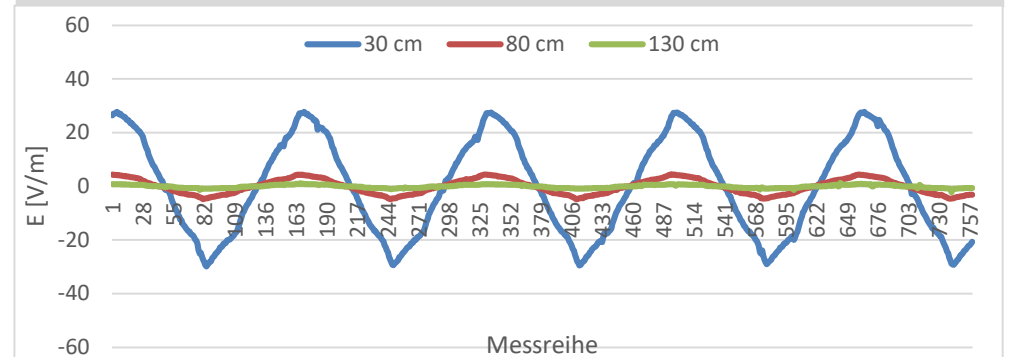
Farbort



CRI-Farb wiedergabe



Elektrische Wechselfelder



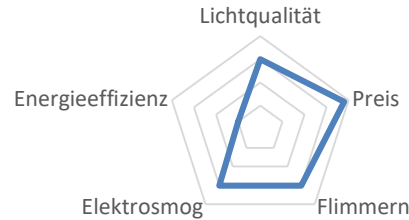
EPREL-Nr.:

1005076

EPREL-Link:

<https://eprel.ec.europa.eu/screen/product/lightsources/467670?navigatingfrom=qr>

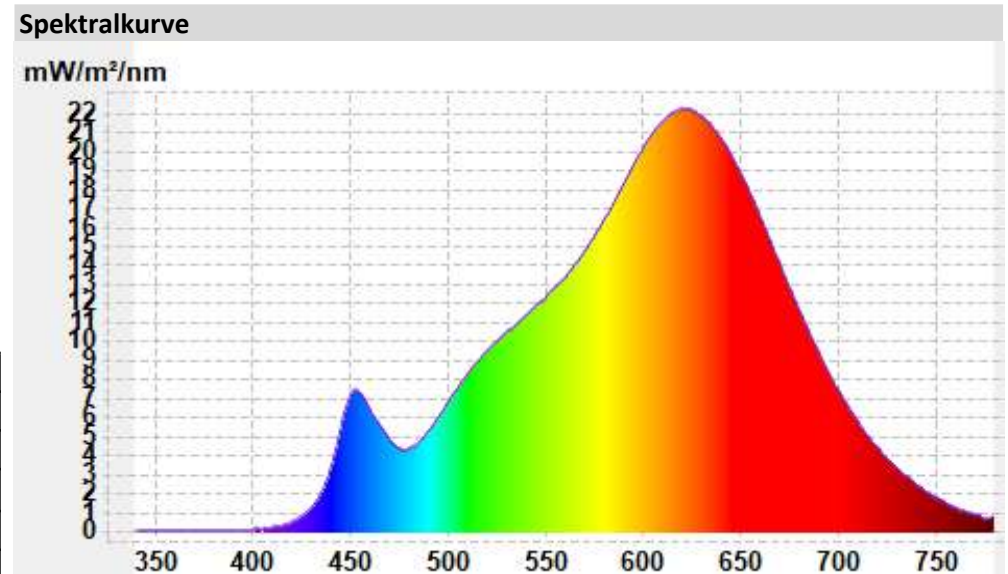
Allgemeine Angaben	EPREL-Wert
EEK	F
Dimmbar	Ja
Nutzlichtstrom	450 lm
Energieverbrauch	6 kWh/1000h
Lichtstromerhalt	98%
Lebensdauerfaktor	100%



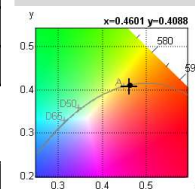
Lichtparameter	EPREL-Wert	100%	66%	33%
CCT	2.700 K	2.682 K	2.675 K	2.669 K
CIE x	0,460	0,460	0,461	0,461
CIE y	0,410	0,409	0,409	0,409
λ_{dom}	-	585 nm	549 nm	585 nm
Duv	-	-0,00073	-0,00077	-0,00069
R _a	92	93,1	93,4	93,9
CRI-R9	56	58	59,3	61,6
EML	-	399 lx	271 lx	133 lx
MEDI	-	441 lx	299 lx	147 lx

Flimmern	EPREL-Wert	100%	66%	33%
Flicker-percent Fp	-	10,16%	9,02%	5,91%
Flicker-Index Fi	-	0,0293	0,0236	0,0145
SVM	0,4	0,350	0,270	0,160
PstLM	1	-	-	-

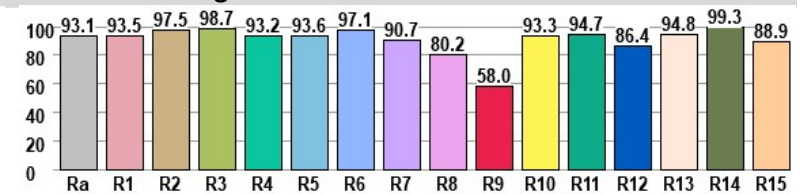
Feldparameter	EPREL-Wert	Messergebnis
E _{30cm}	-	23,1 V/m
E _{80cm}	-	3,2 V/m
E _{130cm}	-	0,8 V/m
B	-	12 nT
HF	-	3 $\mu\text{W}/\text{m}^2$



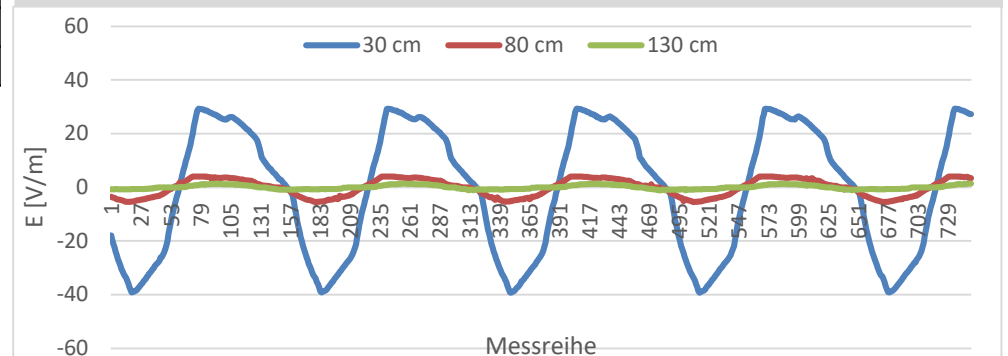
Farbort



CRI-Farbwiedergabe



Elektrische Wechselfelder



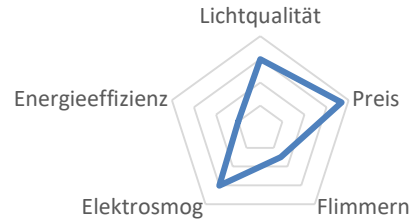
EPREL-Nr.:

1005273

EPREL-Link:

<https://eprel.ec.europa.eu/screen/product/lightsources/700819?navigatingfrom=qr>

Allgemeine Angaben	EPREL-Wert
EEK	G
Dimmbar	Ja, best. Dimmer
Nutzlichtstrom	360 lm
Energieverbrauch	6 kWh/1000h
Lichtstromerhalt	100%
Lebensdauerfaktor	100%

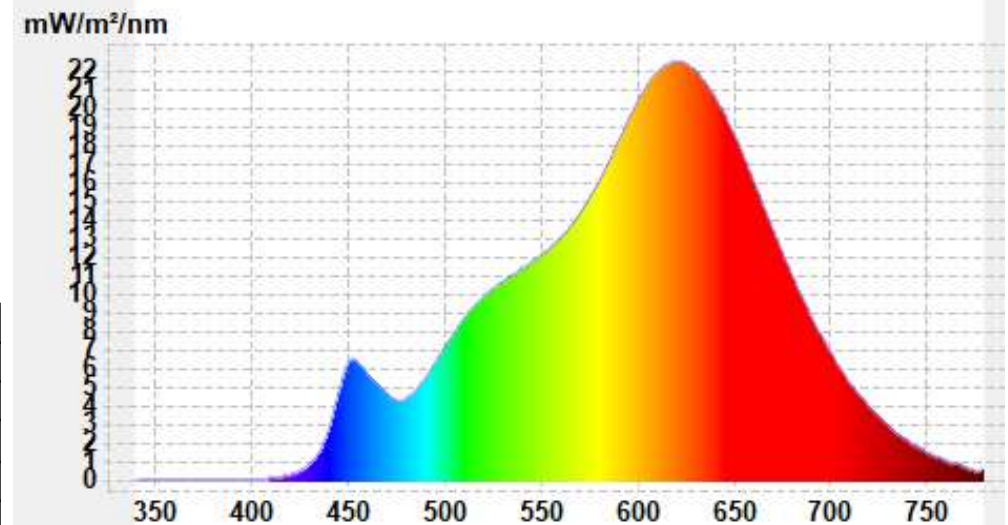


Lichtparameter	EPREL-Wert	100%	66%	33%
CCT	2.200 K - 2.700 K	2.674 K	2.653 K	2.526 K
CIE x	0,460	0,464	0,464	0,472
CIE y	0,410	0,415	0,412	0,409
λ_{dom}	-	584 nm	584 nm	625 nm
Duv	-	0,00116	0,00027	-0,00129
R _a	93	94	93,9	94
CRI-R9	58	58,2	59,5	65
EML	-	398 lx	268 lx	129 lx
MEDI	-	438 lx	296 lx	138 lx

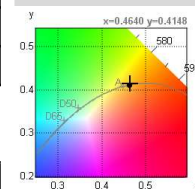
Flimmern	EPREL-Wert	100%	66%	33%
Flicker-percent Fp	-	25,47%	24,78%	21,57%
Flicker-Index Fi	-	0,0743	0,0704	0,0569
SVM	0,4	0,880	0,790	0,630
PstLM	1	-	-	-

Feldparameter	EPREL-Wert	Messergebnis
E _{30cm}	-	27,7 V/m
E _{80cm}	-	3,2 V/m
E _{130cm}	-	0,8 V/m
B	-	12 nT
HF	-	3 $\mu\text{W}/\text{m}^2$

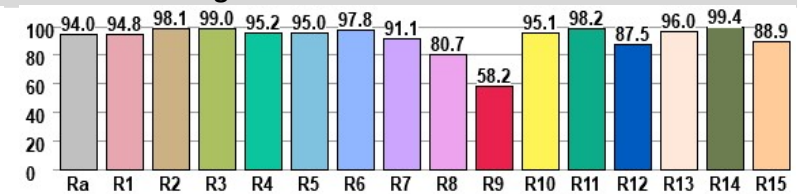
Spektralkurve



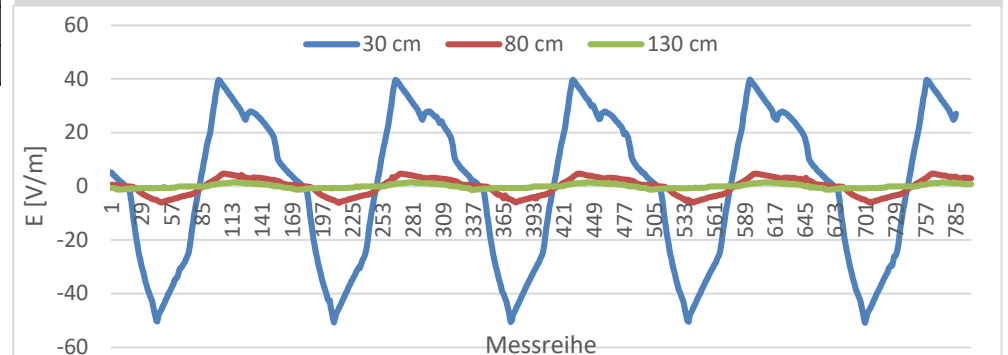
Farbort



CRI-Farbwiedergabe



Elektrische Wechselfelder



GU10

Lampe 6: LED Superstar PAR16 50 36° Dimmable (Osram)

Ledvance

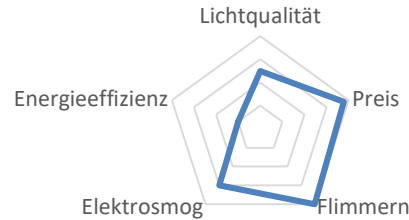
EPREL-Nr.:

AC58002

EPREL-Link:

<https://eprel.ec.europa.eu/screen/product/lightsources/1841973?navigatingfrom=qr>

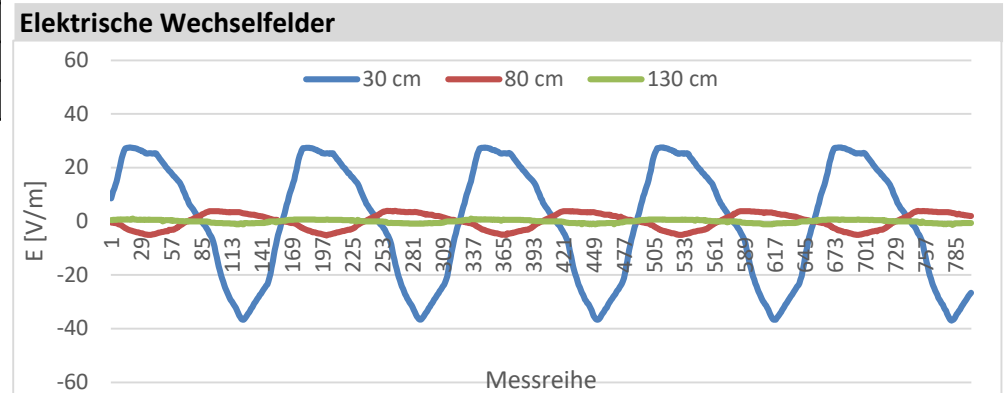
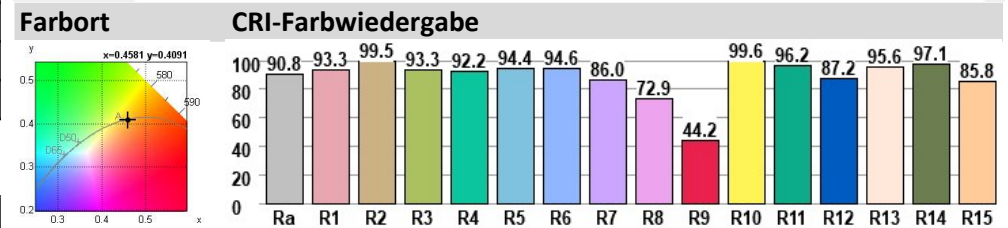
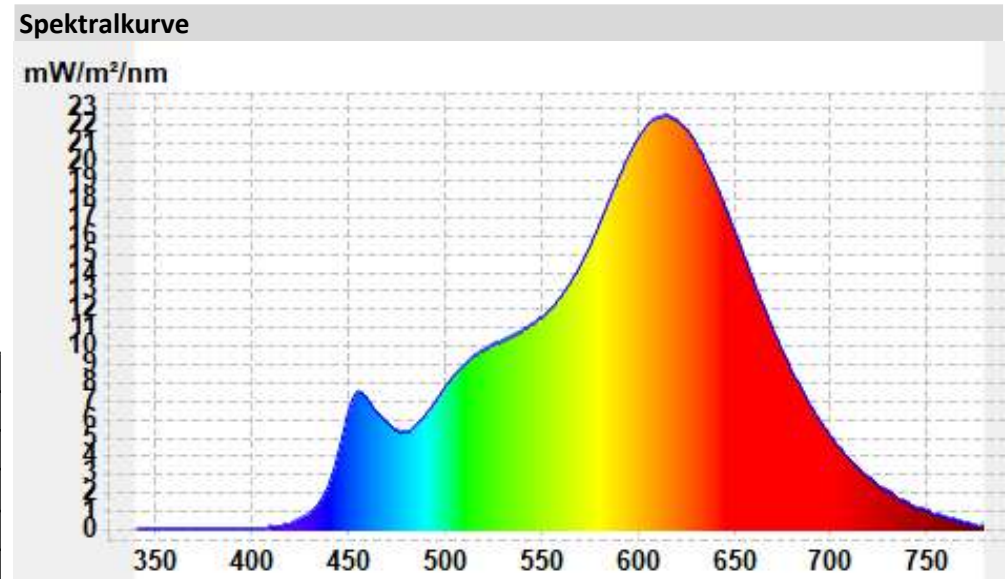
Allgemeine Angaben	EPREL-Wert
EEK	F
Dimmbar	Ja
Nutzlichtstrom	350 lm
Energieverbrauch	5 kWh/1000h
Lichtstromerhalt	96%
Lebensdauerfaktor	90%



Lichtparameter	EPREL-Wert	100%	66%	33%
CCT	2.700 K	2.713 K	2.713 K	2.706 K
CIE x	0,458	0,458	0,457	0,457
CIE y	0,410	0,409	0,408	0,406
λ_{dom}	-	584 nm	584 nm	585 nm
Duv	-	-0,00043	-0,00081	-0,00140
R _a	90	90,8	90,6	90,5
CRI-R9	42	44,2	45,3	47,8
EML	-	424 lx	289 lx	143 lx
MEDI	-	468 lx	319 lx	143 lx

Flimmern	EPREL-Wert	100%	66%	33%
Flicker-percent Fp	-	1,42%	1,69%	2,21%
Flicker-Index Fi	-	0,0040	0,0028	0,0029
SVM	0,4	0,044	0,026	0,023
PstLM	1	-	-	-

Feldparameter	EPREL-Wert	Messergebnis
E _{30cm}	-	22,0 V/m
E _{80cm}	-	2,9 V/m
E _{130cm}	-	0,6 V/m
B	-	12 nT
HF	-	4 μ W/m ²



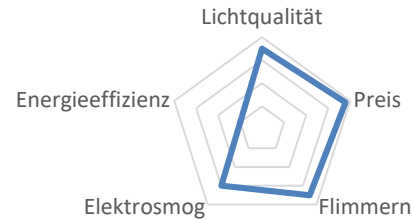
EPREL-Nr.:

AC70535

EPREL-Link:

<https://eprel.ec.europa.eu/screen/product/lightsources/2176350?navigatingfrom=qr>

Allgemeine Angaben	EPREL-Wert
EEK	E
Dimmbar	Ja
Nutzlichtstrom	350 lm
Energieverbrauch	4 kWh/1000h
Lichtstromerhalt	96%
Lebensdauerfaktor	90%

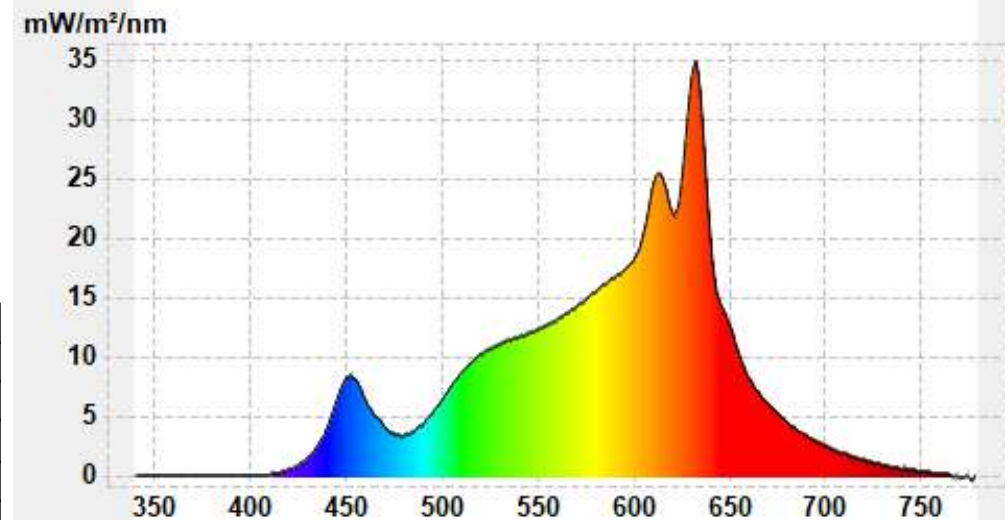


Lichtparameter	EPREL-Wert	100%	66%	33%
CCT	2.700 K	2.663 K	2.653 K	2.653 K
CIE x	0,463	0,460	0,461	0,461
CIE y	0,403	0,406	0,406	0,407
λ_{dom}	-	585 nm	585 nm	585 nm
Duv	-	-0,00176	-0,00184	-0,00163
R _a	97	95,1	95,3	95,6
CRI-R9	75	65,4	66,3	67,6
EML	-	395 lx	263 lx	125 lx
MEDI	-	436 lx	291 lx	137 lx

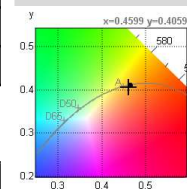
Flimmern	EPREL-Wert	100%	66%	33%
Flicker-percent Fp	-	2,59%	3,06%	2,61%
Flicker-Index Fi	-	0,0075	0,0073	0,0055
SVM	0,4	0,089	0,086	0,061
PstLM	1	-	-	-

Feldparameter	EPREL-Wert	Messergebnis
E _{30cm}	-	18,8 V/m
E _{80cm}	-	2,4 V/m
E _{130cm}	-	0,6 V/m
B	-	12 nT
HF	-	3 $\mu\text{W}/\text{m}^2$

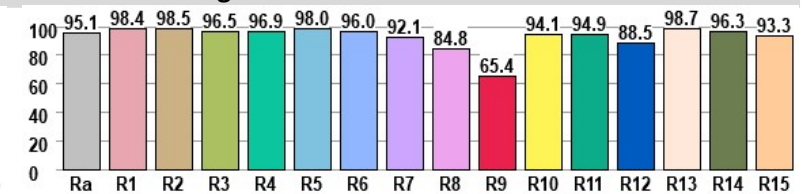
Spektralkurve



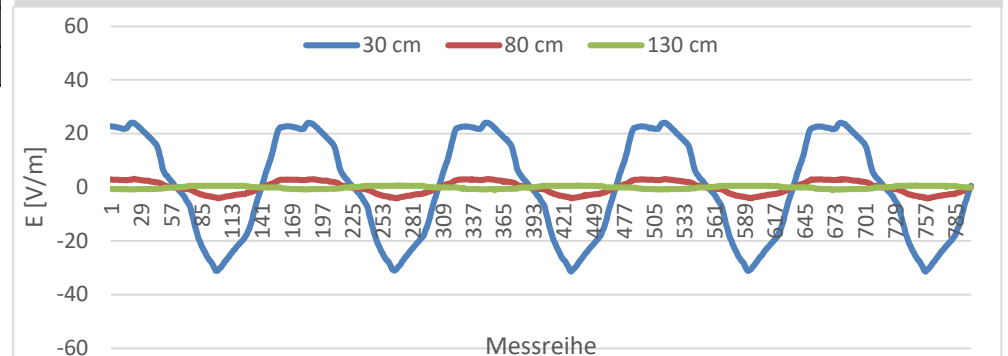
Farbort



CRI-Farbwiedergabe



Elektrische Wechselfelder



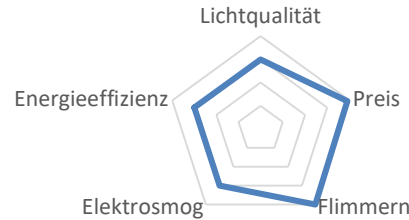
EPREL-Nr.:

LED2315R3

EPREL-Link:

<https://eprel.ec.europa.eu/screen/product/lightsources/1862147?navigatingfrom=qr>

Allgemeine Angaben	EPREL-Wert
EEK	C
Dimmbar	Ja
Nutzlichtstrom	345 lm
Energieverbrauch	3 kWh/1000h
Lichtstromerhalt	95%
Lebensdauerfaktor	90%

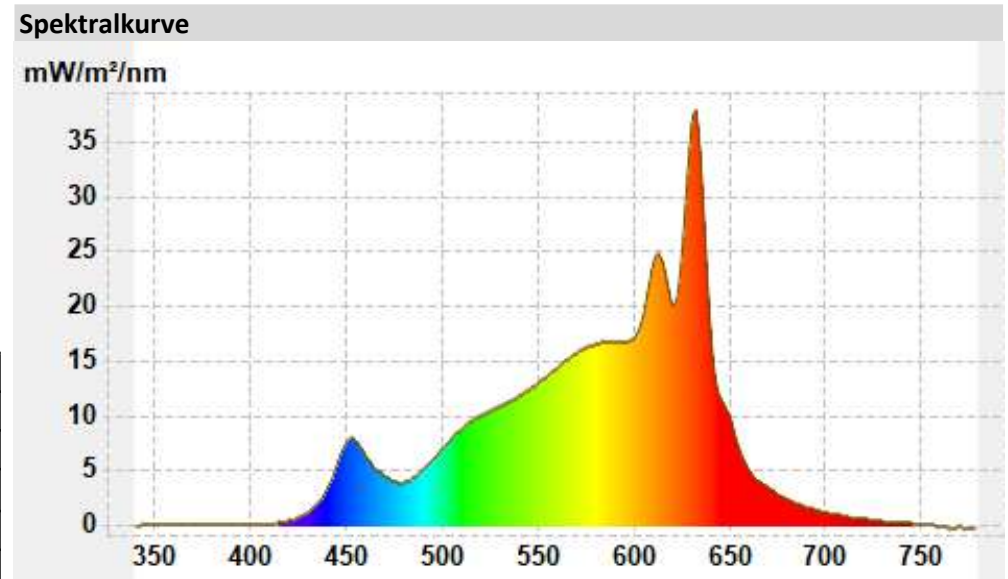


Lichtparameter	EPREL-Wert	100%	66%	33%*
CCT	2.700 K	2.761 K	2.749 K	-
CIE x	0,458	0,457	0,458	-
CIE y	0,410	0,414	0,413	-
λ_{dom}	-	583 nm	584 nm	-
Duv	-	0,00139	0,00104	-
R _a	90	92,6	93,1	-
CRI-R9	40	55,5	57,4	-
EML	-	402 lx	267 lx	-
MEDI	-	444 lx	295 lx	-

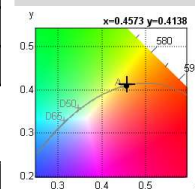
Flimmern	EPREL-Wert	100%	66%	33%*
Flicker-percent Fp	-	1,40%	0,63%	-
Flicker-Index Fi	-	0,0025	0,0007	-
SVM	0,4	0,008	0,005	-
PstLM	1	-	-	-

Feldparameter	EPREL-Wert	Messergebnis
E _{30cm}	-	17,8 V/m
E _{80cm}	-	2,1 V/m
E _{130cm}	-	0,6 V/m
B	-	12 nT
HF	-	3 $\mu\text{W}/\text{m}^2$

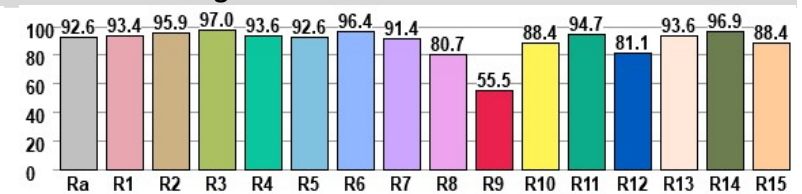
*Zielwert im Versuchsaufbau nicht erreicht



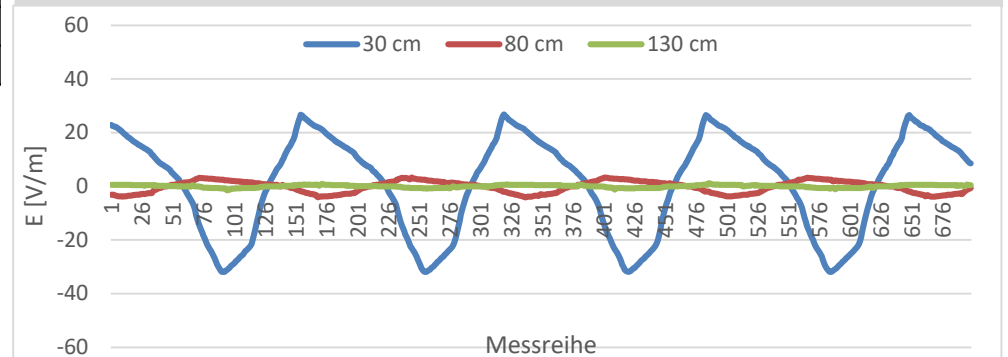
Farbort



CRI-Farbwiedergabe



Elektrische Wechselfelder



E27

Lampe 9: LED Classic A 60 Dimmable Energy A (Osram)

Ledvance

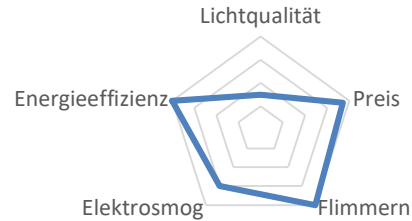
EPREL-Nr.:

AC59512

EPREL-Link:

<https://eprel.ec.europa.eu/screen/product/lightsources/1874915?navigatingfrom=qr>

Allgemeine Angaben	EPREL-Wert
EEK	A
Dimmbar	Ja
Nutzlichtstrom	805 lm
Energieverbrauch	4 kWh/1000h
Lichtstromerhalt	96%
Lebensdauerfaktor	90%

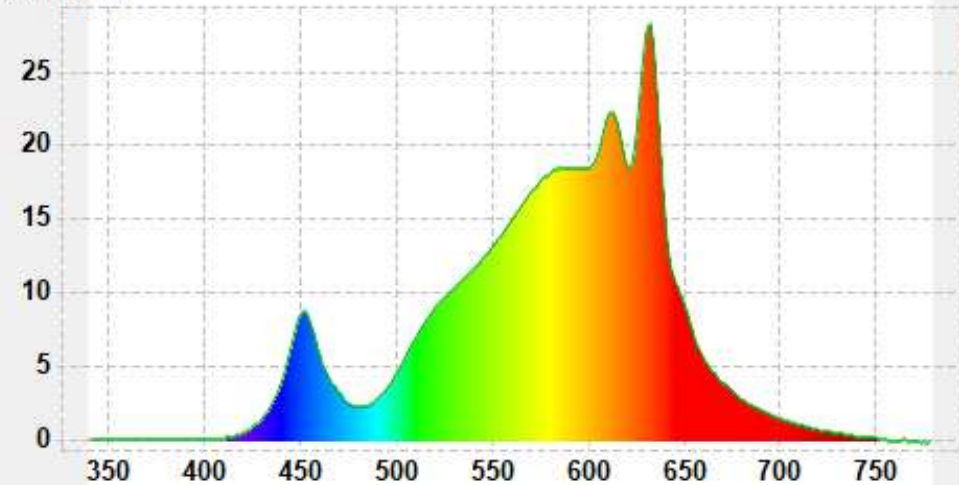


Lichtparameter	EPREL-Wert	Messergebnis
CCT	2.700 K	2.773 K
CIE x	0,458	0,458
CIE y	0,410	0,417
λ_{dom}	-	583 nm
Duv	-	0,00254
R _a	80	80,8
CRI-R9	8	12,3
EML	-	339 lx
MEDI	-	373 lx

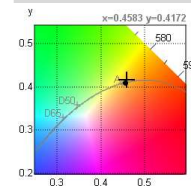
Flimmern	EPREL-Wert	Messergebnis
Flicker-percent Fp	-	1,67%
Flicker-Index Fi	-	0,0037
SVM	0,4	0,044
PstLM	1	-

Feldparameter	EPREL-Wert	Messergebnis
E _{30cm}	-	22,6 V/m
E _{80cm}	-	2,9 V/m
E _{130cm}	-	0,7 V/m
B	-	12 nT
HF	-	3 $\mu\text{W}/\text{m}^2$

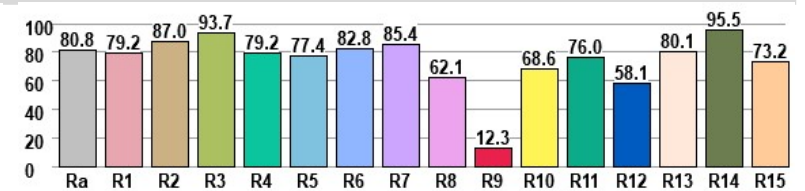
Spektralkurve

mW/m²/nm

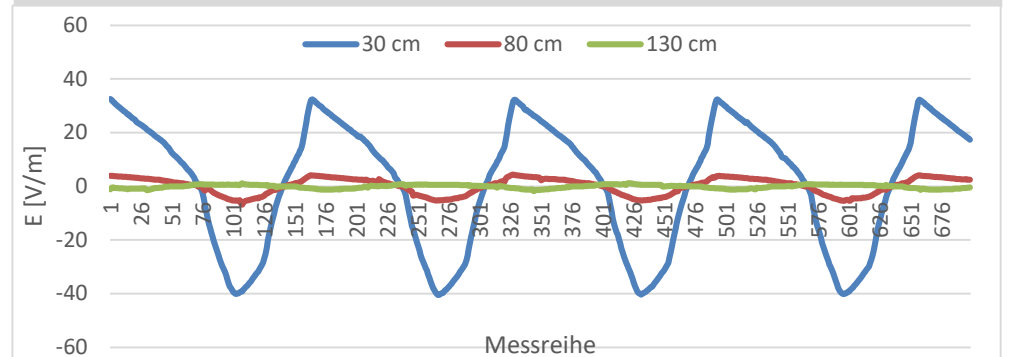
Farbort



CRI-Farbwiedergabe



Elektrische Wechselfelder



E27

Lampe 10: MASTER UltraEfficient LED-Lampe

Philips

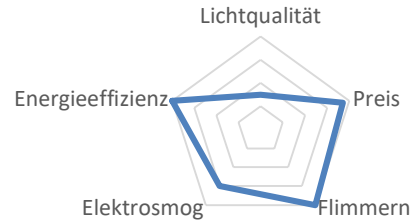
EPREL-Nr.:

9290036237

EPREL-Link:

<https://eprel.ec.europa.eu/screen/product/lightsources/1442611?navigatingfrom=qr>

Allgemeine Angaben	EPREL-Wert
EEK	A
Dimmbar	Nein
Nutzlichtstrom	840 lm
Energieverbrauch	4 kWh/1000h
Lichtstromerhalt	96%
Lebensdauerfaktor	90%

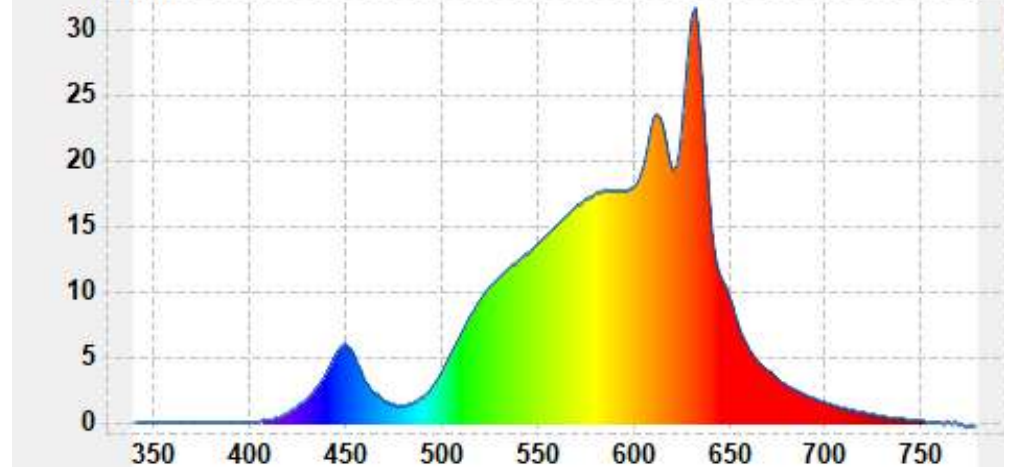


Lichtparameter	EPREL-Wert	Messergebnis
CCT	2.700 K	2.688 K
CIE x	0,470	0,472
CIE y	0,429	0,431
λ_{dom}	-	582 nm
Duv	-	0,00633
R _a	80	81,7
CRI-R9	-	22
EML	-	300 lx
MEDI	-	332 lx

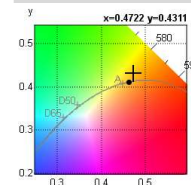
Flimmern	EPREL-Wert	Messergebnis
Flicker-percent Fp	-	0,34%
Flicker-Index Fi	-	0,0004
SVM	0,4	0,044
PstLM	1	-

Feldparameter	EPREL-Wert	Messergebnis
E _{30cm}	-	17,3 V/m
E _{80cm}	-	2,5 V/m
E _{130cm}	-	0,6 V/m
B	-	14 nT
HF	-	4 $\mu\text{W}/\text{m}^2$

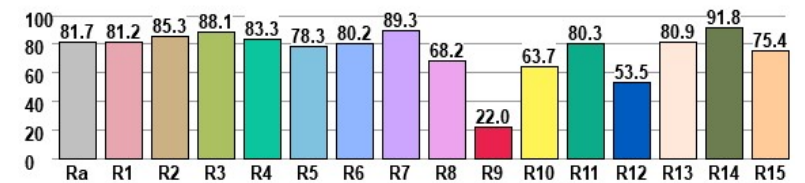
Spektralkurve

mW/m²/nm

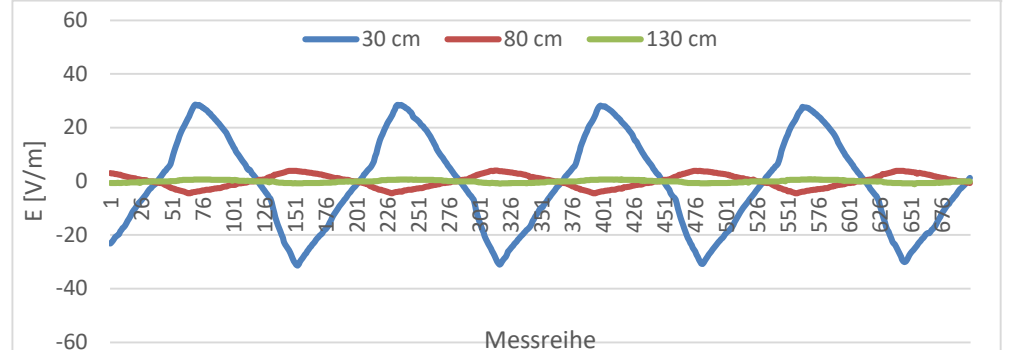
Farbort



CRI-Farbwiedergabe

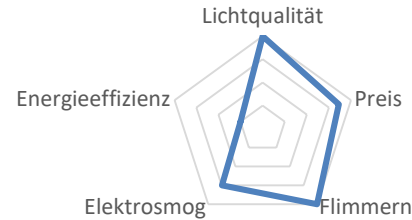


Elektrische Wechselfelder



EPREL-Nr.: - EPREL-Link: - *Angaben gemäß Produktverpackung (kein EPREL-Eintrag vorhanden)

Allgemeine Angaben	Hersteller-Wert*
EEK	F
Dimmbar	Nein
Nutzlichtstrom	400 lm
Energieverbrauch	4 kWh/1000h
Lichtstromerhalt	-
Lebensdauerfaktor	-

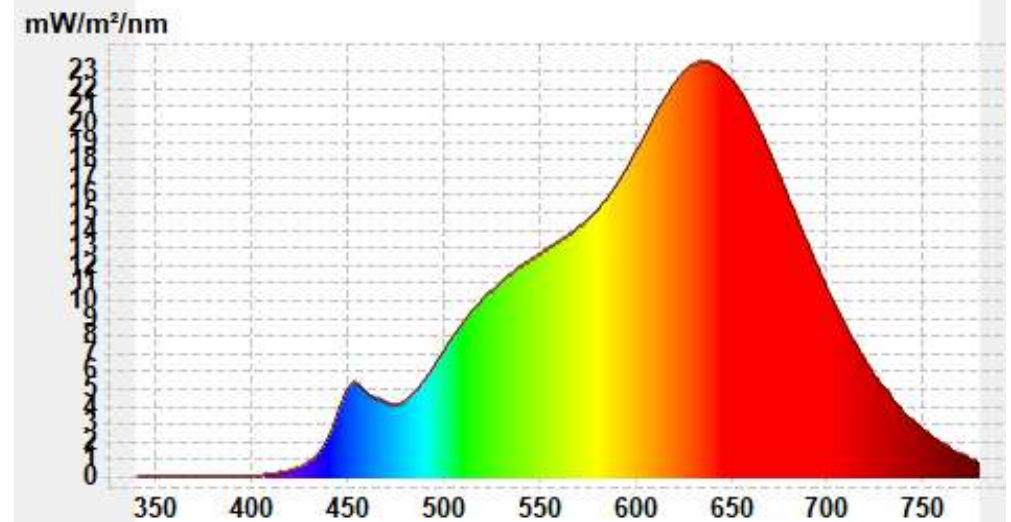


Lichtparameter	Hersteller-Wert*	Messergebnis
CCT	2.700 K	2.664 K
CIE x	-	0,469
CIE y	-	0,422
λ_{dom}	-	583 nm
Duv	-	0,00338
R _a	97	98
CRI-R9	-	88,5
EML	-	339 lx
MEDI	-	428 lx

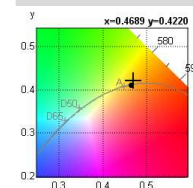
Flimmern	Hersteller-Wert*	Messergebnis
Flicker-percent Fp	-	0,40%
Flicker-Index Fi	-	0,0007
SVM	-	0,008
PstLM	-	-

Feldparameter	Hersteller-Wert*	Messergebnis
E _{30cm}	-	18,4 V/m
E _{80cm}	-	2,4 V/m
E _{130cm}	-	0,6 V/m
B	-	14 nT
HF	-	4 $\mu\text{W}/\text{m}^2$

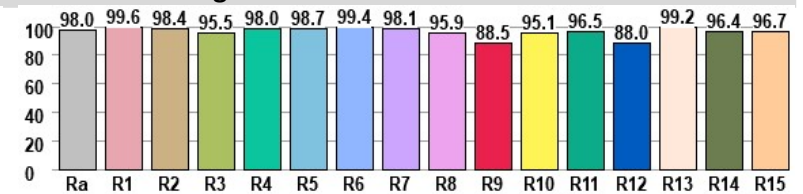
Spektralkurve



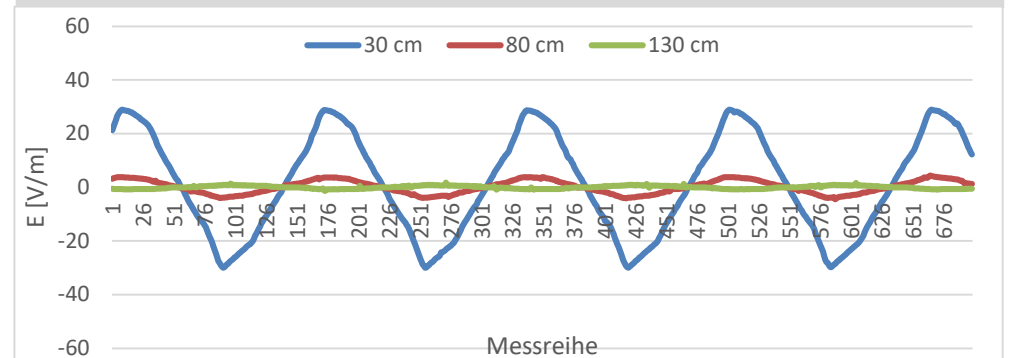
Farbort



CRI-Farbwigergabe



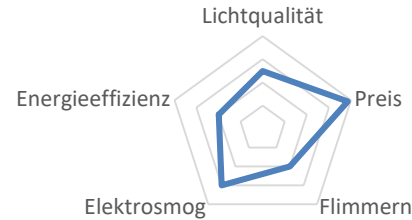
Elektrische Wechselfelder



EPREL-Nr.: 64018C

EPREL-Link: <https://eprel.ec.europa.eu/screen/product/lightsources/909681?navigatingfrom=qr>

Allgemeine Angaben	EPREL-Wert
EEK	E
Dimmbar	Nein
Nutzlichtstrom	806 lm
Energieverbrauch	7 kWh/1000h
Lichtstromerhalt	90%
Lebensdauerfaktor	90%

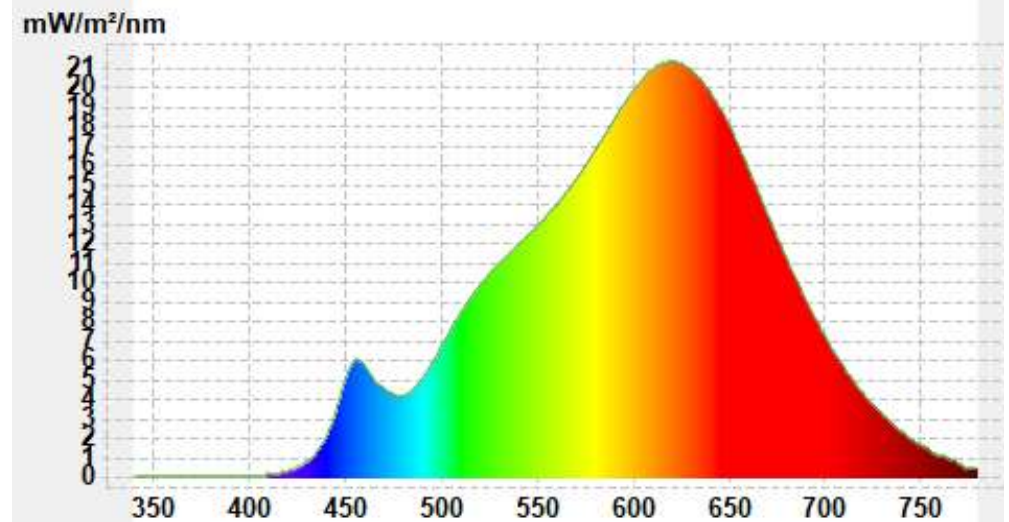


Lichtparameter	EPREL-Wert	Messergebnis
CCT	2.700 K	2.746 K
CIE x	0,463	0,465
CIE y	0,420	0,425
λ_{dom}	-	583 nm
Duv	-	0,00481
R _a	90	90,6
CRI-R9	-	49,9
EML	-	385 lx
MEDI	-	411 lx

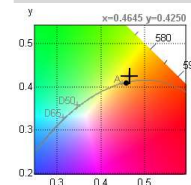
Flimmern	EPREL-Wert	Messergebnis
Flicker-percent Fp	-	99,93%
Flicker-Index Fi	-	0,6437
SVM	0,9	0,160
PstLM	0,9	-

Feldparameter	EPREL-Wert	Messergebnis
E _{30cm}	-	20,0 V/m
E _{80cm}	-	2,8 V/m
E _{130cm}	-	0,7 V/m
B	-	12 nT
HF	-	4 $\mu\text{W}/\text{m}^2$

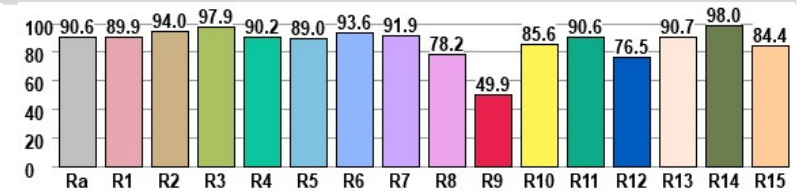
Spektralkurve



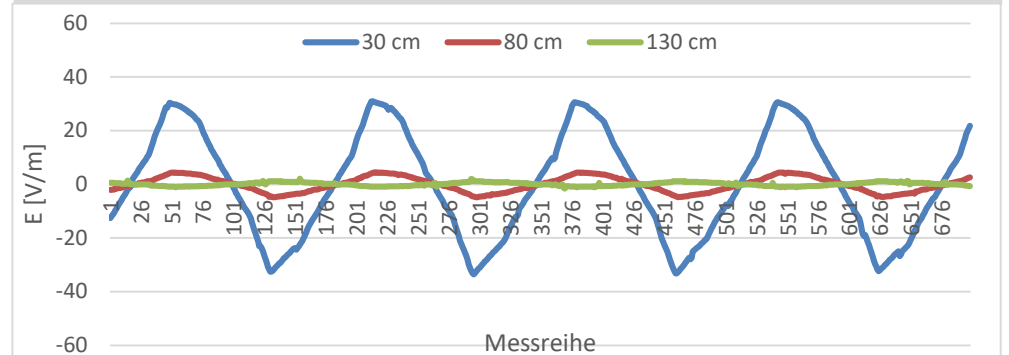
Farbort



CRI-Farbwiedergabe



Elektrische Wechselfelder



E27

Lampe 13: LED Superstar+ Classic A 60 Dimmable (Osram)

Ledvance

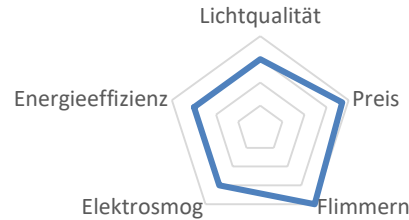
EPREL-Nr.:

AC45161

EPREL-Link:

<https://eprel.ec.europa.eu/screen/product/lightsources/1361249?navigatingfrom=qr>

Allgemeine Angaben	EPREL-Wert
EEK	D
Dimmbar	Ja
Nutzlichtstrom	806 lm
Energieverbrauch	6 kWh/1000h
Lichtstromerhalt	93%
Lebensdauerfaktor	90%

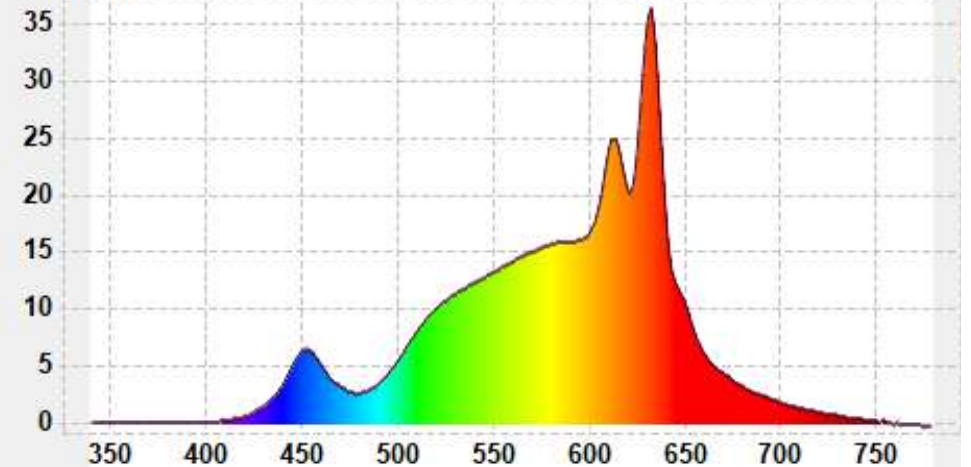


Lichtparameter	EPREL-Wert	100%	66%	33%
CCT	2.700 K	2.708 K	2.709 K	2.734 K
CIE x	0,436	0,465	0,466	0,465
CIE y	0,420	0,422	0,422	0,425
λ_{dom}	-	583 nm	583 nm	583 nm
Duv	-	0,00353	0,00364	0,00464
R _a	90	91,5	91,8	91,9
CRI-R9	-	56,8	58	59,2
EML	-	353 lx	238 lx	116 lx
MEDI	-	390 lx	262 lx	128 lx

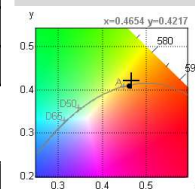
Flimmern	EPREL-Wert	100%	66%	33%
Flicker-percent Fp	-	1,60%	0,92%	1,10%
Flicker-Index Fi	-	0,0033	0,0011	0,0016
SVM	0,4	0,038	0,011	0,006
PstLM	1	-	-	-

Feldparameter	EPREL-Wert	Messergebnis
E _{30cm}	-	18,9 V/m
E _{80cm}	-	2,9 V/m
E _{130cm}	-	0,6 V/m
B	-	13 nT
HF	-	4 $\mu\text{W}/\text{m}^2$

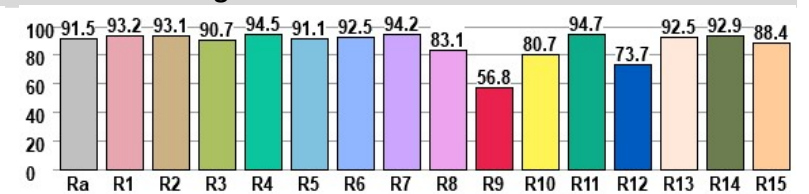
Spektralkurve

mW/m²/nm

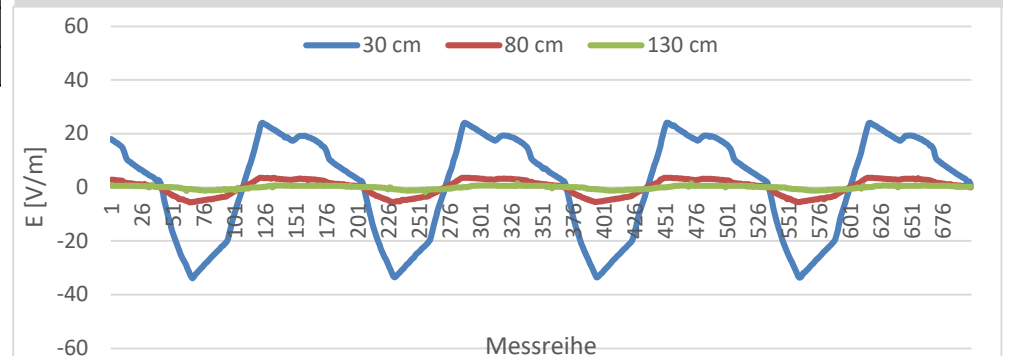
Farbort



CRI-Farbwiedergabe



Elektrische Wechselfelder



E27

Lampe 14: Classic A 60 DIM LED Warm White - Superior Class

Ledvance

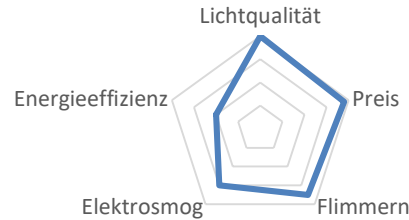
EPREL-Nr.:

AC57838

EPREL-Link:

<https://eprel.ec.europa.eu/screen/product/lightsources/1854828?navigatingfrom=qr>

Allgemeine Angaben	EPREL-Wert
EEK	E
Dimmbar	Ja
Nutzlichtstrom	806 lm
Energieverbrauch	8 kWh/1000h
Lichtstromerhalt	93%
Lebensdauerfaktor	90%

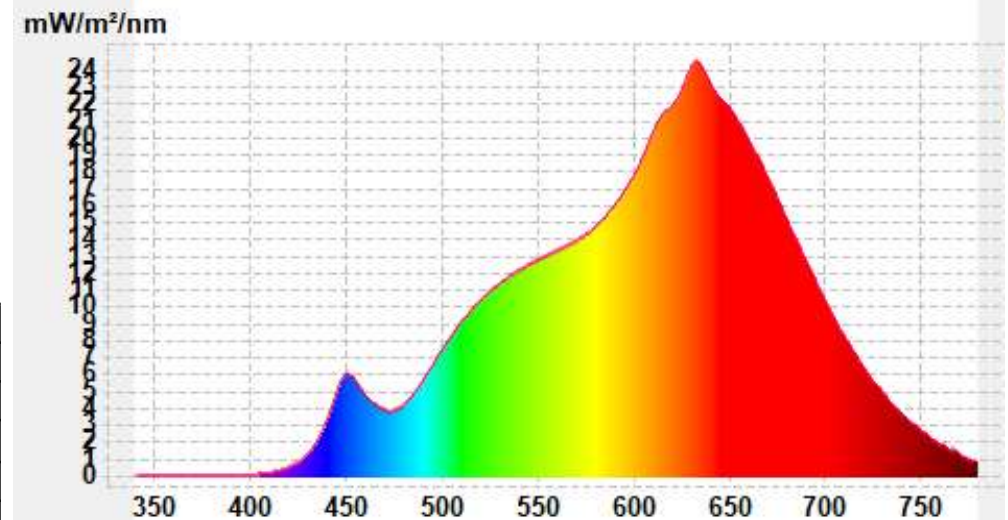


Lichtparameter	EPREL-Wert	100%	66%	33%
CCT	2.700 K	2.730 K	2.734 K	2.755 K
CIE x	0,463	0,462	0,463	0,463
CIE y	0,420	0,418	0,420	0,423
λ_{dom}	-	583 nm	583 nm	583 nm
Duv	-	0,00256	0,00319	0,00419
R _a	97	98,2	97,8	97,1
CRI-R9	91	94,1	96,3	99,3
EML	-	402 lx	265 lx	129 lx
MEDI	-	426 lx	293 lx	142 lx

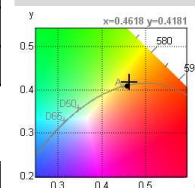
Flimmern	EPREL-Wert	100%	66%	33%
Flicker-percent Fp	-	5,25%	1,17%	0,92%
Flicker-Index Fi	-	0,0111	0,0020	0,0015
SVM	0,4	0,120	0,021	0,010
PstLM	1	-	-	-

Feldparameter	EPREL-Wert	Messergebnis
E _{30cm}	-	26,4 V/m
E _{80cm}	-	3,1 V/m
E _{130cm}	-	0,7 V/m
B	-	16 nT
HF	-	3 $\mu\text{W}/\text{m}^2$

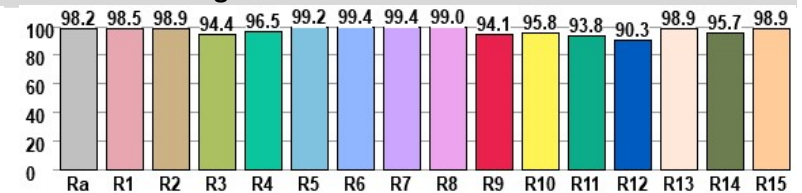
Spektralkurve



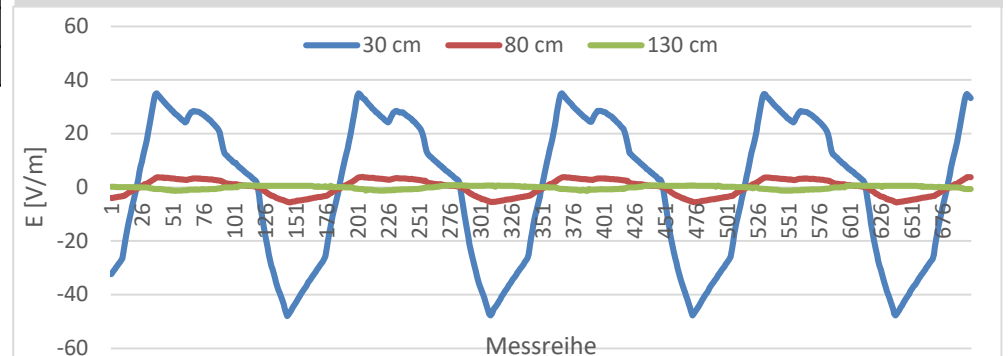
Farbort



CRI-Farbwiedergabe



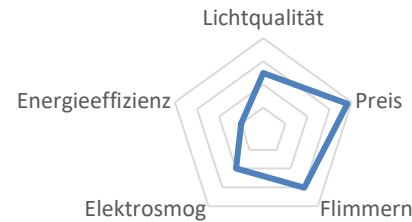
Elektrische Wechselfelder



EPREL-Nr.: 1005301

EPREL-Link: <https://eprel.ec.europa.eu/screen/product/lightsources/700794?navigatingfrom=qr>

Allgemeine Angaben	EPREL-Wert
EEK	F
Dimmbar	Ja, best. Dimmer
Nutzlichtstrom	800 lm
Energieverbrauch	9 kWh/1000h
Lichtstromerhalt	70%
Lebensdauerfaktor	100%

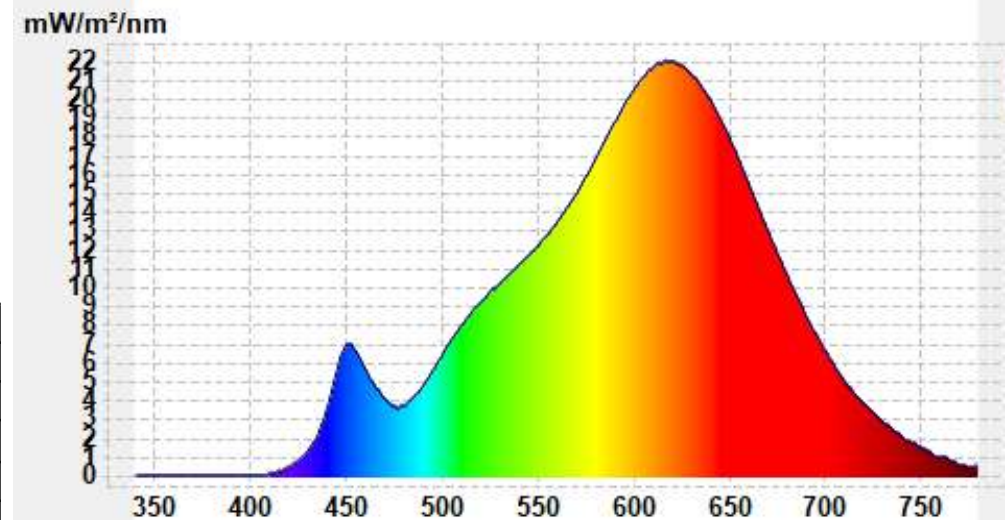


Lichtparameter	EPREL-Wert	100%	66%	33%
CCT	2.700 K	2.653 K	2.648 K	2.640 K
CIE x	0,458	0,464	0,463	0,463
CIE y	0,410	0,412	0,410	0,409
λ_{dom}	-	584 nm	585 nm	585 nm
Duv	-	0,00014	-0,00059	-0,00082
R _a	90	90,5	90,7	91,2
CRI-R9	51	46,3	47,3	49,7
EML	-	378 lx	253 lx	131 lx
MEDI	-	405 lx	279 lx	145 lx

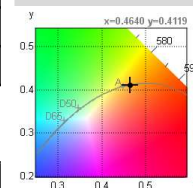
Flimmern	EPREL-Wert	100%	66%	33%
Flicker-percent Fp	-	11,60%	7,24%	5,14%
Flicker-Index Fi	-	0,0307	0,0192	0,0115
SVM	0,2	0,360	0,210	0,130
PstLM	0,1	-	-	-

Feldparameter	EPREL-Wert	Messergebnis
E _{30cm}	-	29,8 V/m
E _{80cm}	-	3,6 V/m
E _{130cm}	-	0,7 V/m
B	-	16 nT
HF	-	3 $\mu\text{W}/\text{m}^2$

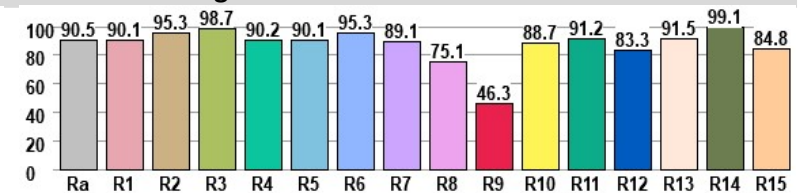
Spektralkurve



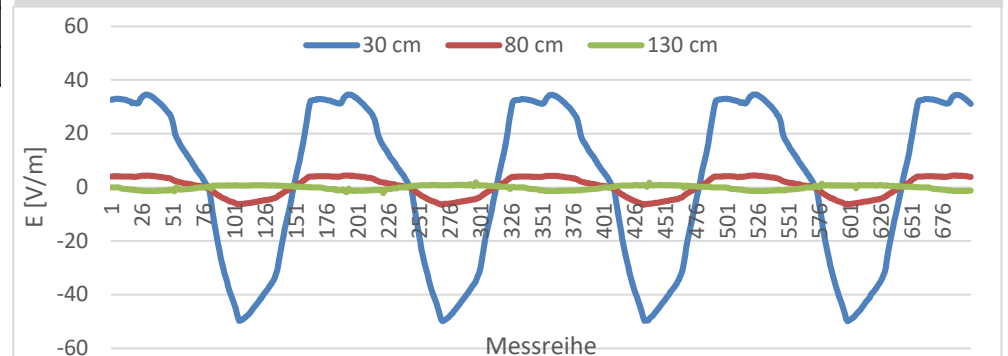
Farbort



CRI-Farb wiedergabe



Elektrische Wechselfelder



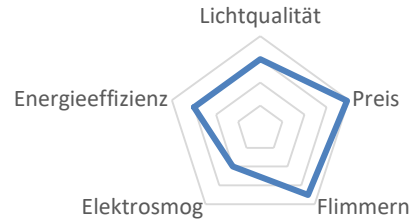
EPREL-Nr.:

LED2312G5

EPREL-Link:

<https://eprel.ec.europa.eu/screen/product/lightsources/1854252?navigatingfrom=qr>

Allgemeine Angaben	EPREL-Wert
EEK	C
Dimmbar	Nein*
Nutzlichtstrom	806 lm
Energieverbrauch	5 kWh/1000h
Lichtstromerhalt	96%
Lebensdauerfaktor	100%



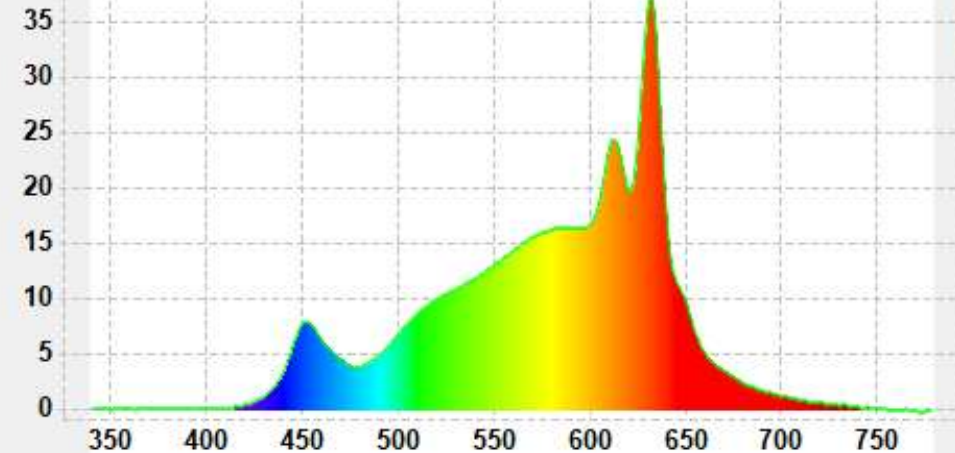
*Lampe laut Verpackung und Hersteller-Website dimmbar

Lichtparameter	EPREL-Wert	100%	66%	33%
CCT	2.700 K	2.778 K	2.767 K	2.763 K
CIE x	0,462	0,456	0,456	0,457
CIE y	0,417	0,414	0,413	0,413
λ_{dom}	-	583 nm	584 nm	584 nm
Duv	-	0,00146	0,00111	0,00107
R _a	90	92,7	93,1	93,5
CRI-R9	49	57,1	58,8	60,4
EML	-	398 lx	264 lx	132 lx
MEDI	-	441 lx	292 lx	146 lx

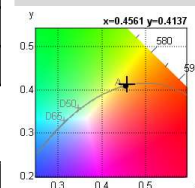
Flimmern	EPREL-Wert	100%	66%	33%
Flicker-percent Fp	-	2,64%	4,15%	1,08%
Flicker-Index Fi	-	0,0064	0,0106	0,0015
SVM	0,4	0,072	0,130	0,012
PstLM	1	-	-	-

Feldparameter	EPREL-Wert	Messergebnis
E _{30cm}	-	32,7 V/m
E _{80cm}	-	3,5 V/m
E _{130cm}	-	0,8 V/m
B	-	13 nT
HF	-	3 $\mu\text{W}/\text{m}^2$

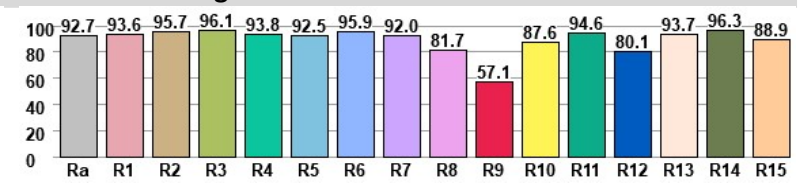
Spektralkurve

mW/m²/nm

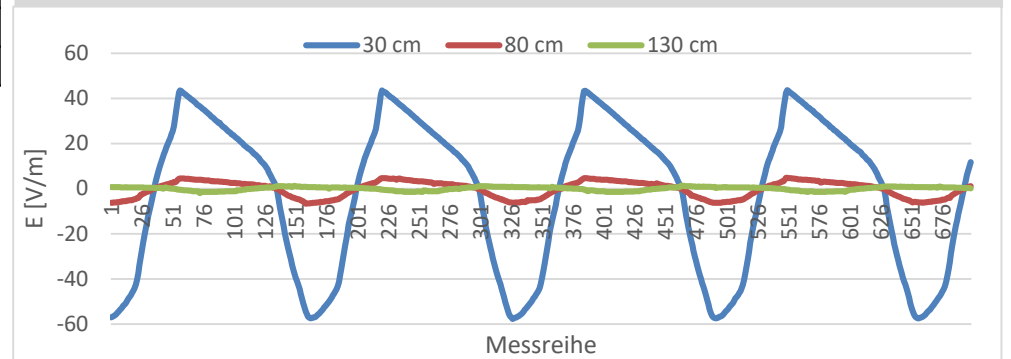
Farbort



CRI-Farbwiedergabe

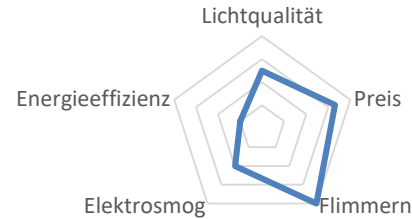


Elektrische Wechselfelder



EPREL-Nr.: - EPREL-Link: - *Angaben gemäß Produktverpackung (kein EPREL-Eintrag vorhanden)

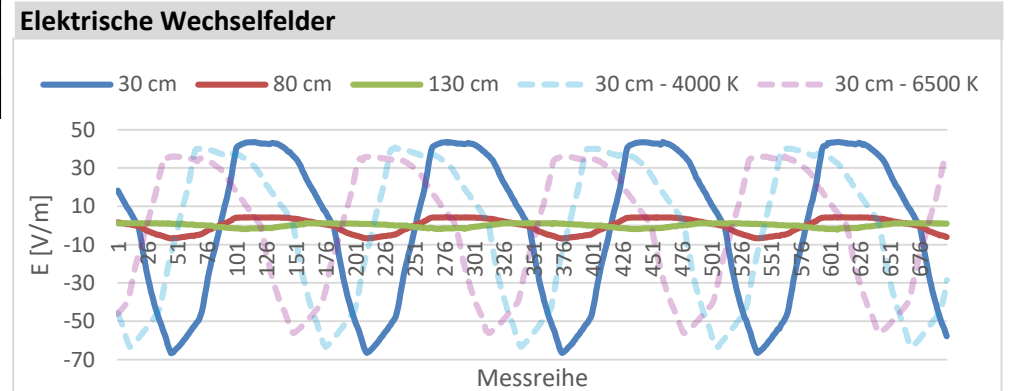
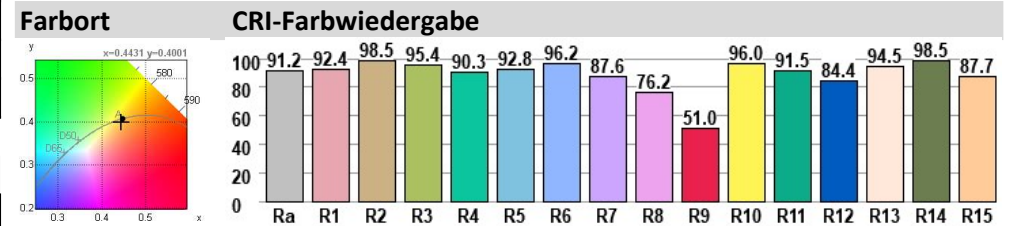
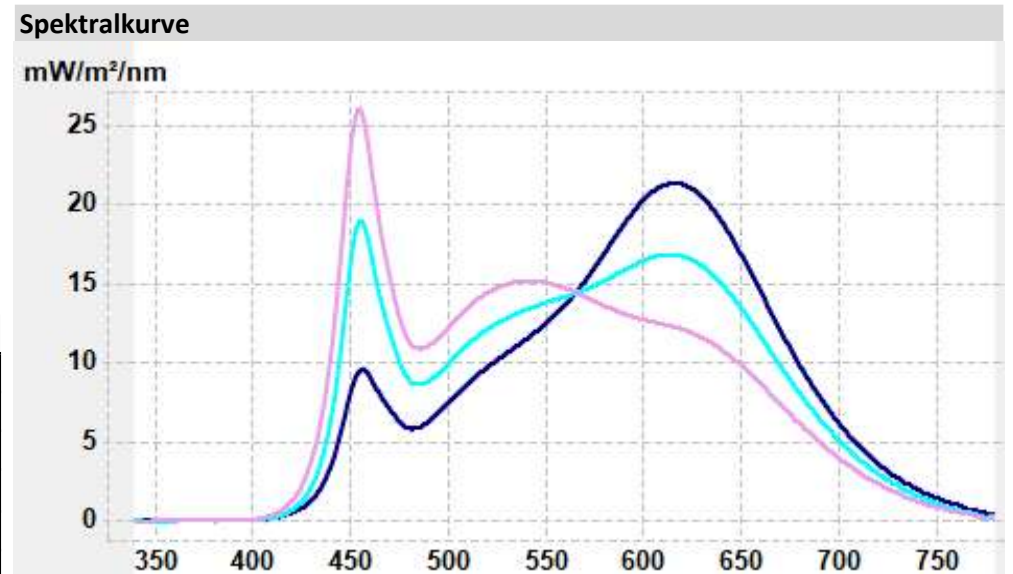
Allgemeine Angaben	Hersteller-Wert*
EEK	F
Dimmbar	Nein
Nutzlichtstrom	800 lm
Energieverbrauch	9 kWh/1000h
Lichtstromerhalt	-
Lebensdauerfaktor	-



Lichtparameter	Hersteller-Wert*	3000 K	4000 K	6500 K
CCT	3000 K - 6500 K	2.866 K	4.066 K	6.056 K
CIE x	-	0,443	0,376	0,320
CIE y	-	0,400	0,367	0,342
λ_{dom}	-	584 nm	581 nm	500 nm
Duv	-	-0,00238	-0,00328	0,00587
R _a	90	91,2	94,6	92,1
CRI-R9	-	51,0	76,2	65,6
EML	-	458 lx	660 lx	835 lx
MEDI	-	504 lx	730 lx	922 lx

Flimmern	Hersteller-Wert*	3000 K	4000 K	6500 K
Flicker-percent Fp	-	0,25%	0,23%	0,27%
Flicker-Index Fi	-	0,0003	0,0002	0,0000
SVM	-	0,003	0,002	0,001
PstLM	-	-	-	-

Feldparameter	Hersteller-Wert*	Messergebnis
E _{30cm}	-	39,3 V/m
E _{80cm}	-	3,9 V/m
E _{130cm}	-	0,9 V/m
B	-	13 nT
HF	-	3 $\mu\text{W}/\text{m}^2$



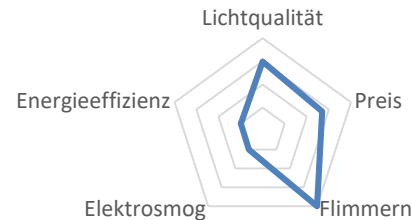
EPREL-Nr.:

404004B

EPREL-Link:

<https://eprel.ec.europa.eu/screen/product/lightsources/719048?navigatingfrom=qr>

Allgemeine Angaben	EPREL-Wert
EEK	F
Dimmbar	Ja*
Nutzlichtstrom	806 lm
Energieverbrauch	9 kWh/1000h
Lichtstromerhalt	90%
Lebensdauerfaktor	95%



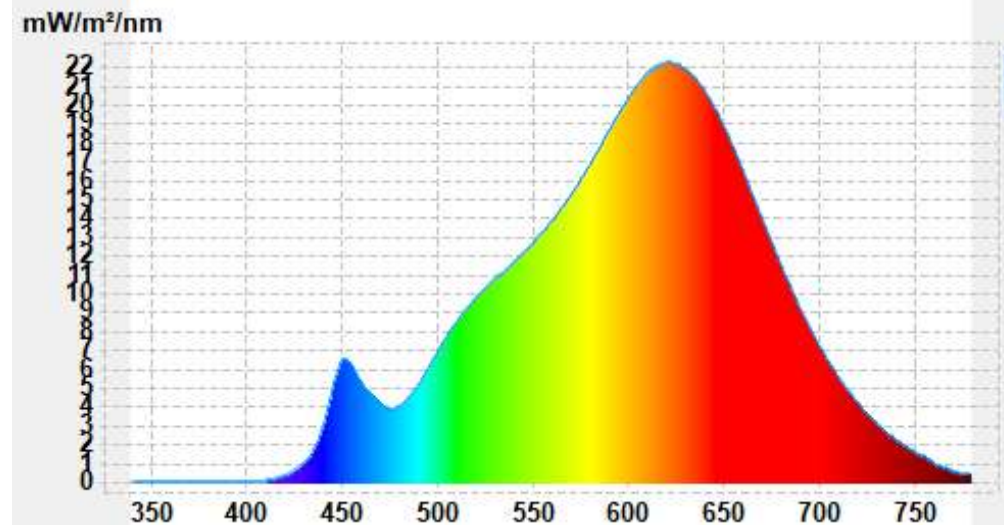
* Dimmbarkeit durch technische Probleme nicht repräsentiert

Lichtparameter	EPREL-Wert	Messergebnis
CCT	2700 K - 6500 K	2.688 K
CIE x	0,463	0,465
CIE y	0,420	0,418
λ_{dom}	-	584 nm
Duv	-	0,00229
R _a	90	91,9
CRI-R9	-	53,2
EML	-	390 lx
MEDI	-	430 lx

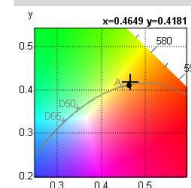
Flimmern	EPREL-Wert	Messergebnis
Flicker-percent Fp	-	0,32%
Flicker-Index Fi	-	0,0006
SVM	0,9	0,004
PstLM	1	-

Feldparameter	EPREL-Wert	Messergebnis
E _{30cm}	-	32,1 V/m
E _{80cm}	-	5,1 V/m
E _{130cm}	-	1,2 V/m
B	-	12 nT
HF	-	3 $\mu\text{W}/\text{m}^2$

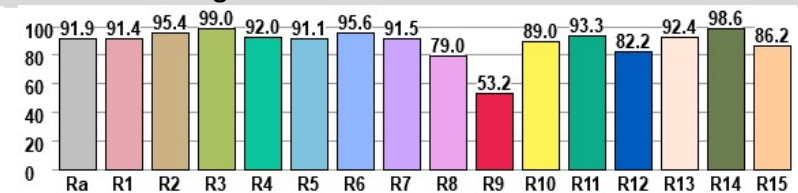
Spektralkurve



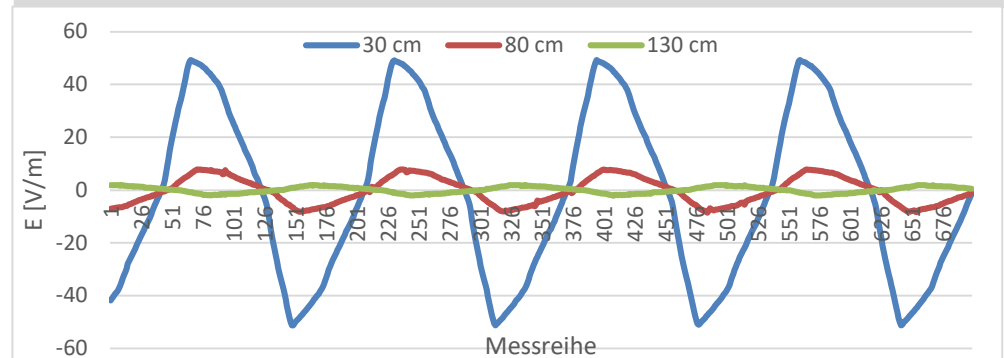
Farbort



CRI-Farbwidrigkeit



Elektrische Wechselfelder



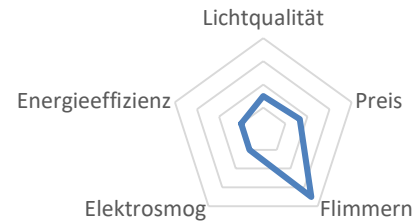
EPREL-Nr.:

50124

EPREL-Link:

<https://eprel.ec.europa.eu/screen/product/lightsources/460750?navigatingfrom=qr>

Allgemeine Angaben	EPREL-Wert
EEK	F
Dimmbar	Ja
Nutzlichtstrom	806 lm
Energieverbrauch	10 kWh/1000h
Lichtstromerhalt	-
Lebensdauerfaktor	-

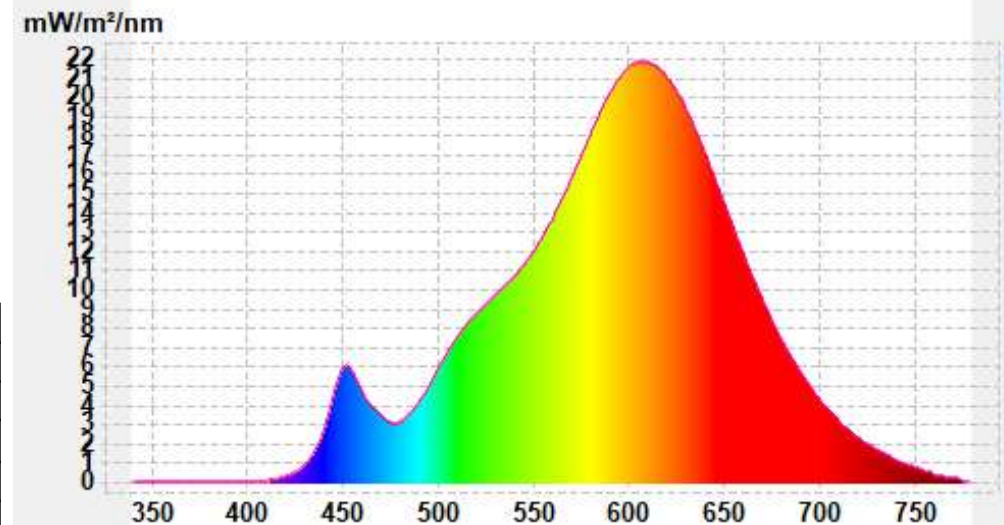


Lichtparameter	EPREL-Wert	100%	66%	33%
CCT	2700 K - 6500 K	2.641 K	2.860 K	2.843 K
CIE x	0,465	0,471	0,449	0,451
CIE y	0,420	0,423	0,411	0,412
λ_{dom}	-	584 nm	583 nm	583 nm
Duv	-	0,00346	0,00127	0,00138
R _a	82	83	84,5	84,6
CRI-R9	8	11,1	16,6	16,9
EML	-	343 lx	253 lx	130 lx
MEDI	-	379 lx	279 lx	144 lx

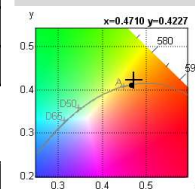
Flimmern	EPREL-Wert	100%	66%	33%
Flicker-percent Fp	-	38,11%	57,67%	29,91%
Flicker-Index Fi	-	0,0104	0,0576	0,0496
SVM	0,4	0,085	0,620	0,540
PstLM	1	-	-	-

Feldparameter	EPREL-Wert	Messergebnis ei Ansteuerung
E _{30cm}	-	20,5 V/m
E _{80cm}	-	5,2 V/m
E _{130cm}	-	1,3 V/m
B	-	12 nT
HF	-	4 μ W/m ²

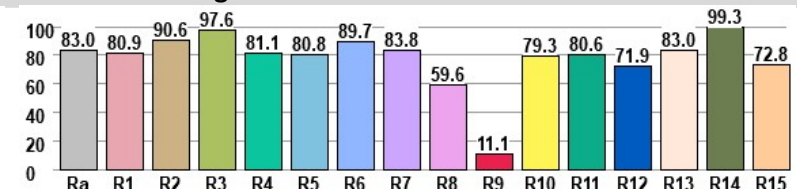
Spektralkurve



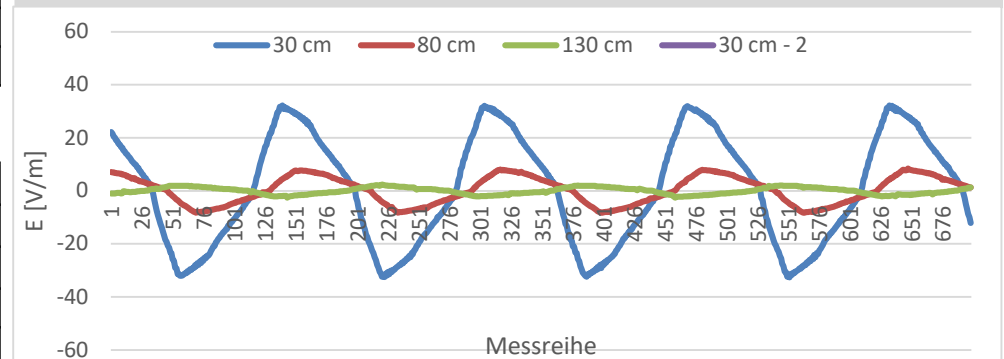
Farbort



CRI-Farbwiedergabe



Elektrische Wechselfelder



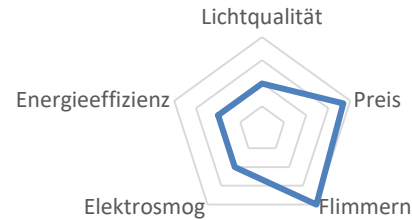
EPREL-Nr.:

2270002700

EPREL-Link:

<https://eprel.ec.europa.eu/screen/product/lightsources/1226880?navigatingfrom=qr>

Allgemeine Angaben	EPREL-Wert
EEK	E
Dimmbar	Ja
Nutzlichtstrom	806 lm
Energieverbrauch	7 kWh/1000h
Lichtstromerhalt	95%
Lebensdauerfaktor	90%

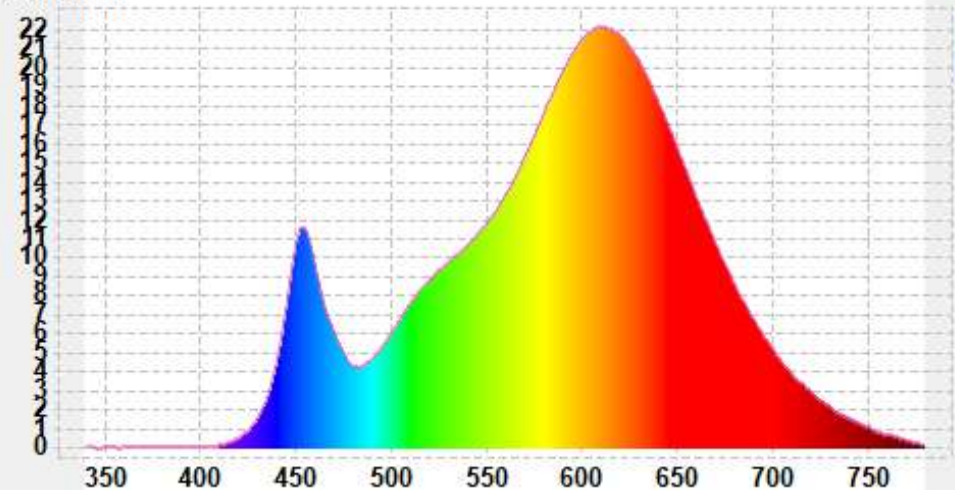


Lichtparameter	EPREL-Wert	100%	66%	33%
CCT	2200 K - 6500 K	2.714 K	2.715 K	2.727 K
CIE x	0,312	0,447	0,447	0,445
CIE y	0,328	0,389	0,388	0,388
λ_{dom}	-	587 nm	587 nm	587 nm
Duv	-	-0,00720	-0,00735	-0,00758
R _a	80	86,9	87,1	87,5
CRI-R9	-	33,2	34,7	37,1
EML	-	419 lx	280 lx	147 lx
MEDI	-	462 lx	309 lx	162 lx

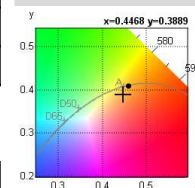
Flimmern	EPREL-Wert	100%	66%	33%
Flicker-percent Fp	-	1,69%	1,44%	1,62%
Flicker-Index Fi	-	0,0028	0,0025	0,0029
SVM	0,4	0,023	0,024	0,027
PstLM	1	-	-	-

Feldparameter	EPREL-Wert	Messergebnis ei Ansteuerung
E _{30cm}	-	24,8 V/m
E _{80cm}	-	3,8 V/m
E _{130cm}	-	0,8 V/m
B	-	12 nT
HF	-	4 μ W/m ²

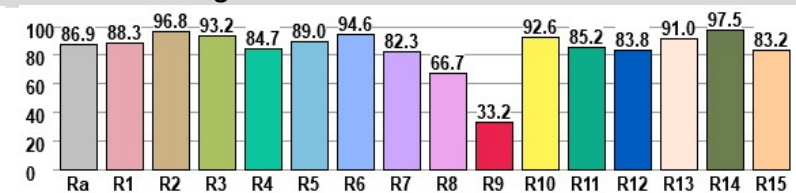
Spektralkurve

mW/m²/nm

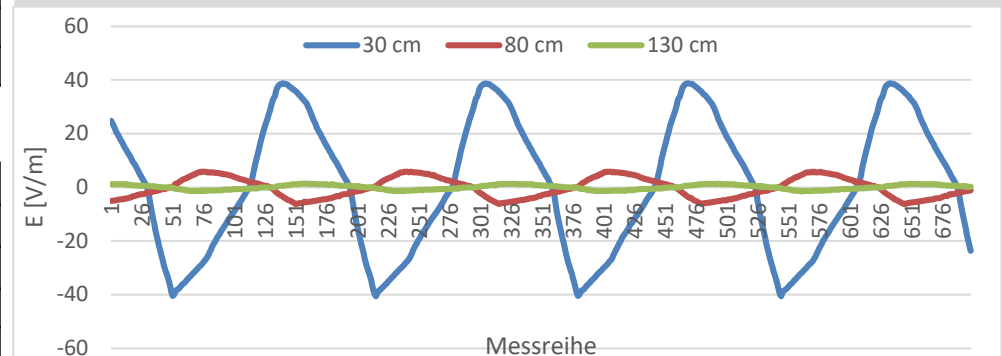
Farbort



CRI-Farbwiedergabe



Elektrische Wechselfelder



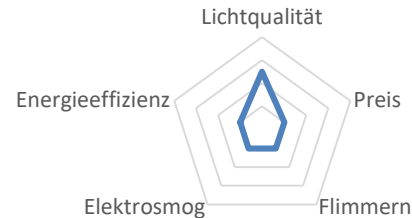
EPREL-Nr.**:

808896

EPREL-Link**:

**EPREL -Daten nicht mehr verfügbar, zuletzt aufgerufen am 21.10.25

Allgemeine Angaben	EPREL-Wert
EEK	G
Dimmbar	Nein*
Nutzlichtstrom	640 lm
Energieverbrauch	8 kWh/1000h
Lichtstromerhalt	95%
Lebensdauerfaktor	90%



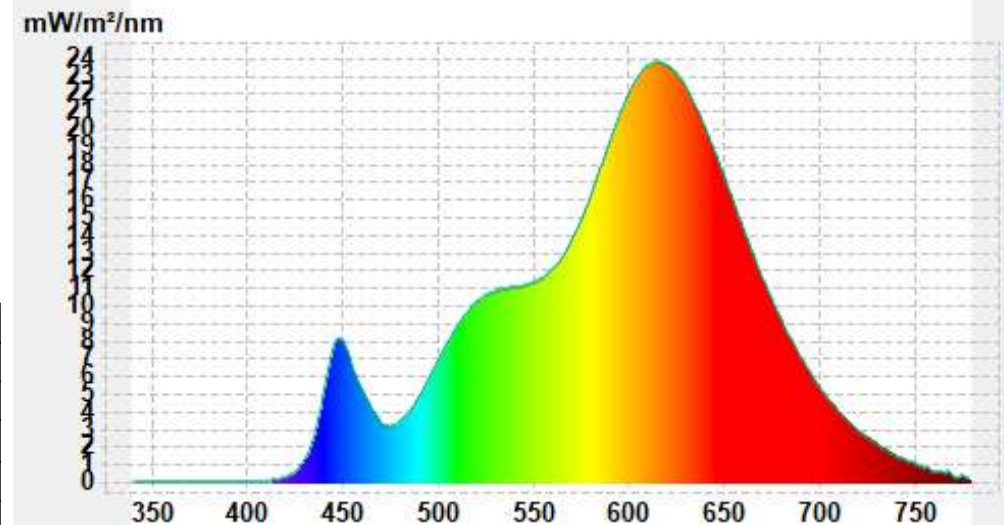
*Lampe laut Verpackung und Hersteller-Website dimmbar

Lichtparameter	EPREL-Wert	100%	66%	33%
CCT	2400 K - 6600 K	2.596 K	2.582 K	2.572 K
CIE x	0,357	0,465	0,465	0,465
CIE y	0,348	0,406	0,405	0,403
λ_{dom}	-	586 nm	586 nm	586 nm
Duv	-	-0,00214	-0,00263	-0,00310
R _a	95	92,4	92,2	92,3
CRI-R9	70	45,3	46,6	48,1
EML	-	389 lx	258 lx	132 lx
MEDI	-	429 lx	284 lx	145 lx

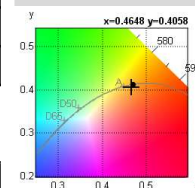
Flimmern	EPREL-Wert	100%	66%	33%
Flicker-percent Fp	-	47,08%	45,78%	38,26%
Flicker-Index Fi	-	0,1491	0,1465	0,1211
SVM	0,9	1,780	1,670	1,440
PstLM	1	-	-	-

Feldparameter	EPREL-Wert	Messergebnis ei Ansteuerung
E _{30cm}	-	37,8 V/m
E _{80cm}	-	4,8 V/m
E _{130cm}	-	1,2 V/m
B	-	12 nT
HF	-	10 $\mu\text{W}/\text{m}^2$

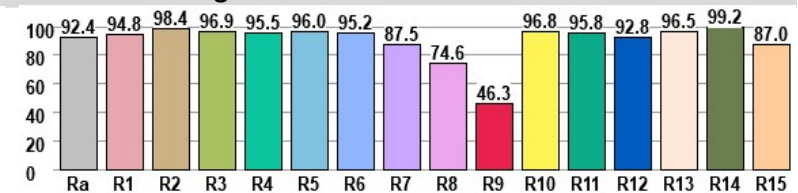
Spektralkurve



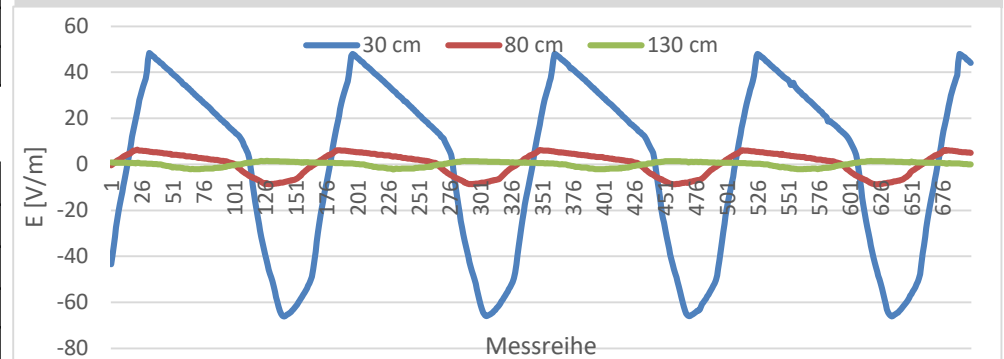
Farbort



CRI-Farbwiedergabe



Elektrische Wechselfelder



E27

Lampe 22: Classic A 60 E27 Dimmable Smart +

Ledvance

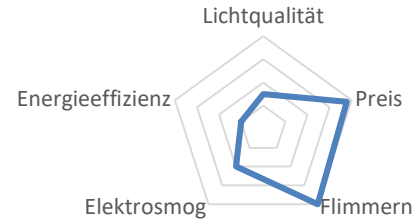
EPREL-Nr.:

AC42219

EPREL-Link:

<https://eprel.ec.europa.eu/screen/product/lightsources/1218007?navigatingfrom=qr>

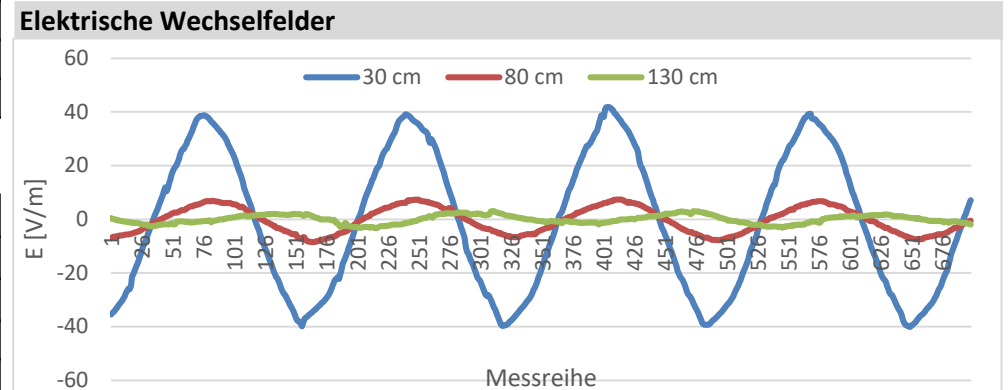
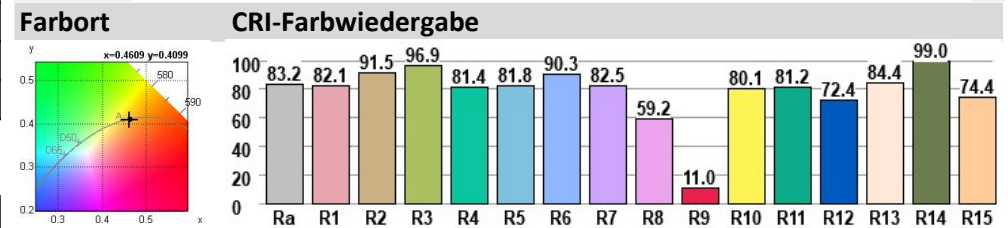
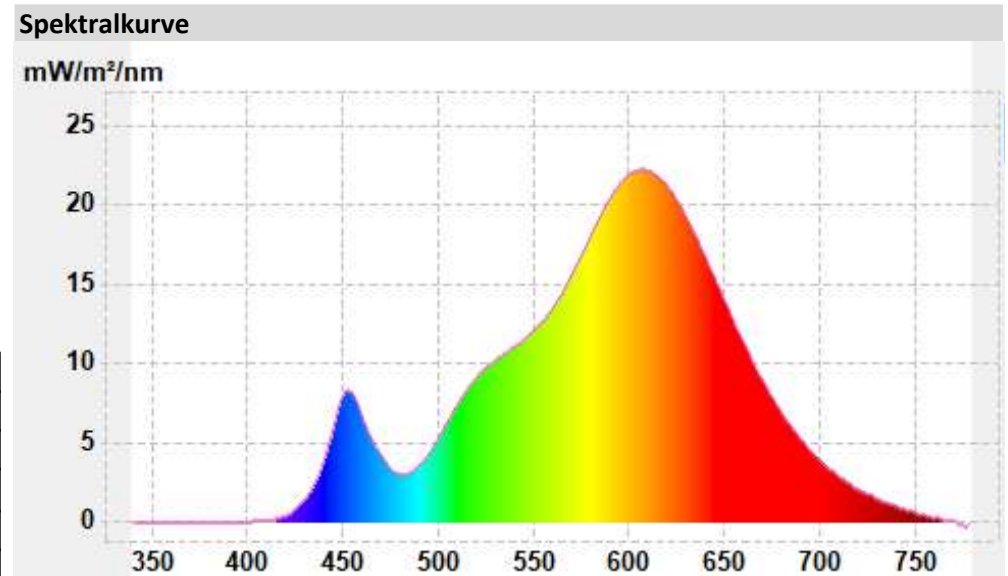
Allgemeine Angaben	EPREL-Wert
EEK	F
Dimmbar	Ja
Nutzlichtstrom	806 lm
Energieverbrauch	9 kWh/1000h
Lichtstromerhalt	95%
Lebensdauerfaktor	90%



Lichtparameter	EPREL-Wert	100%	66%	33%
CCT	2.700 K	2.680 K	2.675 K	2.665 K
CIE x	0,458	0,461	0,461	0,451
CIE y	0,410	0,410	0,409	0,409
λ_{dom}	-	584 nm	585 nm	585 nm
Duv	-	-0,00037	-0,00061	-0,00080
R _a	80	83,2	83,4	83,8
CRI-R9	-	11	11,7	13,4
EML	-	360 lx	242 lx	122 lx
MEDI	-	397 lx	267 lx	134 lx

Flimmern	EPREL-Wert	100%	66%	33%
Flicker-percent Fp	-	0,40%	0,38%	0,41%
Flicker-Index Fi	-	0,0008	0,0004	0,0004
SVM	0,4	0,002	0,001	0,001
PstLM	1	-	-	-

Feldparameter	EPREL-Wert	Messergebnis ei Ansteuerung
E _{30cm}	-	26,5 V/m 30,5 V/m
E _{80cm}	-	4,7 V/m -
E _{130cm}	-	1,5 V/m -
B	-	17 nT 14 nT
HF	-	4 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ 30 $\mu\text{W}/\text{m}^2$



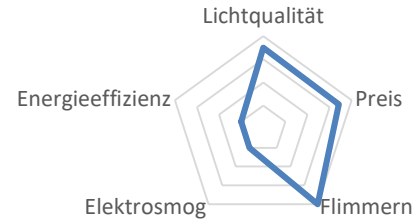
EPREL-Nr.:

AC32829

EPREL-Link:

<https://eprel.ec.europa.eu/screen/product/lightsources/702577?navigatingfrom=qr>

Allgemeine Angaben	EPREL-Wert
EEK	G
Dimmbar	Ja
Nutzlichtstrom	750 lm
Energieverbrauch	9 kWh/1000h
Lichtstromerhalt	95%
Lebensdauerfaktor	90%

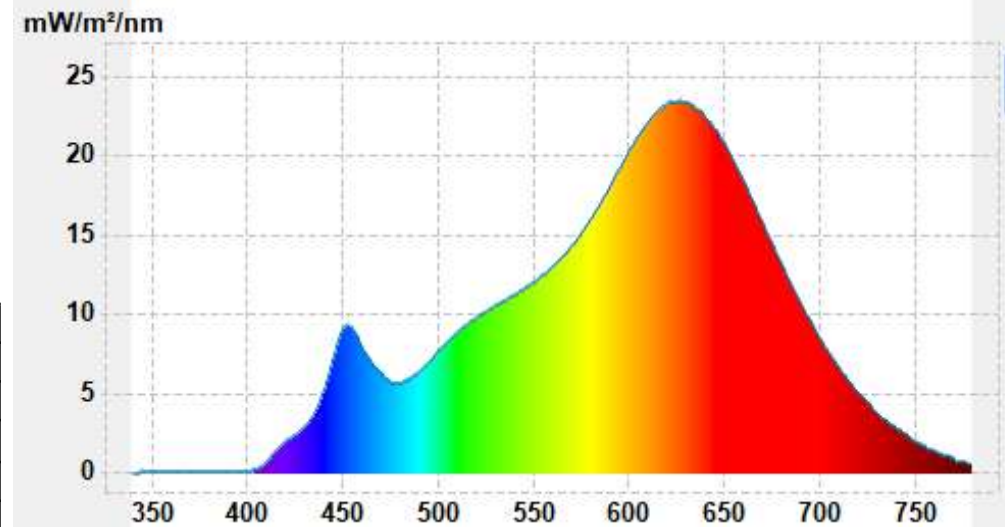


Lichtparameter	EPREL-Wert	100%	66%	33%
CCT	2200 K - 5000 K	2.704 K	2.605 K	2.435 K
CIE x	0,349	0,447	0,455	0,472
CIE y	0,356	0,388	0,390	0,395
λ_{dom}	-	587 nm	588 nm	588 nm
Duv	-	-0,00752	-0,00755	-0,00658
R _a	95	94,4	93,9	93,8
CRI-R9	-	78,8	76,5	73
EML	-	456 lx	288 lx	130 lx
MEDI	-	504 lx	318 lx	144 lx

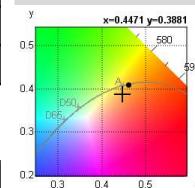
Flimmern	EPREL-Wert	100%	66%	33%
Flicker-percent Fp	-	0,76%	0,85%	2,63%
Flicker-Index Fi	-	0,0017	0,0015	0,0043
SVM	0,9	0,019	0,012	0,015
PstLM	1	-	-	-

Feldparameter	EPREL-Wert	Messergebnis ei Ansteuerung
E _{30cm}	-	31,5 V/m 30,6 V/m
E _{80cm}	-	5,1 V/m -
E _{130cm}	-	1,6 V/m -
B	-	14 nT 12 nT
HF	-	4 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ 20 $\mu\text{W}/\text{m}^2$

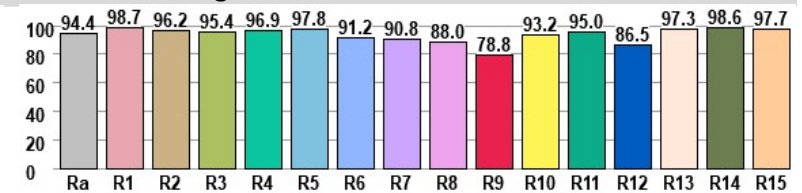
Spektralkurve



Farbort



CRI-Farbwiedergabe



Elektrische Wechselfelder

