

## Lighting Score, ein Werkzeug zur Bewertung von Lichtqualität

*Mag. Dominik Alder*

*XAL GmbH*

*A 8055 Graz, Auer-Welsbach-Gasse 36*

### Zusammenfassung

Der XAL-Lighting Score ist eine ganzheitliche Bewertung von Lichtqualität in Arbeitsstätten. Explizit sind die Normanforderungen für Bürotätigkeiten, Gesundheitseinrichtungen und Bildungsstätten dafür herangezogen worden. Neben den Normanforderungen werden Tageslichtqualität, Ausblick und Raumakustik ebenso wie Nachhaltigkeitskriterien berücksichtigt. Der Lighting Score ersetzt keine Lichtplanung, sondern listet übersichtlich alle zur Verfügung stehenden Lichtqualitäten auf.

### Motivation:

Gängige Lichtplanungen orientieren sich nur an den Mindestanforderungen der Beleuchtungsnorm für Arbeitsstätten. Oft wird jedoch nur ein Teil dieser Anforderungen erfüllt. Daraus ergibt sich ein mäßig gut bis schlecht ausgeleuchtetes Arbeitsumfeld, in dem die Arbeitnehmer ihre Tätigkeit verrichten müssen. Die Personalkosten gehören in der Regel zu den höchsten Ausgaben, die ein Unternehmen tragen muss. Die verringerte Arbeitsleistung, die durch schlechte Beleuchtungsbedingungen entstehen, wird nicht bedacht. Ebenso wenig wird die Steigerung der Motivation und des Wohlbefindens der Arbeitnehmer, die durch ein hervorragendes Beleuchtungsumfeld entsteht, in Betracht gezogen. Der Lighting Score zeigt niederschwellig die Stufen von ungenügend bis hervorragend auf. Ein Punktesystem zeigt die erreichte bzw. die geplante Lichtqualität an.

### Aufbau des XAL-Lighting Score:

Der Lighting Score ist in zwei Tabellen gegliedert. Die erste Tabelle zeigt die Normanforderungen der europäischen Beleuchtungsnorm für Arbeitsstätten, der EN 12464-1. Werden alle Anforderungen erreicht, ergibt die Benotung „ausreichend“. Alle in der EN 12464-1 angeführten Übererfüllungen stehen in Schulnoten-Prinzip zur Auswahl. So kann ein Errichter bzw. Planer einer Beleuchtungsanlage offensichtlich erkennen, welche Qualitäten für eine befriedigende, sehr gute bzw. hervorragend Beleuchtungsanlage notwendig sind.

Die erreichten Punkte werden im Anschluss in die zweite Tabelle überführt. Die Normerfüllung aus Tabelle 1 hat in Tabelle 2 nur einen geringen Einfluss auf den Gesamt-Score. Im zweiten Teil geht es um biologische und emotionale Lichtqualitäten. Analog können Punkte für ausreichend bis hervorragend erreicht werden. Die Tabelle 2 berücksichtigt ebenso Tageslichtqualität, Ausblick und Raumakustik ebenso wie Nachhaltigkeitskriterien. Die beiden Tabellen sind interaktiv zu benutzen, sodass jede Veränderung sich automatisch im Gesamtergebnis wiederfindet.

Tabelle 1 Bewertung nach Anforderungen der EN 12464-1

Punkte je nach Erfüllung der Anforderungen		0	1	2	3	4
		Keine Licht- berechnung vorhanden	Minimal- anforderung erfüllt <sup>A</sup>	1 - 2 Kontext- modifikatoren = +1 Stufe <sup>B</sup>	2 Kontext- modifikatoren = +2 Stufen <sup>B</sup>	Höchste Nutzerpräferenz <sup>C</sup>
Beleuchtungsstärke <sup>B</sup>	Sehaufgabe $E_m$	-	>500	>750	>1000	ca. 1300
	Umgebungsbereich	-	>300	>500	>750	ca. 910 (70% von 1300)
	Hintergrundbereich	-	>100	>300	>500	ca. 650 (50% von 1300)
	Zylindrische Beleuchtungsstärke $E_{m,z}$	-	>150 (>30% von 500)	>225 (>30% von 750)	>300 (>30% von 1000)	ca. 520 (40% von 1300)
	Wand	-	>150	>200	>300	ca. 910 (70% von 1300)
	Decke	-	>100	>150	>200	ca. 600 (66% von 910)
Reflexionsgrad der Oberflächen <sup>D</sup>		Decke < 0,7 Wände < 0,5 Boden < 0,2	Decke > 0,7 Wände > 0,5 Boden > 0,2	Decke > 0,8 Wände > 0,7 Boden > 0,4	Decke > 0,9 Wände > 0,8 Boden > 0,6	-
Blendung	Blendung $R_{UGL}$ <sup>E</sup>	-	<19	<16	<13	<10
	Direktblendung <sup>F</sup> Leuchtdichte oberhalb eines Winkels von +/-65°	-	<3000 cd/m <sup>2</sup>	<1500 cd/m <sup>2</sup>	<1000 cd/m <sup>2</sup>	-
	Reflexblendung <sup>G</sup> Keine nach unten strahlende Leuchte über Tastatur und Monitor	-	ohne Größenangabe	Freier Deckenbereich 2,0m tief 1,25m breit	Freier Deckenbereich 2,0m tief 1,8m breit	-
Gleichmäßigkeit <sup>H</sup> Minimale   durchschnittliche Beleuchtungsstärke		<0,6	>0,6	>0,7	-	-
Farbwiedergabe <sup>I</sup> $R_a$ / CRI		<80	≥80	≥85	≥90	≥95
Modelling <sup>J</sup> in Kommunikationsräumen Zylindrische /horizontale Beleuch- tungsstärke / der Sehaufgabe		-	>0,3   <0,6	>0,4   <0,5	-	-
Wartung <sup>K</sup> Wartungsfaktor der Beleuchtungsanlage		-	Gesamtwartungsfaktor ist berechnet	Nutzlebensdauer der Beleuchtungs- anlage ist zusätzlich berechnet	-	-
Flimmern <sup>L</sup>		-	PstLM ≤1 SVM <0,4	PstLM <0,5 SVM <0,2	PstLM <0,1 SVM <0,1	-

Steigerung von Sehkomfort  
und Sehqualität



ungenügend 0-9      ausreichend 10-17 Punkte      gut 18-23 Punkte      sehr gut 24-26 Punkte      hervorragend 27-30 Punkte

Tabelle 2 Bewertung nach Human Centric Lighting und Human Centered Design Anforderungen

Punkte je nach Erfüllung der Anforderungen		0	1	2	3	4
	<b>Bewertung aus Tabelle 1</b>	0–9	10–17	18–23	24–26	27–30
<b>Künstliche Beleuchtung</b>	<b>Melanopische Kunstlichtversorgung<sup>M</sup> über den Tag</b>	-	>171 MEDI für 10-Jährige Beobachter	>218 MEDI für 25-Jährige Beobachter	>250 MEDI für 32-Jährige Beobachter	>375 MEDI für 50-Jährige Beobachter
	<b>Emotionale Lichtwirkung<sup>N</sup></b>	Nur diffuses, nach unten strahlendes Licht	Direkt/indirekt abstrahlendes Licht	Direkt/indirekt + Akzentbeleuchtung <sup>S</sup>	Akzentbeleuchtung + "Play of brilliants"	Akzentbeleuchtung + "Play of brilliants" individualisierbar
	<b>Automatischer Tageslichtverlauf<sup>O</sup></b>	Kein Verlauf	Lichtverlauf mit einer Lichtfarbe	Tuneable White >2700K – <6500K <sup>17</sup>	Tuneable White <2200K – <6500K	Tuneable White <2200K – >14000K
	<b>Farbwiedergabe<sup>P</sup></b>	R <sub>a</sub> /CRI <90	Konventionelle LED R <sub>a</sub> /CRI >90	Konventionelle LED R <sub>a</sub> /CRI >95	Vollspektrum LED R <sub>a</sub> /CRI typ. 93	Vollspektrum LED R <sub>a</sub> /CRI typ. 98
	<b>Leuchtenform und Ausstrahlrichtung<sup>Q</sup></b>	Rechteckige   lineare Leuchten, nur direkt Anteil	Rechteckige   lineare Leuchten mit direkt + indirekt Anteil	Ringförmige   runde Leuchten, direkt Anteil	Ringförmige   runde Leuchten mit direkt + indirekt Anteil	Zusätzliche Akzentbeleuchtung durch Strahler
<b>Tageslicht / Architektur</b>	<b>Tageslichtversorgung am Arbeitsplatz<sup>R</sup> Tageslicht-Quotient</b>	EN 17037: 50% Fläche Zielwert, 95% Fläche Mindestwert (je 50% Tageslicht- stunden)	TQ >3	TQ >4	TQ >5	TQ vertikal >6,5 am Nutzerauge
	<b>Ausblick Orientierung im Tag, Jahr, Wetter<sup>S</sup> +/- 90° vom Sitzplatz sichtbar</b>	Blick aus einem klaren Fenster ist möglich	Himmel ist durch das Fenster sichtbar	Himmel & Vegetation ist sichtbar	Himmel, Vegetation & Verkehrswege sind sichtbar	Zusätzlich Fernsicht auf Felder, Wiesen, Wälder, Hügel, Berge, Wasserflächen
<b>Innenar- chitektur</b>	<b>Emotionale Anregung durch Farben<sup>T</sup></b>	Dunkelbraun, weiß, grau, schwarz	Eine Farbe vorhanden	Zwei Farben vorhanden	Drei Farben vorhanden	Künstlerische Gestal- tung mit naturnahen Mustern und mehr als drei Farben
	<b>Augen-Belastung durch Displays<sup>U</sup></b>	Standard Einstellungen	Maximale Bildschirm- Farbtemperatur < 5000K	Farbtemperatur- Regelung über z.B. flux und Nightshift	-	-
	<b>Nachhall und Sprachverständnis<sup>V</sup></b>	Keine Akustik- maßnahmen	Akustikmaßnahmen an einer raum- umgrenzenden Fläche	Akustikmaßnahmen an zwei raum- umgrenzenden Flächen	Akustikmaßnah- men an drei raum- umgrenzenden Flächen	Zusätzlich Akustik Schreibtischtrenn- wände und / oder abgehängte Decken- absorber
	<b>EPD und Nutzlebensdauer<sup>W</sup></b>	L ≥ 80 bei 50.000h Kein EPD	L ≥ 85 bei 50.000h EPD vorhanden	L ≥ 90 bei 50.000h EPD vorhanden	L ≥ 95 bei 50.000h EPD vorhanden	L ≥ 90 bei 100.000h EPD vorhanden

Förderung von Leistungs-  
fähigkeit, Motivation und  
Wohlbefinden

ungenügend 0–11      ausreichend 12–19 Punkte      gut 20–26 Punkte      sehr gut 27–31 Punkte      hervorragend 32–46 Punkte

## Zur Erklärung der Anforderungen und der Quellen gibt es ein Glossar

<b>1</b>	<b>Lichtqualität</b>	Summe an Qualitäten einer Beleuchtungsanlage.
<b>2</b>	<b>Normgerechte Lichtplanung</b>	Planungsleistung zur Einhaltung aller Mindestanforderungen der EN 12464-1, nachgewiesen durch eine lichttechnische Berechnung.
<b>3</b>	<b>Score</b>	Messwert z. B. eines Tests.
<b>4</b>	<b>Europäische Norm (EN)</b>	Legt europaweit einheitliche Standards fest; EN 12464-1 definiert die Anforderungen an die Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen.
<b>5</b>	<b>Beleuchtungsstärke (E)</b>	Gibt an, wie viel Lichtstrom pro Quadratmeter auf eine Fläche trifft; gemessen in Lux (lx), wobei $1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$ .
<b>6</b>	<b>Human Centric Lighting (HCL)</b>	Menschzentriertes Beleuchtungskonzept für Innenräume, das neben der visuellen auch emotionale und nicht-visuelle Wirkungen des Lichts berücksichtigt.
<b>7</b>	<b>Human Centered Design (HCD)</b>	Gestaltungsansatz, bei dem der Mensch und seine Bedürfnisse im Mittelpunkt des Designprozesses stehen.
<b>8</b>	<b>EN 17037</b>	Definiert Mindestanforderungen für ausreichende natürliche Belichtung in Innenräumen zur Förderung von Wohlbefinden, Gesundheit und Leistungsfähigkeit in Gebäuden.
<b>9</b>	<b>Kontextmodifikatoren (EN 12464-1)</b>	Zusätzliche Faktoren zur Bewertung von Arbeitsplätzen, die vor der Planung festgelegt werden und eine Erhöhung der geforderten Beleuchtungsstärke notwendig machen.
<b>10</b>	<b>Nutzerpräferenz</b>	Bedingungen, die von den meisten Nutzern bevorzugt werden.
<b>11</b>	<b>Kontrastblendung (<math>R_{UGL}</math>)</b>	Entsteht durch hohe Helligkeitsunterschiede zwischen Leuchte und Umgebung; die EN 12464-1 legt dafür maximale $R_{UGL}$ -Werte fest, die durch eine Lichtberechnung nachzuweisen sind.
<b>12</b>	<b>Leuchtdichte</b>	Beschreibt den wahrgenommenen Helligkeitseindruck einer Oberfläche und ist die einzige für den Menschen direkt sichtbare lichttechnische Größe.
<b>13</b>	<b>Reflexblendung</b>	Blendung durch nach unten abstrahlende Leuchten über dem Arbeitsplatz, die laut EN 12464-1 durch leuchtenfreie Zonen über der Sehaufgabe zu vermeiden ist. Bsp.: Für definierte Sehaufgaben wird über dem Arbeitsplatz ein leuchtenfreier Deckenbereich empfohlen, z.B. 1,25 m Breite und 2 m Tiefe bei einer Sehaufgabe in A3-Größe sowie 1,8 m Breite und 2 m Tiefe bei fünf nebeneinanderliegenden A4-Blättern, um Reflexblendung zu vermeiden.
<b>14</b>	<b>Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke</b>	Verhältnis der minimalen zur mittleren Beleuchtungsstärke auf einer Fläche ( $E_{min} / E_m$ ); eine hohe Gleichmäßigkeit verbessert die Sichtbarkeit und reduziert die Ermüdung der Augen.
<b>15</b>	<b>Beleuchtungsstärke (Lux)</b>	Maß für die Lichtmenge, die auf eine Fläche trifft; zentrale Anforderung der EN 12464-1.
<b>16</b>	<b>Akzentbeleuchtung</b>	Gezielte Lichtführung zur Hervorhebung bestimmter Bereiche oder Objekte.
<b>17</b>	<b>Tunable White</b>	Technologie zur stufenlosen Anpassung der Farbtemperatur zwischen Warm- und Kaltweiß.
<b>A</b>	<b>EN 12464-1:2021</b>	Europäische Norm für die Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen, die Mindestanforderungen an Beleuchtungsstärke, Gleichmäßigkeit und Blendungsbegrenzung festlegt. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Beleuchtungsstärke: <math>E_m</math>; <math>E_{m,z}</math>; <math>E_{m,Wand}</math>; <math>E_{m,Decke}</math>; siehe: 7. Tabelle 34-Büros</li> <li>• unmittelbaren Umgebungsbereich und Hintergrundbereich, siehe 5.3.4</li> </ul>
<b>B</b>	<b>Kontextmodifikatoren</b>	Zusätzliche Faktoren, die die Lichtqualität über die Mindestanforderungen hinaus anheben, 6 Beleuchtungsstärkeanforderungen sind davon betroffen. Siehe: EN 12464-1:2021; Anhebung des Wartungswertes der Bel. Stärke, siehe: 5.3.3; 6.2.2. und 6.2.3
<b>C</b>	<b>Höchste Nutzerpräferenz</b>	Fogra_Colour Management Café 36 Qualitative Lichtbewertung_Gestern, heute und morgen_20220302_Prof. T. C. Khanh_TU Darmstadt
<b>D</b>	<b>Reflexionsgrad der Oberflächen (EN 12464-1)</b>	Hohe Reflexionsgrade von Wand- und Deckenflächen verbessern Sehkomfort, unterstützen die melanopische Lichtwirkung und tragen zur Energieeinsparung bei; besonders oberhalb der Augenhöhe sind helle, hoch reflektive Flächen wirksam.
<b>E</b>	<b>Blendungsbegrenzung (<math>R_{UGL}</math>)</b>	Kennzahl zur Bewertung der Blendung. Werte $< 19$ gelten als bildschirmtauglich. EN 12464-1:2021; $R_{UGL}$ (Ratio Unified Glare Limit); siehe: 7.; Tabelle 34-Büros
<b>F</b>	<b>EN 12464-1:2021</b>	Leuchtdichtegrenzen von Leuchten mit nach unten gerichtetem Lichtstrom: siehe 5.9.2 Tabelle 7

<b>G</b>	<b>EN 12464-1:2021</b>	Reflexblendung: siehe 5.2.1, 5.5.4 und 5.9.1 (Position der Leuchten)
<b>H</b>	<b>EN 12464-1:2021</b>	Gleichmäßigkeit, siehe: 7.; Tabelle 34-Büros
<b>I</b>	<b>EN 12464-1:2021</b>	Farbwiedergabe, siehe: 5.7.3 und 7.; Tabelle 34-Büros
<b>J</b>	<b>EN 12464-1:2021</b>	Modelling, siehe: 3.2 und 5.6.3
<b>K</b>	<b>EN 12464-1:2021</b>	Wartungsfaktor, siehe 6.3
<b>L</b>	<b>EN 12464-1:2021</b>	Mindestanforderung zu Flimmern und stroboskopische Effekte, siehe 5.8 und Ökodesign-Verordnung (EU) 2019/2020
<b>M</b>	<b>DIN/TS 67000:2022</b>	DIN/TS 67000-20226.2.3 Altersabhängigkeit des Auges, 6.3 Zielwert MEDI
<b>N</b>	<b>Emotionale Lichtwirkung</b>	Konzept der architektonischen Lichtplanung mit drei Lichtarten – ambient luminescence, focal glow und play of brilliants – deren Zusammenspiel gute Orientierung und emotionale Wirkung im Raum ermöglicht, von <a href="#">Richard Kelly</a> .
<b>O</b>	<b>Automatischer Tageslichtverlauf</b>	Forschung zu positiven Auswirkungen von automatischen Lichtverläufen von <a href="#">Dr. Johannes Zauner M. sc.</a> und <a href="#">Brown et al.</a>
<b>P</b>	<b>Farbwiedergabe (CRI/R<sub>a</sub>)</b>	Kennwert für die Farbtreue einer Lichtquelle im Vergleich zum Referenzlicht; die EN 12464-1 fordert für die meisten Tätigkeiten CRI/R <sub>a</sub> > 80, höhere Werte stehen für bessere Farbqualität.
<b>Q</b>	<b>Leuchtenform und Ausstrahlrichtung</b>	Form und Lichtverteilung von Leuchten beeinflussen Wahrnehmung, Blendung und Raumatmosphäre: Direkt/indirekte und akzentuierende Lichtanteile wirken angenehmer, reduzieren Kontraste, erhöhen die Raumwirkung und fördern Wohlbefinden, während rein diffuses Licht als emotional wenig anregend empfunden wird. Spitze Winkel und stark zulaufende Geometrien erzeugen in der visuellen Wahrnehmung eine erhöhte Spannung und bündeln die Aufmerksamkeit. In gestalterischen Theorien – etwa im Feng Shui – werden solche Formen als potenziell störend für eine ausgewogene Raumwirkung beschrieben. In der Gestaltungspraxis werden daher häufig abgerundete oder ausgewogene proportionierte Geometrien eingesetzt, um visuelle Ruhe zu fördern.
<b>R</b>	<b>Tageslichtversorgung (EN 17037)</b>	Europäische Norm zur Planung von Tageslicht in Gebäuden mit Fokus auf Helligkeit, Aussicht, Besonnung und Blendschutz; definiert Mindestanforderungen an den Tageslichtquotienten (TQ) zur Förderung von Gesundheit und Wohlbefinden. <a href="#">Dr. Johannes Zauner M. sc.</a> errechnete die Tageslichtautonomie mit TQ vertikal >6,5.
<b>S</b>	<b>Aussicht und Außenbezug (EN 17037)</b>	Sichtverbindung zum Außenraum zur Orientierung im Tages- und Jahresverlauf; eine klare, unverzerrte Aussicht unterstützt Wohlbefinden, visuelle Entlastung und das Sicherheitsgefühl der Nutzer.
<b>T</b>	<b>Emotionale Farbwirkung (HCD)</b>	Gezielte Farbgestaltung beeinflusst Emotionen, Wahrnehmung und Verhalten positiv und unterstützt durch eine klare Farbhierarchie eine intuitive, stimmige Nutzererfahrung.
<b>U</b>	<b>Digitaler Augenstress (CVS)</b>	Augenbelastung durch Bildschirmarbeit, verursacht durch reduzierte Blinzelfrequenz, dauerhafte Nahfokussierung und hohe Blauanteile von Displays, die zu Ermüdung und visuellen Beschwerden führen können.
<b>V</b>	<b>Raumakustik</b>	Wesentliches Wohlfühlkriterium, bei dem kurze Nachhallzeiten das Sprachverständnis verbessern; schallabsorbierende Flächen, Möbel und Leuchten reduzieren Reflexionen und verhindern akustische Überlagerungen.
<b>W</b>	<b>EPD (Environmental Product Declaration), Lichtstromerhalt und Nutzlebensdauer</b>	Standardisierte Umwelt-Produktdeklaration, die die Umweltauswirkungen eines Produkts über seinen gesamten Lebenszyklus transparent darstellt. Lichtstromrückgang und Nutzlebensdauer: Beschreibt den Lichtstromerhalt einer Leuchte (z.B. L80, L90) und deren funktionale Lebensdauer (z.B. 50.000h); gemeinsam sind sie die aussagekräftigsten Kriterien für Energieeffizienz und Nachhaltigkeit.

## Zielsetzung des XAL-Lighting Score:

Arbeitgeber, Errichter bzw. Planer einer Beleuchtungsanlage können einfach bestehende Anlagen bewerten, bzw. Zielvorgaben für die Elektroplanung bzw. für die Ausschreibungstexte festlegen. Die geplante Qualität steht in direkten Zusammenhang mit der Steigerung der Motivation, der Leistungsfähigkeit und dem Wohlbefinden der Nutzer. Durch die gesamtheitliche Betrachtungsweise sind die gestaffelten Lichtqualitäten von Planungsbeginn bekannt. Die aus der Praxis bekannte Problematik, dass anfänglich von der billigsten Licht-Lösung ausgegangen wird und im Anschluss für höhere Lichtqualitäten kein Budget vorhanden ist, kann durch den Lighting Score abgewendet werden.

## Verfügbarkeit

Der Lighting Score ist als free download auf Homepage [www.xal.com](http://www.xal.com) abrufbar.

