



Empfehlungen zur Förderung energiesparender und umweltschonender Außenbeleuchtung

Zur Reduzierung des CO₂-Ausstoßes und damit des Energieverbrauchs sollten möglichst energieeffiziente und intelligente Beleuchtungstechniken eingesetzt werden, die zugleich nachhaltig sind, d.h. eine lange Lebensdauer haben, den Austausch defekter Teile ermöglichen, eine geringe Umweltbelastung darstellen.

1. Lichtlenkung

Es müssen Leuchten eingesetzt werden, die das Licht möglichst effizient auf die zu beleuchtende Fläche lenken. Insbesondere sollen Leuchten so verwendet werden, dass im installierten Zustand **kein Licht in den oberen Halbraum abgegeben wird (Upward Light Ratio ULR = 0%, Lichtstärkeklasse G6)**.

2. Lichtmenge

Die installierte Lichtleistung sollte möglichst gering gewählt werden (falls nach DIN/EN 13201 beleuchtet werden soll: niedrigste mögliche Beleuchtungsklasse wählen!). Insbesondere muss eine bedarfsorientierte Anpassung in den späten Abend- und Nachtstunden mit verringertem Verkehrsfluss vorgesehen werden. Reduzierungsmöglichkeiten um 50% sind inzwischen bei vielen Herstellern Standard, eine weitere Leistungsabsenkung bei LED kein Problem und dringend zu empfehlen. Dabei ist zu bedenken, dass Helligkeitsunterschiede von 50% vom menschlichen Auge nicht zu unterscheiden sind (wenn kein unmittelbarer Vergleich vorliegt). Bedarfsorientierte Beleuchtung ist durch Bewegungsmelder oder Schaltungen möglich. **Leistungsreduzierung und Abschaltung bieten die höchsten Einsparpotentiale und verlängern die Lebensdauer der Leuchtenelemente!**

Oft vorgebrachte **Sicherheitsbedenken** gegen reduzierte Beleuchtung sind objektiv nicht zu belegen. Kürzlich haben beispielsweise umfangreiche statistische Untersuchungen in Großbritannien keinen Zusammenhang nachweisen können.

3. Warmweiße Lichtfarbe mit geringen Blauanteilen

Warmweißes Licht mit geringen Blauanteilen im Spektrum und einer Farbtemperatur von maximal 3000 Kelvin, besser geringer (die verbreiteten Natriumhochdruckdampflampen haben 1800 K), im Vergleich zu neutral- und kaltweißer Lichtfarbe,

- **wirkt weniger blendend:**
Verschiedene Untersuchungen zeigen, dass vor allem gelbes Licht deutlich weniger blendend als blaues Licht ist [1,2]. Das gilt auch für weißes Licht: warmweißes Licht mit geringen Blauanteile erscheint weniger blendend als neutral- oder kaltweißes [3].
- wird daher **als angenehmer empfunden**. Es gibt immer wieder Beschwerden über das blendend helle Licht von „neutral“weißen LEDs mit 4000 K:
 - Bei einem Feldversuch in Düsseldorf wurde warmweißes Licht als angenehmer empfunden [4].
 - Eine Untersuchung des Department of Energy (DoE) in den USA in mehreren Städten ergab, dass Fußgänger warmweißes Licht (2700 – 3000 K) bevorzugen [5].
 - In den Städten Aachen und Essen sind Beschwerden der Anwohner über die grelle neutralweiße LED-Beleuchtung bekannt [6,7].
 - In Wiesbaden wird wärmeres Licht bevorzugt [8].
 - In Hofheim konnten Bürger verschiedenen Lichtfarben wählen, 84% entschieden sich für warmweißes Licht [9].

- In Malta haben Bürger eine Petition gegen die grelle 4000 K LED-Beleuchtung initiiert [10].
 - Die Stadt Davis/Kalifornien musste nach Beschwerden der Bewohner die LED-Beleuchtung von neutral- auf warmweiß umrüsten, Kosten 325 000US\$ [11].
 - Auch in New York gibt es Beschwerden über die Umrüstung auf grell weiße LEDs [12]
 - Auf dem Gelände der Bishops University in Sherbrooke/Kanada musste die als sehr blendend empfundene neutralweiße LED-Beleuchtung auf gelbe „pc amber“ LED-Beleuchtung umgerüstet werden. Seither sind alle Nutzer damit sehr zufrieden [13].
 - Im Lichtmasterplan von Berlin wird nach umfangreichen interdisziplinären Konsultationen für die Straßenbeleuchtung eine warmweiße Straßenbeleuchtung vorgegeben [14].
 - In Schutzgebieten Kataloniens müssen weiße LED-Beleuchtungen in gelbe umgerüstet werden (um gesetzeskonform zu sein) [15].
 - Nach den Untersuchungen des DoE werden immer wärmere Lichtfarben in der Außenbeleuchtung eingesetzt, bedingt durch bessere Herstellungsmethoden [16].
 - Der Deutsche Städte- und Gemeindetag hat die Umrüstung auf warmweiße Lichtquellen in den Städten empfohlen (mit Philips) [17].
- ist weniger **schädigend für die Netzhaut**, denn hohe Leuchtdichte und hohe Blauanteile von LEDs können Schädigungen verursachen (Photoretinitis). Davor haben gewarnt:
 - die Strahlenschutzkommission bereits 2006 [18]
 - die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin [19]
 - die französische Gesundheitsorganisation ANSES [20],
 - reduziert eine **Störung des zirkadianen Rhythmus** bei Wirbeltieren (inkl. Menschen!), die mit einer Unterdrückung der Melatoninproduktion einhergeht (besonders die Blauanteile im Licht unterdrücken die Produktion dieses wichtigen Schlaf- und Ruhehormons), [21]
 - zieht deutlich **weniger Insekten** an [22, 23]
 - wird in der Atmosphäre **weniger stark gestreut** und reduziert daher die Lichterglocken über den Städten [24]
 - reduziert die **Störung der Dunkeladaption**, da die lichtempfindlichen Stäbchen weniger angeregt werden. [25]

Warmweiße LEDs haben ebenfalls eine hohe Energieeffizienz!

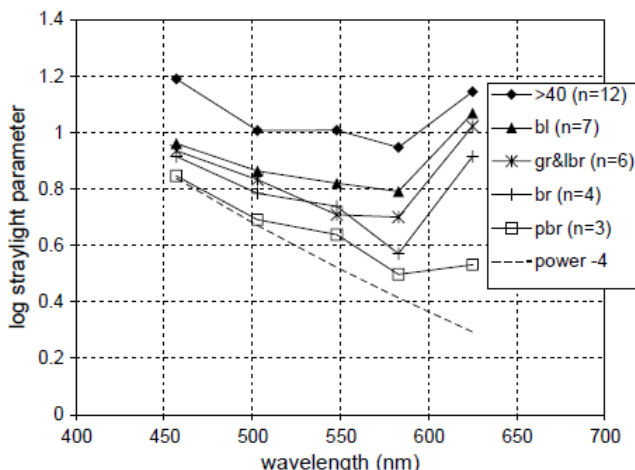
- Warmweiße LEDs sind inzwischen fast genau so effizient wie neutral- und kaltweiße LEDs. Unterschiede liegen inzwischen bei maximal 10-15 % und werden in wenigen Jahren verschwinden (DoE), die Streuung innerhalb der Produkte ist bereits größer [26, 27]. Deswegen bieten inzwischen Hersteller 3000 K- und 4000 K-Leuchtmittel mit **gleicher Energieeffizienz** an.
- Ein möglicher Mehrverbrauch für eine warmweiße Lichtfarbe lässt sich problemlos woanders einsparen, z. B. durch eine etwas geringere Beleuchtungsstärke und durch Dimmung (welche in der Anwendung nicht auffallen werden), und durch **verbessertes Lichtmanagement**, aber auch Verlustreduzierung auf Netzteil- und Treiberseite.
- Inzwischen bieten viele Hersteller 3000 K- und 4000 K-LED **ohne Preisunterschiede** an.
- Der **Farbwiedergabeindex CRI** von warmweißem Licht ist meist besser als bei neutral- oder kaltweißem Licht [16]
- Bei der Propagierung der Energieeffizienz der LEDs sei aber daran erinnert, dass das energieeffizienteste Leuchtmittel immer noch die **Natriumniederdruckdampflampen** sind!

Zusammenfassende Studie:

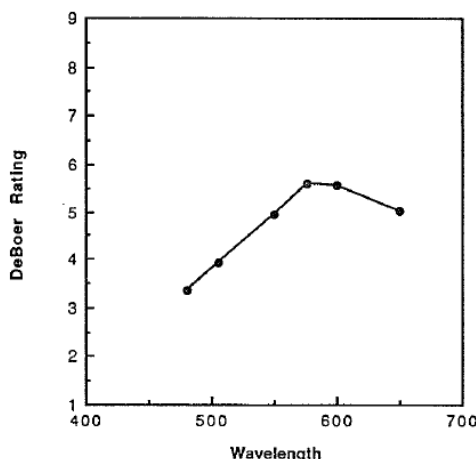
Eine Studie chinesischer Wissenschaftler (*Huaizhou Jin u.a.*) kommt nach Abwägung unterschiedlicher Faktoren zu dem Schluss, dass eine Farbtemperatur von 3000 K der optimale Kompromiss ist! [25]

Referenzen:

1: Joris Coppens et al. 2005: Wavelength dependence of intraocular straylight, Experimental Eye Research, doi:10.1016/j.exer.2005.09.007, fig. 3

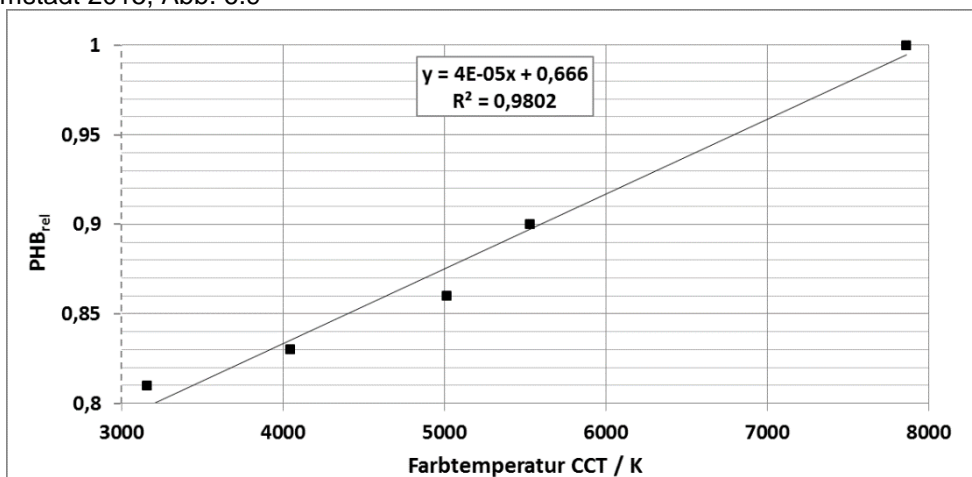


2: M. Flannegan et al. 1989: Effect of wavelength on discomfort glare from monochromatic sources, Univ. Michigan, Ann Arbor, Fig. 4



Yandan Lin et al. 2014. Model predicting discomfort glare caused by LED road lights, OPTICS EXPRESS, DOI:10.1364/OE.22.018056

3: W. Zydeck, Blendungsbewertung von Kraftfahrzeugscheinwerfern unter dynamischen Bedingungen, Diss. TU Darmstadt 2015, Abb. 6.9



4: Bericht Lokalzeitung

5: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/2013_gateway_pedestrian.pdf

6: <http://www.aachener-zeitung.de/lokales/aachen/online-petition-zur-strassenbeleuchtung-in-aachen-gestartet-1.1214996>

- 7: <http://www.derwesten.de/staedte/essen/kalte-led-laternen-machen-sich-breit-id9229288.html>
- 8: http://www.wiesbadener-kurier.de/lokales/wiesbaden/nachrichten-wiesbaden/strassenbeleuchtung-natriumdampflampen-und-leds-ersetzen-stromfressende-quecksilberdampflampen_14762028.htm
- 9: <http://www.fr-online.de/main-taunus/hofheim-buerger-fuer-warmweiss,1472862,33945672.html>
- 10: <http://www.timesofmalta.com/articles/view/20151203/local/petition-calls-for-replacement-of-white-led-street-lights.594426>
- 11: CBS Sacramento: Davis Will Spend \$350,000 To Replace LED Lights After Neighbor Complaints, <http://sacramento.cbslocal.com/2014/10/21/davis-will-spend-350000-to-replace-led-lights-after-neighbor-complaints/>
- 12: <http://nymag.com/daily/intelligencer/2016/04/new-led-streetlights-new-york.html>
- 13: A. Hänel, Excursion to Dark Sky Preserves in Canada, 2015
- 14: http://www.stadtentwicklung.berlin.de/bauen/beleuchtung/download/Broschuere_Lichtkonzept.pdf
- 15: Katalonien: Decreto 190/2015, Anexo2: http://mediambient.gencat.cat/es/details/Noticies/20150825_decret_llum
- 16: Snapshot: Outdoor Area Lighting: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/snapshot2014_outdoor-area.pdf
- 17:

Farbwiedergabeindex, Farbtemperatur und einheitliche Farbwiedergabe nebeneinander stehender Leuchten

Die Sonne hat die Wahrnehmung unserer Augen geprägt. Künstliche Lichtquellen, die dem Sonnenlicht besonders nah kommen, empfinden wir als besonders angenehm. Beim Tageslicht handelt es sich um weißes Licht mit einer sehr guten Farbwiedergabe und einem Farbtemperaturzyklus. Je **kontinuierlicher** das **Lampenspektrum** ist, desto besser die Farbwiedergabe. Studien haben gezeigt, dass für die Straßenbeleuchtung **Farbtemperaturen zwischen 2.500 und 3.500 Kelvin** optimal sind. Besonders im direkten Vergleich nimmt das menschliche Auge Abweichungen innerhalb eines Straßenzuges als störend wahr. Konzentrieren wir uns bewusst auf den ständigen Wechsel zwischen gelbem, warmweißem und kaltweißem Licht wie er in unseren Städten häufig vorkommt, empfinden wir ziemlich deutlich den Unterschied zu einer Beleuchtungsanlage mit einer einheitlichen, warmweißen Lichtquelle und guter Gleichmäßigkeit.

http://web.archive.org/web/20101228195610/http://www.dstgb.de/dstgb/Schwerpunkte/Licht%20im%20%C3%B6ffentlichen%20Raum/das_led_modul_in_der_auaenbeleuchtung_die_neue_led_lampe_philip_s_jkp_012010.pdf

- 18: Blendung durch natürliche und neue künstliche Lichtquellen und ihre Gefahren, Empfehlung der Strahlenschutzkommission, 2006, http://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_PDF/2006/Blendung_Lichtquellen.html?nn=2041716
- 19: L. Udovičić, u.a.: Photobiologische Sicherheit von Licht emittierenden Dioden (LED). Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin 2013: http://www.baua.de/de/Publikationen/Fachbeitraege/F2115.pdf?__blob=publicationFile&v=6
- 20: Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail: Effets sanitaires des systèmes d'éclairage utilisant des diodes électroluminescentes (LED), <https://www.anses.fr/fr/system/files/AP2008sa0408.pdf>
- 21: R.G. Stevens u.a.: Adverse Health Effects of Nighttime Lighting, Am J Prev Med 2013; 45(3):343–346
- 22: G. Eisenbeis: K. Eick: Studie zur Anziehung nachtaktiver Insekten an die Straßenbeleuchtung unter Einbeziehung von LEDs, Natur und Landschaft 86 (2011): 07
- 23: P. Huemer u.a.: Anlockwirkung moderner Leuchtmittel auf nachtaktive Insekten, http://www.hellenot.org/fileadmin/user_upload/PDF/WeiterInfos/10_AnlockwirkungInsektenFeldstudie_TLMFundLUA.pdf
- 24: Ian Ashdown: Color Temperature and Outdoor Lighting: In short, requiring LED street lighting with CCTs of 3000K or less is completely justifiable. <http://agi32.com/blog/2015/07/07/color-temperature-and-outdoor-lighting/>
Ian Ashdown: Light pollution depends on the light source CCT, LEDs Magazine 10/2015, p.39
- 25: Huaizhou Jin u.a.: Research on the Lighting Performance of LED Street Lights with Different Color Temperatures, IEEE Photonics Jour. Vol. 7, 6, DOI: 10.1109/JPHOT.2015.2497578
- 26:



aus: http://energy.gov/sites/prod/files/2015/06/f22/ssl_rd-plan_may2015_0.pdf

27: Eine eigene Analyse der Effizienz von 3000 und 4000 K LED-Leuchten von drei deutschen Firmen (Siteco, Leipziger Leuchten, Selux) im April 2016, die solche Daten veröffentlichen, zeigen innerhalb eines Modells, dass 3000 K LED derzeit noch 5-15% ineffizienter sind. Allerdings zeigen ähnliche Leuchten bei den Firmen starke Unterschiede: 3000 K: 70 – 132 lm/W, 4000 K: 88 – 138 lm/W. Die Streuungen sind also größer als die systematischen Unterschiede.

Fachgruppe Dark Sky der Vereinigung der Sternfreunde
 Dr. Andreas Hänel (ahaenel@uos.de, Tel. 0541-5600326,
 Sabine Frank, Dr.-Ing. Matthias Engel, Harald Bardenhagen, Torsten Güths

04/2016