

# **Richtiges Licht für Gesundheit und Wohlbefinden**

**Über die Bedeutung biologischer Lichtwirkungen und Beleuchtungskonzepte**

**Eine Einführung in das Thema durch Experten von LEDVANCE**



## Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG.....	3
2. WAS BRAUCHEN WIR? UND WIE KÖNNEN WIR ES ERREICHEN? .....	4
3. WELCHES LICHT WIRKT? .....	5
4. WAS WÄRE EINE IDEALE HCL-BELEUCHTUNG? .....	6
5. BETRIEBSWIRTSCHAFTLICHE UND VOLKSWIRTSCHAFTLICHE VORTEILE VON HCL .....	7
6. VORTEILE IM PFLEGE- UND GESUNDHEITSSEKTOR .....	8
7. VORTEILE IM BILDUNGSBEREICH.....	9
8. VORTEILE IN INDUSTRIE UND BÜRO .....	11
9. VORTEILE IM WOHNBEREICH .....	13
10. ÜBERSICHT DER BIOLOGISCHEN WIRKUNGEN VON LICHT AUF DAS HORMONSYSTEM DES MENSCHEN UND FOLGEN FÜR WOHLGEFÜHL UND GESUNDHEIT .....	15
GLOSSAR.....	16
QUELLENANGABEN .....	18

## 1. EINLEITUNG

**Wie sehr Licht das gesamte biologische System des Menschen beeinflusst, ist in der Öffentlichkeit noch wenig bekannt: Das richtige Licht zur richtigen Zeit hilft uns, tagsüber aktiv und leistungsfähig zu sein und nachts Schlaf und Erholung zu finden.**

**Immer mehr Menschen** müssen hohen Anforderungen im Beruf und oft auch im Privatleben gerecht werden und möchten sich dennoch dabei wohl fühlen. Zunehmend mehr Unternehmen und Organisationen sind daher bereit, in die Gesundheit und das Wohlbefinden ihrer Mitarbeiter als wirtschaftliche Erfolgsfaktoren zu investieren. Hier kann Licht einen wertvollen Beitrag leisten, weil wichtige biologische Prozesse im menschlichen Körper seit vielen Jahrtausenden auf ein Leben unter natürlichem Licht ausgerichtet sind. Das richtige Licht zur richtigen Zeit kann viel Positives bewirken – bei allen Altersgruppen und in vielen Lebensbereichen.

**Erst 2002 wurde entdeckt**, dass sich im menschlichen Auge neben Zapfen und Stäbchen, die das Sehen ermöglichen, zusätzliche Lichtrezeptoren befinden. Diese lichtempfindlichen Ganglienzellen senden Signale an einen Bereich des Gehirns, der als innere Uhr den Stunden-Rhythmus unseres Körpers reguliert. Außerdem gehen von dort aus weitere Nervenbahnen in Gehirnzentren, welche unsere geistigen Fähigkeiten steuern. Licht beeinflusst so die Hormone Cortisol, Serotonin, Melatonin und viele andere, die wiederum Einfluss auf unter anderem Blutdruck, Herzfrequenz, Vitalität, Gedächtnisprozesse und Stimmung haben. Wenn es dunkel wird, sorgt beim Menschen das Schlafhormon Melatonin dafür, dass Körperzellen auf „Nachtbetrieb“ umgeschaltet werden. Dadurch finden wir einen guten und gesunden Schlaf. So hat Licht entscheidende Wirkungen auf den Körper (siehe Glossar-Übersicht auf S. 16).

**Der menschliche Organismus braucht das**, was er ursprünglich von der Sonne bekommen hat: Helles Licht am Tag mit hohem Blauanteil am Morgen und über den Tag, und weniger intensives, gelblich-rötliches Licht ohne diese Blauanteile am Abend. Diesen natürlichen Lichtverlauf bekommen viele Menschen viel zu selten, da sie sich die meiste Zeit in Innenräumen aufhalten. Dort unterstützt das künstliche Licht primär beim besseren Sehen, weil es entsprechend gültiger Normen so geplant wird, und ist weniger biologisch wirksam. Dabei hat Licht auch immer eine biologische Wirkung: Bei herkömmlicher Beleuchtung ist diese nicht geplant und daher undefiniert – eher zu wenig am Tag und zu viel in der Nacht – mit möglichen negativen Folgen. Aufgrund fundierter Forschungsergebnisse ist es heute möglich, solche Risiken zu minimieren und Wohlbefinden, Leistungsfähigkeit und Gesundheit zu fördern.

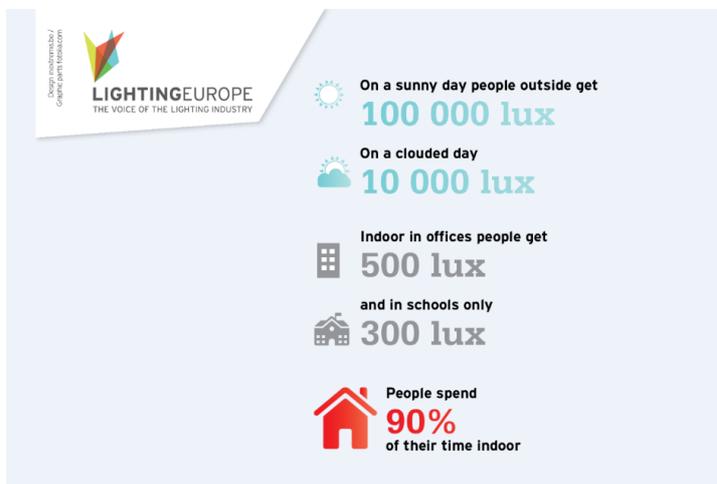
**Ein am Menschen orientiertes Licht-Konzept** – genannt „**Human Centric Lighting**“ (**HCL**) – kann mit intelligent steuerbaren LED-Lichtsystemen die Charakteristik des natürlichen Tageslichts nachempfinden und uns damit etwas zurückgeben, das uns im Innenbereich häufig fehlt. Feldstudien zeigen, dass alle Altersgruppen von HCL-Lösungen profitieren können – von Schülern bis hin zu Senioren. Wissenschaftliche Studienergebnisse für unterschiedliche Anwendungsfelder wurden im Rahmen des 2016 abgeschlossenen EU-Projekts „SSL-erate“ von renommierten Universitäten in Basel, Oxford, Groningen und München gesammelt und ausgewertet (vgl. SSL-erate, 2014. Siehe Quellenverzeichnis, Angabe 1). Dass HCL auch einen betriebswirtschaftlichen und volkswirtschaftlichen Nutzen hat, bestätigt eine Studie der internationalen Unternehmensberatung A.T. Kearney, die 2015 vom Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie (ZVEI) und dem europäischen Dachverband LightingEurope veröffentlicht wurde. **Aufgrund all dieser Chancen**, sehen die Experten von LEDVANCE dringenden Aufklärungsbedarf zu biologischen Lichtwirkungen. Die Ergebnisse der SSL-erate Studien sowie die Studie von A.T. Kearney bilden die Grundlage und Quellenbasis für den nachfolgenden HCL-Themenüberblick.

## 2. WAS BRAUCHEN WIR? UND WIE KÖNNEN WIR ES ERREICHEN?

Die Evolution hat wichtige biologische Prozesse im menschlichen Körper auf ein Leben mit einem natürlichen Tag-Nacht-Rhythmus ausgerichtet. Dazu gehört besonders helles Licht am Tag und Dunkelheit in der Nacht. Deshalb brauchen wir genauso wie vor zigtausend Jahren Tageslicht oder ein vergleichbares künstliches Licht als Taktgeber für unsere innere Uhr.

**Am Morgen** ist die Empfindlichkeit der Lichtrezeptoren im Auge, die besonders auf die Blauanteile im Licht reagieren, am höchsten. Deshalb hilft uns ein langsam in der Helligkeit ansteigendes Aufwachlicht (Lichtwecker) dabei, schneller munter zu werden. Helles tageslichtweißes Licht am Frühstückstisch fördert die Aktivität und Leistungsfähigkeit und damit auch das Wohlfühl für einen guten Start in den Tag. So kann sich unsere innere Uhr mit der Außenwelt „synchronisieren“ und den Körper auf „Tagbetrieb“ einstellen (vgl. SSL-erate, S. 5).

**Tagsüber** kann ein helles Licht mit hohen Blauanteilen unsere Konzentrationsfähigkeit steigern und auch unsere Stimmung positiv beeinflussen. Um diese Wirkungen zu erreichen, muss das Licht aber eine bestimmte Helligkeit erreichen (vgl. SSL-erate, S. 5). Unter freiem Himmel bekommen wir sogar an bewölkten Tagen hohe Beleuchtungsstärken von 10.000 Lux ab. Zum Vergleich: eine normale Innenraumbelichtung liegt heute bei 50 bis 100 Lux im privaten Bereich und um 500 Lux im Büro. Wenn wir Konzentration und Wachheit über den Tag bestmöglich aufrechterhalten wollen, brauchen wir eine deutliche Steigerung der normalerweise in Innenräumen vorhandenen Lichtintensität. Dies bezieht sich hauptsächlich auf die biologisch wirksamen Blauanteile des Lichts. Helles Licht am Tag führt auch dazu, dass wir unempfindlicher gegen störende Lichtreize am Abend oder in der Nacht sind, wenn wir tagsüber eine ausreichend hohe Lichtdosis bekommen haben (vgl. SSL-erate, S. 5-6).



Der Mensch verbringt im Durchschnitt 90 Prozent seiner Zeit in Gebäuden (Bildrechte: LightingEurope)

**Am Abend** sollten wir spätestens zwei Stunden vor dem Zubettgehen nur noch warmweißes (gelblich/rötliches) Licht mit geringerer Helligkeit verwenden (vgl. SSL-erate, S. 6). Das erlaubt ein allmähliches zur Ruhe kommen und Entspannen, was durch den ungestörten Anstieg des Schlafhormons Melatonin im Blut verstärkt wird. Helles oder kaltweißes Licht mit hohen Blauanteilen sollte demnach am Abend vermieden werden. Es ist wichtig unsere Aufmerksamkeit und Vitalität am Abend langsam zu senken. Das gilt für eine Beleuchtung am Arbeitsplatz genauso wie zu Hause. In der Nacht sollte weitestgehend Dunkelheit herrschen.

**Chronobiologen haben festgestellt**, dass nicht jeder Mensch genau gleich tickt: Manche inneren Uhren laufen genetisch bedingt etwas langsamer oder schneller. Deshalb dauert der individuelle circadiane Rhythmus (circa = ungefähr, dies = Tag) dieser Menschen etwas länger oder kürzer als 24 Stunden. Die sogenannten „Lerchen-Typen“ sind bereits frühmorgens hellwach, während „Eulen“ hingegen abends länger munter sind. Bei allen Menschen ist es so, dass sich die innere Uhr täglich über Lichtreize neu mit der Außenwelt synchronisieren muss (vgl. SSL-erate, S. 11).

**Fehlen die richtigen Lichtreize** oder erreichen uns zur falschen Zeit, kommt unsere innere Uhr aus dem Takt und mit ihr die Hormonausschüttungen, die unser Körper braucht. Das kann zu Müdigkeit, Antriebslosigkeit, Stimmungsschwankungen, Depressionen und Schlafstörungen führen (vgl. SSL-erate, S. 15). Auch kann es eine Schwächung des Immunsystems und andere Erkrankungen bewirken, weil körpereigene Reparaturmechanismen außer Kraft gesetzt werden (vgl. SSL-erate, S. 5; S. 42). Licht und Aktivität zur falschen Zeit führen langfristig zu einem Phänomen, das „social Jetlag“ genannt wird und mit vielen negativen Begleiterscheinungen wie Übergewicht, Herz-Kreislauf-Problemen, Schlafstörungen und ungesundem Verhalten wie Rauchen oder Alkohol- und Kaffeegenuss etc. in Verbindung gebracht wird (vgl. Wittmann et al., 2006; Roenneberg et al., 2012; Juda et al., 2013).

### 3. WELCHES LICHT WIRKT?

**Die Grundlagenforschung hat in den letzten 20 Jahren viele Erkenntnisse über den biologischen Rhythmus des Menschen und die biologischen Lichtwirkungen gebracht.**

Schon seit den 1980er Jahren ist bekannt, dass saisonal abhängige Depressionen in der dunklen Jahreszeit durch helles Licht mit hohen Blauanteilen gut behandelt werden können (vgl. Rosenthal et al., 1984; Terman et al., 1995). Weiterführende Erkenntnisse verdanken wir der Forschung der letzten 20 Jahre. Für die nicht-visuelle, biologische Wirkung von Licht auf den Menschen sind nach aktuellem Wissensstand vor allem die folgenden Faktoren entscheidend (vgl. DIN SPEC 67600):

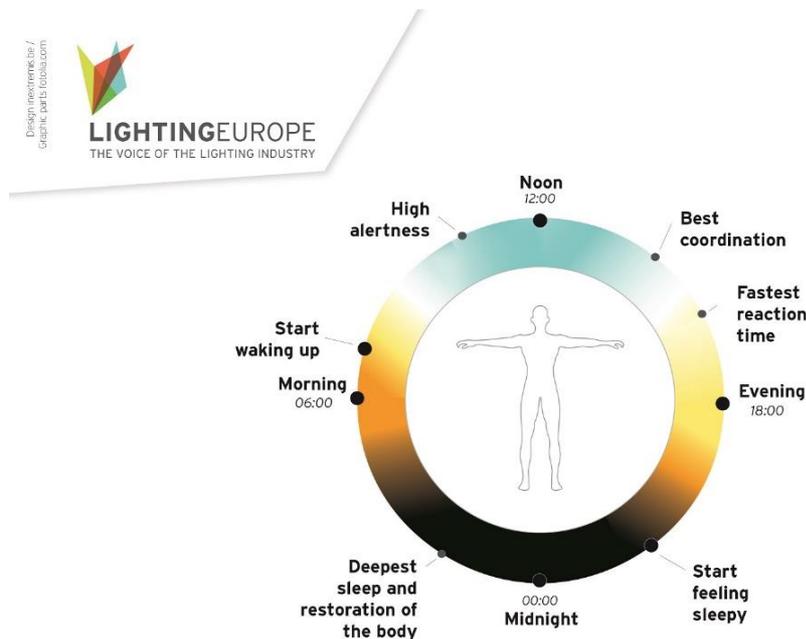
1. **Die spektralen Anteile des Lichts.** Tageslichtähnliches Licht mit hohen Blauanteilen hat die stärkste aktivierende Wirkung. Dadurch werden die Rezeptoren im Auge besonders stimuliert.
2. **Die Intensität des Lichts.** Forschungsergebnisse zeigen eine aktivierende Wirkung ab einer Beleuchtungsstärke von 250 Lux direkt am Auge, wenn das Licht eine dem Tageslicht entsprechende Qualität hat.
3. **Die Flächigkeit des Lichts.** Größere leuchtende Flächen, die an Zimmerdecken oder Wänden sichtbar sind, intensivieren den aktivierenden Effekt. Sie sprechen die lichtempfindlichen Ganglienzellen im hinteren und unteren Bereich des Auges optimal an und erreichen aufgrund ihrer großen Flächen viele dieser Fotorezeptoren. Großflächige Leuchten oder indirekt erhellte Decken simulieren auf diese Weise den natürlichen Himmel.
4. **Die Helligkeitsniveaus am Tag und bei Nacht.** Ein größerer Unterschied zwischen Tag und Nacht unterstützt unseren circadianen Rhythmus und damit auch den Schlaf.

## 4. WAS WÄRE EINE IDEALE HCL-BELEUCHTUNG?

Eine am Menschen orientierte Beleuchtung basierend auf den neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen wird als „Human Centric Lighting“ (HCL) definiert.

Bei der Planung eines idealen HCL-Konzepts werden sowohl die visuellen, um besser sehen zu können, als auch die nicht-visuellen biologischen Wirkungen von Licht berücksichtigt. Grundsätzlich gelten die folgenden Kriterien (vgl. SSL-erate, S. 6):

1. Je mehr Tageslicht eingesetzt wird, desto besser.
2. Intelligente HCL-Lösungen sollten sich in Bezug auf Lichtfarben, Helligkeit und räumliche Verteilung des Lichts automatisch am Tagesverlauf orientieren.
3. Besonders empfänglich für die biologische Lichtwirkung ist der Mensch in den ersten beiden Stunden nach dem Aufstehen sowie mindestens zwei Stunden vor dem Zubettgehen.
4. Biologisch am stärksten aktivierend wirkt großflächiges Licht von oben, das den von der Sonne erhellten (blauen) Himmel imitiert. Zum Start in den Tag bis zur Mittagszeit sowie nach der Mittagspause sollte daher helles, kaltweißes Licht mit hohem Blauanteil (z.B. 6.500 Kelvin bei einer Beleuchtungsstärke von 300 Lux am Auge) verwendet werden. Hierfür bietet sich indirektes Licht an, das sowohl Decken als auch Wände miteinbezieht.
5. Zum Abend hin gilt es auf warmweißes, direktes Licht ohne Blauanteile (z.B. 2.700 bis 3.000 Kelvin) umzustellen, das unserem Körper dabei hilft, sich zu entspannen und auf die Nacht vorzubereiten.



Biologische Funktionen über den Tag (Bildrechte: LightingEurope)

## 5. BETRIEBSWIRTSCHAFTLICHE UND VOLKSWIRTSCHAFTLICHE VORTEILE VON HCL

In der 2015 veröffentlichten Studie mit dem Titel „Quantified Benefits of Human Centric Lighting“ zeigt die internationale Unternehmensberatung A.T. Kearney finanzielle Vorteile auf betriebswirtschaftlicher und volkswirtschaftlicher Ebene durch Einsatz von HCL auf.

Die Berechnungen für unterschiedliche Anwendungsbereiche basieren immer auf dem Vergleich einer herkömmlichen qualitativ hochwertigen LED-Lösung mit einer Beleuchtung, die den Kriterien von Human Centric Lighting entsprechen. Bei einer HCL-Beleuchtung werden visuelle und biologische Bedürfnisse des Menschen berücksichtigt. Für die Analysen wurden sieben Anwendungen in der Innenbeleuchtung ausgewählt: Industrie (monoton), Industrie (anspruchsvoll), Büro, Ausbildung, Medizin, Altenpflege, häuslicher Wohnbereich. Die Studienergebnisse sind auf den Websites der Verbände verfügbar (vgl. A.T. Kearney, 2015).

**Bei HCL entsteht ein höherer Energiebedarf** im Vergleich zu einer LED-Lösung, die nur für visuelle Zwecke geplant ist. Um die gewünschte biologische Wirkung zu erzielen, sind an manchen Stellen höhere Beleuchtungsstärken und Blauanteile im Licht nötig. **Wird allerdings HCL im Rahmen einer Sanierung mit einer älteren konventionellen Beleuchtung verglichen, wird Energie eingespart** (die in dieser Studie nicht berechnet wurde). Die Mehrkosten für die Installation einer HCL-Beleuchtung wurden nicht kalkuliert. Die Studie fokussiert sich auf einen Vergleich der finanziellen Vorteile durch HCL mit den dafür nötigen jährlichen Energiekosten der Beleuchtung.

**Die bedeutendsten betriebswirtschaftlichen Nutzeffekte von HCL** liegen in den Industriesegumenten. Belegt wird dies durch bisherige Studien, die sich vor allem auf die hochgerechneten Produktivitätserhöhungen beziehen. Im Bereich der Krankenhäuser und Altenheime kann der Betreiber häufig das gesamte Potenzial nicht alleine heben. So ergeben sich finanzielle Vorteile durch Kosteneinsparungen beispielsweise auch für Versicherungen. Mehr Details dazu finden sich in den nachfolgenden Kapiteln.

**Auch auf der Makro-Ebene (volkswirtschaftliche Sicht)** werden in der Studie alle Anwendungsbereiche genauer betrachtet und beziffert. Die Annahmen zur Marktdurchdringung bis 2020 basieren auf der in einer früheren HCL-Studie veröffentlichten Schätzung, dass der europäische Markt für HCL in 2020 bei 1,4 Mrd. Euro liegen kann (vgl. A.T. Kearney, 2013: S.8). Die Hochrechnungen von A. T. Kearney ergeben für Europa bei einer realistischen Marktdurchdringung in 2020 Vorteile von bis zu 870 Millionen Euro. Davon sind 527 Millionen auf Basis bereits durchgeführter wissenschaftlicher Studien hochgerechnet. Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass in den meisten Segmenten die Vorteile für Besitzer und Investoren überwiegen. Aber auch zusätzliche Vorteile in Bezug auf gesellschaftlichen Nutzen rechtfertigen die Mehraufwendungen für HCL. Bei einer theoretischen vollen Marktdurchdringung mit HCL in allen Anwendungsbereichen sieht die Studie einen potenziellen volkswirtschaftlichen Nutzen in Höhe von bis zu 12,8 Milliarden Euro für Europa.

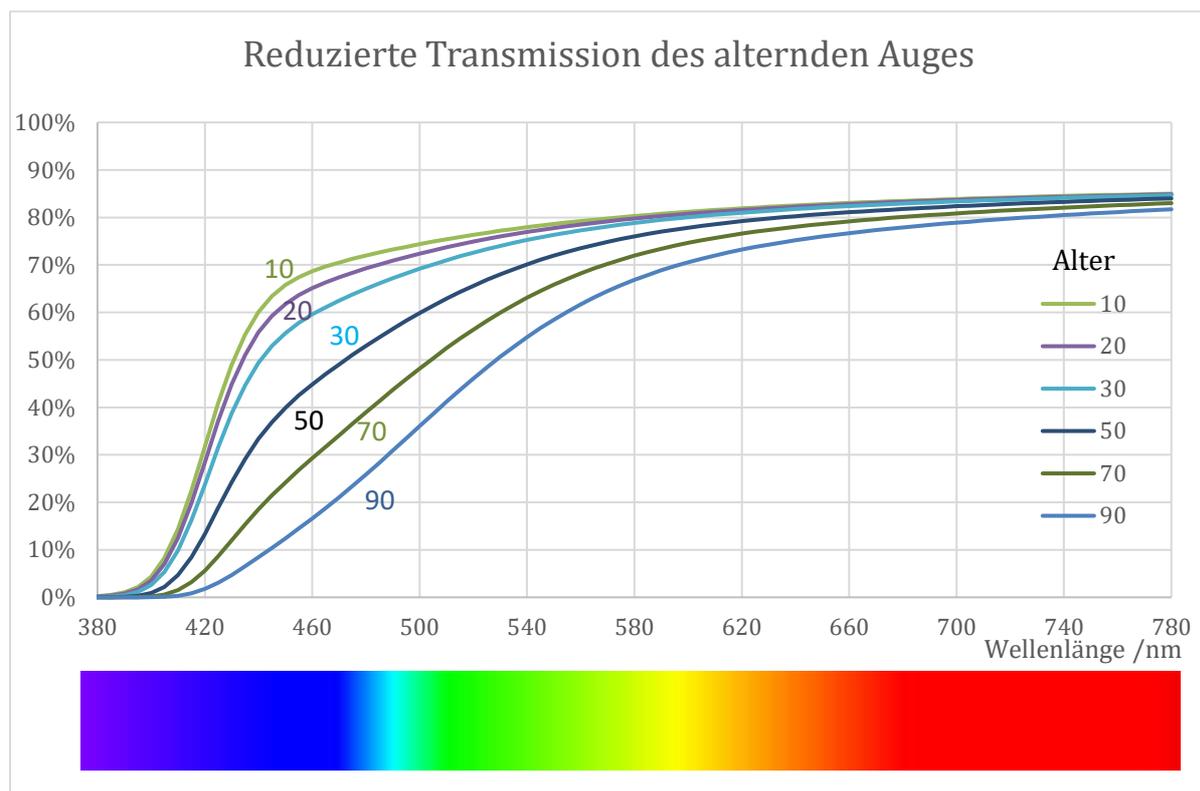
Die folgenden Kapitel nehmen Bezug auf die Studienergebnisse zu den unterschiedlichen Anwendungsbereichen und sprechen dabei vereinfachend von der „A.T. Kearney Studie“.

## 6. VORTEILE IM PFLEGE- UND GESUNDHEITSEKTOR

Die nicht-visuellen Wirkungen von Licht können den biologischen Rhythmus von Menschen in Altenpflegeeinrichtungen und Krankenhäusern stabilisieren. Eine bessere Schlafqualität entlastet die Pflegekräfte und kann Heilungs- und Erholungsprozesse fördern (vgl. SSL-erate, S. 40).

Ein ausreichendes tageslichtähnliches Licht zur richtigen Zeit kann stimmungsaufhellend auf Bewohner in Alten- und Pflegeheimen sowie Patienten wirken und so gegen die Ausbildung von Depressionen helfen. Die Förderung eines gesunden Tag-Nacht-Rhythmus verbessert die Schlafqualität, hilft bei Senioren Stürze zu vermeiden und entlastet die Pflegekräfte. HCL steigert damit die Lebensqualität bei allen Beteiligten und hilft sogar in einer frühen Phase der Demenz meist sehr gut.

Das Lebensalter hat einen starken Einfluss auf die visuelle und biologische Wirkung von Licht: Aufgrund der altersbedingten Trübung der Linse benötigen ältere Menschen zwei- bis dreimal so viel Licht wie jüngere Menschen sowohl für gutes Sehen als auch für die richtige Wirkung auf die innere Uhr und das Hormonsystem. Gleichzeitig ist bekannt, dass ältere Menschen sensibler auf Licht-Blendungen reagieren. Beides in Einklang zu bringen, erhöht die Ansprüche an die Lichtqualität und Lichtverteilung im Raum.



Im Alter nimmt die Durchlässigkeit der Augenlinse für biologisch wirksame blaue Lichtanteile deutlich ab. (Bildrechte: Dieter Lang nach CIE 203)

**Für HCL-Beleuchtungskonzepte gilt hier** (zusätzlich zu den auf S. 6 aufgeführten Grundprinzipien):

1. Kranke, pflegebedürftige und ältere Menschen benötigen besonders viel und besonders gutes Licht, weil ihr Körper Einschränkungen, Verletzungen und Krankheiten bewältigen muss (vgl. SSL-erate, S. 5).
2. Für die Stärkung des circadianen Rhythmus sollten mindestens die Gemeinschaftsräume, besser auch Flure und Zimmer von Patienten und Bewohnern, mit HCL ausgestattet werden, um die Menschen über längere Zeiträume hinweg zu erreichen.

## **Die A.T. Kearney Studie von 2015 zeigt für den Pflege- und Gesundheitsbereich eine Reihe betriebswirtschaftlicher und volkswirtschaftlicher Vorteile auf.**

**In einem Pflegeheim** mit 100 Betten, 90 Bewohnern und 63 Mitarbeitern könnte durch HCL für über zwei Drittel der Flächen die Kapazitätsauslastung erhöht werden (vgl. A.T. Kearney, 2015: S. 16). Dies basiert auf einer Reduzierung von Unfällen und einer Steigerung des Wohlbefindens für die alten Menschen. Daraus würde – noch stärker als im Krankenhaus – die Attraktivität für neue Bewohner steigen, da die Auswahl eines Pflegeheims durch die Angehörigen erfolgt. Durch die mögliche Reduzierung von Medikamentendosen könnte die Auslastung und die Attraktivität zusätzlich erhöht werden. Die Vorteile werden für den betrachteten Fall mit 21.000 Euro beziffert – das ist dreimal so viel wie die Stromkosten in Höhe von 7.000 Euro. Die Studie weist darauf hin, dass auch weiterhin wissenschaftliche Evaluierungen nötig sind. Bereits heute setzen Alten- und Pflegeheime sowie Krankenhäuser verstärkt auf HCL. Neben finanziellen Erwägungen werden dabei auch medizinische und emotionale Gründe berücksichtigt.

**In einem Krankenhaus** (vgl. A.T. Kearney, 2015: S. 15) mit 1.000 Betten und 1.500 Angestellten zeigt die Studie in einem weiteren Beispiel auf, wie durch HCL für rund die Hälfte der Bettenflächen, die Kapazitätsauslastung durch eine höhere Attraktivität für neue Patienten gesteigert und die Behandlungskosten durch geringere Behandlungszeiten gesenkt werden können. Zudem könnten die Krankheitstage des Pflegepersonals zurückgehen und die Zufriedenheit der Mitarbeiter und damit deren Betriebszugehörigkeit erhöht werden. Der geschätzte Vorteil von 323.000 Euro ist fast doppelt so hoch wie die jährlichen Stromkosten in Höhe von 174.000 Euro (im Vergleich zu 134.000 Euro für eine LED-Lösung).

## **7. VORTEILE IM BILDUNGSBEREICH**

**Gerade in den ersten Unterrichtsstunden hilft biologisch wirksames Licht, die Schüler zu aktivieren und die Konzentrationsfähigkeit zu steigern. Davon profitieren insbesondere Teenager, deren circadianer Rhythmus dem „Eulen“-Typ entspricht.**

**Mit Beginn der Pubertät** verschiebt sich bei vielen Teenagern der Schlaf-Wach-Rhythmus. Sie schlafen abends später ein und sind häufig zum frühen Schulbeginn noch nicht ganz fit. Dadurch haben die sogenannten „Eulen“ (siehe Chronotypen S. 5), deren volles Potential erst später am Tag zum Tragen kommt, einen Nachteil gegenüber den „Lerchen“-Typen unter ihren Mitschülern, die morgens bereits aktiver sind. Licht kann hier in gewisser Weise einen Ausgleich leisten und die Schüler am Morgen mit einer aktivierenden Wirkung unterstützen – insbesondere in der dunklen Jahreszeit (vgl. SSL-erate, S. 10).

**Lernen funktioniert nur**, wenn man sich gut auf den Lerninhalt konzentrieren kann. Human Centric Lighting kann hierbei helfen: Die richtige Beleuchtung zur richtigen Zeit kann nicht nur die morgendliche Müdigkeit reduzieren, sondern bei den Lernenden auch aktivierend wirken. Das steigert ihre geistige Aufmerksamkeit und sie können dem Unterricht aufmerksamer folgen. Eine konzentriertere Lernatmosphäre senkt den allgemeinen Unruhepegel, was wiederum die Konzentrationsfähigkeit aller Schüler fördert. Eine Stärkung des circadianen Rhythmus wirkt sich außerdem positiv auf die nächtliche Schlafqualität aus, in dem das Gehirn in der Nacht Informationen und das zuvor Gelernte besser verarbeiten und aufnehmen kann. Es macht dabei keinen Unterschied, ob es sich um eine Schule oder eine universitäre Einrichtung handelt (vgl. SSL-erate, S. 10).

Studienergebnisse aus SSL-erate zeigen:

- Die Geschwindigkeit, mit der Grundschüler lesen können, verbesserte sich in einer Studie mit aktivierendem Licht um fast 35 Prozent (vgl. SSL-erate, S. 14).

- In einer anderen Studie wurde die Konzentration und Daueraufmerksamkeit um ca. 30 Prozent verbessert (vgl. SSL-erate, S. 16).



Gerade Bildungseinrichtungen stellen hohe Anforderungen an das Lichtkonzept. (Bildrechte: Dieter Lang)

**Für HCL-Beleuchtungskonzepte gilt hier** (zusätzlich zu den auf S. 6 aufgeführten Grundprinzipien):

- Neben den Schülern sind auch die Lehrer der Beleuchtung ausgesetzt. Da diese ebenfalls während des Unterrichts aktiv und leistungsfähig sein müssen, gelten die gleichen Anforderungen, wobei darauf zu achten ist, dass das Lichtkonzept auch den Ort und die Blickrichtung des Lehrers mit einbezieht.
- Die Anforderungen an verschiedene Beleuchtungsszenarien sind in der Schule vielfältiger als im Büro, da jede Unterrichtsmethode unterschiedliche Beleuchtungen erfordert. Konzentriertes Arbeiten, entspanntes Lesen, Musik- und Kunstunterricht, oder das Verfolgen einer Präsentation per Beamer oder Whiteboard benötigen ganz unterschiedliche Beleuchtungsszenarien, bei denen visuelle und biologische Bedürfnisse in ein Gesamtkonzept gebracht werden müssen.

**Die A.T. Kearney Studie 2015 zeigt im Bildungsbereich betriebswirtschaftliche und volkswirtschaftliche Vorteile beispielhaft auf.**

**In einer Schule** mit 1.000 Schülern und 80 Lehrern würden die Stromkosten für HCL bei rund 11.000 Euro liegen (im Vergleich zu ca. 8.000 Euro für eine LED-Lösung). Dem gegenüber steht die mögliche kognitive Leistungssteigerung von Schülern um bis zu 15 Prozent. Mit herangezogen wird außerdem, dass psychische Belastungen der Lehrer (Stress, Burnout, etc.) und damit verbundene Krankheitstage durch den Einsatz von HCL-Lösungen reduziert und der Verbleib der Lehrkräfte im Schuldienst verlängert werden könnten (vgl. A.T. Kearney, 2015: S. 14). Auf Basis dessen ergeben sich finanzielle Vorteile in Höhe von 43.000 Euro, die im Vergleich mit den erhöhten Stromkosten für HCL von 11.000 Euro zu sehen sind. Der finanzielle Vorteil ist fast viermal so hoch und kann hier gesamtwirtschaftlich betrachtet werden.

## 8. VORTEILE IN INDUSTRIE UND BÜRO

**Licht mit biologischen Wirkungen am Arbeitsplatz kann die Aufmerksamkeit, Leistungsfähigkeit, Stimmung, den Schlaf-Wach-Rhythmus sowie die allgemeine Gesundheit fördern (vgl. SSL-erate, S. 21).**

**Ziel am Arbeitsplatz** sollte es – wie in anderen Anwendungsbereichen auch – sein, dem Menschen das zurückzugeben, was er ursprünglich durch das Tageslicht bekommen hat. Das künstliche Licht kann Defizite ausgleichen, die durch mangelnde Versorgung mit Tageslicht entstehen. Erweiterte Beleuchtungslösungen mit biologischen Wirkungen können die Wachheit, Daueraufmerksamkeit, geistige und körperliche Leistungsfähigkeit, Vitalität, Stimmung, den Schlaf-Wach-Rhythmus sowie die allgemeine Gesundheit verbessern.

HCL-Lichtlösungen können im Büro, ebenso wie an den vorher beschriebenen „Arbeitsplätzen“ in der Schule, die Aufmerksamkeit und Konzentration verbessern. Auch wenn die Messbarkeit einer „Produktivität“ im Büro schwieriger ist als in der industriellen Fertigung, sind positive Wirkungen von HCL nachweisbar. So haben neueste Studien gezeigt, dass die Zufriedenheit der Mitarbeiter mit ihrer eigenen Leistung und mit der geleisteten Qualität steigt. Studien belegen ebenso, dass zwar die am Ende des Tages geleistete Arbeit nicht mehr wird, aber dennoch eine andere Art der Produktivitätssteigerung nachgewiesen werden kann: Die Arbeit fällt den Beschäftigten leichter. Grund dafür ist, dass die geistige Anstrengung beim konzentrierten Arbeiten zurück geht und die Leistungsfähigkeit langfristig erhalten bleibt (vgl. SSL-erate, S. 20-34).

Dass heute Beleuchtungslösungen im Arbeitsbereich fast immer nur auf gutes Sehen ausgerichtet sind, **entspricht nicht mehr dem Stand des aktuellen Wissens** (vgl. SSL-erate, S. 21). Derzeit beinhaltet beispielsweise die deutsche technische Regel für Arbeitsstätten nur die Forderung nach gewissen Mindestbeleuchtungsstärken und einem Mindestanspruch an Lichtqualität – ohne jede Vorgaben für die Tages- und Nachtzeit oder biologisch wirksames Licht. In der Folge sind bestehende Lichanlagen tagsüber tendenziell nicht ausreichend für eine optimale Leistungsfähigkeit der Mitarbeiter eingestellt und strahlen häufig in Puncto Helligkeit und Blauanteilen zu intensiv für Abend- oder Nachtarbeiten. Derzeit wird in den zuständigen Gremien geprüft, ob und wie der Stand der chronobiologischen Forschung in die Regeln für Arbeitsstätten und in die Normung integriert werden kann.



Indirektes, helles Licht mit hohem Blauanteil wirkt aktivierend und unterstützt bei der Arbeit. (Bildrechte: Ledvance)

**Für HCL-Beleuchtungskonzepte gilt hier** (zusätzlich zu den auf S. 6 aufgeführten Grundprinzipien):

1. Empfehlenswert ist eine automatische Steuerung entsprechend dem Tageslichtverlauf. Diese kann beispielsweise die indirekten Lichtquellen betreffen, wie die Erhellung von Decken und Wände und die Regulierung der stärker aktivierenden Blauanteile. Individuelle Anpassungsmöglichkeiten können bei den Leuchten sinnvoll sein, die direkt auf den Arbeitsplatz gerichtet sind (vgl. SSL-erate, S.43).
2. Mit einzelnen Schreibtischleuchten ist für den Abend auch eine individuelle Anpassung an den persönlichen Chronotyp möglich – wobei in Großraumbüros zusätzlich das Raumlicht durch weiter entfernte Leuchten mitwirkt.
3. Während der Abend- und Nachtarbeit sind Menschen besonders empfindlich für biologische Wirkungen von Licht (vgl. SSL-erate, S. 42). Deshalb sind Lösungen gefordert, die für eine der Arbeitsaufgabe angemessene Wachheit und Konzentrationsfähigkeit sorgen, die innere Uhr aber möglichst wenig aus dem Takt bringen. Schichtmodelle sollten ebenfalls so gestaltet sein, dass sie den chronobiologischen Rhythmus weniger belasten.

### **Die A.T. Kearney Studie 2015 zeigt betriebswirtschaftliche und volkswirtschaftliche Vorteile**

Die Studie geht beispielsweise von einem **Szenario im Industriebereich** aus, bei dem 750 Mitarbeiter im Akkord elektronische Bauteile montieren (vgl. A.T.Kearney, 2015: S. 11). Die Installation einer HCL-Beleuchtung mit 2.000 Lux würde die Produktivität im Vergleich zu einer LED-Lösung um 4,5 Prozent steigern und die Fehlerrate um 1 Prozent senken, bedingt durch die höhere allgemeine Wachheit und den aktivierenden Effekt. Diese Abschätzung beruht auf einer tatsächlich durchgeführten Forschungsstudie. Dazu kommen nach Einschätzungen von A.T. Kearney noch 1 Prozent weniger Krankheitstage und eine um ein Jahr längere Betriebszugehörigkeit der Mitarbeiter im Unternehmen, bedingt durch eine bessere körperliche Verfassung (mittel- bis langfristiger Effekt). Die jährlichen Stromkosten einer HCL-Beleuchtung liegen in diesem Beispiel bei rund 54.000 Euro im Vergleich zu ca. 42.000 Euro für eine LED-Lösung. Dem steht ein geschätzter Vorteil von fast 900.000 Euro durch HCL gegenüber. Damit liegt der jährliche Nutzen von HCL um ein 16,6-faches über den dafür nötigen gesamten Elektrizitätskosten.

Noch stärker profitieren würde beispielsweise ein Industriebetrieb mit 1.000 Mitarbeitern und anspruchsvoller Handarbeit wie Feinwerktechnik durch eine HCL-Beleuchtung mit einer Beleuchtungsstärke von 2.000 Lux. Die Studie nimmt an, dass die Produktivität um 4,5 Prozent gegenüber einer LED-Lösung steigen würde – das ist der weitaus größte Faktor. Außerdem resultieren daraus eine Reduzierung der Fehlerrate und Krankheitstage sowie eine verlängerte Betriebszugehörigkeit. Die geschätzten Vorteile durch HCL in Höhe von über 2 Millionen Euro sind 40mal höher als die Stromkosten von rund 54.000 Euro (im Vergleich zu 42.000 für eine LED-Lösung).

Im **Szenario eines Büros** mit 200 Angestellten, die an Schreibtischen arbeiten, geht die Studie davon aus, dass über zwei Drittel der Bürofläche relevant für eine HCL-Beleuchtung wären. Die Stromkosten würden durch HCL bei ungefähr 9.000 Euro liegen und damit um die 2.000 Euro höher liegen als bei einer LED-Lösung. Dafür wird eine rund einprozentige Steigerung der Produktivität angenommen sowie weniger Krankheitstage und eine längere Betriebszugehörigkeit. Im Ergebnis sind die jährlichen Einsparungen durch HCL mit geschätzten 111.000 Euro 12,3-mal höher als die dafür benötigten Stromkosten. Kürzlich veröffentlichte Studien zeigen sogar das Potenzial für Produktivitätssteigerungen im Bürobereich, die bei über 10 Prozent liegen, wenn HCL im Kontext eines ganzheitlichen Ansatzes mit anderen Verbesserungen der Arbeitsumgebung realisiert wird (vgl. CBRE, 2017).

## 9. VORTEILE IM WOHNBEREICH

**Künstliches Licht im Wohnbereich ist tagsüber oft viel zu dunkel und zu wenig aktivierend; dennoch kann es Blauanteile enthalten, die am Abend eher negative Auswirkungen auf den Körper haben (vgl. SSL-erate, S. 50).**

**Für Menschen, die am Tag zuhause sind**, weil sie dort arbeiten oder persönlichen Aktivitäten nachgehen, gelten grundsätzlich die gleichen Anforderungen wie an Arbeitsplätzen: Sie benötigen tagsüber mehr und helles Licht, das dem natürlichen Tageslicht nachempfunden ist, um die Konzentration und Wachheit aufrecht zu erhalten. Zusätzlich trägt es auch zur Stimmungsaufhellung bei (vgl. SSL-erate, S.50).

**Am Abend** ist es im häuslichen Bereich besonders wichtig, Störung durch Blauanteile im Licht zu vermeiden und nur noch ein warmweißes (gelblich/rötliches) Licht zu verwenden. Dies gilt in den Stunden vor dem Zu-Bett-Gehen beispielsweise nicht nur für die Leseleuchte oder das Licht im Badezimmer, sondern ganz besonders für das Licht von Computer- oder Tablet-Bildschirmen (vgl. SSL-erate, S. 53). Für diese Geräte gibt es inzwischen Lösungen wie f.lux oder nightshift, die eventuelle negative Wirkungen des Bildschirmlichts am Abend reduzieren. In der Nacht sollte es in unserem Schlafzimmer idealerweise dunkel sein. Wobei wir unempfindlicher gegen störende Lichtreize sind, wenn wir tagsüber eine ausreichend hohe Lichtdosis bekommen haben.

**Am Morgen** hilft uns ein langsam in der Helligkeit ansteigendes Aufwachlicht (Lichtwecker) dabei, schneller munter zu werden. Helles tageslichtweißes Licht im Badezimmer und am Frühstückstisch fördert die Aktivität und Leistungsfähigkeit und damit auch das Wohlfühl für einen guten Start in den Tag.



In den Abendstunden empfiehlt sich warmweißes Licht zur Entspannung (Bildrechte: Ledvance)

**In der A.T. Kearney Studie 2015 wurde für den privaten Wohnbereich keine beispielhafte Berechnung vorgenommen.**

Die Analyse der Potentiale in diesem Anwendungssegment führte bei A.T. Kearney zur Einschätzung, dass private Endverbraucher HCL weniger aufgrund monetärer Erwägungen einsetzen würden. Privatkunden scheuen Anschaffungskosten und können nicht mit

Produktivitätsgewinnen rechnen. Von langfristig geringeren Krankheitskosten würden in finanzieller Hinsicht auch eher Krankenkassen und Arbeitgeber profitieren. Dennoch sind Privatkunden gesundheitsbewusst und bereit, für nachgewiesene gesundheitliche Vorteile Geld in die Hand zu nehmen. Die Chance liegt darin, HCL wie ein gesundes Lifestyle-Produkt zu positionieren – wie Sport oder gesunde Ernährung. Hier sei aber noch viel Aufklärungsarbeit zu leisten. Die Studie vergleicht die jährlichen Ausgaben pro Person, die mit HCL konkurrieren: Aufwendungen für Fitness-Studios, Diätprodukte, Bio-Produkte und elektronische Geräte wie z.B. Fitness-Armbänder. Menschen, die unter hohem Stress stehen und auch im häuslichen Bereich keine Erholung finden, können durchaus Verbesserungen durch das richtige Licht im privaten Wohnbereich erwarten.

## 10. ÜBERSICHT DER BIOLOGISCHEN WIRKUNGEN VON LICHT AUF DAS HORMONSYSYSTEM DES MENSCHEN UND FOLGEN FÜR WOHLGEFÜHL UND GESUNDHEIT

Oft wird im Zusammenhang mit biologischen Licht-Wirkungen von **Hormonen** gesprochen. Tatsächlich beeinflusst Licht eine ganze Reihe von Funktionen im menschlichen Körper, die über Hormone gesteuert werden.

Dies ist ein sehr komplexes System, das nicht einfach in unabhängige Teile „zergliedert“ werden kann.

Die biologischen Wirkungen von Licht auf den Organismus werden auch heute noch häufig über das Hormon **Melatonin**, im Volksmund besser bekannt als „Schlafhormon“, beschrieben. Die Wirkung von Licht auf Melatonin in der Nacht kann unmittelbar im Blut gemessen werden. Die Abgabe von Melatonin ins Blut wird durch den circadianen Rhythmus gesteuert und kann nicht extra beschleunigt werden. Melatonin ist dafür zuständig, dass wir lange und ausreichend schlafen können.

Während Melatonin tagsüber in nur sehr geringem Maße im Blut vorhanden ist, steigt das Melatonin-Niveau am Abend auf ein hohes Maß an. Dieser hohe Melatonin-Spiegel am Abend führt – gemeinsam mit der Erschöpfung nach einem langen Tag – dazu, dass wir müde werden und einschlafen. Setzt man sich hingegen abends hellem Licht aus, sinkt der Melatonin-Pegel, was in der Folge zu Problemen beim Einschlafen führen kann. Deshalb ist es wichtig, abends oder nachts helles Licht zu vermeiden.

Helles Licht am Tag hat keine direkte Wirkung auf Melatonin, da es am Tag normalerweise nicht im Blut ist und produziert stattdessen **Serotonin**. Das sogenannte „Glückshormon“ Serotonin wirkt stimmungsaufhellend und fördert das Wohlbefinden. Außerdem wird das Melatonin für die Nacht aus Serotonin gebildet. So hängt der „Haushalt“ beider Hormone miteinander zusammen. Das bedeutet: Viel Licht am Tag unterstützt die Serotonin- und damit auch die Melatoninproduktion.

Sind wir zur richtigen Zeit dem richtigen Licht ausgesetzt, wird der **circadiane Rhythmus** stabilisiert und mit dem natürlichen Tag-Nacht-Verlauf synchronisiert. Bei einem stabilen circadianen Rhythmus befinden sich andere wichtige Hormone wie Cortisol, Dopamin, Adrenalin und viele mehr im Lot.

Human Centric Lighting, verstanden als das „richtige Licht zur richtigen Zeit“, kann deshalb einen wertvollen Beitrag leisten, den menschlichen Tag-Nacht-Rhythmus zu stabilisieren bzw. zu erhalten, unser Wohlbefinden zu steigern und auch unsere Gesundheit zu verbessern.

## GLOSSAR

### Biologische Lichtwirkung

Eine Wirkung von Licht auf biologische Prozesse im Körper, die über das menschliche Auge vermittelt wird. Dazu gehören im Wesentlichen die Synchronisierung des circadianen Rhythmus und eine Aktivierung durch helles Licht.

Wird auch als nicht-visuelle Wirkungen von Licht oder als melanopische Wirkung von Licht bezeichnet.

Die Wirkungen von UV-Strahlung (z.B. Vitamin D-Produktion, Hautrötung oder Bräunung) gehören nicht dazu, ebenso wenig wie Wärmewirkungen von infraroter Strahlung.

### Chronotyp

Vereinfacht unterscheidet man die Frühaufsteher (Lerchen) und die Spät-zu-Bett-Geher (Eulen). Dazwischen gibt es graduelle Übergänge vor allem bei Menschen, die nicht durch Schichtarbeit, Krankheit, Kleinkinder oder andere Ursachen in ihrem regelmäßigen Wach-Schlaf-Verhalten gestört werden.

### Circadianer Rhythmus

Ein biologischer Rhythmus, der natürlich ungefähr einen Tag dauert (z.B. Wach-Schlaf-Rhythmus, Verdauung, Körpertemperatur, Hormonspiegel). Circadiane Rhythmen müssen täglich durch Licht neu mit dem natürlichen Tag synchronisiert werden, da der genetisch vorgegebene circadiane Rhythmus nicht genau 24 Stunden lang ist und ohne Synchronisierung durch Licht langfristig Abweichungen zwischen dem biologischen und dem äußeren Tag-Nacht-Rhythmus entstehen.

### Cortisol

Ein Hormon, das unsere Aktivität steuert. Es wird manchmal als „Stresshormon“ bezeichnet, weil es auch bei Stress vermehrt ausgeschüttet wird. Es ist aber auch zwingend notwendig, damit wir am Morgen überhaupt die Leistungsfähigkeit aufbringen können, die wir brauchen, um aufzustehen und den Tag zu beginnen.

### Fotorezeptoren

Lichtempfindliche Zellen in der Netzhaut des Auges. Beim Menschen sind seit weit über 100 Jahren neben den farbempfindlichen Zellen, die als Zapfen bezeichnet werden, auch die für das Sehen in der Dämmerung verantwortlichen Stäbchen bekannt.

Erst im Jahr 2001 wurde nach der Auswertung von Studien gezeigt, dass es auch einen weiteren Fotorezeptor geben muss, der für biologische Lichtwirkungen verantwortlich ist. Dieser wurde in der Folge in Form der lichtempfindlichen Ganglienzellen nachgewiesen.

### Gesundheit

Nach der Definition der Weltgesundheitsorganisation WHO ist Gesundheit nicht nur die Abwesenheit von Krankheit, sondern ein Zustand von körperlichem und geistigem Wohlbefinden. Auf Basis dieser Definition sind die Wirkungen, die Licht auf das Wohlbefinden von Menschen hat, langfristig auch Wirkungen auf die Gesundheit. Nach diesem Verständnis bewirkt Human Centric Lighting auch langfristige positive Wirkungen auf die Gesundheit.

### Lichtempfindliche Ganglienzellen

Genauer: Lichtempfindliche retinale Ganglienzellen, sind Zellen in der Netzhaut, die neben den bekannten Fotorezeptoren bestehen und die selbst lichtempfindlich sind, da sie den lichtempfindlichen Farbstoff Melanopsin enthalten.

### Melatonin

Ein Hormon, das am Abend und nachts von der Zirbeldrüse ins Blut ausgeschüttet wird und den Wach-Schlaf-Rhythmus steuert. Licht in der Nacht kann den Spiegel von Melatonin im Blut reduzieren und dadurch den Schlaf negativ beeinflussen und den Tag-Nacht-Rhythmus stören.

**Melanopsin**

Ein lichtempfindliches Protein, das in ca. 2 Prozent aller Ganglienzellen der Netzhaut enthalten ist und diese dadurch lichtempfindlich macht. Melanopsin reagiert nur auf Licht im blauen Spektralbereich; vereinfacht könnte man sagen: es reagiert nur auf Tageslicht und Licht, das ähnlich dem Tageslicht ist.

**Serotonin**

Ein Hormon, das als Neurotransmitter die Weiterleitung von Nervensignalen ermöglicht. Es wird hauptsächlich im Gehirn gebildet, insbesondere unter Einfluss von hellem Licht. Serotonin wird in der Zirbeldrüse in Melatonin umgewandelt.

## QUELLENANGABEN

SSL-erate Consortium (2014). Lighting For Health And Well-Being In Education, Work Places, Nursing Homes, Domestic Applications, And Smart Cities. Verfügbar unter <http://lightingforpeople.eu/2016/wp-content/uploads/2016/03/SSLerate-3.2-3.4-v4.pdf> [03.03.2018]

A.T.Kearney. (2015). Human Centric Lighting: Quantified benefits of Human Centric Lighting. Verfügbar unter [https://www.lightingeurope.org/images/publications/general/150420\\_From\\_Barriers\\_to\\_Measures\\_-\\_Final\\_Results\\_-\\_Complete\\_vF\\_004.pdf](https://www.lightingeurope.org/images/publications/general/150420_From_Barriers_to_Measures_-_Final_Results_-_Complete_vF_004.pdf) [03.03.2018]

A.T.Kearney. (2013). Human Centric Lighting: Going Beyond Energy Efficiency. Verfügbar unter [https://www.zvei.org/fileadmin/user\\_upload/Presse\\_und\\_Medien/Publikationen/2013/Oktober/Market\\_Study\\_\\_Human\\_Centric\\_Lighting/Market-Study-Human-Centric-Lighting.pdf](https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2013/Oktober/Market_Study__Human_Centric_Lighting/Market-Study-Human-Centric-Lighting.pdf) [03.03.2018]

CBRE. (2017). The Snowball Effect of healthy offices. Verfügbar unter <https://www.cbre.nl/en/healthy-offices-research> [03.03.2018]

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V., 2013.  
DIN SPEC 67600:2013-04-00: Biologically effective illumination - Design guidelines. Berlin: Beuth, 00.04.2013

Juda, M., et al. (2013). Chronotype Modulates Sleep Duration, Sleep Quality, and Social Jet Lag in Shift-Workers. *Journal of Biological Rhythms*, 28 (2), 141-151.

Roenneberg, T., et al. (2012). Social Jetlag and Obesity. *Current Biology*, 22 (10), 939-943.

Rosenthal, N. E., et al. (1984). Seasonal affective disorder. A description of the syndrome and preliminary findings with light therapy. *Arch Gen Psychiatry*, 41(1), 72-80.

Terman, M., et al. (1995). Light treatment for sleep disorders: consensus report. IV. Sleep phase and duration disturbances. *J Biol Rhythms*, 10(2), 135-147.

Wittmann, M., et al. (2006). Social Jetlag: Misalignment of Biological and Social Time. *Chronobiology International*, 23 (1&2), 497-509.