



Redaktioneller Artikel der Firma XAL GmbH für die Lichtseite der FEEI

Lichtqualität

„LED Beleuchtung unter Betrachtung der Kriterien der Lichtqualität“

Der Artikel beschreibt Qualitätskriterien von Innenraumleuchten und definiert Standard-, Premium- und Highend-Qualität.

Standard-Qualität beschreibt die Mindestanforderung Lt. EN 12464-1, bzw. „Energy Star“ und ANSI Premium-Qualität definiert Anforderungen für anspruchsvolle Sehauflagen, wie klinische Untersuchungsräume, Waren-Kontrollplätze, Theater ...

Highend-Qualität ist der aktuell höchste Stand der Technik für höchste Sehansprüche und Komfort bei Gesundheits-, Shop- und Museumsbeleuchtung.

Natürliches Sonnenlicht

Die höchste Lichtqualität bietet uns das Tageslicht. Das menschliche Auge hat sich an diese Lichtquelle über Jahrtausende angepasst. Natürliches Tageslicht bietet hohe Beleuchtungsstärken, einen Farbwiedergabe Index von 100 und eine dynamische Veränderung von Intensität und Farbtemperatur. Bei der künstlichen Beleuchtung können wir uns nur die Natur zum Vorbild nehmen.

Energieeffizienz

Der primäre Beweggrund, eine Beleuchtungsanlage zu modernisieren, ist die Energieeffizienz. Tatsächlich erzeugen LED-Leuchten bis zu 40% mehr Lichtstrom verglichen mit Leuchtstoffleuchten. Die erzeugte Lichtqualität wird dabei in der Regel außer Acht gelassen, obwohl wir Menschen 80% aller Umweltinformationen mit den Augen wahrnehmen. Sollten wir nicht vielmehr einen Teil des Energiegewinns in die Lichtqualität investieren? Sicher sind jedem die diffusen Lichtstimmungen aus Schule, Büro oder Krankenhaus bekannt. Obwohl es an sich hell genug ist und alle Farben erkennbar sind, kommt keine Freude bei dieser homogenen Beleuchtung auf.

Wie ist Lichtqualität definiert?

Die in ganz Europa gültige Beleuchtungsnorm für Arbeitsstätten (EN 12464-1) schreibt je nach Tätigkeit ein Beleuchtungsniveau vor, worauf der Arbeitnehmer, ob Lehrer, Angestellter oder Krankenpfleger, Anspruch hat. Die vorgeschriebene Beleuchtungsstärke ist in der Regel auf den Arbeitsplätzen auch gewährleistet.

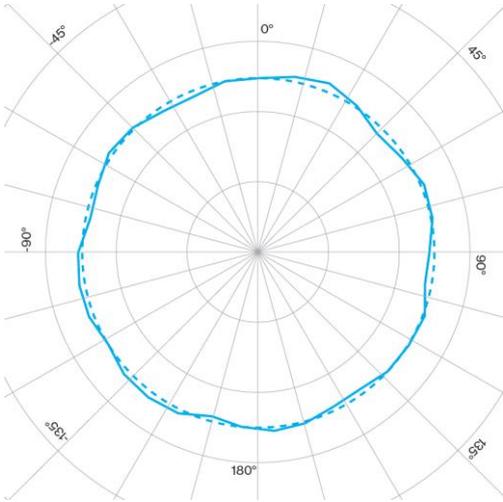
Warum ist dann die subjektive Empfindung der Lichtqualität so schlecht?

Diffuses Licht vs. punktförmiges Licht

In der Norm wird nur die Quantität beschrieben. Flächenleuchten erzeugen ein diffuses Licht ähnlich dem bedeckten Himmel. Diffuses Licht kann jedoch keine feinen Details von strukturierten Oberflächen darstellen. Uns Menschen werden dadurch viele Detailinformationen vorenthalten. Hier bringt die LED Technologie einen Vorteil. Leuchtstofflampen strahlen das Licht in alle Richtungen ab, LEDs jedoch nur in einem gerichteten Ausstrahlwinkel von 120°. Auf dieses „vorgebündelte“ Licht lassen sich eine Vielzahl von optischen Linsen aufsetzen. Je enger der Ausstrahlwinkel des LED Strahlers ist, umso „Sonnen“-ähnlicher wird er von uns Menschen empfunden. Schattigkeit, feine Oberflächendetails und ansprechende Stimmungen werden so erlebbar. Daher sollte eine Innenraumbeleuchtung in jedem Fall auch direkte Beleuchtungskomponenten enthalten.

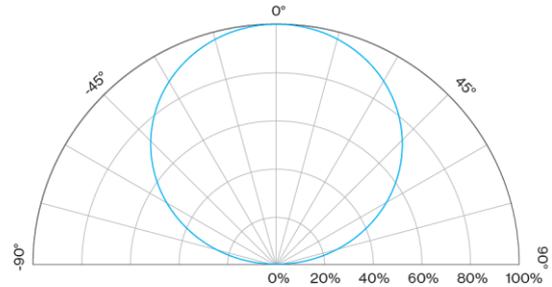


Grafik 1: Lichtverteilungskurve Leuchtstofflampe
Ausstrahlwinkel 360°, flächiges Licht



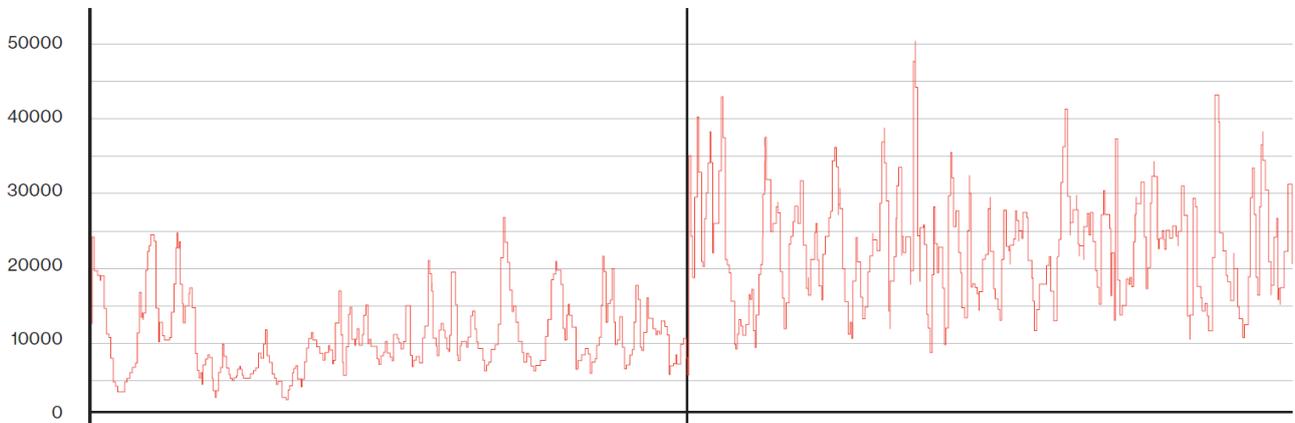
Quelle: XAL

Grafik 2: Lichtverteilungskurve LED
Ausstrahlwinkel 120°, punktförmiges Licht



Grafik 3: Intensitätsquerschnitt einer Flächenleuchte

Grafik 4: Intensitätsquerschnitt eines LED-Strahlers, feinere Details sind deutlich zu erkennen



Quelle: Joanneum Reseach

Qualitäten der Innenraumbeleuchtung am Beispiel Büro (E_m lt. Anforderung der EN 12464-1):

- | | |
|-----------|---|
| STANDARD: | direktes Licht aus Flächenleuchten, Leuchtenposition: Mittig über den Tischen. |
| PREMIUM: | direktes Licht mit indirekter Decken- und Wandaufhellung $E_m > 200\text{lx}$
Leuchtenposition: Links und rechts seitlich über dem Arbeitsplatz |
| HIGHEND: | direktes und indirektes Licht, Beleuchtungsstärke auf der Decke u. Wand $E_m > 500\text{lx}$, Wandbeleuchtung mit Wallwashern und Strahlern
Leuchtenposition: seitlich li. und re. etwas hinter dem Arbeitsplatz, verbesserte Entblendung: $UGR \leq 16$, bzw. durch vertieft eingebaute Leuchten. |

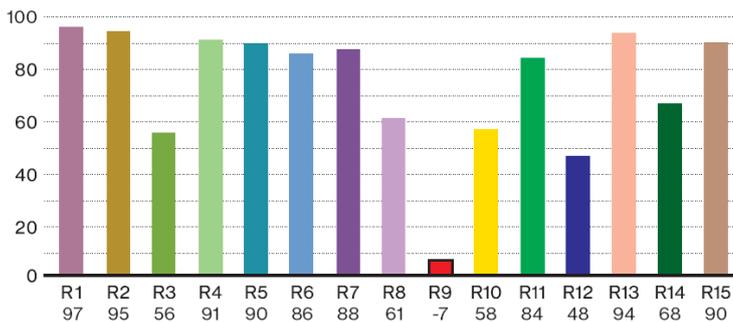


Farbwiedergabe

Die europäische Beleuchtungsnorm für Arbeitsstätten gibt auch hier einen Mindeststandard vor! Beispielsweise muss die Farbwiedergabe für Büroarbeiten einen Farbwiedergabeindex von $R_a \geq 80$ aufweisen. Die CIE (Internationale Beleuchtungskommission) hat zur Ermittlung des Farbwiedergabeindex jedoch nur 8 Pastellfarben definiert, an Hand derer die Farbtreue der Testlichtquelle bewertet wird. Der Farbwiedergabeindex ist der Mittelwert dieser 8 Testfarben. Die Auswahl der 8 Testfarben wurde sorgfältig getroffen, ist aber auch dem Einfluss der Leuchtstofflampen-Hersteller geschuldet, welche der Kommission ihre Vorschläge „empfohlen“ haben. Dabei ist es unter Abwägen der Kosten darum gegangen, die Menge an Leuchtstoffen (seltene Erden) in der Innenwand der Röhre möglichst gering zu halten, um den Mindeststandard zu erlangen. Es werden genauso viele Leuchtstoffe zugegeben, um eine Bewertung bei diesen 8 Testfarben im Mittel mit ≥ 80 zu erreichen. Die meisten anderen Farben sind deutlich schlechter bewertet, Oberflächen wirken „vergraut“.

Fahle Oberflächen drücken auf die Stimmung der Benutzer. Nur satte lebendige Farben lösen positive Emotionen und somit Lebensfreude aus.

Grafik 5: Farbwiedergabe der 15 Testfarben einer $R_a \geq 80$ Leuchtstofflampe, Der Mittelwert der Testfarben R1-R8 ergibt den Farbwiedergabeindex R_a , Testfarben R9-R12 sind oft entsättigt

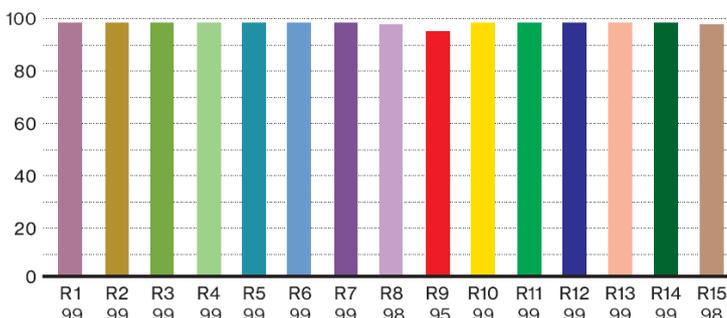


Quelle: XAL, Leuchtstofflampe gemessen mit Spektrometer UPRtec MK350D

8 Testfarben sind eine minimale Auswahl, wenn man bedenkt, dass der Mensch Millionen von Farben unterscheiden kann. Bei $R_a 80$ kommt es dazu, dass gesättigte Farben vergraut erscheinen. Im Gegensatz dazu hat ein Leuchtmittel mit einem Farbwiedergabeindex von 100, wie sie beispielsweise die Halogenleuchte hat, nicht nur die volle Farbtreue, sondern auch eine Übereinstimmung der Farbsättigung mit der Referenz.

(Bei warmweißem Licht ist die Referenz Normlichtart A mit 2856K, bei kaltweißem Licht ist es Tageslicht D65.)

Grafik 6: Farbwiedergabe Werte einer Halogenleuchte (ähnlich: Normlichtart A), auch die Testfarben R9-R15 (gesättigte Farben, Blatt- und Hautfarben) sind hoch bewertet:





Quelle: XAL, Halogenleuchte gemessen mit Spektrometer UPRtec MK350D

Im Handel sind LED Leuchtmittel mit $R_a \geq 80$ und $R_a \geq 90$ verfügbar. Für anspruchsvolle Sehaufgaben, wie sie in der Schule, im Büro oder im Krankenhaus von uns verlangt werden, sollte jedenfalls die Premium Ausführung mit $R_a \geq 90$ zum Einsatz kommen. Im hochwertigen Einzelhandel und in der Museumsbeleuchtung ist ein R_a von ≥ 96 bereits üblich.

STANDARD:	$R_a \geq 80$
PREMIUM:	$R_a \geq 90$
HIGHEND:	$R_a \geq 96$

Lichtfarbe, Farbtemperatur, Farbort

Beim Kauf einer Leuchte wird jeweils auch die Lichtfarbe ausgewählt, für Büroarbeit üblicherweise 4000K, für Warenbeleuchtung 3000K, für Entspannungsbereiche 2700K. Das ist eine grobe Einteilung, die nicht gewährleistet, dass Leuchten unterschiedlicher Hersteller auch die gleiche Lichtfarbe aufweisen. Die Lichtfarbe kann mittels des Farbortes genau definiert werden. Im CIE Normfarbdiagramm von 1931 ist jeder Farbort eindeutig mit der X- und Y-Koordinate beschrieben. In LED Leuchten werden jedoch nicht LEDs gleichen Farbortes, sondern LEDs eines Farbortbereiches eingebaut. Die Amerikanische National Standard Institut Norm ANSI C78.377A unterteilt die Lichtfarben zwischen 2580K und 7045K in 8 Lichtfarb-Vierecke. Diese grobe Einteilung kann präzisiert werden, in dem jedes Viereck in 16 Subbinnings unterteilt wird. Eine Premium-Qualität liegt vor, wenn nur LEDs aus den 4 im Zentrum gelegenen Binnings verwendet werden. Bei einer Highend-Qualität muss der Farbortbereich exakt angegeben werden, bestenfalls mit dem Mittelpunkt des Farbbereiches, beispielsweise durch: Zielpunkt: 3000K. Für Highend-Qualität ist als zweite Angabe die Position zur Black Body Line (BBL) zu definieren. Bei reinweißen Lichtfarben befindet sich der Farbort genau auf der BBL. Beispielsweise befinden sich Lichtfarben mit einem Rot-Stich unter der BBL, Lichtfarben mit einem Gelb-Stich befinden sich darüber. Höchste Qualität kann beispielsweise mit „Farbort befindet sich auf der BBL“ beschrieben sein, oder mit „im Zentrum des ANSI C78.377A Vierecks“.

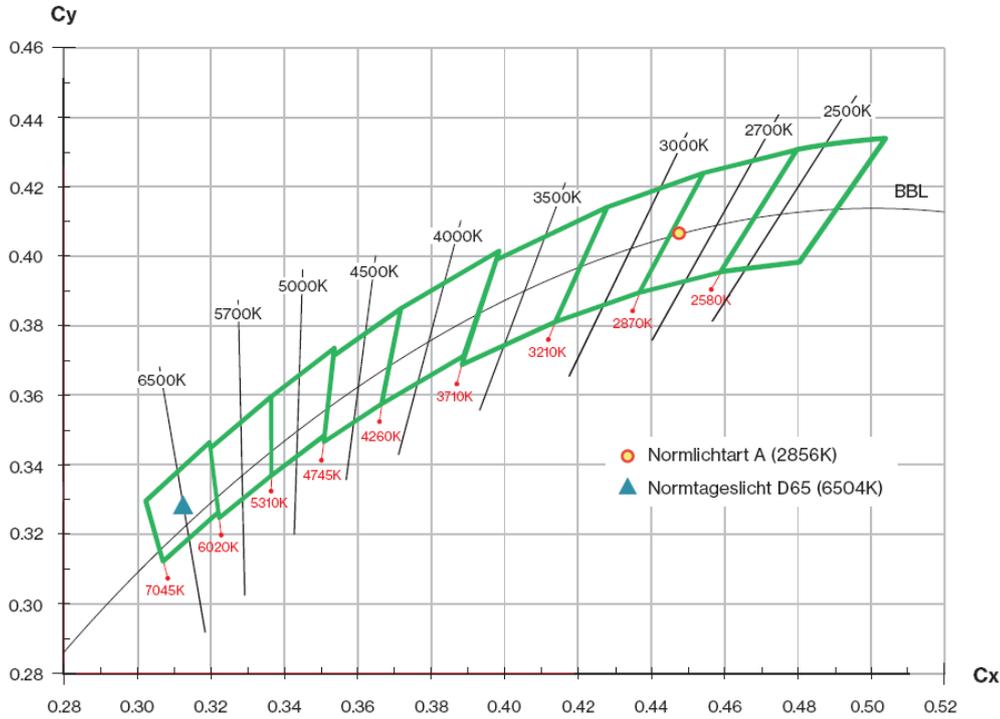
Lichtfarbtemperatur-Qualität am Beispiel Warmweiß 3000K

STANDARD:	3000K, nach ANSI C78.377A (bedeutet Farbort liegt zwischen 3210K und 2870K, also innerhalb einer Range von 340K) Siehe Grafik 7
PREMIUM:	3000K, nach ANSI C78.377A „Zentrumsbinning“ (bedeutet Farbort liegt zwischen 3100K und 2940K, also innerhalb einer Range von 160K) Siehe Grafik 8
HIGHEND:	Zielpunkt ist angegeben, z.B: Zielpunkt: 3000K, im Zentrum des ANSI C78.377A Vierecks, (2 SDCM \triangleq 3057K ~ 2953K) Range: 104K Siehe Grafik 9



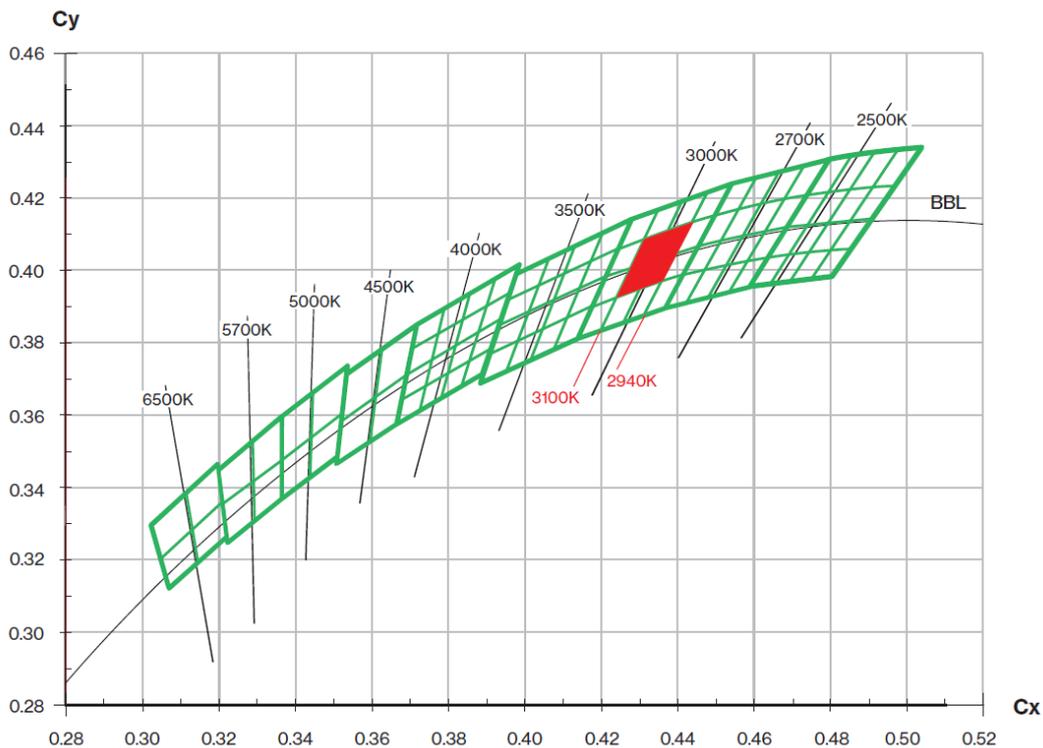
Grafik 7, STANDARD: ANSI C78.377A, Farbortbereiche mit Farbtemperatur Grenzen einer Standard-Sortierung

Beispielsweise liegt Lichtfarbe 3000K zwischen 3210K und 2870K



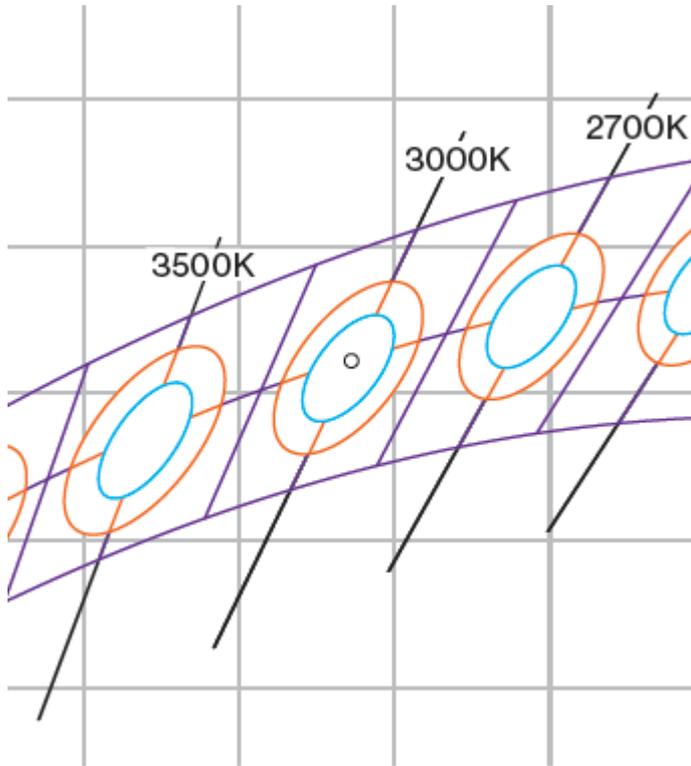
Quelle: XAL, ANSI Binning ergänzt um Farb-Viereck 2500K

Grafik 8, PREMIUM: ANSI C78.377A, Farbortbereiche mit Farbtemperatur Grenzen einer Premium-Sortierung "Zentrumsbinning", Lichtfarbe 3000K liegt zwischen 3100K und 2940K



Quelle: XAL, ANSI Binning mit 1/4 bzw 1/16 Unterteilung

Grafik 9, HIGHEND: Farbortbeschreibung für Highend-Qualität: Zielpunkt ist angegeben, z.B. Zielpunkt: genau 3000K, im Zentrum des ANSI C78.377A Vierecks.



Quelle: XAL

Lichtfarbhomogenität, Farbort Sortierung, Binning

Um eine einheitliche Lichtfarbe zu erhalten, ist auch die Größe des Bereiches anzugeben, innerhalb dessen alle Farborte der eingebauten LEDs liegen. Die Größeneinheit ist die von David L. MacAdam definierte 1Step-Ellipse, innerhalb derer sich keine Farbortunterscheide erkennen lassen. MacAdam untersuchte lediglich 25 Farborte im CIE 1931. Die von MacAdams definierten Ellipsen lassen sich mit der Bezeichnung „SDCM Scale“ (Standard Deviation of Colour Matching; Standardabweichung der Farbanpassung) auf jeden Farbort anwenden. Da in einer LED Leuchte üblicherweise sehr viele LEDs verbaut sind, deren Farborte sich untereinander mischen, werden LEDs einer Premium-Sortierung der dreifachen Ellipsengröße verwendet (3 SDCM Scale). Diese Angabe bezieht sich auf die Farborte, die die Leuchte im Auslieferungszustand beschreibt, daher der Zusatz: *Initial*.

Bei Strahlern, in denen nur ein Lichtpunkt eingebaut ist, macht es Sinn, dass die Sortierung noch besser ist und wird mit: $\text{Initial} \leq 2$ SDCM Scale angegeben.

STANDARD: keine Angabe, oder $\text{Initial} \leq 5$ SDCM Scale (3138K ~ 2879K)

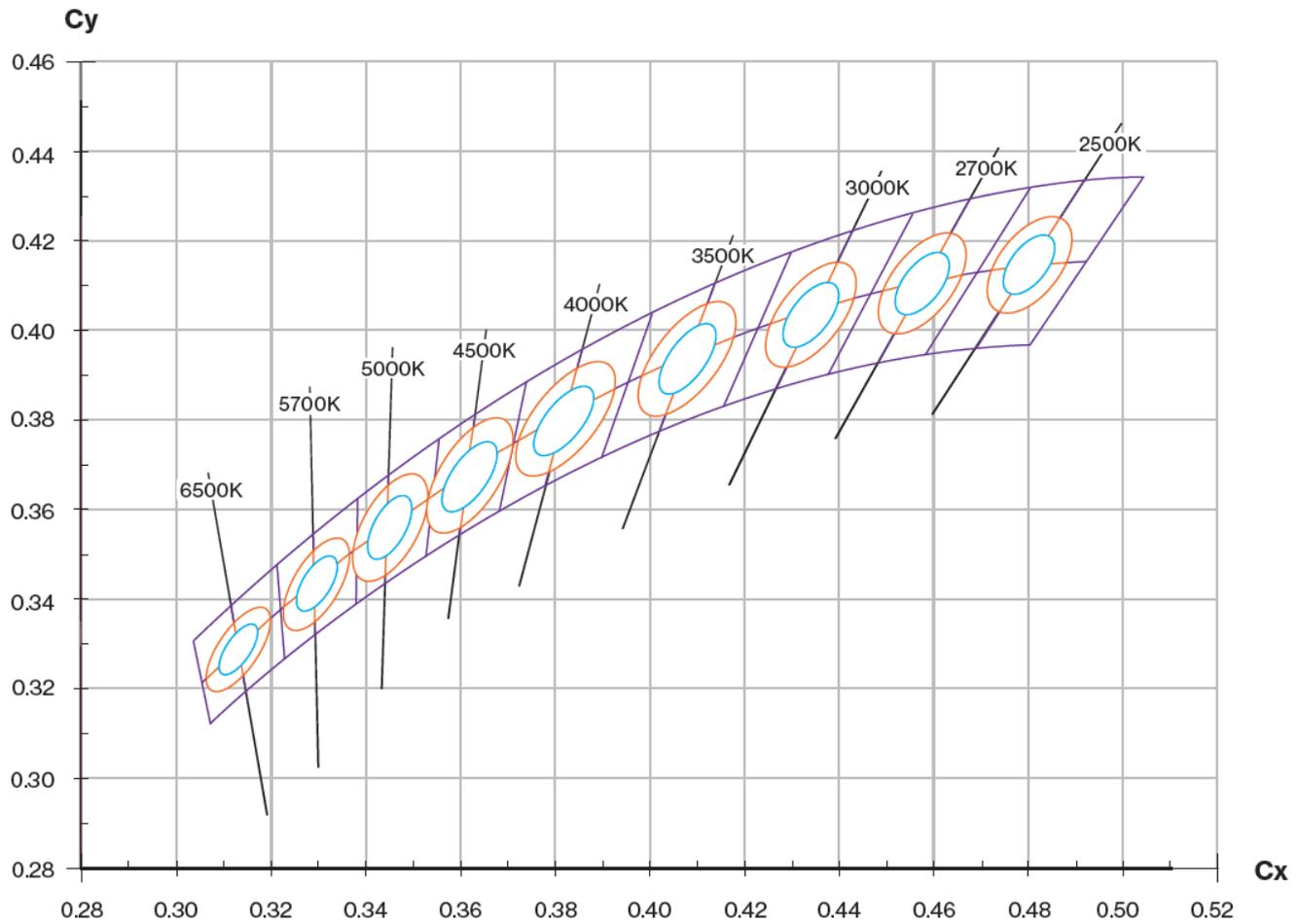
PREMIUM: $\text{Initial} \leq 3$ SDCM Scale, Zielpunkt ist angegeben, (bei Zielpunkt 3000K: 3084K ~ 2928K)
Siehe Grafik 10

HIGHEND: $\text{Initial} \leq 2$ SDCM Scale, Zielpunkt ist angegeben, (bei Zielpunkt 3000K: 3057K ~ 2953K)
oder 1x2 SDCM: Das Binning Feld befindet sich innerhalb einer 2 Step Ellipse längs der BBL und innerhalb einer 1 Step Ellipse in längs der korrelierte Farbtemperatur Linie.

Siehe Grafik 11

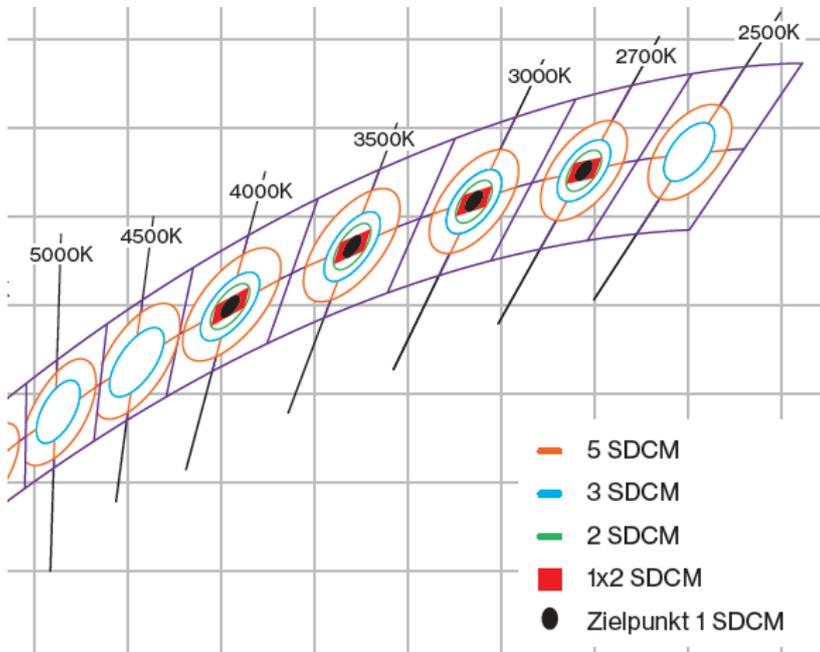


Grafik 10: Zentrumsbinning mit 5 Step Ellipsen (orange) = STANDARD und 3 Step Ellipsen (cyan) = PREMIUM



Quelle: XAL

Grafik 11: HIGHEND (Rotes Feld) Initial $\leq 1 \times 2$ SDCM





Quelle: XAL

Farbortstabilität, Lichtfarbortveränderung über die Lebensdauer, Colour Point Shift (CPS)

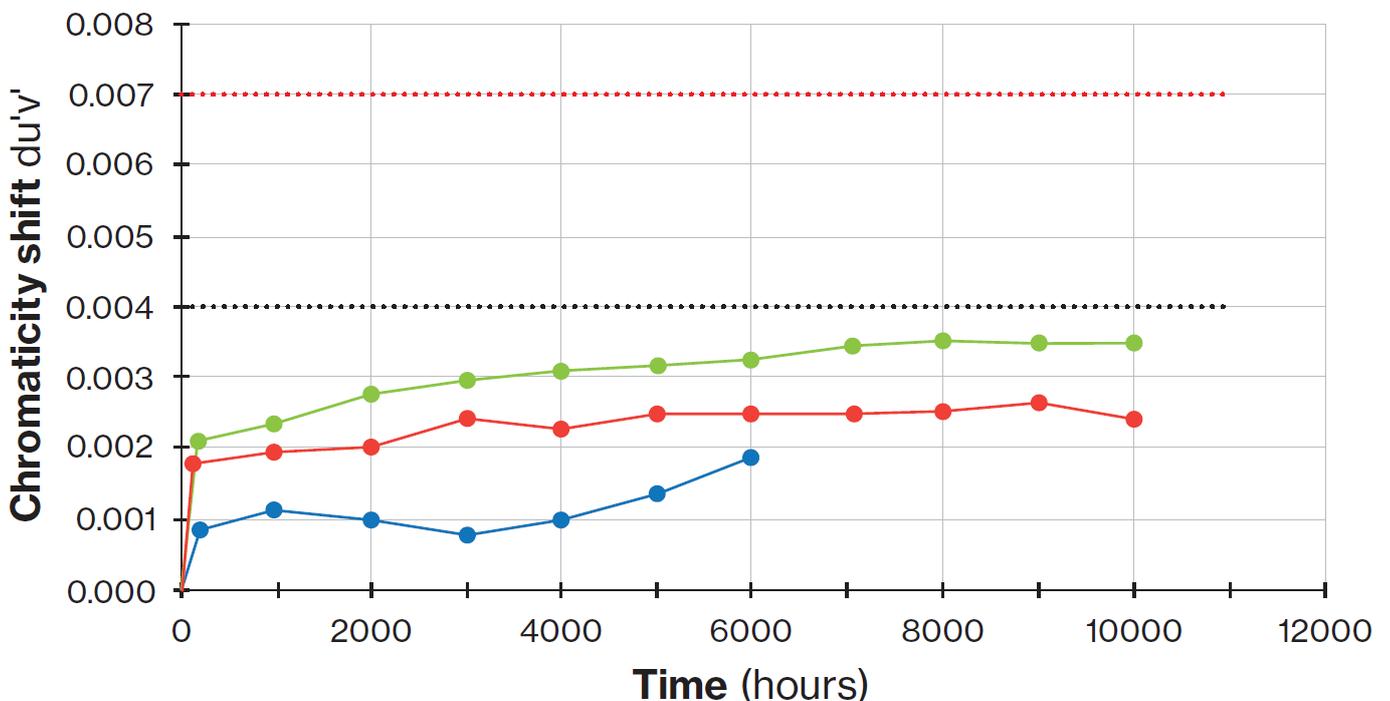
Da es bei Leuchtstofflampen zu einer Lichtfarbortveränderung über die Lebensdauer kommt, gibt es eine amerikanische „Energy Star“ Anforderung, die den maximalen Farbort Shift für Innenraumbeleuchtung mit: $du'v' \leq 0,007$ nach 6.000 Std. festlegt. Bei „ $du'v'$ “ steht das „d“ für „delta“, also für die Veränderung vom Ursprung, „u“ und „v“ sind die Koordinaten im CIE Normfarbdreieck 1976, in dem die Lichtfarbveränderung dargestellt wird. Die Größe 0,007 entspricht einer maximalen erlaubten Farbortveränderung, also einer 7Step-Ellipse (oder 7 SDCM Scale). LED Leuchten haben einen deutlich stabileren Farbort, verglichen mit Leuchtstofflampen. Ein $du'v' \leq 0,007$ wird von allen LED Leuchten deutlich unterschritten. Für neue LED-Produkte muss der LED-Hersteller Testdaten über 6.000 Std. bereitstellen, für bereits länger am Markt erhältliche Produkte sind Testdaten über 10.000 Std. verfügbar. Die Angabe der Farbortstabilität ist ein Endwert und wird folglich mit „final“ bei der Nutzlebensdauer (6.000 Std. bzw. 10.000Std.) angegeben. Je kleiner die Angabe des Colour Point Shift (CPS) ist, umso ähnlicher ist der finale Farbort dem initialen Farbort.

STANDARD: keine Angabe, bzw. Final bei 6.000h, CPS: $du'v' \leq 0,007$ (*Energy Star Limit*)

PREMIUM: Final bei 6.000h, CPS: $du'v' \leq 0,002$

HIGHEND: Final bei 10.000h, CPS: $du'v' \leq 0,001$

Grafik 12: Lichtfarbortverschiebung, bei 3 Temperaturen. Die grüne Kurve beschreibt die Standard-Qualität.

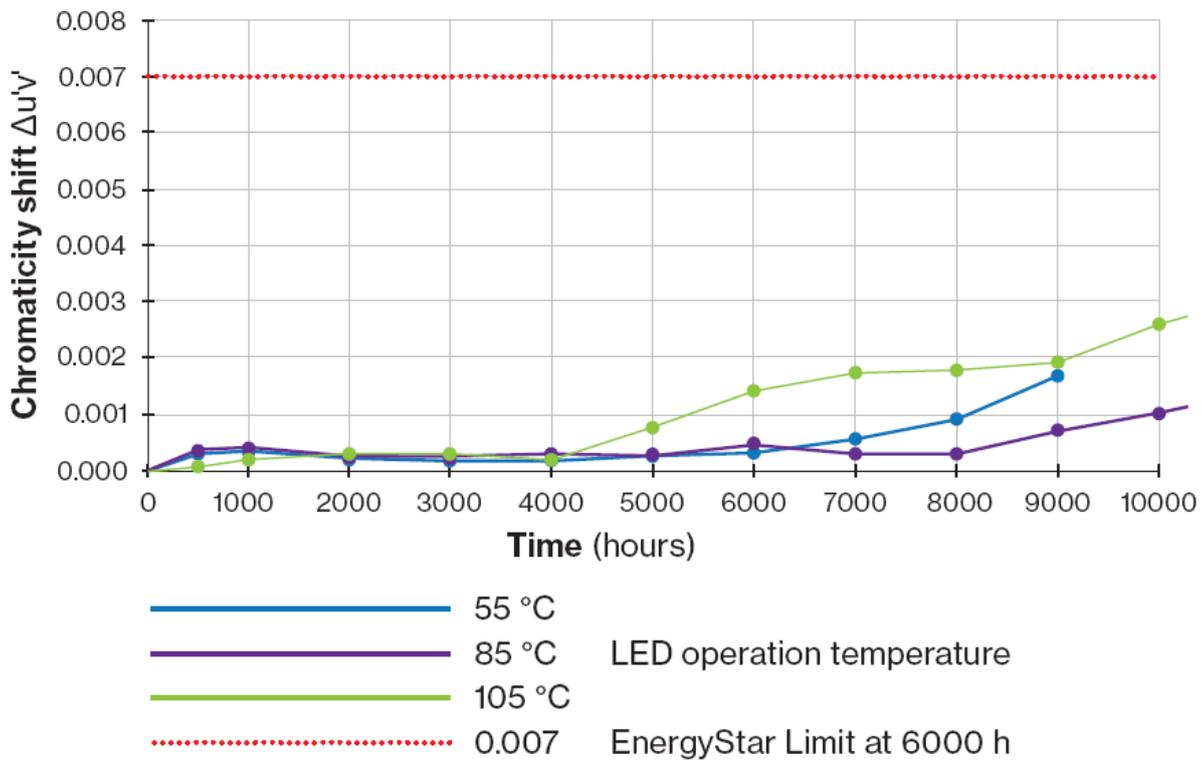


..... 0.007 EnergyStar Limit at 6000 h

Quelle: OSRAM



Grafik13: Lichtfarbpointverschiebung, bei 3 Temperaturen. Die hellblaue Kurve beschreibt die Premium-Qualität und die violette Kurve die Highend-Qualität.



Quelle: OSRAM

Eine leichter vergleichbare Beschreibung der Lichtfarbstabilität ist es, die Farbveränderung dem anfänglichen Farbortbereich hinzuzuzählen. Ohne eine neue Einheit zu verwenden, ist damit der finale Farbortbereich offengelegt. Der CPS von $du'v'$ 0,001 entspricht einer Ellipse-Größe 1SDCM Scale.

Farbort und Farbortstabilität

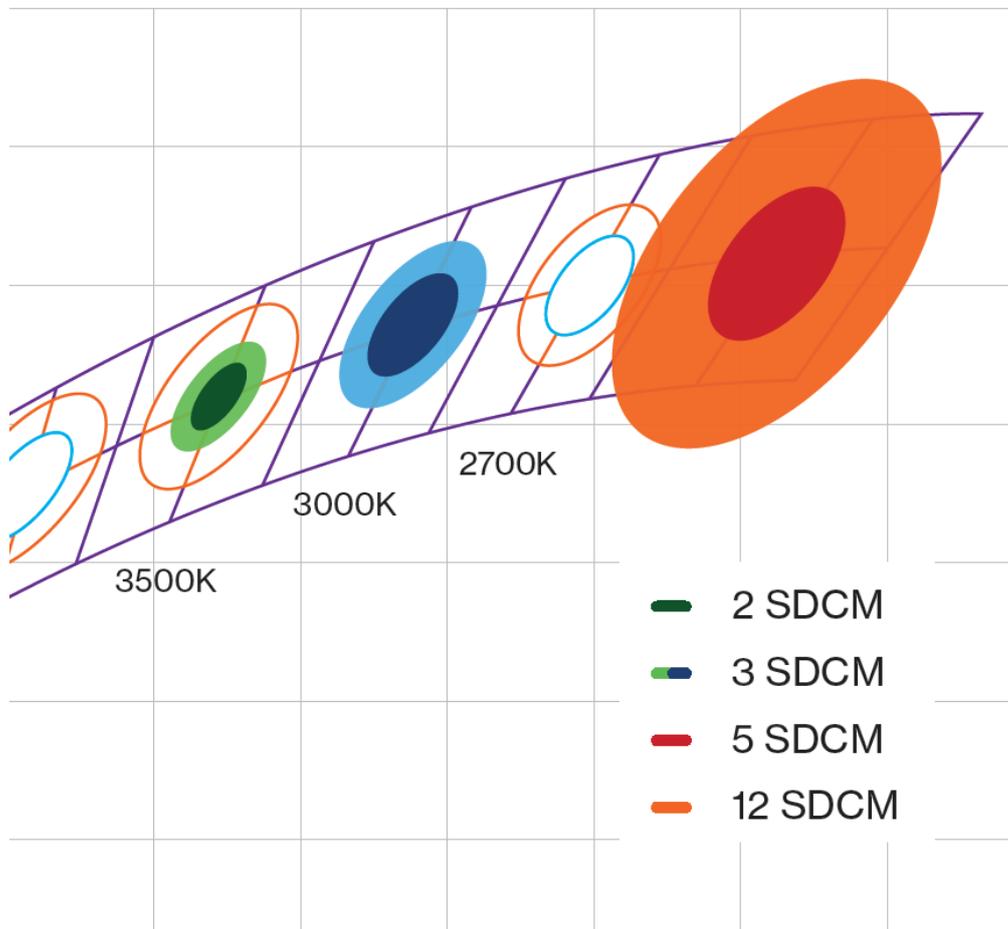
Ausgedrückt in dieser Beschreibung:

STANDARD: **Initial ≤ 5 SDCM (+Final 7SDCM) Final bei 6.000h ≤ 12 SDCM**

PREMIUM: **Initial ≤ 3 SDCM (+Final 2SDCM) Final bei 6.000h ≤ 5 SDCM**

HIGHEND: **Initial ≤ 2 SDCM (+Final 1SDCM) Final bei 10.000h ≤ 3 SDCM**

Grafik14: Rot/Orange zeigt STANDARD: Initial ≤ 5 SDCM, Final bei 6.000h ≤ 12 SDCM
 Blau/Hellblau zeigt PREMIUM: Initial ≤ 3 SDCM, Final bei 6.000h ≤ 5 SDCM
 Grün/Hellgrün zeigt HIGHEND: Initial ≤ 2 SDCM, Final bei 10.000h ≤ 3 SDCM



Quelle: XAL

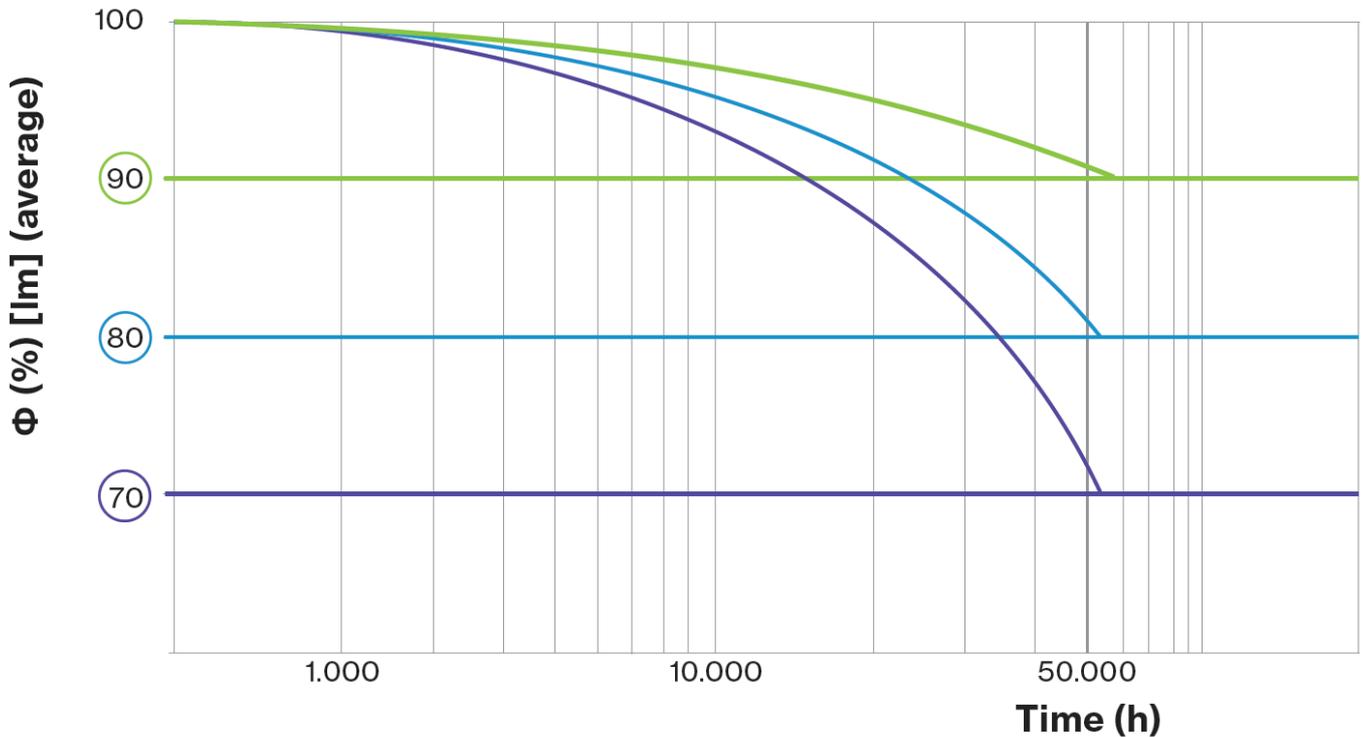
Lichtstromrückgang

Leuchtmittel verlieren über die Nutzlebensdauer an Lichtstrom. Es wird der verbleibende Lichtstrom bei einem definierten Nutzlebensdauerende angegeben. Die Leuchten sind zu dem Zeitpunkt nicht kaputt, sondern unterschreiten den Lichtstrom-Output, der in der Beleuchtungsplanung zum Erreichen der vorgeschriebenen Beleuchtungsstärke nötig ist. Bei professionellen Lichtanlagen wird das Nutzlebensdauerende üblicherweise mit 50.000 Std. angegeben, bei Retrofits für die private Verwendung meistens mit 25.000 Std. Üblich sind Lichtstromrückgänge auf 70%, 80% oder 90%. Der Lichtstrom jeder neuen Leuchte wird in der Beleuchtungsplanung mit dem Faktor des Lichtstromes zum Nutzlebensdauerende multipliziert (für L70 mit Faktor 0,7) und stellt somit direkt den Wert einer Leuchte dar. Die Qualität einer Leuchte wird z.B. mit L70 nach 50.000 Std. beschrieben. Eine 1000 Lumen (lm)-Leuchte mit L70 zählt in der Lichtberechnung nur 700lm; eine 1000 lm L90 –Leuchte jedoch 900lm. Für die gleiche Beleuchtungsstärke benötigt man bei L70 um 29% mehr Leuchten. Damit ist die L90- Leuchte um 29% wertvoller!



STANDARD: L70 nach 50.000 Std.
PREMIUM: L80 nach 50.000 Std. (Mehrwert zu L70 14,3%)
HIGHEND: L90 nach 50.000 Std. (Mehrwert zu L70 28,6%)

Grafik 15: Lichtstromrückgang



Quelle: XAL

Flicker, Flackern bei nicht dimmbaren Convertern

Von einer Kerze mit zu langem Docht kennt man das Auf- und Abflackern einer Flamme. Diese Lichtstromschwankung ist auch bei elektrischen Lichtquellen möglich. Eine Glühlampe wird aus unserem Stromnetz mit Wechselstrom der Frequenz 50Hz betrieben. 50mal pro Sekunde fließt dabei der Strom durch den Wolframglühdraht. Ein Aufglühen und Abkühlen ist die Folge. Die Lichtstromabgabe schwankt.

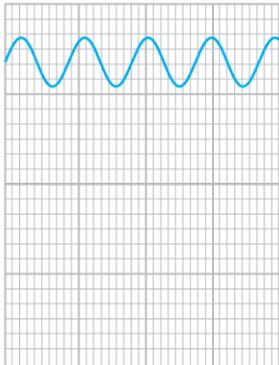
Wie kann die Lichtstromschwankung bewertet werden?

Die höchste Lichtstromabgabe wird mit 100% angenommen. Die Differenz zwischen höchster und niedrigster Lichtstromabgabe ergibt dann den FLICKER % WERT. Bei einer Allgebrauchsglühlampe liegt dieser bei <10%. Diese Lichtstromschwankung führt zu keiner Beeinträchtigung unserer Sehleistung und wird als moderat gut bezeichnet.

Bei LED Leuchten glättet der Konverter den Wechselstrom und konvertiert daraus Gleichstrom. Bei hochwertigen Convertern liegt wenig oder keine Lichtstromschwankung vor. Minimale Lichtstromschwankungen nennt man Rippel (<0,5%), die vernachlässigbar sind.

STANDARD: keine Angabe, bzw. Flicker <15%
PREMIUM: Flicker <1%
HIGHEND: Flicker <0,5%

Grafik 16: Glühlampe an Wechselstrom, Flicker < 10%



Quelle: LEDON

Grafik 17: LED an hochwertigem Konverter

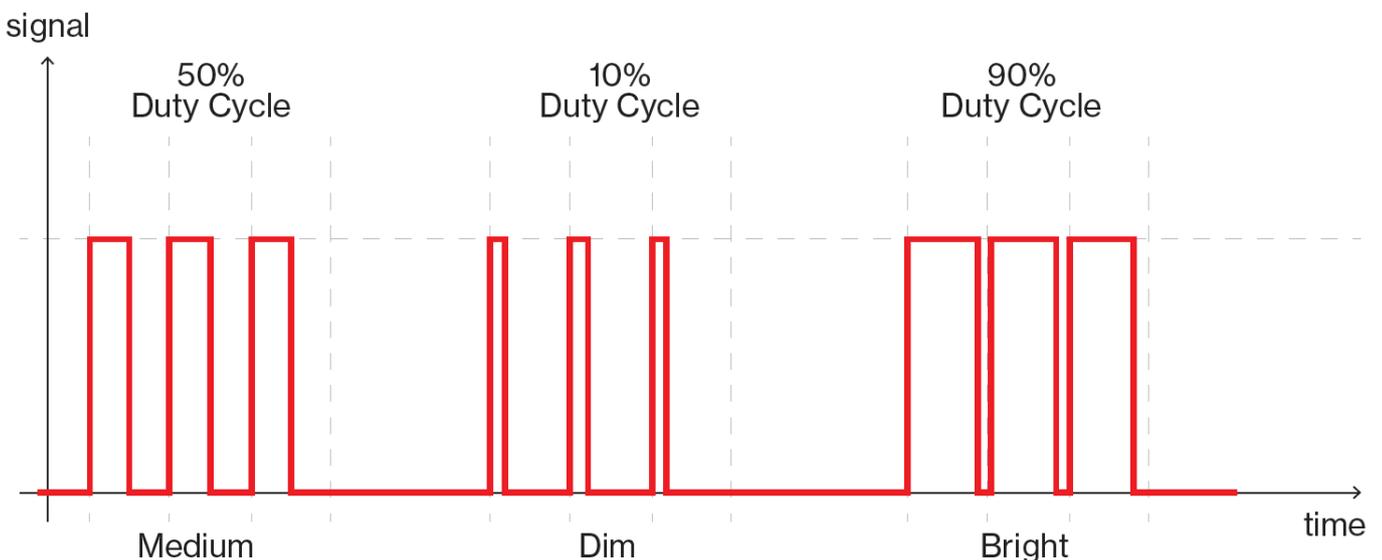


Quelle: LEDON

Flicker bei gedimmten Leuchten

Die LED als elektronisches Bauteil eignet sich hervorragend für eine digitale Ansteuerung. Die versendete digitale Information besteht aus „Ein“ und „Aus“. Da die LED den Lichtstrom sofort abgibt, wenn Strom fließt und auch fast keine „Nachglimmzeit“ wie bei der Glühlampe besteht, ist hier der Flicker sehr gut wahrnehmbar. Diese hinsichtlich technischem Aufwand günstige Dimm-Methode nennt man Puls Weiten Modulation (PWM). Der Puls (die Frequenz) bleibt gleich und je nach Dimm-Level variiert man die „Weite“ der Einschaltzeit innerhalb des Pulses. Kurze Einschaltzeit bedeutet wenig Lichtstrom, lange Einschaltzeit viel Lichtstrom.

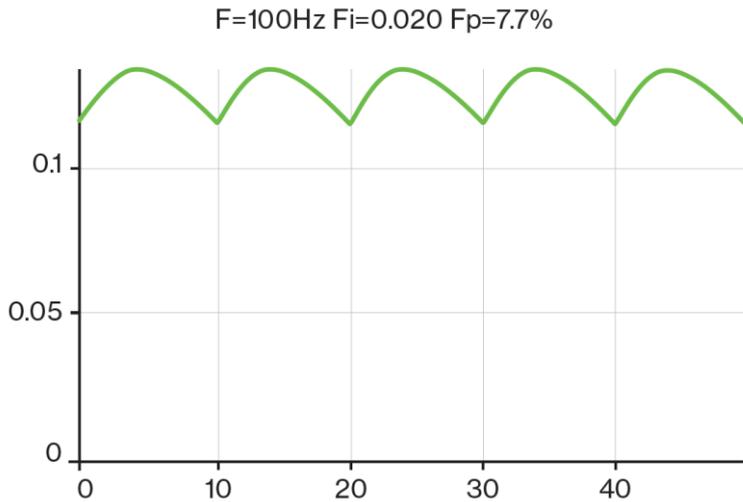
Grafik 18: Puls Weiten Modulation



Quelle: XAL

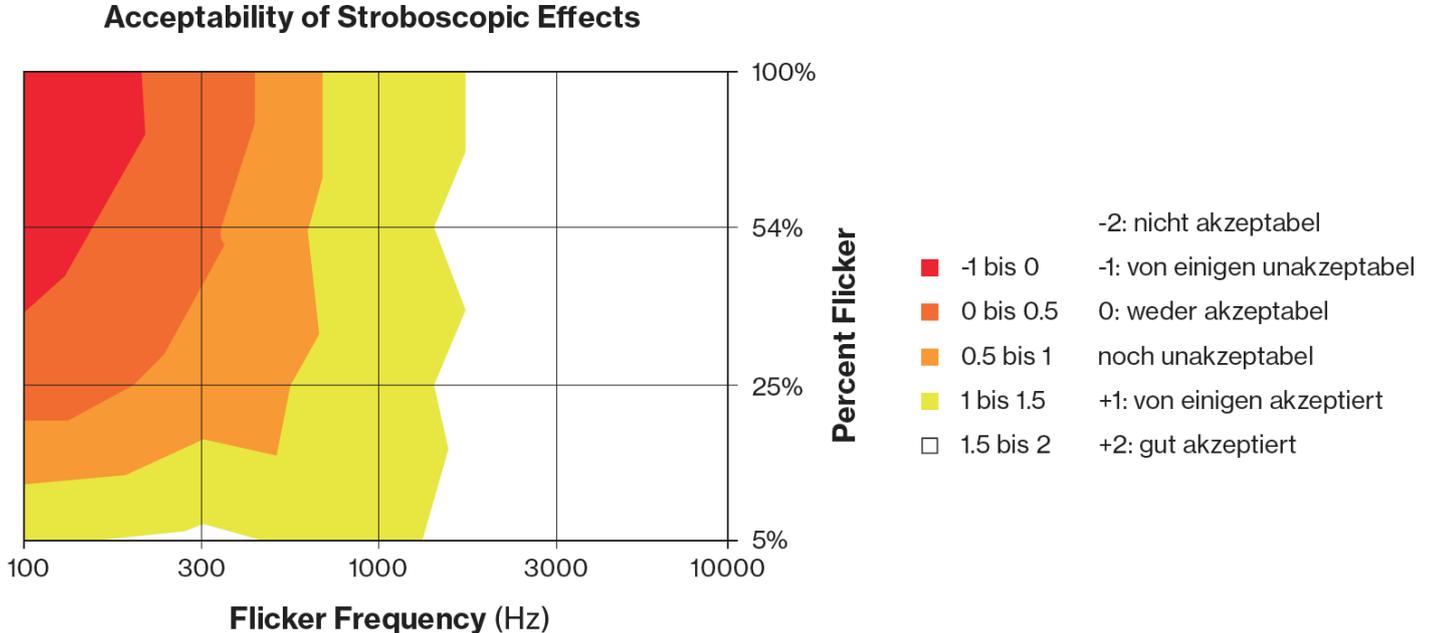
Unter statischen Laborbedingungen funktioniert das sehr gut. Doch beim Menschen ist das anders. Wir bewegen uns, beobachten bewegte Objekte, drehen Kopf und Augen. Je höher die Geschwindigkeit der beobachteten Objekte ist, umso stärker erscheinen Einzelbilder. Selbst bei Frequenzen von 500Hz oder 1200Hz ist es jeweils nur eine Frage der Geschwindigkeit, ab wann Einzelbilder sichtbar sind. Einerseits geht es um die Frequenz, andererseits um die Modulationstiefe. Die Modulationstiefe lässt sich durch Flicker % ausdrücken. Der niedrigste Wert durch den höchsten Wert ergibt den Flicker in %.

Grafik 19: Lichtemission einer Kompaktleuchtstofflampe an magnetischem Vorschaltgerät



Quelle: GL optic

Grafik 20: Akzeptanzbewertung von Flicker. Ersichtlich ist, dass Frequenz und Modulationstiefe einen Einfluss haben.



Quelle: Rensselaer/ASSIST

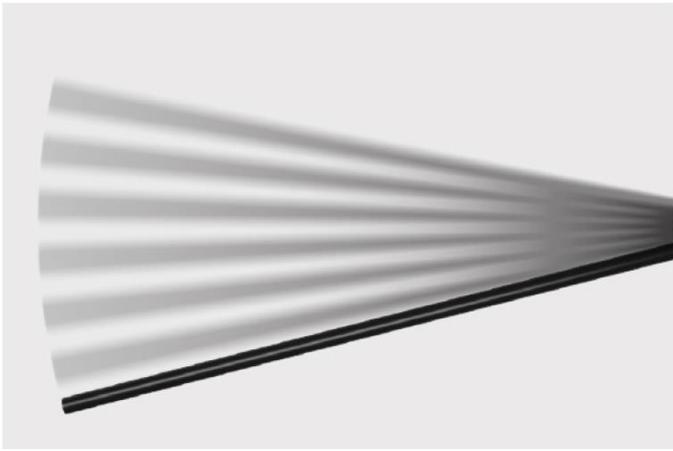
Bei Frequenzen > 2000Hz treten kaum mehr Beeinträchtigungen auf. Der technische Aufwand für so hohe Frequenzen entspricht jedoch ungefähr dem Aufwand der für eine analoge Steuerung nötig wäre. Analoge Steuerungen sind deutlich vorzuziehen.

Die Industrieaufsichtsbehörde, IEEE, empfiehlt, alle Flicker mit Frequenzen unter 3000 Hz zu vermeiden, eine neue Grenze, die viel strenger ist als bisher bekannt **.

** Empfohlene Praxis für modulierenden Strom in High-Brightness-LEDs zur Minderung von Gesundheitsrisiken für die Benutzer, Institute of Electrical Engineers and Electronics Std 1789 (2015).

Grafik 21: Gepulste vs. kontinuierliche Lichtabgabe

MULTIPLE IMAGES CAUSED BY
CONVENTIONAL PWM DIMMING



ANALOGUE DIMMING
MEANS FLICKER-FREE LIGHT



Quelle: XAL

Unser Sehvermögen hat sich ausschließlich für analoge Lichtschwankungen entwickelt wie beispielsweise der Auf- und Untergang der Sonne. Die Lichtstromschwankung von gepulstem Licht beeinträchtigt uns derart, dass wir uns abgelenkt und irritiert fühlen bzw. Kopfschmerzen bekommen. Das Gefühl von Übelkeit ist möglich. Im schlimmsten Fall können durch Stroboskoplicht sogar epileptische Anfälle ausgelöst werden.

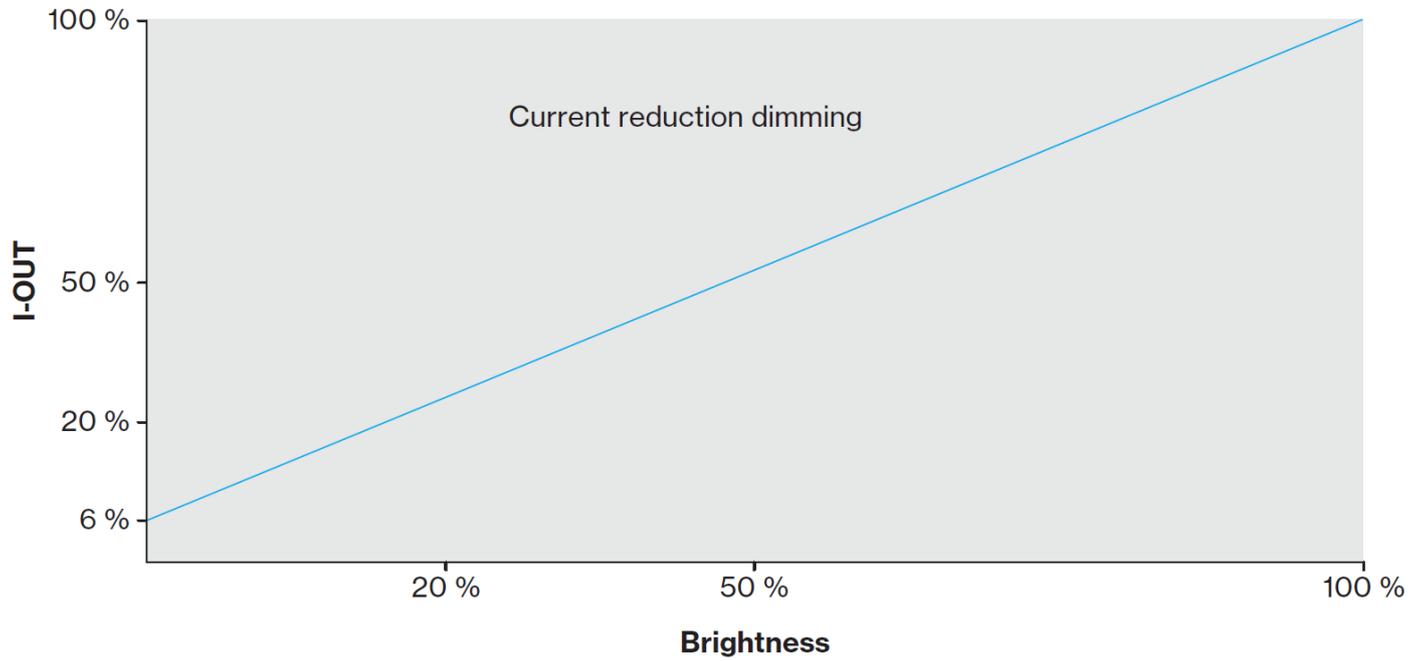
Daher ist Dimmen mittels PWM in Aufenthaltsräumen generell abzulehnen. Bei Arbeiten an rotierenden Werkstücken (Drechsler, Drehbank...) ist gepulstes Licht bereits generell verboten.

Mit etwas mehr technischem Aufwand lassen sich LED Leuchten analog dimmen. D.h. je nach Dimm-Level wird an die LED eine unterschiedlich hohe Stromstärke geschickt. Ein kleiner Nachteil besteht darin, dass der minimal Strom nicht bei „null“ anfängt, sondern bei ca. 5% liegt. Mit höherem technischem Aufwand lässt sich der minimal Strom auch auf 0,4% senken.

STANDARD:	keine Angabe,	minimal Strom: 5%
PREMIUM:	Flicker <1%,	minimal Strom: 1%
HIGHEND:	Flicker <0,5%	minimal Strom: 0,4%

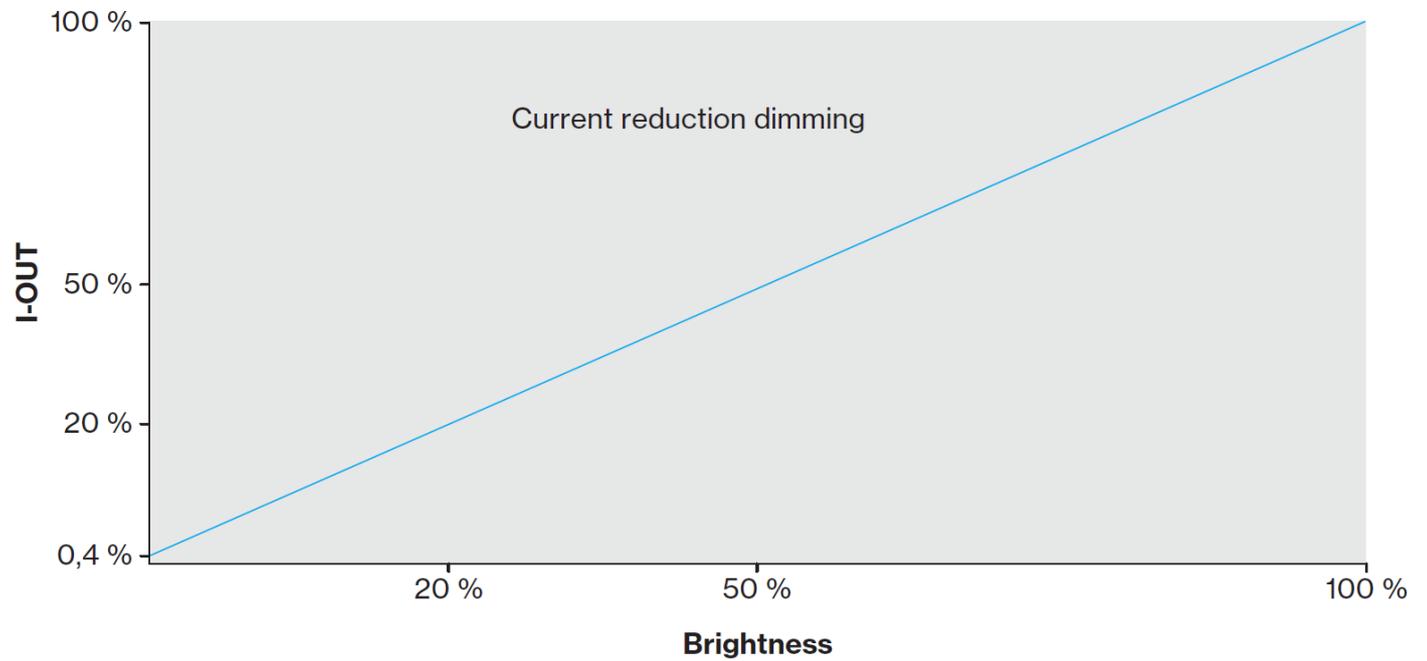


Grafik 22: Analog dimmender Konverter mit hohem minimal Strom



Quelle: XAL

Grafik 23: Analog dimmender Konverter mit sehr niedrigem minimal Strom von 0,4%



Quelle: XAL



Zusammenfassung:

Lichtplanung Beispiel Büro (mittlere Beleuchtungsstärke = E_m lt. Anforderung der EN 12464-1):

STANDARD:	direktes Licht aus Flächenleuchten, Leuchtenposition: Mittig über den Tischen.
PREMIUM:	direktes Licht mit indirekter Decken- und Wandaufhellung $E_m > 200$ lx Leuchtenposition: Links und rechts seitlich über dem Arbeitsplatz
HIGHEND:	direktes und indirektes Licht, Beleuchtungsstärke auf der Decke u. Wand $E_m > 500$ lx, Wandbeleuchtung mit Wallwashern und Strahlern Leuchtenposition: seitlich li. und re. etwas hinter dem Arbeitsplatz, verbesserte Entblendung: $UGR \leq 16$, bzw. durch vertieft eingebaute Leuchten

Farbwiedergabe

STANDARD:	$R_a \geq 80$
PREMIUM:	$R_a \geq 90$
HIGHEND:	$R_a \geq 96$

Lichtfarbe, Farbtemperatur, Farbort

Lichtfarbtemperatur-Qualität am Beispiel Warmweiß 3000K

STANDARD:	nach ANSI C78.377A, 3210K ~ 2870K,
PREMIUM:	„Zentrumsbinning“, 3100K ~ 2940K,
HIGHEND:	Zielpunkt ist angegeben, direkt auf der BBL (3057K ~ 2953K)

Lichtfarbhomogenität, Farbort Sortierung, Binning

STANDARD:	Initial ≤ 5 SDCM
PREMIUM:	Initial ≤ 3 SDCM
HIGHEND:	Initial ≤ 2 SDCM

Farbortstabilität, Lichtfarbortveränderung über die Lebensdauer, Colour Point Shift (CPS)

STANDARD:	CPS $< du'v' 0,007$, bzw. Final @ 6.000h ≤ 12 SDCM
PREMIUM:	CPS $< du'v' 0,002$, bzw. Final @ 6.000h ≤ 5 SDCM
HIGHEND:	CPS $< du'v' 0,001$, bzw. Final @ 10.000h ≤ 3 SDCM



Lichtstromrückgang nach 50.000 Std. (B50)

STANDARD:	L70
PREMIUM:	L80
HIGHEND:	L90

Flicker bei nicht dimmbaren Leuchten

STANDARD:	keine Angabe, bzw. Flicker <15%
PREMIUM:	Flicker <1%
HIGHEND:	Flicker <0,5%

Flicker bei gedimmten Leuchten

STANDARD:	keine Angabe,	minimal Strom: 5%
PREMIUM:	Flicker <1%,	minimal Strom: 1%
HIGHEND:	Flicker <0,5%	minimal Strom: 0,4%

15.10.2018

Mag. Dominik Alder

Senior Lighting Specialist

XAL GmbH, Graz

dominik.alder@xal.com

+43 664 96 52 175