OIAZ
166 WISSENSCHAFT & PRAXIS
September 2021

ÖSTERREICHISCHE
INGENIEUR-UND
ARCHITEKTEN-ZEITSCHRIFT

The JOURNAL of OIAV

ÜBER DIE **ENERGIEEFFIZIENZ** HINAUSGEHENDE **NEUE MÖGLICHKEITEN** VON **LED-BELEUCHTUNG**

in Innenräumen mit der weltweit patentierten PI-LED – Technologie aus Österreich

GOING BEYOND ENERGY EFFICIENCY, NEW POSSIBILITIES FOR LED INDOOR-LIGHTING WITH THE WORLDWIDE PATENTED PI-LED TECHNOLOGY FROM AUSTRIA

Peter Haumer
Head of Technical Sales
LUMITECH Lighting Solution GmbH *(Privatfoto)*

KURZFASSUNG
Aufgrund der ungebrochenen Entwicklung zu einer Indoor-Gesellschaft, und darüber hinaus durch die deutliche Zunahme des Bevölkerungsanteils von älteren Menschen, ist gutes und richtiges Licht wichtiger denn je. An die Allgemeinbeleuchtung in Innenräumen werden somit immer höhere Anforderungen gestellt und sie steht demzufolge namentlich betreffend Energieverbrauch (und damit Klimaschutz) sowie immer mehr bezüglich Bedarf an erhöhte Lichtqualität im verstärkten Fokus.

ABSTRACT
Due to the unbroken development towards an indoor society and also due to the significant increase in the population of older people, good and correct light is more important than ever. As a result, the general lighting in interior spaces is subject to ever increasing demands, and consequently there is an increasing focus on energy consumption (and thus climate protection) as well as the need for increased quality of light.

1. RICHTIGES UND GESUNDES LICHT IN INNENRÄUMEN

1.1. Voraussetzungen

Zu jeder Tageszeit ist richtiges Licht absolut notwendig für Gesundheit und Wohlbefinden. Im Folgenden soll gezeigt werden, warum die Nachahmung realer Tageslichtbedingungen mit erweiterten Tageslichtkurven, einer direkten und einer indirekten Komponente (CCT 1.800–16.000 K) neben vollem kontinuierlichen Spektrum und hoher Farbwiedergabe unerlässlich ist.

Eine ganzheitliche melanopische Lichtlösung trägt dazu bei, das Wohlbefinden, die Vitalität, die Gesundheit, die Aufmerksamkeit, die Konzentration, die Genesung, die Stressreduktion, die Entspannung sowie den natürlichen Schlaf-Wach-Rhythmus positiv zu beeinflussen.

Mit dynamischen Lichtlösungen können darüber hinaus aber auch neue, veränderbare Raumatmosphären erzeugt werden.

1.2 Medizin-Nobelpreis

Der Nobelpreis für Medizin 2017 wurde für die Forschungen zum zirkadianen Rhythmus an die US-Amerikaner Jeffrey C. Hall, Michael Rosbash und Michael W. Young verliehen.

Der natürliche Tag-Nacht-Rhythmus ist darauf ausgelegt, dem Menschen in der Dunkelphase ein Optimum an Schlaf und Erholung und in der Hellphase ein Maximum an Vitalität und Leistung zu ermöglichen. Unter dieser Abfolge hat sich im Laufe der Evolution unser Biorhythmus entwickelt – das zirkadiane System. Der zirkadiane Rhythmus wird hauptsächlich durch die Farbtemperatur und Intensität des Lichts beeinflusst bzw. ausgelöst.

Licht ist ein wichtiger sogenannter „Zeitgeber“ für die innere Uhr (Zellrhythmen, Schlaf-Wach - Zyklus, Organ-rhythmen). Auch die Wirkung der Farbtemperatur der typischerweise hinterleuchteten Displays von mobilen Geräten und Computern sowie Laptops ist ein bereits weithin bekannter Aspekt. App-Anwendungen, welche die Farbtemperatur benutzergesteuert oder zeitgesteuert z.B. gegen Ende des Tages in Richtung warmweiß ändern, sollen das Problem des deutlich späteren und verzögerten Einschlafens reduzieren und sind mittlerweile gebräuchlich. Der Einfluss der Farbtemperatur in diesem Bezug zählt inzwischen zum Allgemeinwissen.

1.3 Indoor-Gesellschaft

Das Wohlbefinden des menschlichen Organismus und aller beteiligten biologischen Prozesse hängen stark von natürlichem Tageslicht ab. Da jedoch große Teile des modernen Lebens in geschlossenen Räumen mit statischer Beleuchtung stattfinden, kann der natürliche Verlauf des Tageslichts nicht mehr wahrgenommen werden.

Dies ist von besonders hoher Relevanz für Bereiche, in denen sich Menschen in der Regel über längere Zeit in Innenräumen aufhalten. Krankenhäuser und Altenheime aber natürlich auch Büros und Arbeitsplätze können hier als Beispiele genannt werden. Es liegt auf der Hand, dass die konventionelle künstliche Beleuchtung mit ihren in den meisten Fällen einheitlichen, unveränderlichen statischen Eigenschaften keine positiven Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit, das Wohlbefinden und die Leistung haben kann.

Natürliches Tageslicht wäre selbstverständlich das beste Licht, ist aber in ganz vielen Fällen z.B. aufgrund urbaner baulicher Situationen und Bedingungen (Stichwort: Abschattung) nicht entsprechend verfügbar.

Des Weiteren kann direkte Sonneneinstrahlung (wenn überhaupt) meist nur in sehr begrenztem Umfang und damit sehr oft in nicht ausreichendem Ausmaß in die Tiefen der Räume eindringen.

1.4 Alternde Gesellschaft

Vor allem in der nördlichen Hemisphäre, zufolge der Spitze der Fruchtbarkeitsraten in den Nachkriegsjahren, ist die Zahl der älteren Menschen im Begriff, sich radikal zu erhöhen. Die „Babyboomer“ bewegen sich immer mehr in Richtung „Alter“ und die Gruppe der über 65-Jährigen wird in den nächsten Jahrzehnten vermutlich viel schneller wachsen als die Gesamtbevölkerung.

Ältere Menschen benötigen aufgrund von fortschreitender altersbedingter Trübung der Augenlinse tendenziell mehr Licht für die Erledigung ihrer Sehaufgaben. Dem kann – als herkömmliche Maßnahme - durch Erhöhung der Lichtintensität Rechnung getragen werden. Alternativ können die Lichtspektren so angepasst werden, dass zur richtigen Tageszeit das richtige Licht zur Verfügung gestellt wird. Bei Zweiterem muss die Lichtleistung nur geringfügig erhöht werden, und das gewünschte Ziel kann mit dem Zusatznutzen von Wohlbefinden und Gesundheit erreicht werden, während darüber hinaus gleichzeitig Energie eingespart werden kann.

Der demografische Wandel zwingt zu einem radikalen Umdenken. Die Gruppe der sogenannten Babyboomer hat höhere Ansprüche, ist technologisch orientierter und hat einen stärker segmentierten und differenzierten Bedarf in Bezug auf ihre Bedürfnisse als frühere Generationen. Um diesen Ansprüchen gerecht zu werden, und natürlich die oben beschriebenen Vorteile zu unterstützen bzw. zu nutzen - um authentisches Human Centric Lighting zu generieren- bedarf es einer ausgeklügelten Steuerungsarchitektur mit der Möglichkeit persönlicher Anpassungen.

1.5 Human Centric Lighting

Human Centric Lighting stellt sich dieser Herausforderung: Es ahmt die spektrale Qualität des natürlichen Tageslichts über den ganzen Tag nach, so dass die menschlichen Hormonspiegel ausgeglichen bleiben - auch unter künstlicher Beleuchtung. Dies hat eine positive Wirkung auf Körper und Geist und Leistungssteigerung und Konzentrationssteigerung sind die Folge [1].

Der nächste Schritt nach der Integration von LED-Quellen in die Allgemeinbeleuchtung besteht also darin, die gegebenen und bestehenden Möglichkeiten zu nutzen, über die Energieeffizienz hinauszugehen und in eines der vielversprechendsten und am schnellsten wachsenden Segmente in der Welt des Lichts zu führen [2,3].

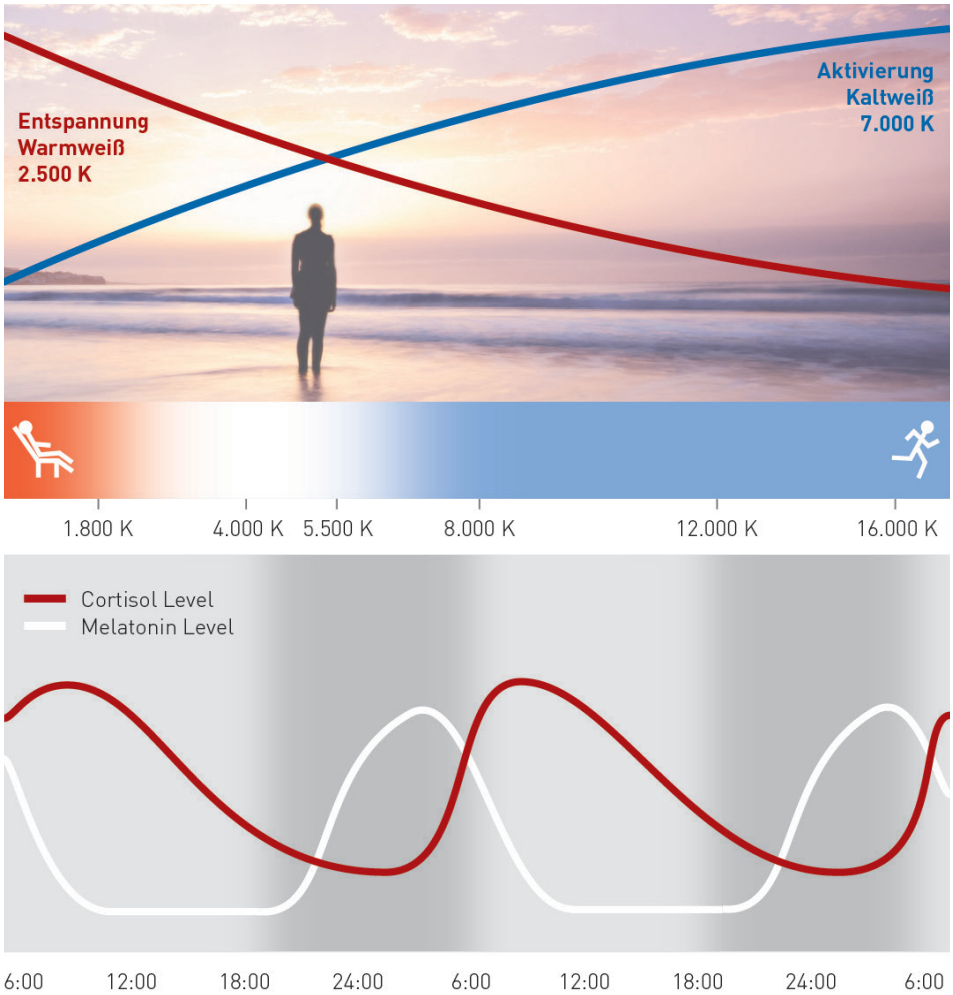

Abb. 1: Die Wirkung verschiedener Farbtemperaturen auf den Menschen / Der zirkadiane Rhythmus bezogen auf Melatonin- u. Cortisol-Niveaus; Quelle LUMITECH

2. DER ZIRKADIANE RHYTHMUS

2.1 Basis

Der Natürliche Tag-Nacht-Rhythmus ist darauf ausgerichtet, es Menschen zu ermöglichen, gut zu schlafen und sich zu regenerieren, während es dunkel ist, und aktiv zu sein und hohe Leistungsniveaus zu erreichen, wenn es tagsüber hell ist. Im Laufe der menschlichen Evolution hat unser Körper auf der Grundlage dieser Sequenz einen Biorhythmus entwickelt – den zirkadianen Rhythmus.

Neben den Stäbchen und Zapfen, die für unser visuelles Sehen verantwortlich sind, verfügt das menschliche Auge auch über sogenannte nicht-visuelle Photorezeptoren, die den zirkadianen Rhythmus spürbar beeinflussen (intrinsisch photosensitive retinale Ganglienzellen [ipRGC] - sensitiv für blaue Spektralwellenlängen). Diese melanopsinhaltigen Rezeptoren steuern unser Hormongleichgewicht, insbesondere die Regulation von Melatonin, Cortisol und Serotonin, die für unser Schlaf-Wach-Muster verantwortlich sind.

Genau hier setzt authentisches Human Centric Lighting auf Basis von PI-LED an – mit dem Ziel, den menschlichen zirkadianen Rhythmus zu unterstützen und die natürliche Melatoninproduktion im Gleichgewicht zu halten.
Das zugrunde liegende Prinzip lautet wie folgt.

2.2 Prinzip

Kaltes Licht mit einem hohen Blau-Anteil hat eine vitalisierende Wirkung und fördert die Freisetzung von Serotonin und Cortisol bei gleichzeitiger Verringerung von Melatonin. Körperliche Fitness, geistige Leistungsfähigkeit und Wachsamkeit werden deutlich erhöht (siehe Abbildung 1).
Warmes Licht mit sehr niedrigem Blauanteil unterdrückt die Freisetzung von Melatonin nicht und fördert so Entspannung und Regeneration (siehe Abbildung 1).

3. INSPIRIERT VON DER SONNE

3.1 Ausgangslage

Je besser und genauer künstliche Beleuchtung es schafft, unsere evolutionär prägende Lichtquelle - das Sonnenlicht - nachzubilden, desto angenehmer und perfekter erleben wir dieses Licht. Human Centric Lighting-Lösungen imitieren das kontinuierliche Spektrum des Sonnenlichts im Laufe des Tages, ohne unerwünschte ultraviolette oder Infrarotstrahlung zu emittieren. Diese außergewöhnliche Lichtqualität konnte und kann mit herkömmlichen Lichtkonzepten nicht erreicht werden. Auch bei einem simplen 2-Kanal Weiß-Weiß-System ist dies (über andere Einschränkungen und Limitationen hinaus) nicht möglich, insbesondere wegen des begrenzten CCT-Bereichs, welcher zudem nicht der Planck´schen Kurve folgt (siehe Abbildung 2).

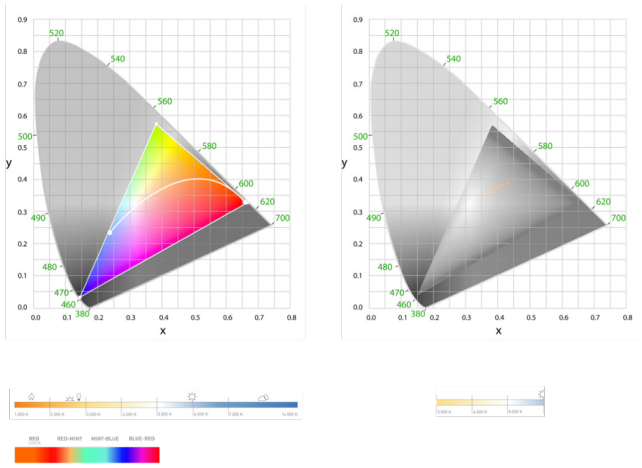

Abb. 2: Gegenüberstellung der Möglichkeiten von PI-LED vs. Tunable-White (2-Kanal, weiß/weiß); Quelle LUMITECH

3.2 Voraussetzungen um Sonnenlicht nachzuahmen

Die Farbtemperaturen müssen entlang der Planck´schen Kurve automatisch einstellbar sein, um im Laufe des Tages natürliches Tageslicht nachzuahmen (einschließlich saisonaler und nicht-saisonaler Veränderungen, sowie geographischer Lage/Ausrichtung). Notwendig ist hier ein Farbtemperaturbereich von 1.800 K („Sonnenaufgang“) bis 16.000 K („blauer Himmel“) mit kontinuierlichem Spektrum und mit hoher Farbwiedergabe für höchste Farbauthentizität (und darüber hinaus individueller Kontrolle der Farben).

Eine weitere Voraussetzung ist eine 100%ige Kalibrierung und Temperaturkompensation für minimale Farbort-Toleranzen (MacAdams typ. 1).

Dies kann auf Basis einer High-End 3-Kanal-PI-LED-Technologie erreicht werden, bestehend aus Rot, Blau und Mint-Weiß, die individuell gesteuert werden und hinsichtlich Temperatur und Intensität optimal aufeinander abgestimmt sind (siehe Abbildung 3).

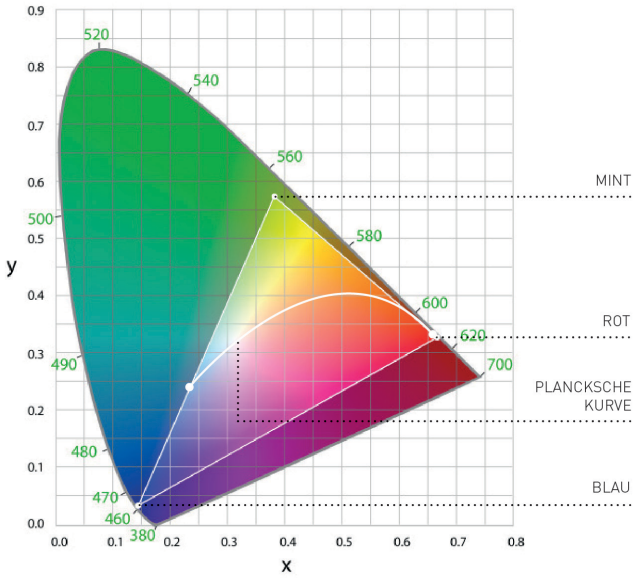

Abb. 3: CIE-Chart High-End 3-Kanal PI-LED-Technologie; Quelle LUMITECH

Durch die unabhängige Steuerung des blauen Kanals kann zusätzlich ein angenehmes Bernsteinlicht erzeugt werden - z.B. für Nachtlicht, um unerwünschte Aktivierungen zu vermeiden.

Mit der PI-LED Technologie sind Lichtfarben von 1.800K bis 16.000K stufenlos möglich und dies flickerfrei mit einem kontinuierlichen Spektrum und einer hohen Farbwiedergabe.

Von der Morgenfrische über die Mittagskühle zur Abendwärme – in Lichtfarben ausgedrückt.

Darüber hinaus können zahlreiche Farben, wie sie in der Natur vorkommen, nachgestellt werden (Morgenröte, Sonnenuntergangsstimmung, Kaminfeuer, Blaue Stunde u. v. m.). Durch die zusätzliche Möglichkeit Farben zu generieren, ist auch Stimmungslicht realisierbar.

All dies mit ein und derselben Lichtquelle resp. Leuchte, nach dem Prinzip zu animieren und nicht zu manipulieren.

3.3 Grundsätzliche Anforderungen an Lichtqualität

3.3.1 Farbwiedergabe

Dank des eigenen Rot-Kanals ist zusätzlich eine hohe Farbwiedergabe auch im wichtigen R9-Index [Ra9] für gesättigtes Rot möglich; Stichwort: Hauterscheinung etc. (siehe Abbildung 4).

CCT	CRI	Ra9
2673	93	90
2982	94	95
3995	96	95
7060	92	89
16759	85	79

Abbildung 4: Farbwiedergabewerte [CRI / Ra9] bei verschiedenen Farbtemperaturen [CCT] (Beispiel); Quelle LUMITECH

Die IES-Methode zur Bewertung der Farbwiedergabe von Lichtquellen nach TM-30 bietet einen Fidelity-Index [Rf] zur Quantifizierung der Ähnlichkeit von Testlichtquelle zur Referenz – basierend auf einer Palette von 99 Testfarben sowie einen Gamut-Index [Rg] zur numerischen Einordnung des Farbumfanges bzw. der Sättigung und darüberhinaus eine (vektor)graphische Darstellung der Farbverschiebung (siehe Abbildung 5).

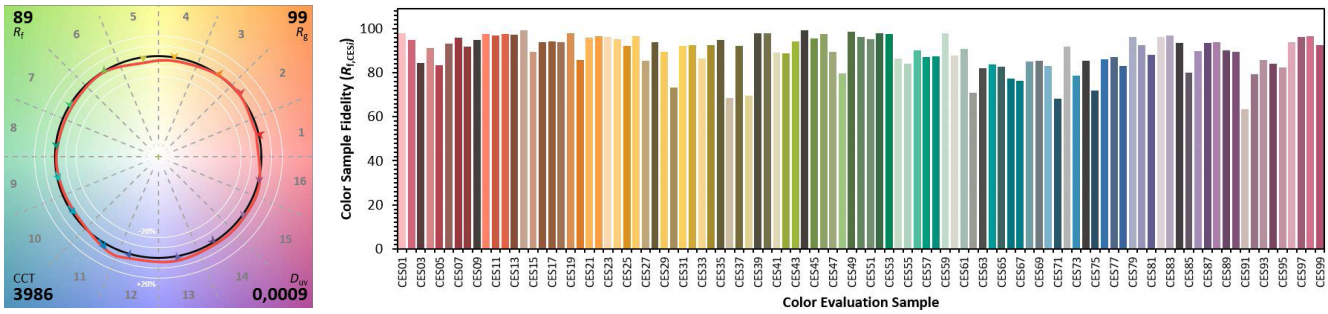

Abbildung 5: Farbwiedergabe gemäß ANSI-IES TM-30-18 (Beispiel); Quelle LUMITECH

3.3.2 Flickerfreiheit

Es gibt keine biologischen Effekte gemäß IEEE 1789-2015 bei Modular Dimming (siehe Abbildung 6).

4. DIREKTES UND INDIREKTES LICHT

Tageslicht ist immer eine Kombination aus direkter Sonneneinstrahlung und diffuser Strahlung vom Himmel. Sonnenlicht wird je nach Wellenlänge in unterschiedlichem Maße von der Atmosphäre absorbiert.

Im Jahresdurchschnitt erreicht das meiste Licht die Erdoberfläche in Form von direktem Licht; der kleinere Teil ist indirektes Licht aufgrund von Luftmolekülen, Aerosolen oder Wolken, welche die Strahlung streuen. Nur ein bestimmter Teil dieser gesamten Sonneneinstrahlung ist sichtbar und kann vom menschlichen Auge wahrgenommen werden. Die Intensität der Strahlungsenergie hängt jedoch stark von der Position der Sonne zu verschiedenen Tages- und Jahreszeitzeiten ab.

Entscheidend für jede entsprechende Lösung ist eine automatisierte Kontrolle, die von sich aus die Tageszeit innerhalb des Jahres und den Breitengrad berücksichtigt.

Eine Lichtsituation mit direkter (‚Sonne') und indirekter Komponente (‚Himmel') ist entscheidend, um einen Horizont für die unbewusste Orientierung zu bieten.

Weiter ist eine individuelle Einstellung der Lichtbedingung (Farbtemperaturkurve, Lichtpegel) nach persönlichen Vorlieben und/oder Befindlichkeit resp. Gemütslage notwendig.

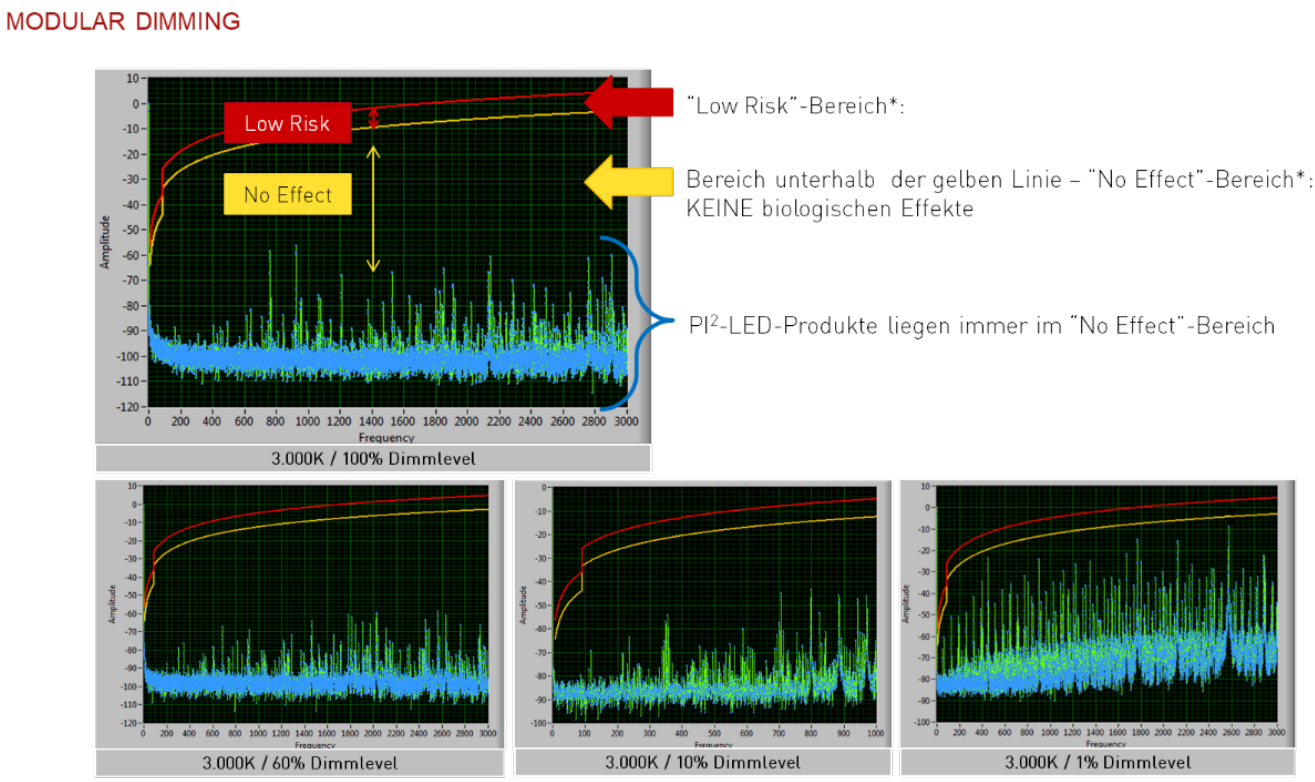

Abb. 6: Modular Dimming; Quelle: LUMITECH

Abbildung 7: HCL-DesignLeuchte VIBE in PI-LED – Technologie mit Direkt- u. Indirekt-anteil; Quelle KITEO

5. STEUERUNG

Im Folgenden werden die beiden typischen Steuerungsmöglichkeiten und deren Vorteile angeführt.

5.1 Funkbasiert – ZigBee

Die innovative Funksteuerung - basierend auf dem ZigBee Standard, eröffnet Human Centric Lighting ganz neue Möglichkeiten. Installation, Wartung und Nutzung gestalten sich spielend einfach, effizient und intuitiv. Eine nachträgliche Integration von biorhythmischen Lichtlösungen in bestehende Architekturen lässt sich damit ebenso leicht realisieren wie der Einbau in komplett neue Gebäude.

5.2 Drahtgebunden – DALI DT8

Als Alternative zu ZigBee gibt es die Möglichkeit, Human Centric Lighting Lösungen über DALI DT8 einzubinden. Modernes biorhythmisches Licht lässt sich so einfach und schnell auch in komplexere Gebäudemanagementsysteme (z.B. KNX) integrieren. Auch mit DALI DT8 können dabei alle Funktionen eines Lichtsystems, wie die Veränderung von Helligkeit, Farbtemperaturen und zusätzlichen Farbsequenzen sowie Tageslichtverläufen, angesteuert und kontrolliert werden - im großen Rahmen oder ganz spezifisch. Zu jeder Zeit und jedem Anlass kann der Nutzer das perfekte Licht so sekundenschnell einstellen. Zur Steuerung und Bedienung stehen dafür verschiedene, nach Anwendung gegliederte Komponenten zur Verfügung: vollautomatisch im Hintergrund oder über manuelle Bedienung an der Wand oder am PC.

Abbildung 8: Beispiele für smarte Steuerungsmöglichkeiten – je nach Anwendungsfall vollautomatisch oder klassisch manuell resp. intuitiv via App; Quelle LUMITECH/KITEO

6. MELANOPISCHER WIRK-FAKTOR

Die sich verändernde Farbtemperatur und -intensität des Tageslichts sind nicht die einzigen entscheidenden Faktoren für die Synchronisation der „inneren Uhr".

Weitere wichtige Elemente sind die Richtung und Planarität der Lichtquelle, die unsere Augen erreicht. Biologisch wirksame Beleuchtung berücksichtigt all diese Faktoren tageszeitabhängig. Dies erfordert einen ganzheitlichen Designansatz, der auch aus einer Lichtplanung einschließlich des melanopischen Wirk-Faktors nach CIE DIS 026/E:2018 besteht.

Ein richtiges Lichtdesign muss die kritischen Werte für das melanopisch bewertete Tageslichtäquivalent der Beleuchtungsstärke auf dem Auge zur Aktivierung (>250 melanopische Lux) und Entspannung (<100 melanopische Lux) berücksichtigen. Dazu ist als Voraussetzung die Angabe der in Abb. 9 angegebenen/aufgelisteten Werte durch den Leuchten- resp. Leuchtmittelhersteller erforderlich.

CCT [K]	VISUELL	BIOLOGISCH
	Lichtstrom [lm]	alpha (smel)
1.800	560	0,228
2.000	660	0,253
2.500	930	0,326
2.700	915	0,358
3.000	880	0,406
3.500	855	0,481
4.000	830	0,550
4.500	820	0,612
5.000	805	0,668
5.500	805	0,718
6.000	805	0,763
6.500	795	0,803
7.000	795	0,838
8.000	795	0,899
9.000	770	0,947
10.000	720	1,000
12.000	660	1,111
14.000	610	1,220
16.000	585	1,323

Abbildung 9: Beispiel für die Angabe des melanopischen Wirkfaktors; Quelle KITEO

7. ANWENDUNGEN/APPLIKATIONEN – VORTEILE

Die angeführten Überlegungen bzw. Ansätze kommen bei praktisch allen Aufgabenstellungen an Allgemeinbeleuchtung in Indoor-situationen zum Tragen.

Beispielhaft seien hier im Folgenden typische Applikationen angeführt:
BILDUNG, BÜRO, GESUNDHEIT&PFLEGE, RETAIL, KUNST/MUSEEN, Schauräume, Seminarräume u. Sitzungszimmer, HOTEL & GASTRONOMIE und last but not least GEHOBENES WOHNEN.

Die Vorteile sind in den allermeisten Fällen ein verbesserter Tag-/Nacht-rhythmus und demzufolge ein besserer Wach-/Schlaf-zyklus.

Im Folgenden beispielhaft die wichtigsten resultierenden Mehrwerte:

+ Erhöhte **Mitarbeiterzufriedenheit**
+ **Produktivitätssteigerung**
+ **Naturgetreue Wiedergabe der Farben** im Shop und geringere Umtauschzahlen
+ Längere **Verweildauer** der Kunden
+ Steigerung der **Kundenzufriedenheit**
+ Schaffung von **Wohlfühloasen**
+ Verbesserter **Schlaf-/Wachrhythmus**
+ **Reduziertes Stresslevel** (vor Operationen) und **positive psychische Stimulation**
+ Reaktivierung der "**Inneren Uhr**" von Demenzpatienten (in früher Phase) [4]
+ **Ausgezeichnete Sicht** auf Verletzungen (Ärzte)
+ Bessere Konzentration und Aufmerksamkeit in Notfällen (Auswirkung auf das Wohlbefinden und die Leistung von Ärzten sowie das Auftreten medizinischer Fehler) [5]
+ Erhöhte **Konzentration**
+ **Dynamische** Stimmungen
+ **Konservatorische Vorteile** und **künstlerorientierte** Beleuchtung in Museen
+ Spürbare Steigerung der **Motivation**
  u.v.m.

Die sich ergebenden weiteren Nutzen sind neben den beschriebenen Vorteilen aus biologischer Sicht und infolge der Leistungsfähigkeit des Menschen, die Möglichkeiten der Akzentuierung (resp. Kontrastierung) ohne der zwingenden Notwendigkeit einer Hell-/Dunkel-bildung und - aus gestalterischer Sicht - Licht als virtuelles Baumaterial einsetzen zu können (siehe Abbildung 10).

8. NEUESTE ERKENNTNISSE

Da eine detaillierte Aufzählung und Beschreibung der jeweiligen spezifischen Vorteile in den einzelnen Anwendungen den Rahmen sprengen würde, sei hier exemplarisch auf folgende neueste Erkenntnis im Zusammenhang mit dynamischem Licht hingewiesen:

Es ist bereits bekannt, dass Licht die Wachsamkeit und Leistung beeinflusst. Neueste wissenschaftliche Erkenntnisse zur Beleuchtung typischer kognitiver Aufgaben (Büro / Bildung) besagen außerdem, dass es für die aufgewendete Anstrengung – gemessen am Anstieg der Herzkontraktionskraft - einen nachgewiesenen und deutlichen Unterschied macht, ob Licht dynamisch oder nur statisch ist. [6]

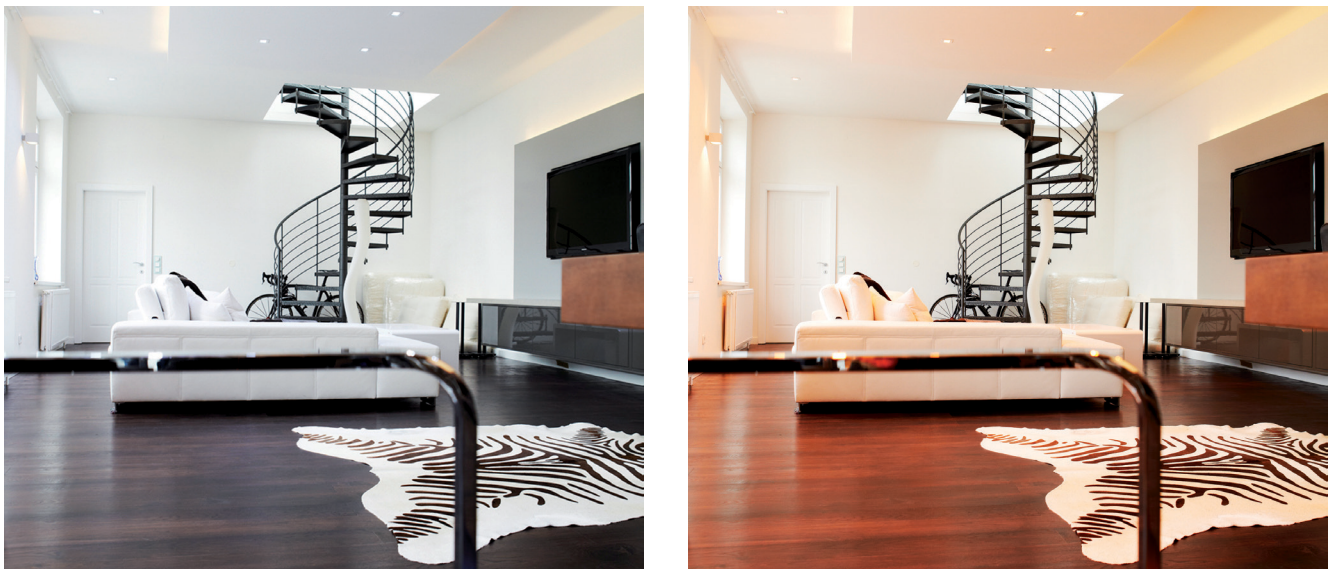

Abbildung 10: Penthouse, Wien (kaltweiß/warmweiß); Quelle KITEO

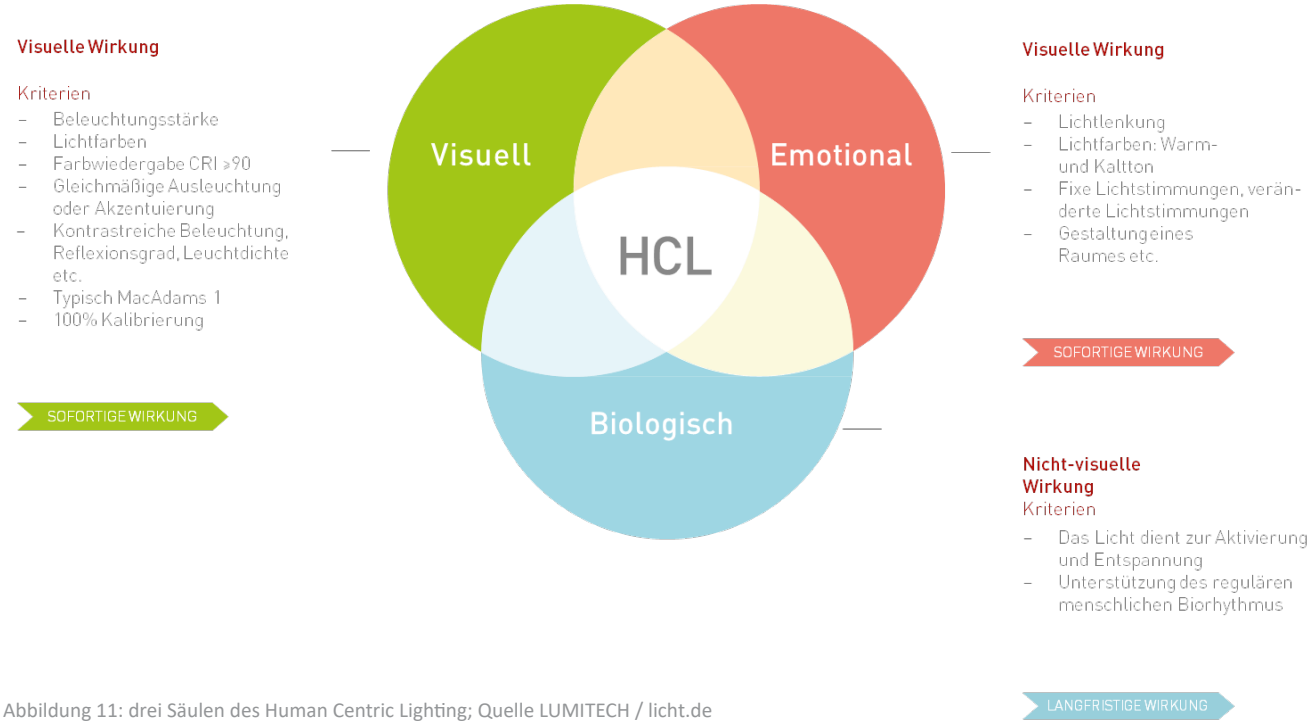

Abbildung 11: drei Säulen des Human Centric Lighting; Quelle LUMITECH / licht.de

Die Beleuchtungskomponenten müssen einen großen Dynamikumfang erlauben und die Beleuchtungssteuerung muss diesen Wechsel automatisiert umsetzen.

Dynamische Beleuchtung (in Bezug auf wechselnde / veränderbare CCT) ist eine ergonomische Maßnahme. Es ist davon auszugehen, dass die in der betreffenden Studie festgestellten akuten Effekte zu den positiven mittel- bis langfristigen circadianen Effekten dynamischer Beleuchtung hinzukommen.

9. SCHLUSSFOLGERUNG / CONCLUSIO

Authentisches Human Centric Lighting erfüllt den visuellen und biologischen sowie den emotionalen Aspekt (siehe Abbildung 11) und unterstützt die langfristige Gesundheit, das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit des Menschen. Auf der Grundlage eines ganzheitlichen Lichtdesigns gibt es also ein hohes Potenzial, das allen Menschen zugutekommen kann.

10. ZUSAMMENFASSUNG

Zufolge Verwendung von LED-Technik sind deutliche Energieeinsparungen möglich, was erweitert um die markant längeren Lebensdauern von LED-Leuchtmitteln im Vergleich zu herkömmlichen Lichtquellen einen klaren Beitrag zum Klimaschutz bedeutet.

Darüber hinaus kann dank ausgefeilter LED-Technik die Licht-Qualität in Form unterschiedlicher Parameter den jeweiligen Anforderungen optimal angepasst und damit gesteigert werden.

Insbesondere die in Österreich entwickelte weltweit patentierte PI-LED – Technologie bietet in verschiedensten Applikationen (z.B. Human Centric Lighting) perfekte Optionen und holt tageszeitabhängig mittels smarten, auf die Anwendungsfälle abgestimmten Steuerungen die Sonne und den Himmel in den Raum.

LITERATURVERZEICHNIS:

[1] The effect of high correlated colour temperature office lighting on employee wellbeing and work performance ©2007 Mills et al; license BioMed Central Ltd. Peter R. Mills, Susannah C. Tomkins and Luc JM Schlangen

[2] Human Centric Lighting: Going Beyond Energy Efficiency, ZVEI July 2013

[3] Global Human Centric Lighting and Environmental Lighting, Market Research Report 2018

[4] Prof. Dr. med. Dipl.-Ing. Herbert Plischke www.lichtnet.de

[5] Octavio PEREZ, PhD Mount Sinai Hospital NYC LpR Nov/Dec 2018 Issue 70 p. 38

[6] Influence of common lighting conditions and time-of-day on the effort-related cardiac response

[7] Johannes Zauner et al. (Oct. 2020)