

# Iluminación centrada en el ser humano: quo vadis



DI Johannes Weninger  
Director de proyectos en Bartenbach GmbH

Fuente: Trends in Lighting  
[www.trends.lighting](http://www.trends.lighting)

Traducción: Mg. Ing. Fernando Deco  
[www.luminotecniatotal.blogspot.com.ar](http://www.luminotecniatotal.blogspot.com.ar)

La tecnología de iluminación pasa por una época de cambios innovadores en estos días. La amplia aplicación de la fuente de luz digital compacta led facilita la generación de escenarios de iluminación dinámica con intensidades variables, espectros y distribuciones de intensidad luminosa y la implementación de nuevos diseños de iluminación para necesidades personales visuales, biológicas y emocionales. La integración de tecnologías de sensores y la implementación de estrategias de control de iluminación complejas apoyarán aún más la transformación de los sistemas de iluminación actuales en soluciones de iluminación adaptables que reaccionen instantáneamente a las alteraciones ambientales y los deseos individuales. Para iniciar un proceso de transformación sostenible, la industria de la iluminación debe aprovechar las oportunidades emergentes, conectarse más estrechamente a las tecnologías de la información y la comunicación y repensar los conceptos futuros de iluminación.

## Introducción

El término iluminación centrada en el ser humano (HCL, por sus siglas en inglés) se implementó en 2013 como parte de un estudio de mercado. Es un término que aún no tiene una definición clara de sus conceptos de iluminación. Sin embargo, apunta a lograr un profundo cambio de paradigma en la iluminación, que después de una fase tecnológicamente dominante, ahora define cada vez más las necesidades del usuario

como un elemento central de sus desarrollos. Este proceso requiere una redefinición significativa de los requisitos de las futuras tecnologías de iluminación. Hoy en día, los productos de iluminación están diseñados para necesidades visuales generales y no pueden satisfacer la diversidad de las necesidades individuales. Los futuros sistemas de iluminación deben ser configurables según las necesidades de los usuarios finales individuales y, por lo tanto, deben proporcionar interfaces fáciles de usar para permitir ajustes sin esfuerzo de los parámetros de control de iluminación a las preferencias personales y las diferentes demandas en diferentes situaciones cotidianas.

Las tasas de aceptación de estos sistemas de iluminación serán altas ya que esto permitirá que el usuario final experimente directamente su propia individualidad.

Tales diseños de productos, que se adaptan a las necesidades individuales, no son nuevos para la industria de la iluminación. Por ejemplo, encender y apagar las luces en cualquier momento puede entenderse como una implementación rudimentaria de las necesidades del usuario. Con las luces de la sala regulables, las preferencias visuales de los individuos se enfocaron incluso en un nivel más extendido. Tanto la conmutación como la atenuación satisfacen instantáneamente las necesidades de los usuarios y, por lo tanto, son altamente aceptadas. Es difícil alcanzar estos índices de aceptación con los sistemas de iluminación controlados automáticamente.

### Los defectos de la automatización

Hoy en día, los sistemas automatizados desempeñan un papel fundamental para la iluminación centrada en el ser humano. Con la ayuda de las estrategias de control de iluminación, que cambian automáticamente la intensidad de la luz y el color de la luz en función de la hora del día, básicamente se puede implementar una dinámica de luz saludable. Pero estos sistemas de iluminación frustran la centralidad en el usuario de los sistemas de iluminación tradicionales controlados por el usuario al ignorar las necesidades y preferencias personales.

*Los futuros sistemas de iluminación deben ser configurables según las necesidades de los usuarios finales individuales y, por lo tanto, deben proporcionar interfaces fáciles de usar para permitir ajustes sin esfuerzo de los parámetros de control de iluminación*

Como consecuencia, la necesidad de justificación de estos sistemas de iluminación automatizados aumenta a medida que el usuario final se ve privado de los derechos de control que ahora están asignados al experto en iluminación, quien define la estrategia de control de iluminación no ajustable.

Este cambio de control del usuario final al experto en iluminación plantea dudas sobre si los sistemas de iluminación automatizados mantienen los requisitos centrados en el usuario en la iluminación centrada en el ser humano, ya que los parámetros de un solo usuario no se utilizan para definir las curvas de control de la iluminación. En contraste, las estrategias de control de iluminación se refieren a la ritmicidad circadiana general en humanos, que está influenciada por el ritmo claro/oscuras de 24 horas. Por lo tanto, se supone que el cambio de las intensidades de la luz interior y las temperaturas de color de acuerdo con un

día estándar, apoyará el arrastre circadiano de la luz y mejorará la salud humana. Aunque la investigación ha demostrado claramente que los individuos difieren endógenamente en la duración del periodo de sus sistemas circadianos, hasta ahora, solo las curvas de control de iluminación general no individualizadas se implementan en soluciones HCL. Esto contradice la idea básica de los sistemas centrados en el usuario por ignorar la individualidad de los diferentes usuarios.

Hay que considerar otros dos aspectos: los estímulos de luz para generar efectos no visuales difieren significativamente entre los individuos, y los usuarios finales muestran un comportamiento de control de luz idiosincrásico fuerte.

### El estímulo luminoso no estandarizable para individuos

Existe una fuerte evidencia de que la luz brillante aumenta de forma aguda el estado de alerta, la memoria de trabajo y el rendimiento de la atención, y altera la melatonina nocturna y los niveles de cortisol durante la madrugada [1]. Además, la luz cambia la fase y cambia la amplitud de los parámetros circadianos [2]. Estos efectos de luz no visuales difícilmente pueden separarse de los procesos de información visual.

Además, está bien documentado que la exposición a la luz pasada del sujeto, la fase circadiana del sujeto y la posición espacial del sujeto cuando están expuestos a estímulos de luz relevantes, desempeñan un papel crucial en la generación de efectos de luz no visuales.



### Exposición a la luz pasada de la persona

La exposición individual a la luz de las últimas horas y días tiene un impacto significativo en la regulación de la sensibilidad del sistema circadiano a la luz [3]. Se sabe que los cambios regulares de luz-oscuridad durante períodos de 24 horas tienen un efecto estabilizador en los ritmos circadianos [4] y protegen contra estímulos de luz inadecuados (por ejemplo, niveles bajos de luz durante el día y exposición excesiva a la luz durante la noche).

### Exposición individual a la luz

La exposición a la luz afecta de manera diferente el estado de ánimo, la cognición y el comportamiento según la fase circadiana del individuo [5] [6]. En consecuencia, el tiempo de exposición a la luz, especialmente con respecto al tiempo de sueño, debe considerarse a nivel individual.

### La entrada de luz directa e indirecta a individuos en diferentes posiciones espaciales

La irradiancia espectral, medida a nivel del ojo, constituye el estímulo luminoso para generar efectos de luz no visuales [7]. La luz que entra en los ojos se compone básicamente de la luz directa de las luminarias, así como de la luz indirecta, que se refleja en las superficies de las habitaciones. Además, las diferentes posiciones espaciales cambian dramáticamente la

entrada de luz directa e indirecta a los humanos. Por lo tanto, las propiedades de reflexión de las superficies de la habitación, la intensidad de luz emitida y el espectro de luz de las fuentes de luz y la posición del individuo juegan un papel crucial para alcanzar ciertas irradiaciones espectrales a nivel de los ojos.

Teniendo en cuenta estos tres parámetros, los estímulos de luz para lograr efectos de luz no visuales resultan ser altamente variables entre diferentes sujetos. Por lo tanto, es esencial recopilar información relacionada con el usuario (por ejemplo, historial de exposición a la luz, tiempo de sueño, posición espacial) e integrar esta información en la estrategia de control de la luz. Sin embargo, como las soluciones actuales de HCL se basan en estrategias de control de iluminación generales predefinidas, las necesidades de luz no visuales individuales se ignoran considerablemente, y se puede suponer que la solución HCL actual funciona de manera subóptima.

### El sujeto repugnante - comportamiento de control de luz idiosincrásico

Para operar los sistemas de iluminación automáticos con el máximo beneficio, es necesario minimizar las intervenciones del usuario. Sin embargo, los estudios han demostrado que la comodidad de un sujeto se ve afectada negativamente por la falta de control de los parámetros ambientales [8]. Además, la posibilidad de ajustar la iluminación a los niveles preferidos mejora enormemente la satisfacción del usuario y la aceptación del sistema [9] [10] [11] [12]. Por lo tanto, operar sistemas de iluminación completamente automáticos corre el riesgo de reducir la satisfacción del usuario. Por el contrario, se pueden establecer sistemas de iluminación controlados automáticamente que permitan la interacción del usuario en cierta medida.

Debido a que las intervenciones de los usuarios generalmente se basan en las necesidades reales, el comportamiento del usuario pone en peligro el logro de efectos de luz a largo plazo (no visuales) [13] [14] [15]. Por lo tanto, es muy probable que los sistemas de iluminación controlados automáticamente, que carecen de información sobre las necesidades y preferencias



del usuario, encuentren un ajuste manual de los ajustes de luz predefinidos. Estos ajustes a menudo no permiten que los sistemas de iluminación funcionen de la manera prevista y diseñada [8]. De hecho, el deseo de individualización, alineación con las preferencias personales y la posibilidad de controlar el sistema de iluminación es tan alto que los usuarios prefieren las peores condiciones de iluminación controladas personalmente que las mejores condiciones de iluminación controladas automáticamente [16].

*[...] los estudios han demostrado que la comodidad de un sujeto se ve afectada negativamente por la falta de control de los parámetros ambientales*

Este comportamiento del usuario se confirmó mediante el proyecto de investigación Psylicht, de Bartenbach, de tres años de duración, en el que el pabellón psiquiátrico general y el pabellón gerontopsiquiátrico de un hospital tirolés estaban equipados con soluciones de iluminación automatizadas de última generación con opciones de intervención del usuario. Durante un período de 24 horas, las intensidades de luz y las temperaturas de color se cambiaron automáticamente en todas las áreas (habitaciones de pacientes, baños, pasillos, salas de personal y áreas recreativas). En un proceso iterativo, los cambios automáticos en la configuración de la luz de la sala se adaptaron de manera óptima a los procesos de trabajo y los ritmos sociales (por ejemplo, los horarios de sueño y alimentación y los tratamientos médicos de los pacientes).

Durante el día, el personal y los pacientes estuvieron expuestos a altos niveles de brillo (hasta mil lux en los ojos) bajo luz blanca neutra (4.000 grados kelvin). Por la noche, los dormitorios y baños de los pacientes se iluminaron con intensidad de luz reducida (inferior a cincuenta lux) y las salas se iluminaron con luz blanca cálida (2.200 grados kelvin). Además, la iluminación de la habitación se puede atenuar en cualquier

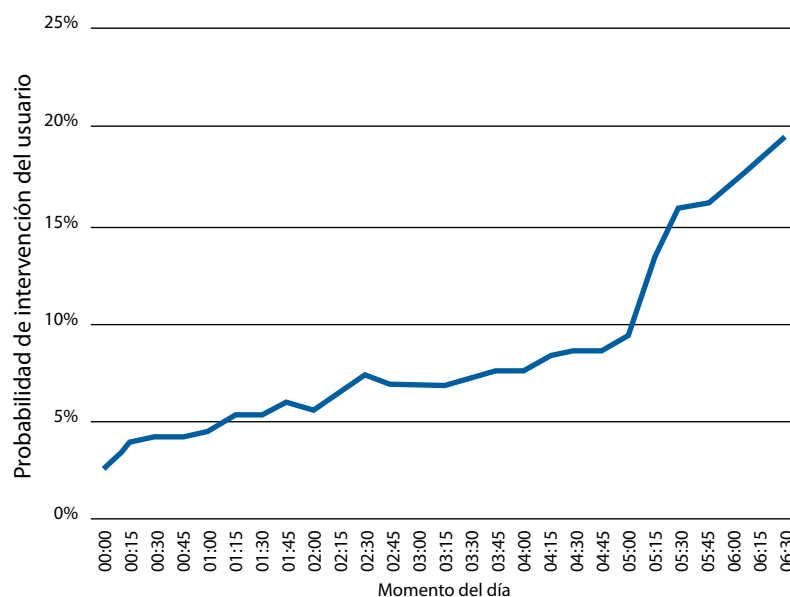


Figura 1: Probabilidad de intervención del usuario específica durante el día durante el turno de noche en la sala de personal

momento y las escenas de iluminación predefinidas (por ejemplo, para televisión o comer) se pueden activar en áreas recreativas.

Para medir las intervenciones del usuario con el sistema de iluminación como factores disruptivos para generar efectos de luz no visuales, todos los estados del sistema de iluminación (intensidad y temperatura del color), así como todas las intervenciones del usuario, separadas para cada área de la sala, se registraron continuamente durante un período de dieciocho meses. El análisis de los datos proporcionó una visión notable del comportamiento de ajuste de iluminación individual sistemático.

Por ejemplo, durante las últimas horas de trabajo nocturno, donde la presión del sueño es alta [17], la probabilidad de cambiar la configuración de la luz manualmente aumentó significativamente (ver figura 1). Aunque el aumento de los niveles de luz puede contrarrestar la disminución de los niveles de alerta nocturna [18], esta intervención ligera tiene efectos potencialmente negativos sobre los niveles nocturnos de melatonina, lo que indica una interrupción del sistema

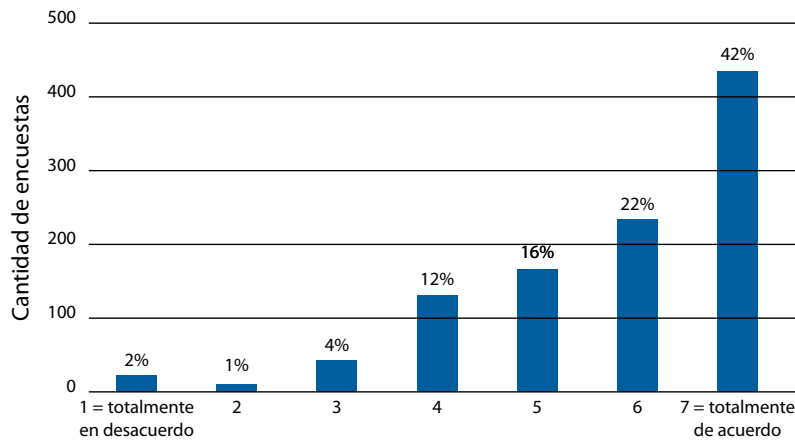


Figura 2. "Si pudiera tener un sistema de iluminación en el lugar de trabajo que se adapte a sus necesidades personales, ¿lo desearía?"

circadiano y puede perjudicar la salud humana a largo plazo [19]. Aunque al reducir las intensidades de luz y minimizar los componentes de luz azul en la iluminación nocturna ambiental, se pueden reducir los efectos de luz perjudiciales en los ritmos circadianos de los trabajadores del turno nocturno [20], un objetivo alcanzado por el diseñador de iluminación, se observó la satisfacción instantánea de las necesidades personales de los usuarios finales (por ejemplo, aumento del nivel de alerta durante la noche por un incremento de luz diurna).

Estas experiencias, reunidas dentro de un proyecto de investigación, establecen la satisfacción del usuario y el deseo del usuario final de controlar los ajustes de iluminación como un elemento central de las futuras estrategias de control de iluminación. Los sistemas que implementan dinámicas automatizadas de 24 horas, basadas en configuraciones de luz predefinidas, enfrentan una alta probabilidad de ignorar las necesidades básicas del usuario, lo que puede causar intervenciones manuales que limitan significativamente la iluminación circadiana efectiva. Para prevenir dicho comportamiento del usuario, aumentar las tasas de aceptación y maximizar la eficacia del sistema de iluminación, es necesario integrar las preferencias personales situacionales en los conceptos de control

de iluminación. Además, los datos sobre ajustes de luz ajustados personalmente en el pasado brindan información para las estrategias de control de luz utilizadas actualmente, lo que conduce a un balance entre los ajustes de luz efectiva preferidos y circadianos.

### La necesidad de personalización

La integración de parámetros individuales en las estrategias de control de iluminación excede las capacidades de los sistemas de iluminación automáticos actuales. Para crear escenarios de iluminación personalizados, proporcionar información recopilada a nivel de usuario para el sistema es una necesidad. Aunque las soluciones de HCL de hoy no están listas para esta entrada de información, la implementación del sistema de iluminación conectado es la piedra angular para permitir la comunicación directa entre el sistema de iluminación, el entorno y el usuario [21].

Por lo tanto, la implementación del sistema de iluminación personalizado requiere un cambio fundamental y de gran alcance de pensamiento sobre las futuras estrategias de control de iluminación. Las estrategias de control basadas en reglas, que actualmente se implementan principalmente, no pueden satisfacer la complejidad de los próximos requisitos de los usuarios individuales. El uso de estrategias de control de iluminación basadas en modelos [22], que están respaldadas por inteligencia artificial [23], puede superar estas limitaciones básicas y establecer sistemas de iluminación que estén totalmente centrados en el usuario final y, por lo tanto, solo estén predefinidos por los diseñadores de iluminación.

Sin embargo, la implementación de estrategias de iluminación totalmente centradas en el usuario a largo plazo requiere que la toma de decisiones se transfiera del usuario final a una forma de inteligencia integrada en los sistemas de iluminación. La ejecución de este traspaso es extremadamente compleja y los algoritmos para la personalización no están disponibles actualmente o son apenas aplicables [13]. Por lo tanto, los sistemas personalizados actualmente no están tecnológicamente ni conceptualmente disponibles en la industria de la iluminación. Solo cuando se entregan



*IP-to-the-end-node* (luminaria) así como protocolos estandarizados para el intercambio de datos [24], se hacen posibles estrategias de control de iluminación totalmente personalizadas sin o con la intervención manual mínima de los usuarios finales. Finalmente, esperamos que el desarrollo de tales sistemas de iluminación conduzca a un cambio sostenible de los modelos de negocios en la industria de la iluminación. Este supuesto está corroborado por una encuesta de usuarios finales realizada por *Bartenbach* en el curso del proyecto de investigación *Repro-light*. Un total de 1.096 usuarios finales en los campos de aplicación “oficina” e “industria” completaron un cuestionario para calificar los niveles de satisfacción con los sistemas de iluminación actuales del lugar de trabajo y para especificar las características principales de las soluciones de iluminación personalizadas.

*Aunque las soluciones de HCL de hoy no están listas para esta entrada de información, la implementación del sistema de iluminación conectado es la piedra angular para permitir la comunicación directa entre el sistema de iluminación, el entorno y el usuario*

Una pregunta dentro de esta encuesta se centró especialmente en el deseo de iluminación personalizada (“Si pudiera tener un sistema de iluminación en el lugar de trabajo, que se adapte a sus necesidades personales, ¿lo desearía?”). El análisis de las clasificaciones mostró claramente que a la gente le gusta la idea de un sistema de iluminación personalizado (ver figura 2).

Por lo tanto, los sistemas personalizados potencialmente no solo tienen un impacto positivo duradero en la viabilidad de los efectos de iluminación no visuales, sino que también apuntan a niveles de aceptación potencialmente más altos entre los usuarios finales. Estos pueden ser particularmente apreciados por los

usuarios finales con mayores demandas visuales, ya que están más abiertos a nuevas ideas y tecnologías de iluminación debido a sus mayores expectativas con respecto a la iluminación de su lugar de trabajo [25].

## Conclusiones

La integración de la información relacionada con el usuario en las estrategias de control de iluminación está demostrando ser indispensable para implementar el concepto de iluminación centrada en el hombre. Sin embargo, las soluciones actuales de HCL se realizan principalmente como automatizaciones y se manejan como soluciones técnicas para cambiar dinámicamente las intensidades de luz y las temperaturas de color. Las restricciones tecnológicas de estos conceptos de control automatizado no permiten considerar suficientemente la información del usuario y, por lo tanto, no pueden diferenciar las individualidades del usuario. Como resultado, se ha hecho evidente que la capacidad de las soluciones actuales para generar efectos de luz no visuales puede verse muy limitada a medida que se ignora la variabilidad y la individualidad de las necesidades de luz de los usuarios finales.

Además, las diferentes ideas de los requisitos del sistema de los expertos en luz y los usuarios finales pueden tener un efecto perjudicial en la eficiencia del sistema, ya que la predefinición de curvas de luz fijas para la automatización no coincide con las preferencias personales o los requisitos individuales del usuario. Esta divergencia puede causar intervenciones de los usuarios según las necesidades que contrarrestan los comportamientos planeados del sistema y, por lo tanto, limitan significativamente la iluminación circadiana efectiva. Actualmente, se puede suponer que tales intervenciones se pueden minimizar al manejar adecuadamente las diferencias individuales de los usuarios en las soluciones de control de iluminación.

Por lo tanto, la iluminación personalizada no solo puede contribuir a mayores tasas de aceptación y satisfacción del usuario, sino también a maximizar los efectos de luz no visuales. Sin embargo, tales sistemas aún no están disponibles en el mercado y los desarrollos tecnológicos básicos aún están por investigarse.

Según los autores, especialmente la definición de protocolos abiertos e interoperables debe considerarse importante, ya que no solo facilitan el intercambio de datos y la interoperabilidad, sino que también permiten complejas estrategias de control basadas en modelos. En general, sin embargo, la idea básica de la iluminación centrada en el ser humano está demostrando consistentemente que es correcta e importante, y por lo tanto permanece sin cambios. Sin embargo, para dejar de estar sujetos a las limitaciones conceptuales y técnicas de los sistemas automatizados, la idea de HCL se debe utilizar para definir los requisitos de las implementaciones técnicas y el usuario final debe considerarse tecnológicamente como un individuo con cualidades y opiniones personales. Solo así será posible establecer al usuario como un elemento central de los sistemas de control. ❖

### Reconocimiento

El proyecto de investigación Psylicht se llevó a cabo con fondos de la Agencia de Promoción de la Investigación de Austria. El proyecto Repro-light ha recibido fondos del programa de investigación e innovación Horizon 2020 de la Unión Europea en virtud del acuerdo de subvención n.º 768780.

### Referencias

- [1] Vandewalle, G., Maquet, P., Dijk, DJ. (2009). Light as a modulator of cognitive brain function. *Trends Cogn Sci.* 13(10): 429–38.
- [2] Khalsa, SB., Jewett, ME., Cajochen, C., Czeisler, CA. (2003). A phase response curve to single bright light pulses in human subjects. *J Physiol.* 549(Pt 3): 945–52.
- [3] Chang, AM., Scheer, FA., Czeisler, CA. (2011). The human circadian system adapts to prior history. *J Physiol.* 589(Pt 5): 1095–102.
- [4] Münch, M., Nowozin, C., Regente, J., Bes, F., De Zeeuw, J., Hädel, S., Wahnschaffe, A., Kunz, D. (2016). Blue-enriched morning light as a countermeasure to light at the wrong time: effects on cognition, sleepiness, sleep, and circadian phase. *Neuropsychobiology* 74(4): 207–218.
- [5] Fisk, AS., Tam, SK., Brown, LA., Vyazovskiy, VV., Bannermann, DM., Peirson, SN. (2018). Light and Cognition: Roles for circadian rhythms, sleep, and arousal. *Front Neurol* 9: 1–18.
- [6] Chang, AM., Santhi, N., St Hilaire, M., Gronfier, C., Bradstreet, DS., Duffy, JF., Lockley, SW., Kronauer, RE., Czeisler, CA. (2012). Human responses to bright light of different durations. *J Physiol* 590(13) 3103–12.
- [7] Lucas, RJ., Peirson, SN., Berson DM., Brown, TM., . . . , Brainard GC. (2014). Measuring and using light in the melanopsin age. *Trends Neurosci.* 37(1): 1–9.
- [8] Nagy, Z., Yong, F. Y., Schlueter, A. (2016). Occupant centered lighting control: a user study on balancing comfort, acceptance, and energy consumption. *Energy and Buildings*, 126, 310–322.
- [9] Fotios, S., Logadóttir, Á., Cheal, C., Christoffersen, J. (2012). Using adjustment to define preferred illuminances: do the results have any value?. *Light & Engineering*, 20(2), 46–55.
- [10] Despenic, M., Chraibi, S., Lashina, T., Rosemann, A. (2017). Lighting preference profiles of users in an open office environment. *Building and Environment*, 116, 89–107.
- [11] Gilani, S., O'Brien, W. (2017). Modelling and simulation of lighting use patterns in office spaces. *Building Simulation*, San Francisco, CA.
- [12] Escuyer, S., Fontoynt, M. (2001). Lighting controls: a field study of office workers' reactions. *Transactions of the Illuminating Engineering Society*, 33(2), 77–94.
- [13] Fabi, V., Andersen, R. K., Corgnati, S. (2016). Accounting for the uncertainty related to building occupants with regards to visual comfort: A literature survey on drivers and models. *Buildings*, 6(1), 5.
- [14] Boyce, P. R., Veitch, J. A., Newsham, G. R., Jones, C. C., Heerwagen, J., Myer, M., Hunter, C. M. (2006). Occupant use of switching and dimming controls in offices. *Lighting Research & Technology*, 38(4), 358–376.
- [15] Lindelöf, D., Morel, N. (2006). A field investigation of the intermediate light switching by users. *Energy and Buildings*, 38(7), 790–801.
- [16] O'Brien, W., Gunay, H. B. (2014). The contextual factors contributing to occupants' adaptive comfort behaviors in offices—A review and proposed modeling framework. *Building and Environment*, 77, 77–87.
- [17] Booker, LA., Magee, M., Rajaratnam, SM., Sletten, TL., Howard, ME. (2018). Individual vulnerability to insomnia, excessive sleepiness and shift work disorder amongst healthcare shift workers. A systematic review. *Sleep Med Rev.*, available online 27 March, 2018.
- [18] Leppämäki, S., Partonen, T., Piironen, P., Haukka, J., Lönnqvist, J. (2003). Timed bright-light exposure and complaints related to shift work among women. *Scand J Work Environ Health* 29(1): 22–26.
- [19] Khan, S., Duan, P., Yao, L., Hou, H. (2018). Shiftwork-mediated disruptions of circadian rhythms and sleep homeostasis cause serious health problems. *Int J Genomics*, available online 21 Jan, 2018.
- [20] Canazei, M., Pohl, W., Bliem, HR., Weiss, EM. (2016). Acute effects of different light spectra on simulated night-shift work without circadian alignment. *Chronobiol Int.* 34(3): 303–317.
- [21] Sabourin, N. T. (2017). The effects of connected lighting on lighting controls and design.
- [22] Mittal, S., Frayman, F. (1989, August). Towards a Generic Model of Configuration Tasks. In *IJCAI* (Vol. 89, pp. 1395–1401).
- [23] Tiihonen, J., Felfernig, A. (2017). An introduction to personalization and mass customization. *Journal of Intelligent Information Systems*, 49(1), 1–7.
- [24] Van de Werff, T., Van Essen, H., Eggen, B. (2017). The Impact of the Internet of Lighting on the Office Lighting Value Network. *Journal of Industrial Information Integration*.
- [25] Repro-light, D2.2: Requirements Specification, 2018 (c) Luger Research e.U. – Institute for Innovation & Technology – 2018