

LICHT

5 | 2017

Ausgabe Juli

69. Jahrgang

www.lichtnet.de

PLANUNG | DESIGN | TECHNIK | WISSENSCHAFT

HIMMEL UND ERDE

Hotel Hubertus in Südtirol

GESUNDES LICHT

Planung nicht-visueller Lichtwirkungen

RECHTSSICHERE LICHTPLANUNGEN

Teil 2: Vertrag

BIODYNAMISCHE BELEUCHTUNG

EINE MASTERARBEIT ZU DEN NICHT-VISUELLEN WIRKUNGEN VON LICHT

Von unterschiedlichen Akteuren werden derzeit unter dem Begriff **Human Centric Lighting (HCL)** verschiedene Eigenschaften der künstlichen Beleuchtung mit einer biologischen Wirksamkeit auf den Menschen in Zusammenhang gebracht. Diese nicht-visuellen Wirkungen des Lichts beschäftigen Wissenschaft und Forschung ebenso wie die Lichtindustrie und die Lichtplanung. Selbstverständlich spielt das Thema auch in der Ausbildung eine Rolle. Die hier vorgestellte Masterarbeit entsteht derzeit in Zusammenarbeit mit dem **Heinz-Nixdorf-Lehrstuhl für Medizinische Elektronik der TU München** und der **Ambright GmbH**. Ihr Ziel ist es, einen Überblick über die wesentlichen bisherigen Studienergebnisse bezüglich biodynamischer Beleuchtung am Arbeitsplatz zusammenzufassen und zu bewerten. Des Weiteren sollen die Ergebnisse in Bezug zueinander gebracht werden, da einzelne Studien selten alle Punkte einer biodynamischen Beleuchtung betrachten.

LICHT VITALISIERT UND SCHAFFT GUTE LAUNE

Verstanden wurde: Licht ist ein elementares Medium, das der Mensch nur sehen kann, wenn es auf Materie trifft – mithin hat es also eine visuelle Wirkung. Jedoch ist vielen nicht bewusst, dass Licht auch nicht-visuelle Wirkungen besitzt. Ein bekanntes Beispiel ist die durch zu wenig stimmungsaufhellende Sonnenstunden verursachte Winterdepression. Seit einigen Jahren versucht man, die positiven Effekte der Sonne auch mit künstlichem Licht nachzuahmen.

Belegt ist, dass neben einer besseren Stimmung, Licht auch die Produktivität [1] und die Aufmerksamkeit [2] steigern kann, was wiederum die Fehlerhäufigkeit senkt. Ein weiterer Faktor, auf den Licht einen Einfluss hat, ist der Schlaf. Schläft man gut, ist man am nächsten Tag fitter und besser gewappnet für die kommenden Aufgaben. Unsere abrufbare Leistung schwankt stark über den Tag (siehe [Abb. 1](#)) und hängt von vielen Faktoren ab, zum Beispiel der Verdauungsmüdigkeit nach der Mittagspause. Vielen fällt es schwer, danach wieder in Schwung zu kommen. Dem lässt sich mit abgestimmter Beleuchtung entgegenwirken.

Gewerkschaften sprechen von Lichtdoping – Kritiker befürchten, dass man mit Hilfe von Licht nur eine Leistungssteigerung der Arbeitnehmer erreichen möchte und nicht deren Wohlbefinden im Vordergrund steht. Selbst die jüngsten Normierungsbestrebungen im Bereich HCL werden kritisch betrachtet. Befürchtet wird, dass die neuen Erkenntnisse noch nicht ausreichend geprüft wurden und somit Fehler bei der Planung eines Lichtkonzepts entstehen könnten [4].

Fest steht, dass Licht einen starken Einfluss auf Menschen hat und sich bei richtigem Einsatz und ganzheitlicher Planung Gesundheit und

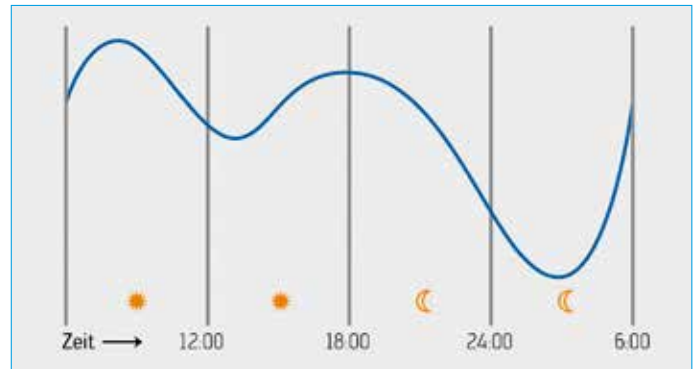


Abb. 1: Leistungsberedtschaft des Menschen über den Tagesverlauf nach Heinz Schmidtke, 1993, Ergonomie Wien (Quelle: licht.de)

Produktivität positiv beeinflussen lassen. Somit ergibt biodynamische Beleuchtung einen Vorteil für Arbeitgeber und Arbeitnehmer gleichermaßen [5].

LICHTDYNAMIK ALS WESENTLICHER TEIL

Biodynamisches Licht soll den Menschen in seinem Alltag unterstützen. Am effektivsten ist eine künstliche Beleuchtung, die dem natürlichen Tageslichtverlauf am nächsten kommt [2]. Eine dem Tageslicht nachempfundene Beleuchtung setzt sich aus der Beleuchtungsstärke der Umgebung, der Farbtemperatur und der Dynamik des Lichts zusammen. Erhöht man zum Beispiel nur die Beleuchtungsstärke und/oder die Farbtemperatur, wirkt dies zuerst anregend und führt zu einer Produktivitätssteigerung (siehe [Abb. 2](#)) [1]. [Abb. 2](#) zeigt die Zusammenfassung mehrerer, individueller Feldstudien, dargestellt durch je eine Linie. Alle kommen zu dem Ergebnis, dass die Erhöhung der Beleuchtungsstärke eine Produktivitätssteigerung nach sich zieht. Zum Beispiel zeigt eine Linie mit Anfangswert 500 lx und Endwert 1500 lx, dass diese Erhöhung eine Produktivitätssteigerung von circa 28% zur Folge hatte. ▶

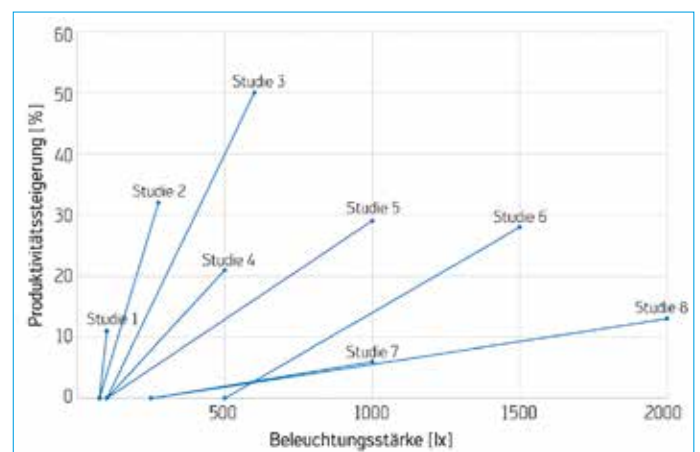


Abb. 2: Von der Beleuchtungsstärke abhängige Produktivitätssteigerung. Abb. in Anlehnung an [1]

Jedoch hat die permanente Erregung über einen längeren Zeitraum einen negativen Einfluss auf die Stimmung der Person [6] sowie ihr anschließendes Schlafverhalten [2]. Wichtig ist es auch mit der Beleuchtung bewusste Ruhephasen zu schaffen, welche dem Individuum die Möglichkeit zur Entspannung geben.

In der Anwendung werden hierfür Umgebungsbeleuchtungsstärke und Farbtemperatur dynamisch variiert. Beides kennen wir aus der Natur: morgens beim Betreten des Büros umgibt uns draußen bereits helles, bläuliches Licht und abends beim Verlassen unseres Arbeitsplatzes werden wir von weniger hellem, rötlichem Licht begleitet. Zwei Beispiele für die Kombination der Helligkeit und der Lichtfarbe sind:

1. *An Arbeitsabläufe angepasste Beleuchtung*: Phasen mit ausreichender Beleuchtungsstärke entsprechend der Sehaufgabe, einer Ruhephase nach der Mittagspause mit niedriger Helligkeit und Farbtemperatur und mehreren Aktivierungsphasen über den Tag verteilt mit überhöhter Farbtemperatur und Beleuchtungsstärke (Abb. 3) [7].
2. *Circadiane Allgemeinbeleuchtung*: eine biologisch wirksame Beleuchtung am Morgen mit Schwerpunkt auf kurzen Wellenlängen (Empfehlung aus DIN SPEC 67600: 8000 K) und hoher Lichtintensität (Empfehlung aus DIN SPEC 67600: 250 lx vertikale Beleuchtungsstärke, gemessen am Auge), welche über den Tag immer mehr abnimmt, also immer wärmer und dunkler wird. Zu berücksichtigen bleibt das für die jeweilige Sehaufgabe angepasste Helligkeitsniveau.

Besonders letzteres Beispiel hat – konsequent verfolgt – positive Auswirkungen auf den Schlaf, da die Melatoninproduktion nachweislich durch helles, bläuliches Licht gehemmt wird. Dieses Hormon steuert im menschlichen Körper den Tag-Nacht-Rhythmus. In allen HCL-Beleuchtungsszenarien wird daher darauf geachtet, eine hohe Helligkeit und Farbtemperatur zum Feierabend hin zu vermeiden [8].

Doch selbst die Kombination von biologisch richtiger Beleuchtungsstärke, Farbtemperatur und Dynamik führt nicht automatisch zu einer allgemeinen Akzeptanz: Nahezu alle betrachteten Studien kommen zu dem Schluss, dass erst die Option einer individuell einstellbaren Lichtemission Wirkung zeigt. Hierbei spielt auch der psychologische Einfluss der Wertschätzung eine Rolle, wobei häufig ein reduzierter Einstellbereich an z.B. einer Schreibtischleuchte bereits reicht, dem Anwender das Gefühl zu geben, als Individuum wahrgenommen zu werden [2, 9, 10, 11].

Die Allgemeinbeleuchtung in einem Büro sollte immer einen Direkt- und einen Indirektanteil haben. Ein großer Indirektanteil vermittelt den

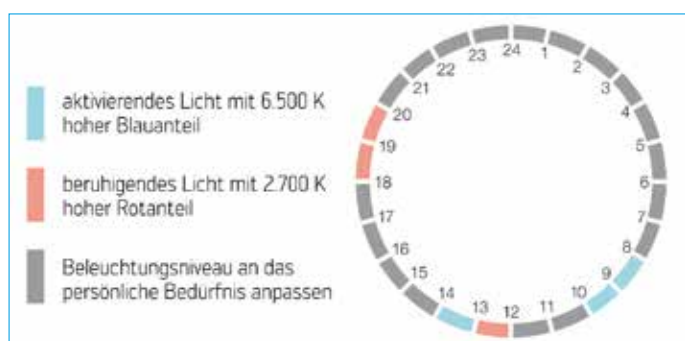


Abb. 3: An den Arbeitsablauf angepasste Beleuchtung [12]

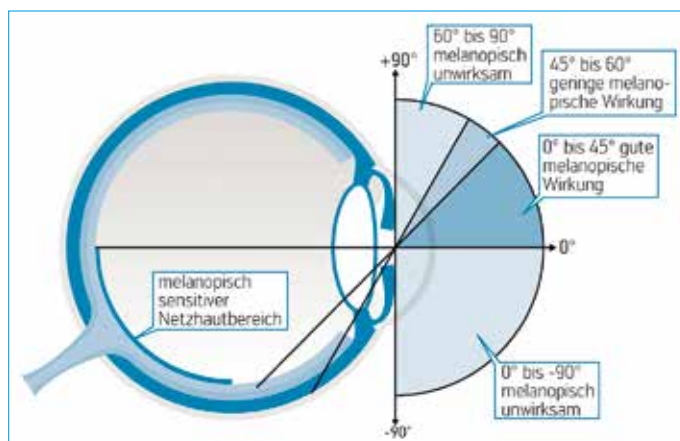


Abb. 4: Melanoptische Wirksamkeit [13]

Eindruck einer großen leuchtenden Fläche, welche durch den steilen Einfallswinkel ins Auge das Gefühl gibt, unter freiem Himmel zu stehen. Effektiv wird hierbei aber ein eigener melanoptisch sensitiver Netzhautrezeptor im Auge stimuliert, der für die Melatoninsuppression zuständig ist (siehe Abb. 4) [7]. Das indirekte Licht hat damit primär eine nicht visuelle Wirkung [13]; direktes Licht dagegen den offenkundigen visuellen Nutzen.

Einen relativ jungen Ansatz, der den Begriff Lichtdynamik noch erweitert, verfolgt das Projekt Virtual Sky des Fraunhofer Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation. Hier wird versucht, eine Bewegung des Lichts in zeitlicher und örtlicher Varianz durch eine Nachbildung des natürlichen Himmels darzustellen (siehe Abb. 5). Dieser virtuelle Himmel besteht aus einer Matrix von über 30000 LEDs hinter einem Diffusor. Durch den Einsatz von RGBW LEDs lassen sich Farbtemperaturen von 1550 K bis 27000 K bei bis zu 3000 lx (gemessen auf Fußbodenniveau) generieren. Somit kann ein klarer oder bewölkter Himmel simuliert werden. Ergebnis dieser Studie war, dass die langsame, aber kontinuierliche Modulation der Helligkeit, vergleichbar mit einem leicht bewölkten Tag, am angenehmsten empfunden wird. Unterschieden wird nach den Arten der Tätigkeit: Teilnehmer mit einer Aufgabe, die Konzentration erforderte, fühlten sich von dem ständigen Wechsel gestört. Probanden mit einer kreativen Tätigkeit empfanden den Wolkenhimmel als anregend und energispendend. In der Studie wurden drei Lichtszenarien evaluiert: statisches Licht, dynamisches Licht mit wenigen aber schnellen Lichtwechseln und die wolkenartige Modulation des Lichts. Dabei wurde eine schnelle, dynamische Einstellung (Lichtwechsel von 6900 K auf 4600 K innerhalb von 5 s bei durchschnittlich 945 lx) von allen Probanden als unangenehm empfunden [14].

Eine weitere Studie, die sich mit dem Einfluss einer hoch veränderlichen Allgemeinbeleuchtung auf das psychophysiologische Wohlbefinden und die Produktivität von Mitarbeitern in einem Produktionsunternehmen beschäftigt, untersuchte drei Szenarien [15], Abb. 6:

- allmähliche (über 15 Minuten), nichtwahrnehmbare Veränderung der Beleuchtungsstärke innerhalb von 15 Minuten (blaue Linie)
- plötzliche (über 3 Minuten), wahrnehmbare Veränderung der Beleuchtungsstärke zu diversen Zeitpunkten am Tag (grüne Linie)
- statisches Licht (rote Linie)



Abb. 5: Virtual Sky des Fraunhofer Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation [14]

Zu beachten ist bei dieser Versuchsreihe, dass sich der Begriff Lichtveränderung nur auf die Änderung der Beleuchtungsstärke, nicht aber auf die Farbveränderung bezieht. Ergebnis der Untersuchung war, dass bei beiden dynamischen Lichtänderungen ein deutlich ruhigerer Schlaf aufgezeichnet wurde. Obwohl die Ergebnisse über die Befindlichkeit der Probanden wenig signifikant sind, lässt sich doch feststellen, dass beide dynamischen Szenarien eine positive Wirkung hatten. Auch hier wurde die schnelle Helligkeitsänderung als unangenehm empfunden.

Festhalten lässt sich aus beiden Versuchen, dass die Dynamik des Lichts, also dessen räumliche oder zeitliche Änderung, bei richtiger Zusammensetzung einen positiven Effekt auf den Menschen hat. Voraussetzung für die Wirksamkeit ist eine längere Verweildauer, wie sie typischerweise im Arbeitsumfeld auftritt, da sich der messbare positive Effekt der Beleuchtungsvariation erst nach einer gewissen Zeit einstellt.

ERSTE NORM ZU BIODYNAMISCHER BELEUCHTUNG

Obwohl vielen Arbeitgebern die Möglichkeiten einer HCL-Beleuchtung noch nicht bewusst sind, beschäftigt sich das Deutsche Institut für Normung seit 2013 mit diesem Thema. Die DIN SPEC 67600:2013-04 bietet eine Erweiterung der DIN EN 12464-1 und ist eine Planungsempfehlung für biodynamisches Licht in verschiedenen Arbeitsumgebungen.

Neben den genannten Stimuli geht die Norm gesondert auf Nachtschicht-Beleuchtung ein. Hier wird zwischen der Anzahl der aufeinander folgenden Nachtschichten unterschieden. Erfolgen mehrere Schichten nacheinander, empfiehlt sich die Verschiebung der circadianen Phase. Dabei wird – genau wie am Tag – zu Beginn der Schicht eine hohe Beleuchtungsstärke mit hohem Blauanteil eingesetzt, was aktivierend und anregend wirkt, solange das Licht die Möglichkeit hat, großflächig im richtigen Winkel ins Auge zu gelangen. Gegen Ende der Schicht werden sowohl Beleuchtungsstärke als auch Farbtemperatur gesenkt. Zur erfolgreichen Umsetzung dieses Konzepts ist die Mitarbeit der Arbeitnehmer unabdingbar, da nach Beendigung der Arbeit auf dem Nachhauseweg helles natürliches Licht vermieden werden sollte. In der Praxis sollte der Schichtarbeiter eine spezielle Brille tragen, die kurzweilige Strahlung filtert, um nicht wieder durch das natürliche Licht beeinflusst zu werden. Da ein aktives Mitwirken der Arbeitnehmer auch nach der Arbeitszeit von entscheidender Bedeutung ist, ist die Umsetzung in der Praxis schwierig und korreliert mit der zuvor geleisteten Aufklärungsarbeit.

Ist der Mitarbeiter jedoch nur in einzelnen Nachtschichten tätig, so empfiehlt sich folgendes Konzept: Die Beleuchtung orientiert sich am natürlichen Tageslichtverlauf, das heißt, während der Nachtschicht bleiben die Beleuchtungsstärke, sowie der Blauanteil des Lichts gering. Um Ermüdung entgegen zu wirken, werden hier kurze Phasen mit hoher

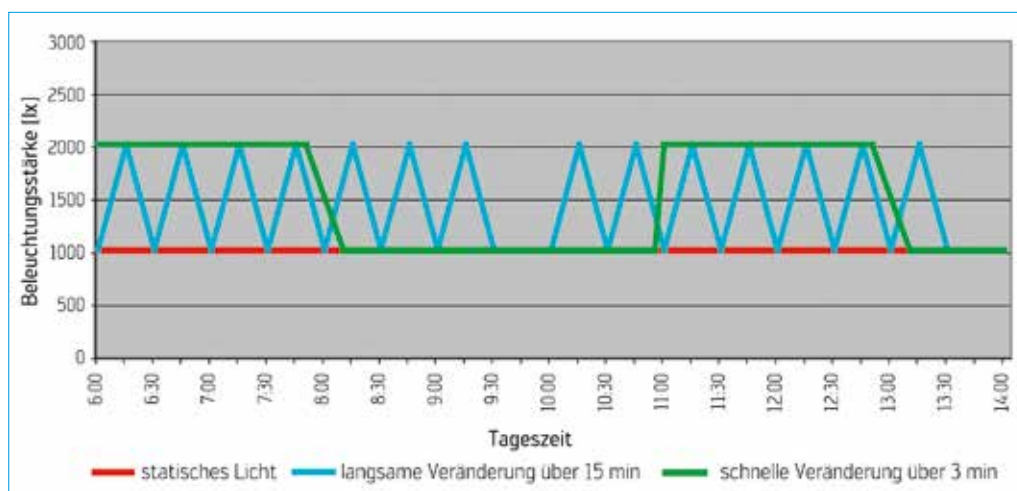


Abb. 6: Verläufe der Beleuchtungsstärken in den drei Szenarien in [15]

Beleuchtungsstärke eingesetzt. Dies vermindert auch das Risiko für Fehler und wirkt aktivierend. Zum Ende der Schicht sollte die Beleuchtungsstärke wieder erhöht werden, um den Wachheitstiefpunkt zu überbrücken. Durch die Anregung am Ende der Schicht und das natürliche Tageslicht wird folglich das Einschlafen erschwert, weshalb dieses Konzept nur bei häufigem Wechsel der Schichten zu empfehlen ist.

Zu betonen ist, dass selbst nach DIN SPEC 67600 eine biologisch wirksame Beleuchtung nicht im Gegensatz zu einer energieeffizienten Beleuchtung steht [7]. Ebenso wird darauf hingewiesen, dass diese nur eine Empfehlung darstellt und eine Universallösung für alle Arbeitsplätze nicht existiert. Um den bestmöglichen Effekt zu erzielen, ist immer eine individuelle Planung notwendig.

ZUSAMMENFASSUNG

Human Centric Lighting beinhaltet viele Aspekte und muss für jedes Arbeitsumfeld individuell gestaltet werden. Unabhängig vom speziellen Anwendungsfall sind folgende Punkte allgemeingültig:

- hohe Lichtintensitäten am Morgen zur Gewährleistung eines guten Starts in den Tag
- aktivierende Phasen, die dem Tages- und Arbeitsrhythmus angepasst sind in Verbindung mit beruhigenden Regenerationsphasen
- Beleuchtung mit niedriger Beleuchtungsstärke und niedriger Farbtemperatur gegen Abend, um einen guten Schlaf zu gewährleisten
- Allgemeinbeleuchtung mit getrennt regelbarem Direkt- und Indirektanteil
- Vermeidung von schnellen, harten Lichtwechseln in Bezug auf Beleuchtungsstärke und Farbtemperatur
- Möglichkeit, das Licht individuell anzupassen



Wichtige Ziele einer biologisch wirksamen Beleuchtung sind die Förderung von Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit sowie die Verbesserung der Tag-Nacht-Rhythmen bzw. der Schlafqualität. Umfangreiche Informationen dazu bietet die Brancheninitiative licht.de. Sie informiert auf ihrer Website und mit einem Licht-Special »Human Centric Lighting« sowie mit dem Heft 19 der Schriftenreihe *licht.wissen*. Ein licht.de-Video erklärt sehr anschaulich, welche Prozesse in unserem Körper Human Centric Lighting möglich machen, wie sie zusammenwirken und welche Unterstützung eine biologisch wirksame Lichtlösung dem Menschen bietet:

www.licht.de/de/trends-wissen/licht-specials/human-centric-lighting

- Berücksichtigung einer Mindestexpositionszeit, da die biodynamischen Wirkmechanismen erst nach einiger Zeit greifen
- Wahl der biologisch-wirksamen Lichtdynamik bei Nachtschichten in Abhängigkeit vom Schichtzyklus
- auf Umgebung abgestimmte Lösung liefert beste Ergebnisse

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Juslén, Henri. Lighting, productivity and preferred illuminances – field study in the industrial environment. 2007. Studienergebnisse von: Ruffer, 1925 and 1927; Schneider, 1938; Goldstern and Putnoky, 1931; Bitterli, 1955; Stenzel, 1962a and 1962b; Crouch, 1967; Lindner, 1975; Carlton, 1980
- [2] BAUA & Intellux Berlin GmbH. Circadiane Wirksamkeit aml-basierter Beleuchtungssysteme: Wirkungsfragen circadianer Desynchronisation. 2015.
- [3] www.licht.de. [Online] [Cited: Mai 17, 2017.] www.licht.de/de/trends-wissen/licht-specials/human-centric-lighting/mensch-und-licht/biorhythmus-des-menschen.
- [4] DIAL. www.dial.de. [Online] [Cited: Mai 22, 2017.] www.dial.de/de/article/human-centric-lightinggoldgrube-oder-licht-doping
- [5] Schwarz, Martin. www.wp.de. [Online] Oktober 09, 2016. [Cited: Mai 21, 2017.] www.wp.de/staedte/neheim-huesten/neues-gesetz-soll-fuer-gesundes-licht-sorgen-id12258878.html.
- [6] Fleischer, Susanne Elisabeth. Die psychologische Wirkung veränderlicher Kunstlichtsituationen auf den Menschen. 2001.
- [7] Deutsches Institut für Normung e.V.. DIN SPEC 67600. 2013.
- [8] Kraneburg, Franke, Methling, Griefahn. Effect of color temperature on melatonin production for illumination of working environments. 2016
- [9] Fraunhofer IAO & Zumtobel Lighting GmbH. Wahrgenommene Lichtqualität in Büro. 2014.
- [10] Dehoff, Peter. The impact of changing light on the well-being of people at work. 2002.
- [11] Fraunhofer IAO. LightWork – Benutzerakzeptanz und Energieeffizienz von LED-Beleuchtung.
- [12] Lighting deluxe. www.lightingdeluxe.de. [Online] [Cited: Mai 21, 2017.] www.lightingdeluxe.de/magazin/human-centric-lighting.html.
- [13] Trilux. www.trilux.com. [Online] [Cited: Mai 19, 2017.] www.trilux.com/de/beleuchtungspraxis/innenraumbeluechtung/spezifische-lichttechnische-anforderungen/beleuchtung-von-alten-und-pflegeheimen/blauer-lichtanteil.
- [14] Fraunhofer IAO & Trilux. Moving clouds on a virtual sky affect well-being and subjective tiredness positively. 2012.
- [15] Zumtobel Lighting GmbH & Bartenbach GmbH. Wirkung von veränderlichem Raumlicht auf die Produktivität von permanenten MorgenschichtarbeiterInnen an einem Industriearbeitsplatz. 2013. ■

Zur Autorin: Magdalena Hilkersberger schreibt derzeit ihre Masterarbeit im Fachgebiet Elektro- und Informationstechnik in Zusammenarbeit mit der Ambright GmbH unter der fachlichen Betreuung des Heinz-Nixdorf-Lehrstuhls für Medizinische Elektronik der Technischen Universität München. www.ambright.de | www.lme.ei.tum.de