



Human Centric Lighting – Praxiswissen und Planungsstrategie

Mit dem Begriff des „Human Centric Lighting“ hat sich das Verständnis von Lichtqualität um die Aspekte Gesundheit und Wohlbefinden erweitert. Dieses Whitepaper erklärt die Wirkung des Lichts auf uns Menschen und zeigt, aus welchen Bausteinen ein Human Centric Lighting Konzept besteht. Unser AAA-Ansatz und eine Case Study helfen Ihnen, Human Centric Lighting in Ihren Projekten zu realisieren.

Einführung	3
Was ist Human Centric Lighting?	4
Welche Vorteile bietet Human Centric Lighting?	5
Worin besteht der Unterschied zwischen guter Lichtplanung früher und Human Centric Lighting heute?	6
Welche Eigenschaften von Licht haben Relevanz für den circadianen Rhythmus?	7
Human Centric Lighting ist nicht ausschließlich tunable white	9
AAA – der ERCO Ansatz für Human Centric Lighting	10
Case Study: Human Centric Lighting im Büro	11
Checkliste für die Planung	13
Literatur	14

Einführung

Künstliche Beleuchtung ist mehr, als nur Licht zum Sehen. Licht macht Architektur erlebbar, unterstützt die Orientierung und verleiht Räumen Atmosphäre. Seit Jahrzehnten setzen Lichtplaner diesen wahrnehmungsbasierten Planungsansatz erfolgreich um. Dennoch hat sich in den letzten Jahren der vergleichsweise junge Begriff des „Human Centric Lighting“ durchgesetzt. Was sich dahinter verbirgt und warum Human Centric Lighting vor allem eine planerische Haltung ist wird in diesem Whitepaper erklärt. Anhand eines Büros zeigen wir Ihnen, wie Sie Architektur, Aktivität und Atmosphäre in Ihr Human Centric Lighting Konzept integrieren können und was das in der Praxis bedeutet.



Was ist Human Centric Lighting?

Human Centric Lighting verbindet Licht für gutes Sehen mit dem Licht, dass emotionale und biologische Bedürfnisse berücksichtigt. Eine noch differenziertere Definition gibt der Zentralverband der deutschen Elektroindustrie: „Licht wirkt vielfältig und immer – visuell, emotional und biologisch. Human Centric Lighting (HCL) unterstützt zielgerichtet und langfristig die Gesundheit, das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit des Menschen durch ganzheitliche Planung und Umsetzung der visuellen, emotionalen und insbesondere der biologischen Wirkungen von Licht.“ (Zentralverband Elektrotechnik- und Elektroindustrie, 2016). Zusammengefasst sind also drei Faktoren für die Praxis relevant: Die visuelle, emotionale und biologische Lichtwirkung.

Die ersten wissenschaftlichen Belege für die emotionale und biologische Lichtwirkung gehen auf die 1960iger zurück mit Versuchen ohne Tageslicht in einem Bunker, um zu zeigen wie Licht den circadianen Rhythmus beeinflusst (Aschoff, 1965). In 2001 trugen die Forschungen von George Brainard und Kavita Thapan wesentlich dazu bei, mehr über den Biorhythmus des Menschen zu verstehen: Sie haben die Wirkfunktion anhand der Unterdrückung des Hormons Melatonin beschrieben und dies einem Rezeptor im Auge zugeschrieben (Brainard et al., 2001; Thapan et al., 2001). Neben den bekannten Zapfen und Stäbchen beschrieb kurze Zeit später David Berson die photosensitive Ganglienzellen als weiteren Photorezeptor im Auge als circadianen Rhyth-

musgeber (Berson, 2002). Die Rezeptoren ermöglichen also dem menschlichen Auge nicht nur das Sehen, sondern auch das Synchronisieren der inneren Uhr durch Licht. Aus diesen Erkenntnissen zog die Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) den Begriff „integrative Beleuchtung“, die neben den physiologischen auch die psychologischen Wirkungen der Beleuchtung betrachtet. Weitere Diskussionen in diesem Diskurs führten zu einer Ausweitung der Begriffsdefinition „Licht“, das von der CIE seit 2020 nicht mehr allein auf das Phänomen des Sehens beschränkt wird, sondern auch nicht-visuelle Reaktionen einschließt.

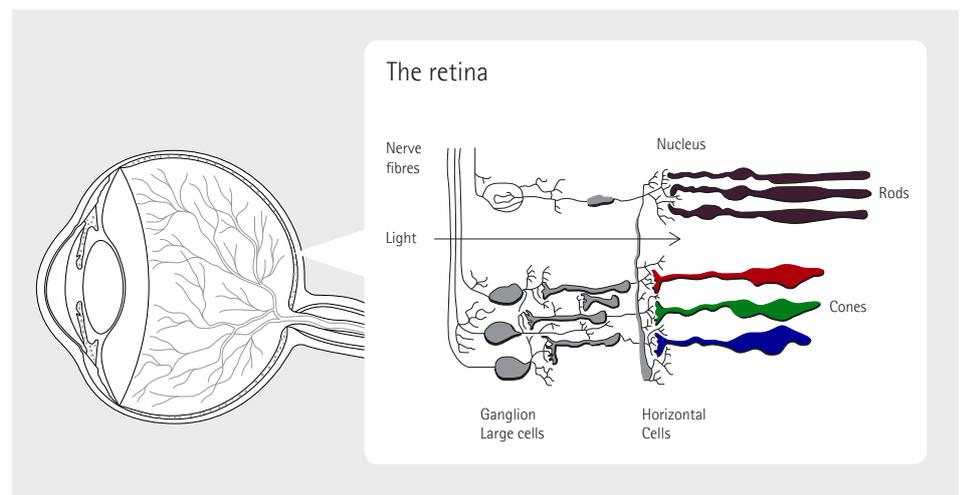


Abb. 1: Mithilfe von Stäbchen und Zapfen nehmen wir die Umgebung visuell wahr, die melanopsin-haltigen Ganglienzellen steuern biologische Effekte.

Welche Vorteile bietet Human Centric Lighting?

Eine Lichtplanung, die neben der visuellen Wirkung von Licht auch die emotionale und biologische Dimension mit einbezieht, schafft weitaus mehr als „nur gutes Licht“. Sie ist außerdem ein positiver Faktor in der Wertschöpfungskette: vom Bauherren, der den Immobilienwert steigert, über den Nutzer, der in einem Büro von einem Arbeitsumfeld mit besserer Lichtqualität und höherem Wohlbefinden profitiert, bis hin zum Planer, der mit HCL ein differenziertes Leistungsbild anbieten kann.

- ✓ **Wertsteigerung für Investoren**
Centric Lighting ergibt sich zum Beispiel im Zusammenhang mit Gebäudezertifizierungen. Neben den Kriterien für Wohlbefinden und den Sehkomfort wird hier auch die circadiane Lichtplanung in Hinblick auf die Gesundheit bewertet. Oft geht damit eine digital gesteuerte, dynamische Veränderung des Lichts einher, die heute über eine funkbasierte Steuerung ohne zusätzliche Verkabelung umzusetzen ist.
- ✓ **Attraktivität und Produktivität für Unternehmer steigern**
Mit Human Centric Lighting schaffen Arbeitgeber ein attraktives Arbeitsumfeld, das auf die individuellen Bedürfnisse der Mitarbeiter zugeschnitten ist. So werden flexible Beleuchtungskonzepte auch den unterschiedlichen und oft wechselnden Raumkonzepten für kreative und produktive Arbeitsprozessen gerecht. Kommt die Beleuchtung nur dort zum Einsatz, wo sie benötigt wird, leisten Unternehmen außerdem einen wichtigen Beitrag zur Nachhaltigkeit und Corporate Social Responsibility. So entsteht ein wettbewerbsfähiges Arbeitsumfeld, das auch bei der Suche nach Fachkräften punkten kann.
- ✓ **Flexibilität und Autonomie für Nutzer**
Eine selbstbestimmte Anpassung der Beleuchtung wirkt sich positiv auf das Wohlbefinden der Mitarbeiter. Die Steuerung der Beleuchtung gemäß der unterschiedlichen Arbeitssituationen sowie der individuellen Bedürfnisse fördert die Motivation und Kreativität. So kann Licht optimal auf die ganz individuelle Sehleistung und Sehgewohnheit abgestimmt werden.
- ✓ **Ganzheitliche Gestaltungsstrategie für Planer**
Architekten stehen vor der gestalterischen Aufgabe, das Tages- und Kunstlicht visuell, emotional und biologisch mitzudenken. Lichtplaner bringen dabei ihre fachliche Kompetenz im Planungsprozess ein. Die unterschiedlichen Funktionsbereiche werden so entsprechend der Nutzungszeiten und der Sehaufgaben geplant.

Worin besteht der Unterschied zwischen guter Lichtplanung früher und Human Centric Lighting heute?

Die Überzeugung, dass gute Lichtplanung den Menschen in den Mittelpunkt stellt, gab es schon vor dem Begriff „Human Centric Lighting“: Bereits in den 1950er Jahren unterschied der amerikanische Lichtplaner Richard Kelly zwischen drei Beleuchtungsarten: „Licht zum Sehen“ (ambient luminescence), „Licht zum Hinsehen“ (focal glow) und „Licht zum Ansehen“ (play of brilliants). Er fokussierte sich auf das Sehen für Aktivitäten, bezog aber ebenfalls das Wohlbefinden in der Architektur mit ein (Kelly, 1952).

Etwa 20 Jahre später erweiterte William M.C. Lam den Ansatz aus der Perspektive des Architekten und forderte eine differenzierte Analyse der Sehaufgaben nach Ort, Art und Häufigkeit (Lam, 1977). Er war überzeugt, dass die unbewussten Bedürfnisse des Menschen durch gute Lichtplanung gefördert werden könnten. Ist die Beleuchtung im Innenraum zudem an die Lichtverhältnisse von Tag und Nacht angepasst, unterstützen sie die innere Uhr des Menschen. (Lam, 1977).

Die Forschungsergebnisse von Brainard, Berson und Thapan zum Photorezeptor und dem circadianen Rhythmus Anfang 2000 belegten wissenschaftlich die Relevanz des Faktors Zeit für die Lichtplanung. Für Konzepte im Sinne von Human Centric Lighting war allerdings auch eine technische Innovation ausschlaggebend: Die Kombination der LED-Technologie mit veränderbaren Farbtemperaturen und digitaler Vernetzung, ermöglichte eine variable und flexible Beleuchtung. Seit etwa 2015 manifestierte sich der Begriff „tunable white“, der die Technik beschreibt, das Spektrum von Leuchten entlang des Planck'schen Kurvenzugs zu ändern.

In Fachkreisen, die unterschiedlichen Beleuchtungsaspekte wie Helligkeit, Farbtemperatur, Farbwiedergabequalität und Wohlbefinden mit dem Begriff „Lichtqualität“ zusammenfassen, hat sich seit 2013 die Bezeichnung „Human Centric Lighting“ stark verbreitet (Lighting Europe, 2013). Der wesentliche Unterschied besteht darin, dass Human Centric Lighting mit seinem umfassenden Planungsansatz stärker als zuvor die visuellen, emotionalen und biologischen Aspekte in der Lichtplanung berücksichtigt. Erste Planungsempfehlungen von Verbänden und Institutionen zeigen, wie eine biologisch wirksame Beleuchtung konzipiert wird, zum Beispiel mit der DIN SPEC 67600. Auch in Bezug auf die Zertifizierung von Gebäuden für Gesundheit und Wohlbefinden, spielt die Beleuchtung eine entscheidende Rolle (DIN, 2013; International WELL Building Institute, 2021).

Schon früh hat sich ERCO zu guter Lichtqualität und menschlichem Wohlbefinden in der Architektur geäußert: In der ersten Ausgabe des Kundenmagazins „Lichtbericht“ von 1977 thematisiert ERCO die Blendungsbegrenzung mit ihrer Gestaltung und Wirtschaftlichkeit. In darauffolgenden Ausgaben zeigte der Lichtbericht auf, wie durch Bildschirmarbeit die vertikalen Sehaufgaben bei der Arbeit zugenommen haben und plädierte dafür, Licht stärker dynamisch zu begreifen und passend zur aktuellen Nutzung zu verwenden. Mit dem „Handbuch der Lichtplanung“ (1992) und dem Fachbuch „Lichtpositionen zwischen Kultur und Technik“ (2009) betonte ERCO erneut die wichtige Rolle qualitativer Lichtplanung. 2010 führte das Unternehmen den Begriff „Effizienter Sehkomfort“ ein – ein weiterer Impuls, Beleuchtung als umfassende Planungsstrategie zu begreifen. Für ERCO bedeutet Human Centric Lighting, diese Haltung konsequent weiterzuentwickeln und die Lichtplanung noch stärker auf das Wohlbefinden des Menschen und dessen circadianen Rhythmus abzustimmen.

Welche Eigenschaften von Licht haben Relevanz für den circadianen Rhythmus?

Vier Aspekte von Licht zählen zu den wesentlichen Merkmalen der non-visuellen Wahrnehmung: Zeit, Helligkeit, Spektrum und Lichtverteilung (Houser et al., 2021). Da sich diese Parameter unterschiedlich stark auf den circadianen Rhythmus auswirken, ist eine Priorisierung in der Planung empfehlenswert. Wir geben Ihnen nachfolgend eine Orientierungshilfe:

Zunächst einmal widmen wir uns dem Faktor Zeit, da die unterschiedlichen Lichtverhältnisse von Tag und Nacht für die innere Uhr immens ausschlaggebend sind. Da sich Menschen überwiegend in Innenräumen aufhalten, gilt es, die zeitlichen Muster von Tageslicht, Beleuchtung und der inneren Uhr bestmöglich zu synchronisieren. Hierbei ist zu beachten, dass eine Orientierung am Tageslicht nur relativ, aber nicht in absoluten Werten erfolgen kann. Auch das Lebensalter beeinflusst die nicht-visuelle Lichtwirkung: Ab 32 Jahren geht man von einem Mehrbedarf pro Lebensjahr von etwa 2% bei der Beleuchtungsstärke aus, um Alterserscheinungen wie Pupillenreduktion und Trübung zu berücksichtigen (DIN, 2015).

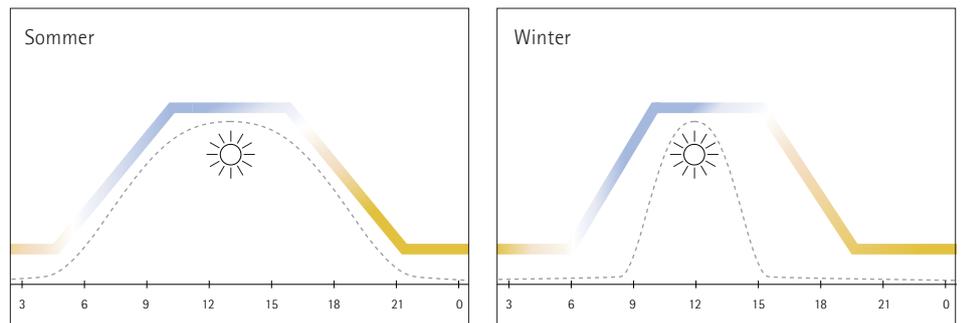


Abb. 2.1 und 2.2: Sommer und Winter führen in vielen Regionen zu unterschiedlichen natürlichen Tageslichtverläufen. Im Sommer verhält sich die künstliche Beleuchtung annähernd analog zum natürlichen Tageslichtverlauf, im Winter verlängert die Beleuchtung die Tagesphase. Entsprechend des circadianen Rhythmus

ist für den Morgen eine kühle Farbtemperatur, für den Abend eine warmweiße Lichtfarbe empfehlenswert.

Welche Eigenschaften von Licht haben Relevanz für den circadianen Rhythmus?

Helligkeit und Spektrum sollten als nächstes priorisiert werden. Für die innere Uhr sind die kürzeren Wellenlängen relevant, um über das non-visuelle System beispielsweise die Ausschüttung des Hormons Melatonin (Abb. 3) zu beeinflussen, das den Tag-Nacht-Rhythmus des Organismus steuert. Während im Auge für das normale Sehen die höchste Lichtempfindlichkeit (Abb. 4) bei 555nm liegt, kann sie für die nicht-visuelle Wahrnehmung bei 490nm liegen (CIE, 2018; Industry Standards Organization / Commission Internationale de l'Eclairage, 2019).

Abb. 3: Die Hormone Cortisol und Melatonin wirken antizyklisch. Morgens produziert der Körper vermehrt Cortisol, um Stoffwechselfvorgänge zu aktivieren, die Konzentration im Blut fällt im Laufe des Tages wieder ab. Die Konzentration von Melatonin ist nachts um 3 Uhr am höchsten.

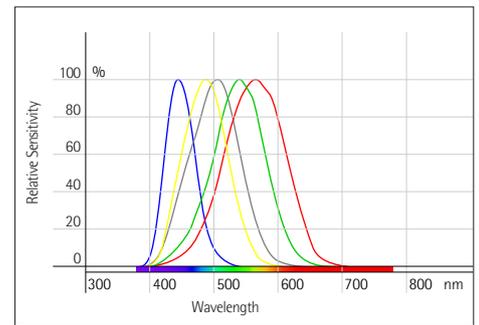
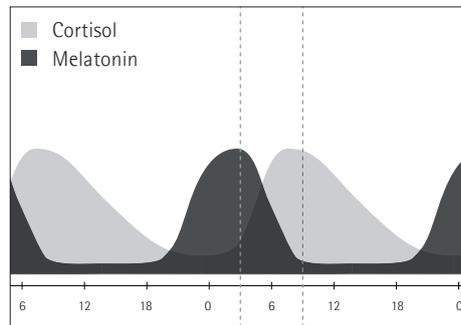
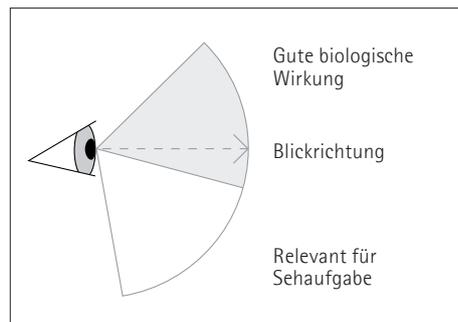


Abb. 4: Die Lichtempfindlichkeit der Zapfen, der Stäbchen und der melanopsinhalten Ganglienzellen unterscheiden sich stark voneinander. Für die nicht-visuelle Wahrnehmung liegt die höchste Empfindlichkeit bei 490nm.

Im normalen Arbeitsumfeld ist die Farbwidrigkeit hoch und für einen recht neutralen Weißdruck liegt die Farbtemperaturen bei etwa 3000 bis 5000K: Ausschlaggebend für die nicht-visuellen Reaktionen ist demnach nicht die Farbtemperatur, sondern die Beleuchtungsstärke (vgl. Houser et al., 2021).

Wie sich die räumliche Verteilung von Licht im Sehfeld (Abb. 5) für non-visuelle Reaktionen auswirkt, ist noch nicht im Detail erforscht. Einige Untersuchungen weisen darauf hin, dass Licht im oberen Sehfeld wirksamer für non-visuelle Reaktionen ist als im unteren Bereich (Glickman et al., 2003).

Abb. 5: Da sich die Fotorezeptoren für biologische Lichtwirkungen vorwiegend im unteren Bereich der Netzhaut befinden, ist für die non-visuelle Wahrnehmung das Licht am wirksamsten, das in etwa -15° bis +45° gegenüber der Horizontalen einfällt.



Human Centric Lighting ist nicht ausschließlich tunable white

Nicht einzelne technischen Eigenschaften einer Leuchte, sondern die differenzierte Betrachtungsweise der Lichtwirkung zeichnet Human Centric Lighting aus. Häufig wird in der Kommunikation der Begriff „tunable white“ als Synonym für Human Centric Lighting verwendet. Allerdings deckt diese Eigenschaft nur einen der vier wesentlichen Beleuchtungsparametern des ganzheitlichen Planungsansatzes ab. Eine ganze Büroetage einheitlich mit tunable white Leuchten auszustatten, ignoriert, dass unterschiedliche Nutzungsbereiche unterschiedliche Lichtverteilungen benötigen. Zum einen, um der Sehaufgabe gerecht zu werden, zum anderen aber auch, um Monotonie zu umgehen und stattdessen eine differenzierte Atmosphäre zu schaffen und Funktionsbereiche Architektur zu gliedern. Im Vergleich zum Faktor Zeit wird dabei schnell das Spektrum als Parameter für die biologische Wirkung überschätzt.

AAA – der ERCO Ansatz für Human Centric Lighting

Human Centric Lighting beschreibt keinen komplett neuen Planungsansatz, da wahrnehmungsorientierte Lichtplanung bereits seit Langem bekannt ist. Dennoch stellt sich die Frage, mit welcher Methode eine entsprechend effiziente Lichtlösung gefunden werden kann. Da es sich bei Human Centric Lighting um einen ganzheitlichen Ansatz handelt, empfehlen wir, die folgenden Aspekte mit einzubeziehen: Architektur – Aktivität – Atmosphäre. Mit diesen drei Begriffen lässt sich sowohl das Projekt analysieren als auch der Entwurf überprüfen.



Licht für Architektur

- Vertikale Flächen beleuchten:
Verbessern Sie durch gleichmäßig beleuchtete Wände die räumliche Wahrnehmung.
- Funktionsbereiche trennen:
Beleuchten Sie Räume oder Bereiche entsprechend ihrer Funktion.
- Architekturelemente betonen:
Bilden Sie Wahrnehmungshierarchien, indem Sie zum Beispiel die Tragstruktur mit Akzentbeleuchtung hervorheben.
- Materialien beachten:
Stimmen Sie die Lichtrichtung auf die Textur von Oberflächen ab, so betont etwa Streiflicht stark strukturierte Materialien.
- Montageort wählen:
Integrieren Sie die Leuchten durch passende Montageart, Leuchtenform und Anordnung in die Architektur.
- Auf Sehkomfort achten:
Setzen Sie auf hohen Sehkomfort durch gut abgeblendete Leuchten, die die Struktur des Raumes blendfrei nachzeichnen

Licht für Aktivität

- Helligkeitsniveau abstimmen:
Schaffen Sie eine attraktive Lichtstimmung, indem Sie das Helligkeitsniveau auf die Sehaufgabe und die angrenzenden Bereiche abstimmen.
- Blendung vermeiden:
Achten Sie auf gut abgeblendete Leuchten und die richtige Leuchtenanordnung, um Nutzer effektiv bei ihren Sehaufgaben durch blendfreies Licht zu unterstützen.
- Tageszeit beachten:
Stimmen Sie die Beleuchtungsstärke und die Lichtfarbe auf das natürliche Licht ab.
- Gesichtserkennung erleichtern:
Unterstützen Sie die zwischenmenschliche Kommunikation durch ausgewogene Beleuchtungsverhältnisse auf den Gesichtern.
- Raumfunktionen beachten:
Planen Sie eine zonierte Beleuchtung, um auf unterschiedliche Nutzungsanforderungen reagieren zu können.

Licht für Atmosphäre

- Räumliche Orientierung bieten:
Erleichtern Sie die räumliche Orientierung, indem Sie Eingänge, Wege und vertikale Flächen mit Licht hervorheben.
- Zeitliche Orientierung schaffen:
Ermöglichen Sie eine zeitliche Orientierung, indem Sie den natürlichen Tagesverlauf in Lichtszenen abbilden.
- Hierarchien schaffen:
Erzeugen Sie Wahrnehmungshierarchien, indem sie wichtige Bereiche im Raum durch Helligkeitsschwerpunkte hervorheben.
- Individuell einstellbar:
Erlauben Sie Nutzern, das Licht nach persönlichen Präferenzen zu dimmen oder zwischen Lichtszenen zu schalten.
- Sehkomfort beachten:
Achten Sie durch gut abgeblendete Leuchten und die richtige Leuchtenanordnung darauf, dass Nutzer nicht geblendet werden.

Da sich viele Menschen im Arbeitsalltag überwiegend in geschlossenen Räumen aufhalten, ist eine gute Beleuchtung entscheidend für das Wohlbefinden und die Gesundheit. Mit der Strategie „Licht für Architektur, Aktivität und Atmosphäre“, lässt sich so zum Beispiel eine ganzheitliche Lichtplanung für ein Büro entwickeln.

Licht für Architektur

Mit einer homogenen Wandflutung wird die Wand im Büro als Ganzes betont und trägt damit maßgeblich zum Helligkeitseindruck bei. Helle vertikale Flächen schaffen ein ideales Kontrastverhältnis zwischen Bildschirm und Raum. Eine aufgehellte Decke gibt der Architektur zusätzlich Höhe.



Licht für Aktivität

Die zonierte Beleuchtung der Schreibtische gliedert den Raum und garantiert hohen Sehkomfort am Arbeitsplatz. Die Montage an der Stromschiene ermöglicht eine flexible Positionierung, die individuell an jede Nutzung angepasst.



Licht für Atmosphäre

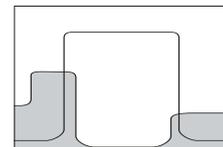
Blickpunkte beleben den Raum und schaffen Atmosphäre. Helligkeitskontraste heben Objekte wirkungsvoll hervor und erzeugen damit eine Wahrnehmungshierarchie. In ähnlicher Form inszenieren Scheinwerfer im Außenraum den Baum als Blickfang.





Ganzheitliche Lichtplanung als Ergebnis der 3 x A

Human Centric Lighting ergänzt den Begriff der Lichtqualität um die Aspekte Gesundheit und Wohlbefinden. Die Lichtebenen für Architektur, Aktivität und Atmosphäre helfen dabei ein ganzheitliches Konzept zu entwickeln. Die Beleuchtung lässt sich so zu jeder Tageszeit auf die Bedürfnisse der Nutzer ausrichten.



Flexible Lichtsteuerung
Nutzen Sie Sensoren und Timer, um das Helligkeitsniveau der drei Lichtebenen automatisch dem Tageslichtverlauf anzupassen. So wird Energie gespart und zur Tageszeit passende Lichtstimmung erzeugt, zusätzlich besteht die Option das Licht individuell anzupassen.

Checkliste für die Planung

- ✓ **Ganzheitlich denken:**
Planungsstrategien sollten die drei Aspekte Architektur, Aktivitäten und Atmosphäre mit Licht unterstützen.
- ✓ **Licht statt Leuchten:**
Entwickeln Sie Lösungen über die Lichtwirkung im jeweiligen Raum und nicht auf Basis einzelner Leuchten.
- ✓ **Vertikale Beleuchtung:**
Konzentrieren Sie sich auf die Beleuchtung vertikaler Flächen bevor Sie die horizontale Beleuchtung in ihr Lichtkonzept mit aufnehmen.
- ✓ **Tageslicht als Basis:**
Eine gute Orientierung bietet der natürliche Tagesverlauf mit den sich ständig verändernden Helligkeiten und Farbtemperaturen.
- ✓ **Prioritäten setzen:**
Berücksichtigen Sie die Reihenfolge der Beleuchtungsparameter bei der circadianen Lichtplanung: Zeit, Beleuchtungsstärke, Spektrum und Lichtverteilung.
- ✓ **Helligkeit anpassen:**
Helligkeit am Tag und gedimmtes Licht zum Abend wirken sich positiv auf die innere Uhr aus.
- ✓ **Spektrum variieren:**
Mit kühlen Farbtemperaturen tagsüber und warmen Lichtfarben abends unterstützen Sie den circadianen Rhythmus.
- ✓ **Technologie beachten:**
High-Tech Leuchten sind keine Garantie für Human Centric Lighting.
- ✓ **Sehkomfort beachten:**
Erreichen Sie hohen Sehkomfort durch die richtige Abblendung der Leuchten. Vermeiden Sie Streulicht und achten Sie auf eine passende Leuchtenanordnung, damit keine Reflexblendung entsteht.

Literatur

- Aschoff, Jürgen (1965) Circadian rhythms in man, *Science*, 148, pp. 1427-1432.
- Berson, D. et al. (2002) Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock, *Science* 295 (5557), pp. 1070-1073. doi: 10.1126/science.1067262.
- Brainard, G. C. et al. (2001) 'Action Spectrum for Melatonin Regulation in Humans: Evidence for a Novel Circadian Photoreceptor', *The Journal of Neuroscience*, 21(16), pp. 6405-6412. doi: 10.1523/JNEUROSCI.21-16-06405.2001.
- CIE (2018) CIE System for Metrology of Optical Radiation for ipRGC - Influenced Responses to Light. Vienna.
- DIN (2013) Biologically effective illumination - Design guidelines - DIN SPEC 67600:2013-04. Berlin. Available at: <https://www.beuth.de/de/technische-regel/din-spec-67600/170956045>.
- DIN (2015) Optical radiation physics and illuminating engineering - Part 100: Melanopic effects of ocular light on human beings - Quantities, symbols and action spectra - DIN SPEC 5031-100:2015-08. Berlin.
- Glickman, G. et al. (2003) 'Inferior Retinal Light Exposure Is More Effective than Superior Retinal Exposure in Suppressing Melatonin in Humans', *Journal of Biological Rhythms*, 18(1), pp. 71-79. doi: 10.1177/0748730402239678.
- Houser, K. et al. (2021) 'Human-centric lighting: Myth, magic or metaphor?', *Lighting Research & Technology*, 53(2), pp. 97-118. doi: 10.1177/1477153520958448.
- Houser, K. W. (2021) 'It's Official, Light is Not Just for Vision', *LEUKOS*, 17(2), pp. 107-107. doi: 10.1080/15502724.2021.1885271.
- Industry Standards Organization / Commission Internationale de l'Eclairage (2019) ISO/CIE 1164-1:2019. Colorimetry - Part 1: CIE standard colorimetric observers.
- International WELL Building Institute (2021) Light, WELL v2. Available at: <https://v2.wellcertified.com/v/en/light>.
- Kelly, R. (1952) 'Light as an Integral Part of Architecture', *College Art Journal*, 12(1), pp. 24-30.
- Lam, W. M. C. (1977) Perception and lighting as formgivers for architecture. New York: McGraw-Hill.
- Lighting Europe (2013) Human Centric Lighting: Going Beyond Energy Efficiency. Brussels. Available at: https://www.lightingeurope.org/images/publications/general/Market_Study-Human_Centric_Lighting._Final_July_2013.pdf.
- Thapan, K. et al. (2001) An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans, *The Journal of Physiology*, 535, pp. 261-267. doi: 10.1111/j.1469-7793.2001.t01-1-00261.x.
- Zentralverband Elektrotechnik- und Elektroindustrie (2016) Der Einsatz von Human Centric Lighting (HCL) ermöglicht das richtige Licht für jede Tageszeit. Frankfurt am Main. Available at: https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2016/september/Der_Einsatz_von_Human_Centric_Lighting__HCL__ermoeglicht_das_richtige_Licht_fuer_jede_Tageszeit/Einsatz-Human-Centric-Lighting-Positionspapier.pdf.