



CHRONOBIOLOGY & HEALTH
TRANSLATIONAL SENSORY &
CIRCADIAN NEUROSCIENCE



Entwicklung eines Beleuchtungskonzeptes für gezielt nichtvisuelle Wirkung im Schichtbetrieb in der Industrie

Dr. rer. biol. hum. Johannes Zauner

17. Würzburger Forum der Branche Glas und Keramik

2023-11-24

3ipi

3ipi lichtplaner +
beratende ingenieure

Gut geschlafen und ausgeruht?

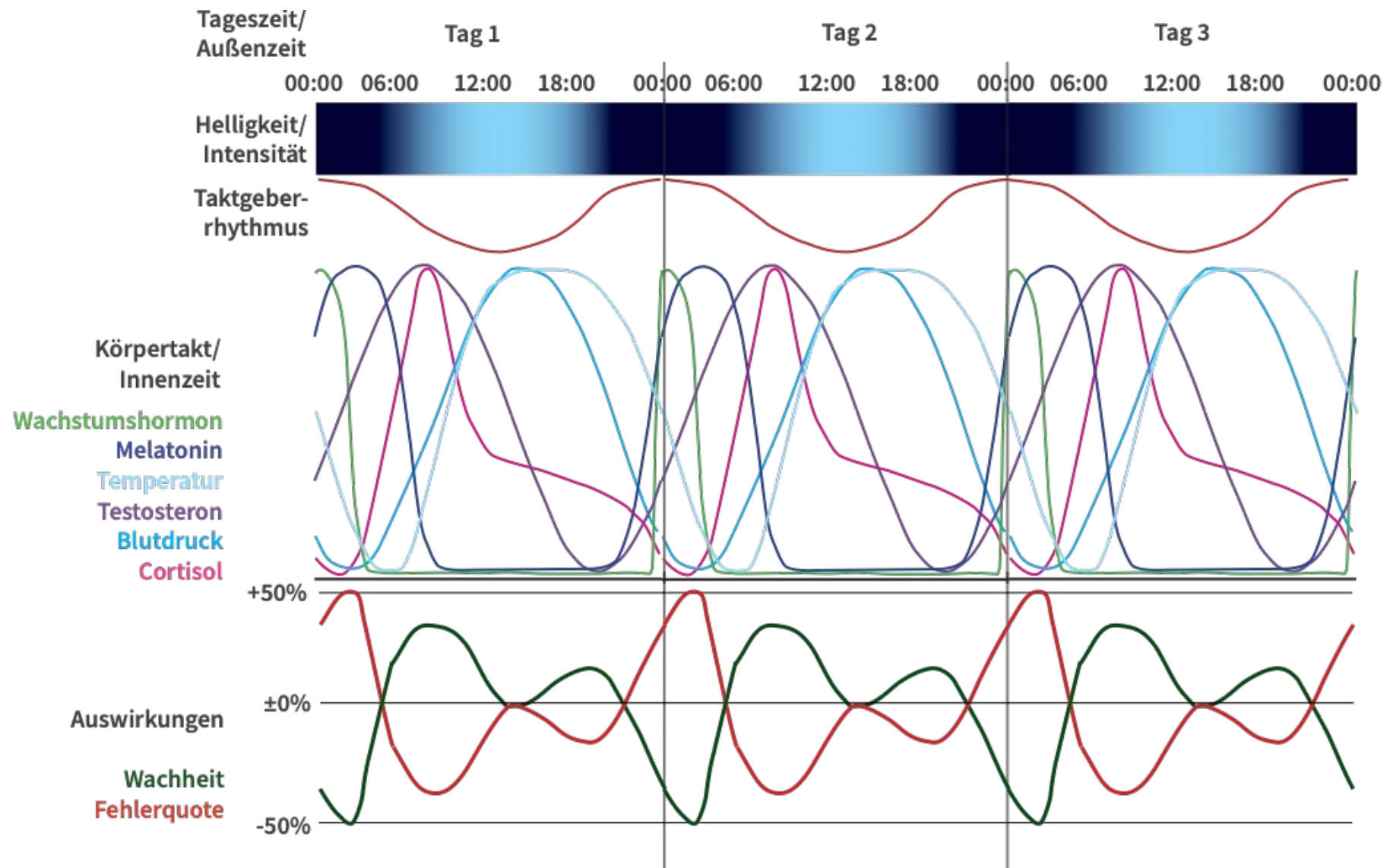


Quelle: DALL-E

Licht ist ein zentraler Gesundheitsfaktor...

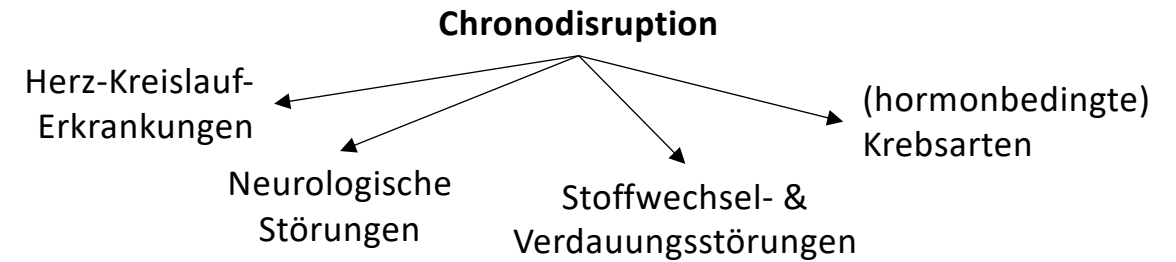
...u.a. weil es der stärkste Zeitgeber
für unsere Innere Uhr ist

Die innere Uhr optimiert uns für den Tagesablauf (circadiane Rhythmik)



Gegen den Rhythmus zu leben ist ungesund

- **Xu et al. (2022), *Nature***, Auswertung aus einer US-Datenbank für Gesundheit und Ernährung (n=7.252, repräsentative Stichprobe): Ein gedämpfter Tag-Nachtrhythmus (Aktigraphie) korreliert stark mit dem Sterberisiko. Lediglich das Alter der Person war ein besserer Vorhersagewert - sogar der allgemeine Gesundheitszustand war ein schlechterer Prädiktor!
- **Ma et al. (2023)**, Auswertung aus der UK Biobank Studie (n=94.489): In Fällen, in denen der Zeitpunkt der Hauptaktivität am Tag nicht mit der inneren Uhr übereinstimmt (also z.B. Hauptaktivität am Abend für einen Morgentyp), war die Sterblichkeitsrate aufgrund von Herz-Kreislauf-Beschwerden um ca. 50% erhöht.
- **Erren et al. (2008)**, Meta-Analyse von 30 epidemiologischen Studien: Schichtarbeiter haben ein um 40% erhöhtes Risiko hormonbedingter Krebsarten (Brustkrebs b. Frauen, Prostatakrebs bei Männern).



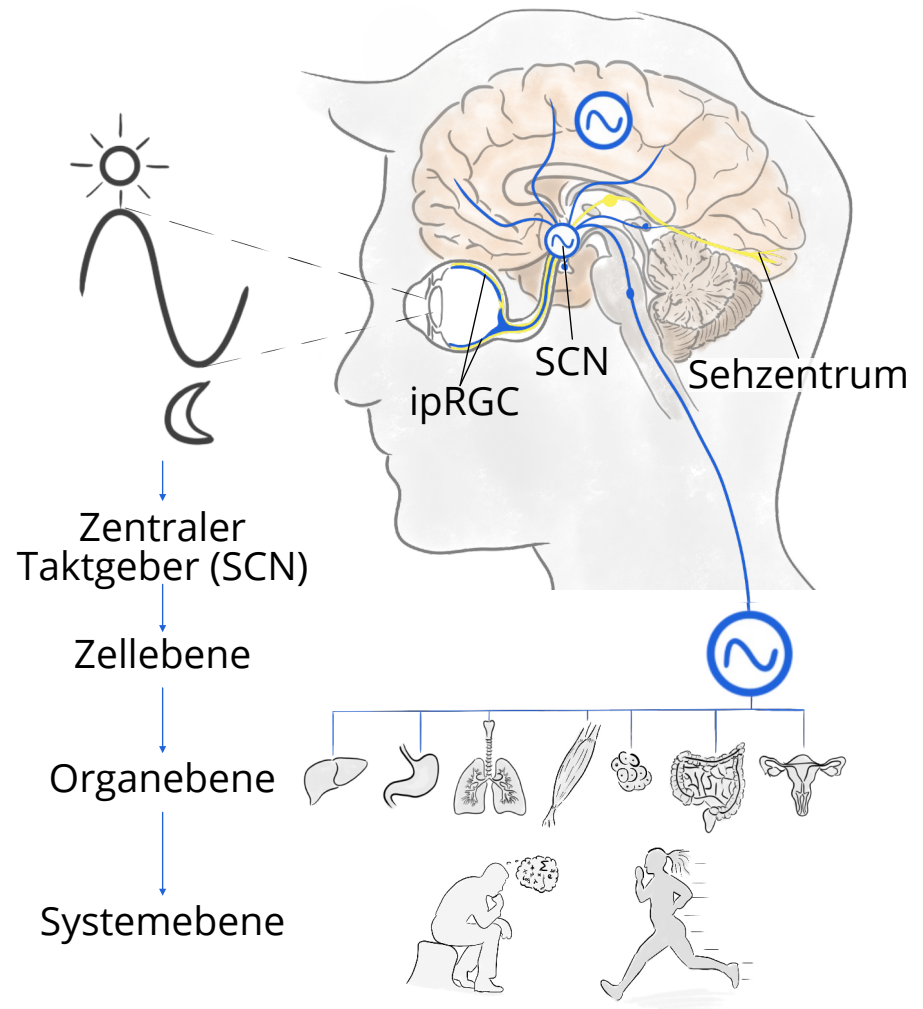
Die internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) hat im Juni 2019 Nachtschichtarbeit als Gruppe-2A-Karzinogen eingestuft (wahrscheinlich krebserregend für Menschen!)

(vorher bereits Schichtarbeit mit Chronodisruption 2a)

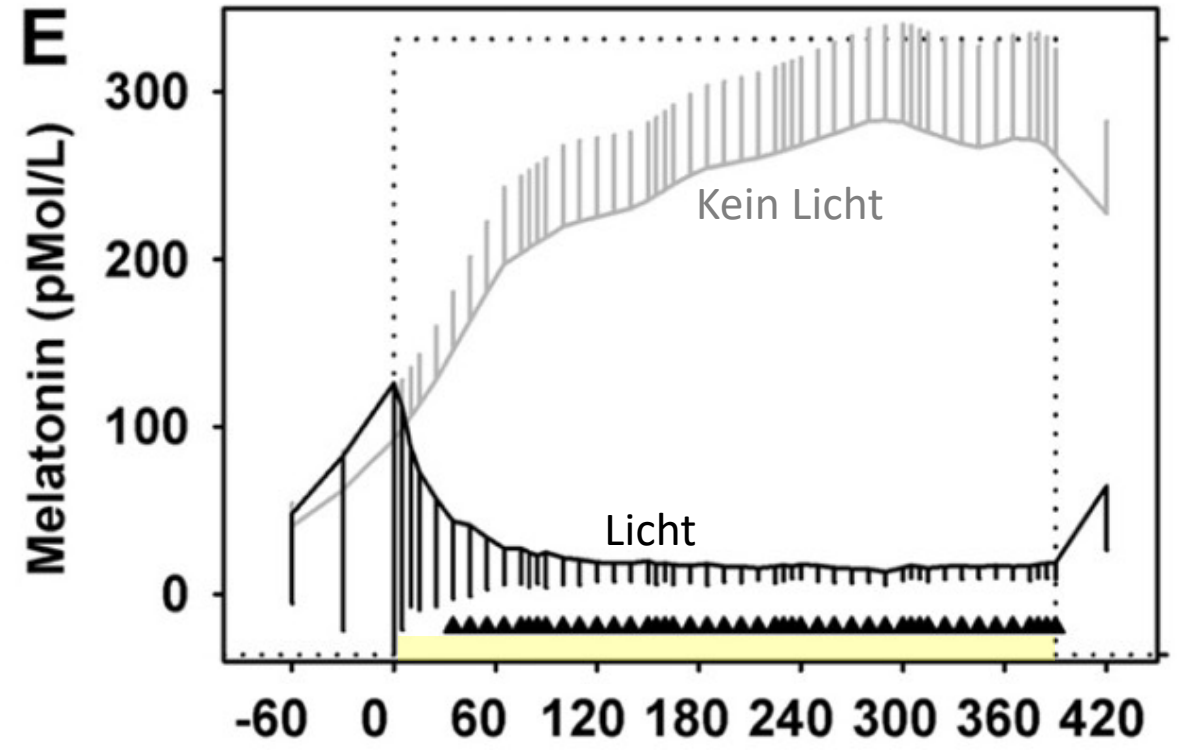


Bildquelle: Deutsches Ärzteblatt 2009

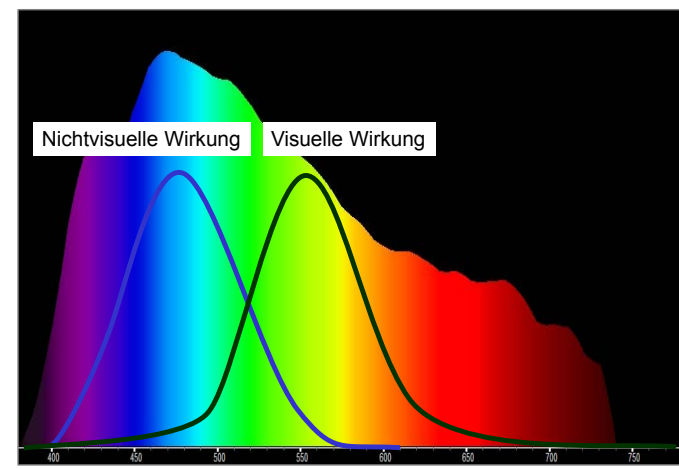
Die innere Uhr wird vom Lichtinput im Auge gesteuert



Source: © Johannes Zauner



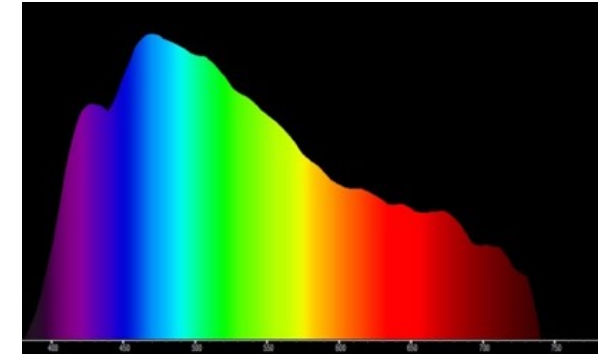
Rahman et al. (Nature, 2019)



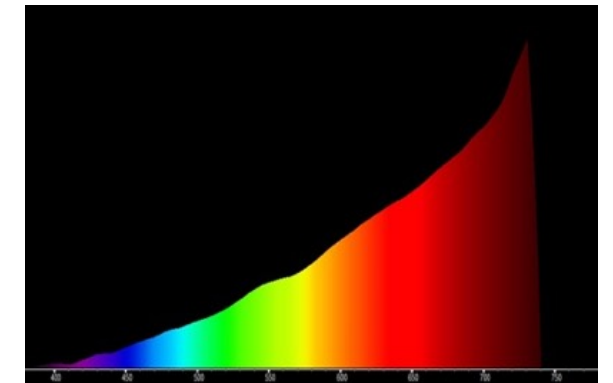
Evolutionär sind Menschen geprägt vom Tageslichtverlauf



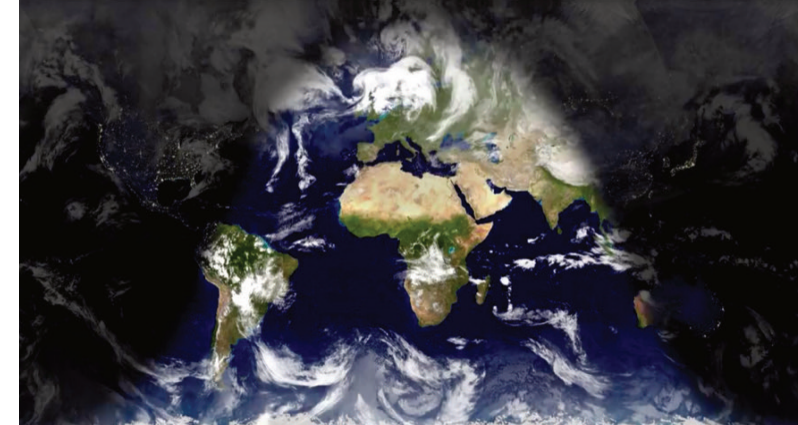
tagsüber



abends



nachts



Die Innenraumgesellschaft verschiebt den Licht-Schwerpunkt

Quelle: © nach Dr. Renate Hammer / Institut of Building Research & Innovation

AUSSENRAUM

rund **8%** der Lebenszeit
Jahresglobalstrahlung außen

Abbildung 1: Spielende Kinder
Quelle: © Getty Images



Sonstige 4%

Abbildung 2: Fahrradfahren in der Stadt
Quelle: © Stefanie Silber, faz.net



Verkehr 4%

Abbildung 3: Küche
Quelle: Shutterstock



Abbildung 4: Schlafzimmer
Quelle: © Getty Images



zu Hause 57%

Abbildung 5: Büro
Quelle: © monkeybusinessimages/gettyimages



Abbildung 6: Schule
Quelle: Georgios Kefalas (Keystone) © tagesanzeiger.ch



Arbeitsplatz 24%

Abbildung 7: Museum
Quelle: visit.gent.be



Sonstiges 6%

Abbildung 8: Autofahren
Quelle: © Marko / Fotolia



Verkehr 5%

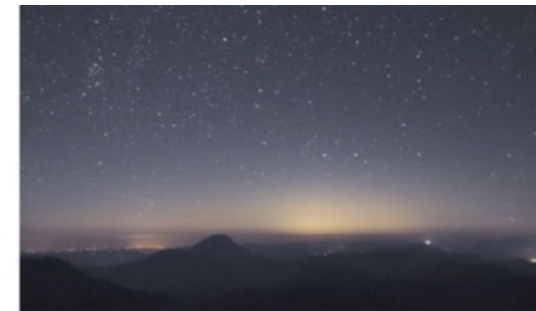
INNENRAUM

rund **92%** der Lebenszeit
Jahresglobalstrahlung innen

Kulturelle Entwicklung

INNENRAUMGESELLSCHAFT

Reduktion bestimmter
Spektralanteile um 90%
innerhalb von nur 15 Generationen



Quellen vlnr: © Nasa, © kufner-sterne.at, © Deutsches Ärzteblatt 2009; 106(1-2)

Persönliche Lichtexposition und Gesundheit sind verknüpft

Light at night in older age is associated with obesity, diabetes, and hypertension

THE CHICAGO HEALTHY AGING STUDY COHORT



552 Community-dwelling adults (aged 63-84 years)	Light at Night (N=297)	No Light at Night (N=255)
Obesity	40.7%	26.7%
	Adjusted odds ratio, 1.82; 95% CI, 1.26-2.65	
Diabetes	17.8%	9.8%
	Adjusted odds ratio, 2.0; 95% CI, 1.19-3.43	
Hypertension	73.0%	59.2%
	Adjusted odds ratio, 1.74; 95% CI, 1.21-2.52	



Light at night was associated with greater prevalence of obesity, diabetes, and hypertension in community-dwelling older adults.

Quelle: Kim et al. (2022). Light at night in older age is associated with obesity, diabetes, and hypertension. *Sleep*.

- **Blask et al. (2005), *Cancer research***: Blut von Frauen mit nächtlicher Lichtexposition fördert das Wachstum von Brustkrebszellen
- **Chang et al. (2015), *Proc Natl Acad Sci USA***: Abendliche Nutzung selbstleuchtender Bildschirme unterdrückt die Ausschüttung von Melatonin (75%) verschiebt die innere Uhr (1h), verzögert die Einschlafzeit (15min), verringert die Schlafqualität (12 min weniger REM-Schlaf), und erhöht die Müdigkeit am nächsten Morgen (~6%)
- **Facer-Childs et al. (2019), *Sleep Med***: Negative Begleiterscheinungen eines späten Chronotyps kann aktiv entgegengewirkt werden, indem der Lichtkonsum gezielt dynamisch gestaltet wird.
- **Burns et al. (2023), *Nature***: Lichtexpositionsmessungen an einer großen Stichprobe (n= 86,772 Erwachsene) zeigen, dass höhere Lichtexposition bei Nacht mit einem höheren Risiko für Depressionen, Angststörungen, PTSD, Psychosen, Bipolarstörungen, und selbstschädigendem Verhalten einher gehen.
- Im Gegensatz dazu war erhöhte Lichtexposition am Tag mit dem reduzierten Risiko für nahezu alle diese Faktoren korreliert. Die Ergebnisse sind unabhängig von anderen Faktoren wie der Aktivität.
- **Lok et al. (2023), *Frontiers Sleep***: Lichtexpositionsmessungen an einer Stichprobe (n= 877 ältere Männer) zeigen, dass geringere Tageslichtmengen mit erhöhten Schlafstörungen und insgesamt schlechterer psychologischer Gesundheit und kognitiver Leistung einhergehen.

Jedes Licht wirkt

Nicht nur das speziell auf melanopische Lichtwirkungen hin geplante!

Beleuchtung ohne Tagesdynamik ist überholt

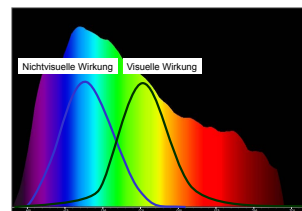
Es ist auf Dauer weder gesundheits- noch leistungsförderlich.

Wir leben meist im biologischen Zwielflicht

Am Tag ist der Reiz auf das melanopische System i.d.R. zu niedrig, am Abend zu hoch.

Deshalb brauchen wir bereits heute
Das richtige Licht zur richtigen Zeit!

Planung:
CIE S 026
DIN/TS 5031-100
DIN/TS 67600



Source: © Johannes Zauner

215-220

DGUV Information 215-220



Nichtvisuelle Wirkungen von Licht auf den Menschen

September 2018

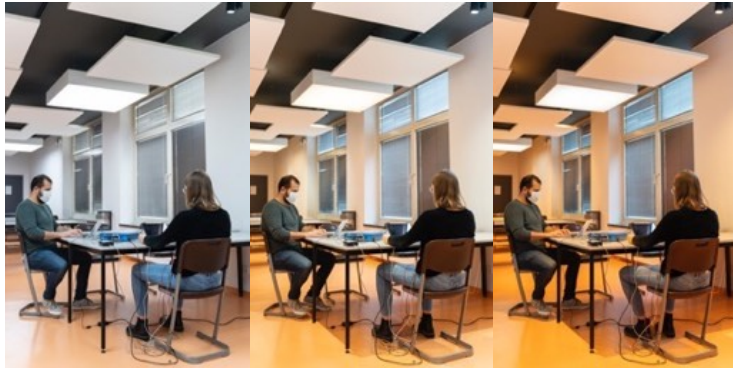
Beschluss 9 / 7. ASTA-Sitzung vom 28.11.2018
Bekannt gemacht im Auftrag des Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS)

Empfehlung des Ausschusses für Arbeitsstätten (ASTA) - Künstliche biologisch wirksame Beleuchtung in Arbeitsstätten

Dynamische Beleuchtung: eigene Beispiele und Wirkungen

Herzkontraktionskraft(Belastung) – Lernraum, Hochschule München

Zauner et al. 2020, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239553>



Schlafqualität + Wohlbefinden + Produktionsgebäude, Schreinerei

DBU Projekt 29965/02, www.dbu.de

Stress – Arbeitsbelastung – Wohlbefinden + Leitwarte & Untersuchungsraum, Aluminiumindustrie

Private Studie des Betriebs



Entwicklung einer Beleuchtung für den Schichtbetrieb

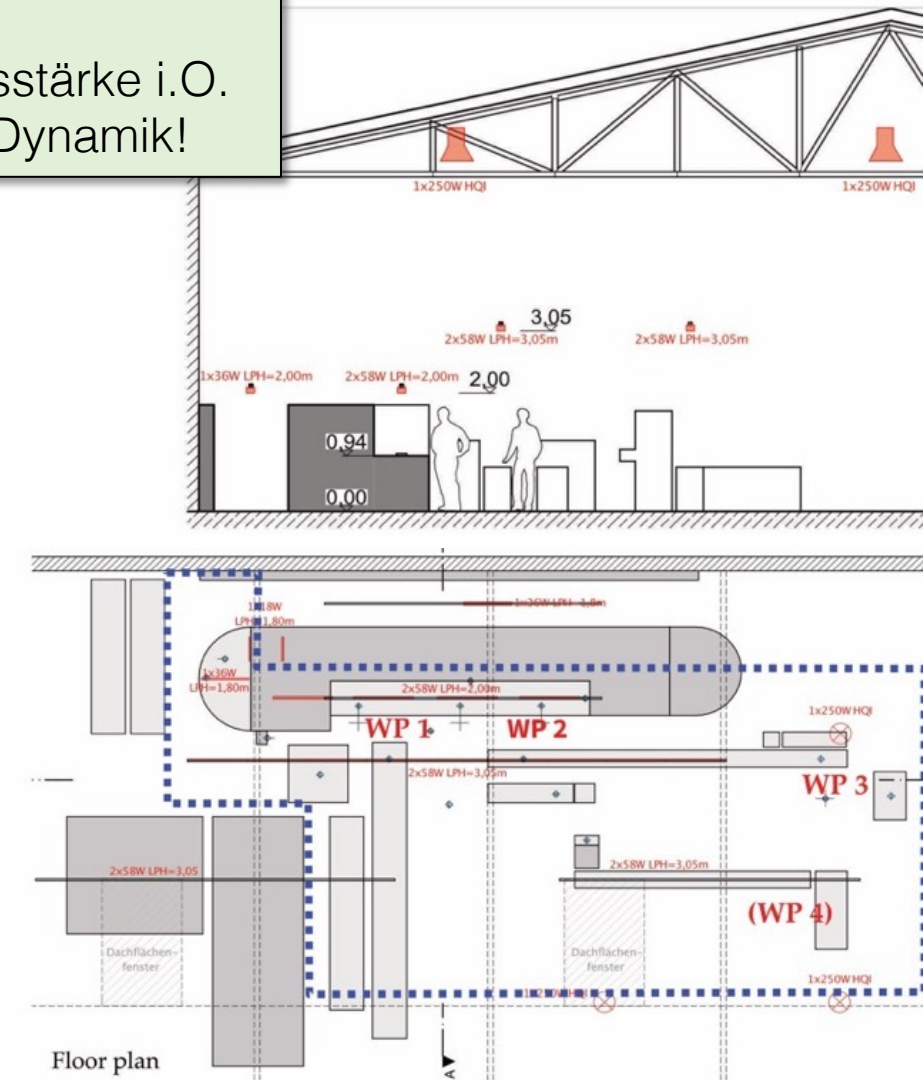
...im Hinblick auf gezielte
nichtvisuelle Wirkungen

Projektbeschreibung RHI Magnesita (Marktredwitz, Bayern)

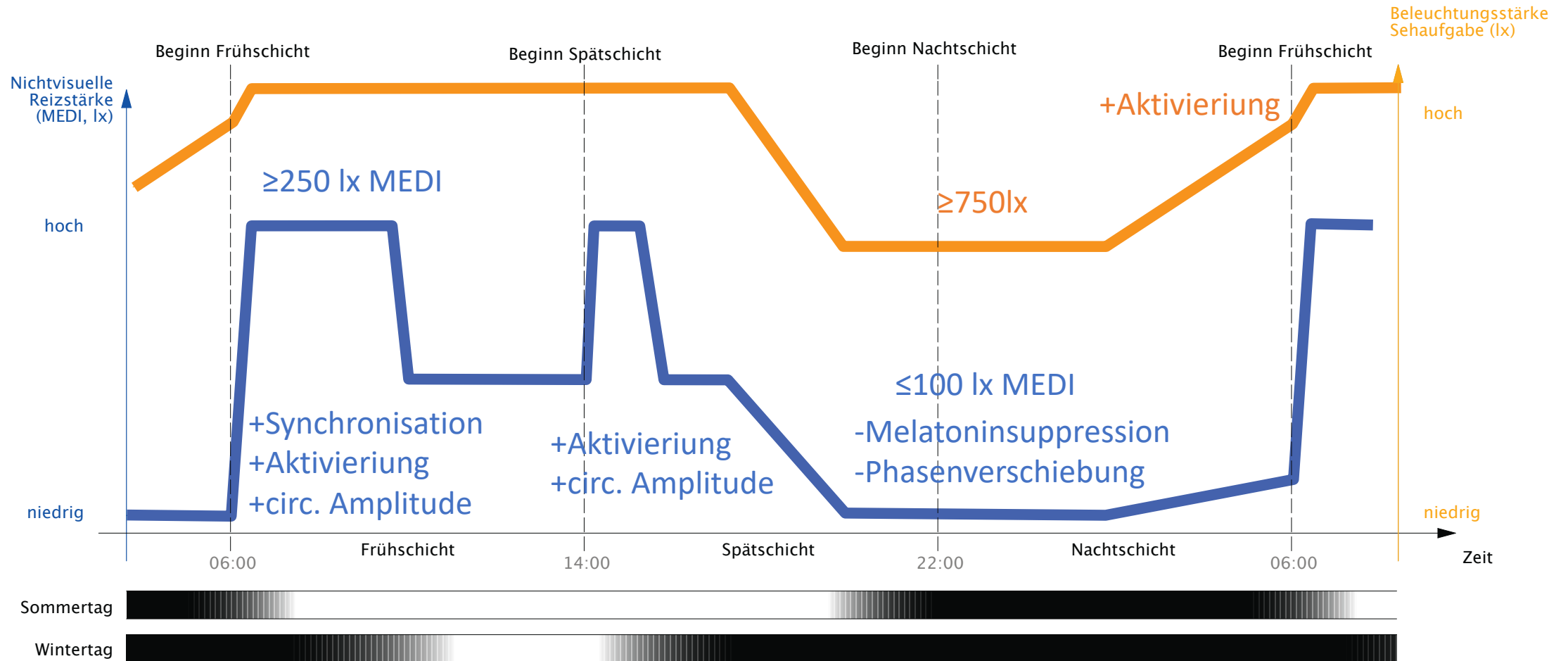
- 3 Arbeitsplätze
- 4 Schichten (Früh, Spät, Nacht, Frei)
- ~12 Personen betroffen

Bestands-Bewertung:

- Leuchten Blenden
- Horizontale Beleuchtungsstärke i.O.
- Vertikale Helligkeit ohne Dynamik!



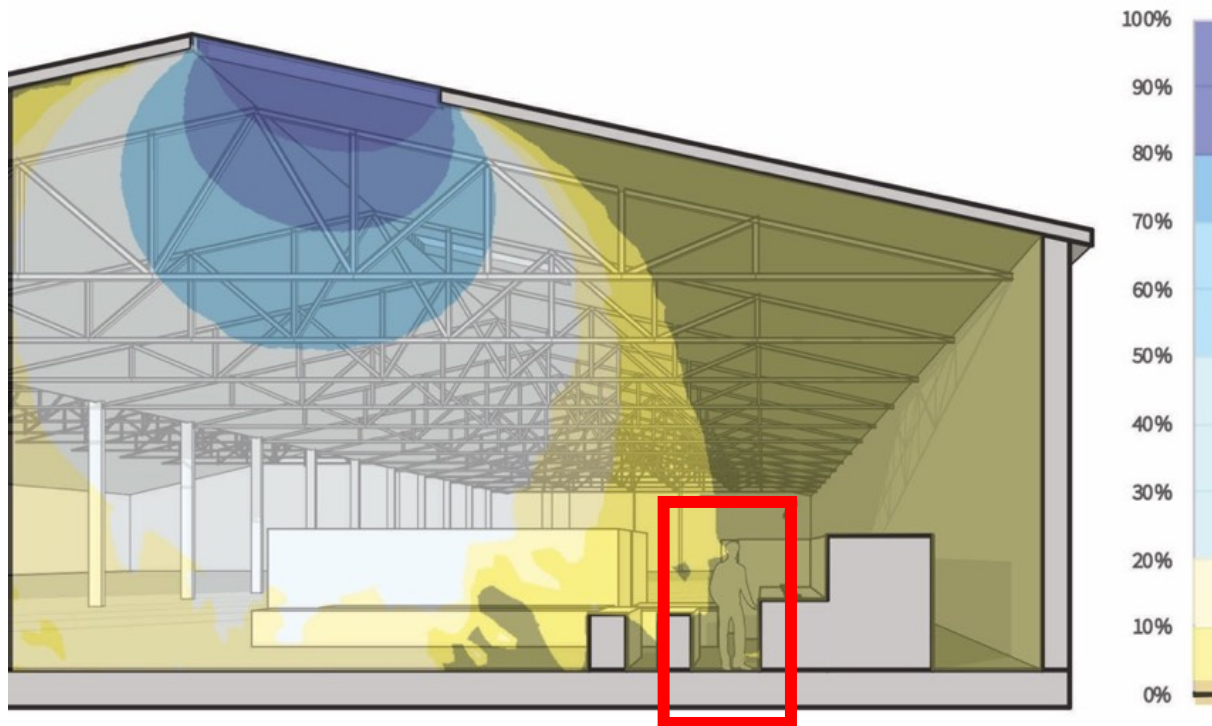
Projektbeschreibung: Zielstellung



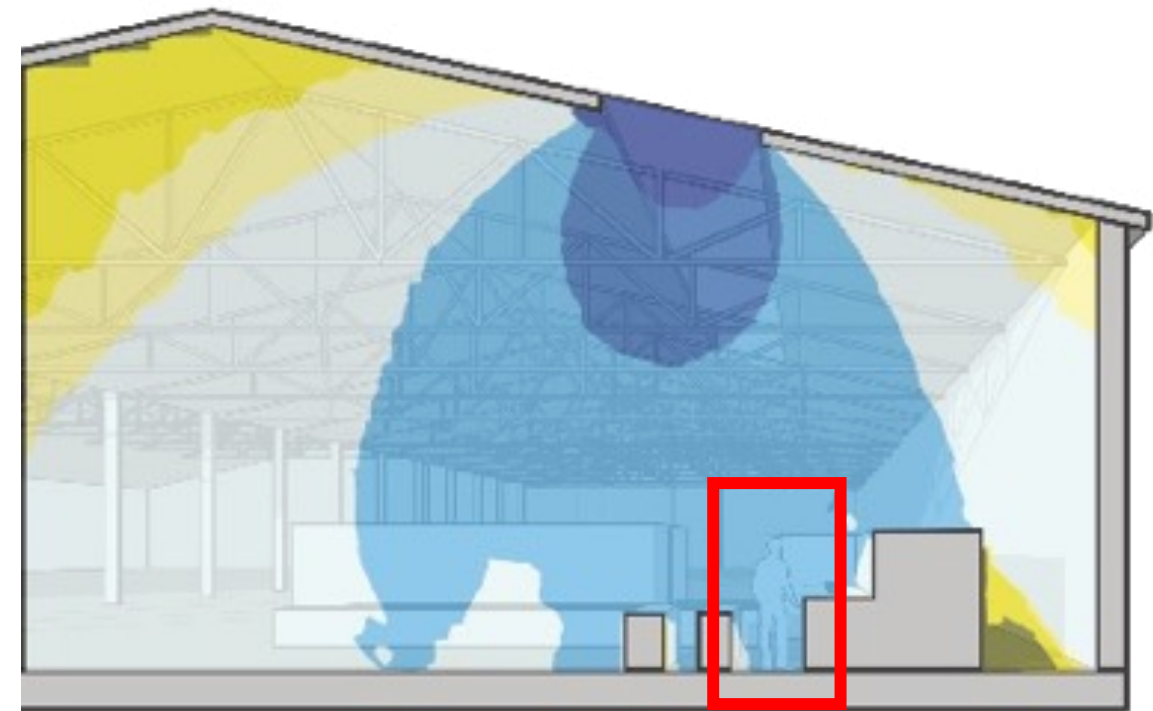
Projektbeschreibung: Tageslichtsituation und -Optimierung

Simulation zur Abschätzung des Tageslichtbeitrags

Bestand (5% Öffnungsanteil, 0% Tageslichtautonomie)

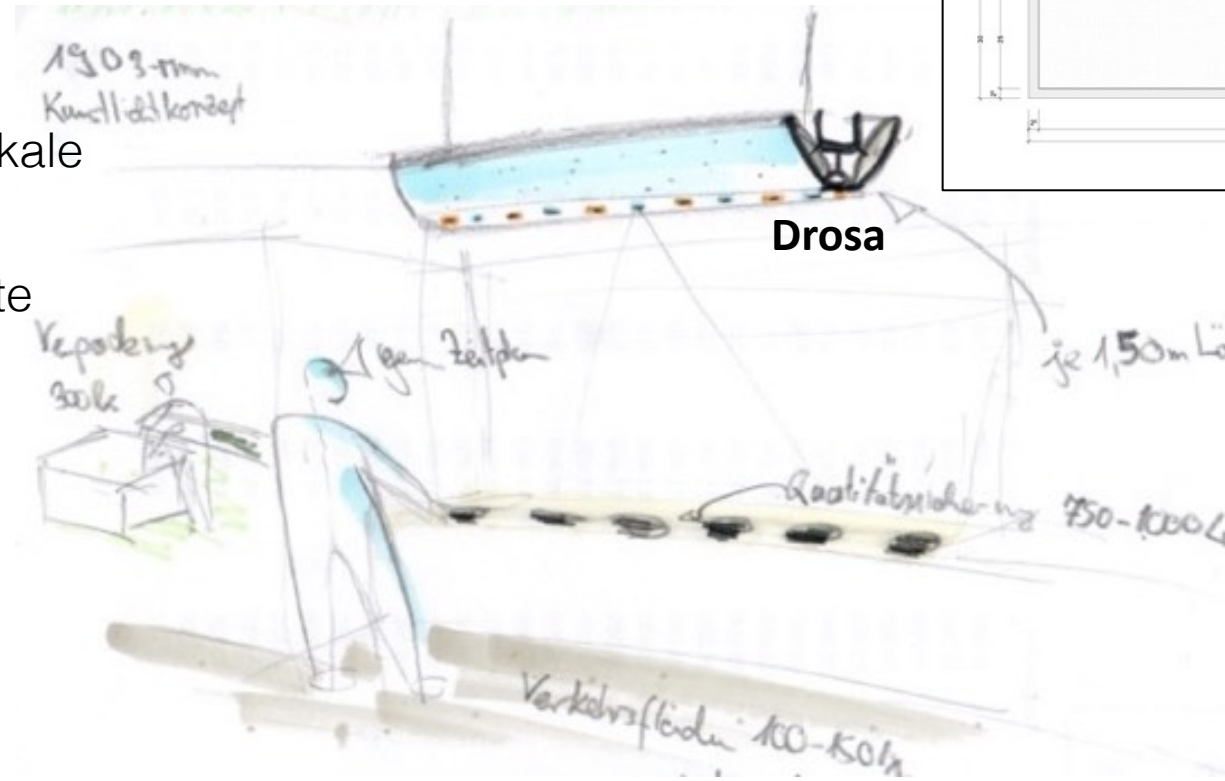
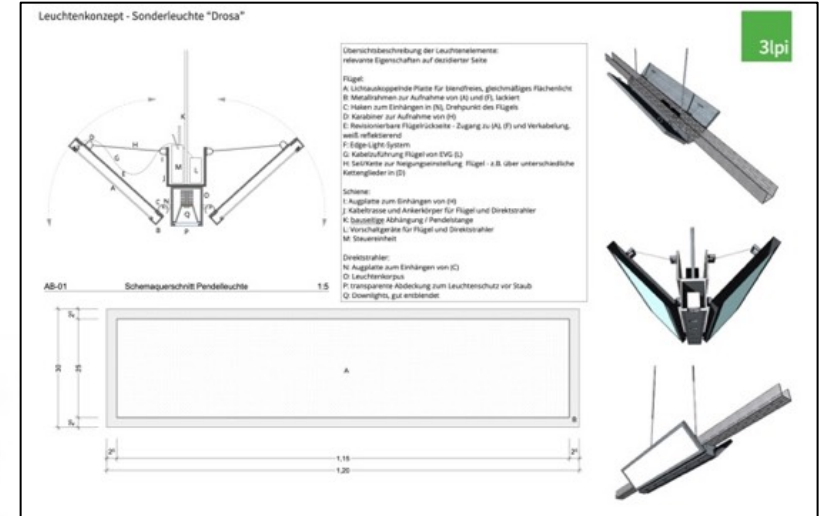


Optimierung (17% Öffnung, 58% Tageslichtautonomie)



Lösungssuche/-Entwicklung

- Der Markt für dynamische Beleuchtung im industriellen Kontext ist dünn.
 - Keine befriedigende Lösung “von der Stange”.
 - Sonderleuchtenentwicklung
 - Flächenleuchte für vertikale Beleuchtung am Auge
 - Direktstrahlende Leuchte für Arbeitslicht
 - Adaptierbar für andere Arbeitsplätze
- > Multiplikatoreffekt



Bemusterung

- 2 Varianten (Direktanteil)
 - Linearleuchte
 - Punktleuchten
- Mitarbeiter durften entscheiden und Änderungen einbringen





Montage & Inbetriebnahme
- Lichtsteuerung (kabellos) bleibt eine
Herausforderung



Vergleich Beleuchtung alt / neu



Alt – jede Zeit

Neu

Morgen



Tag

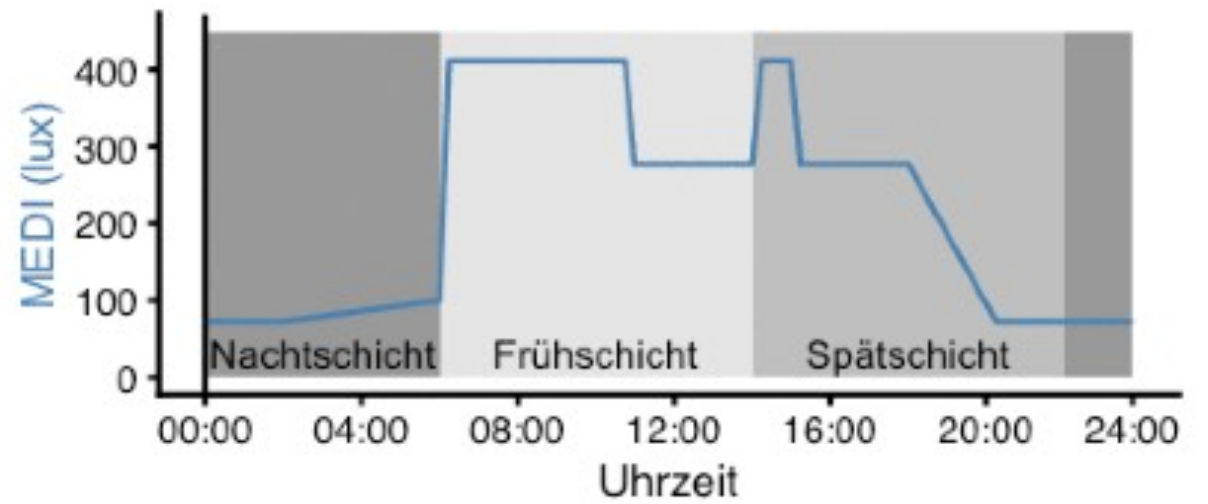
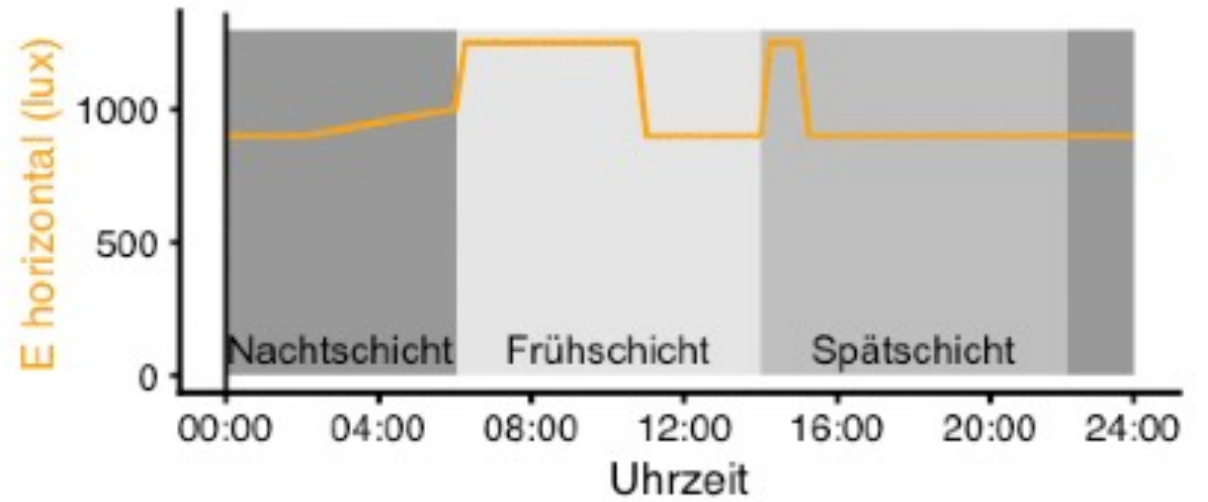
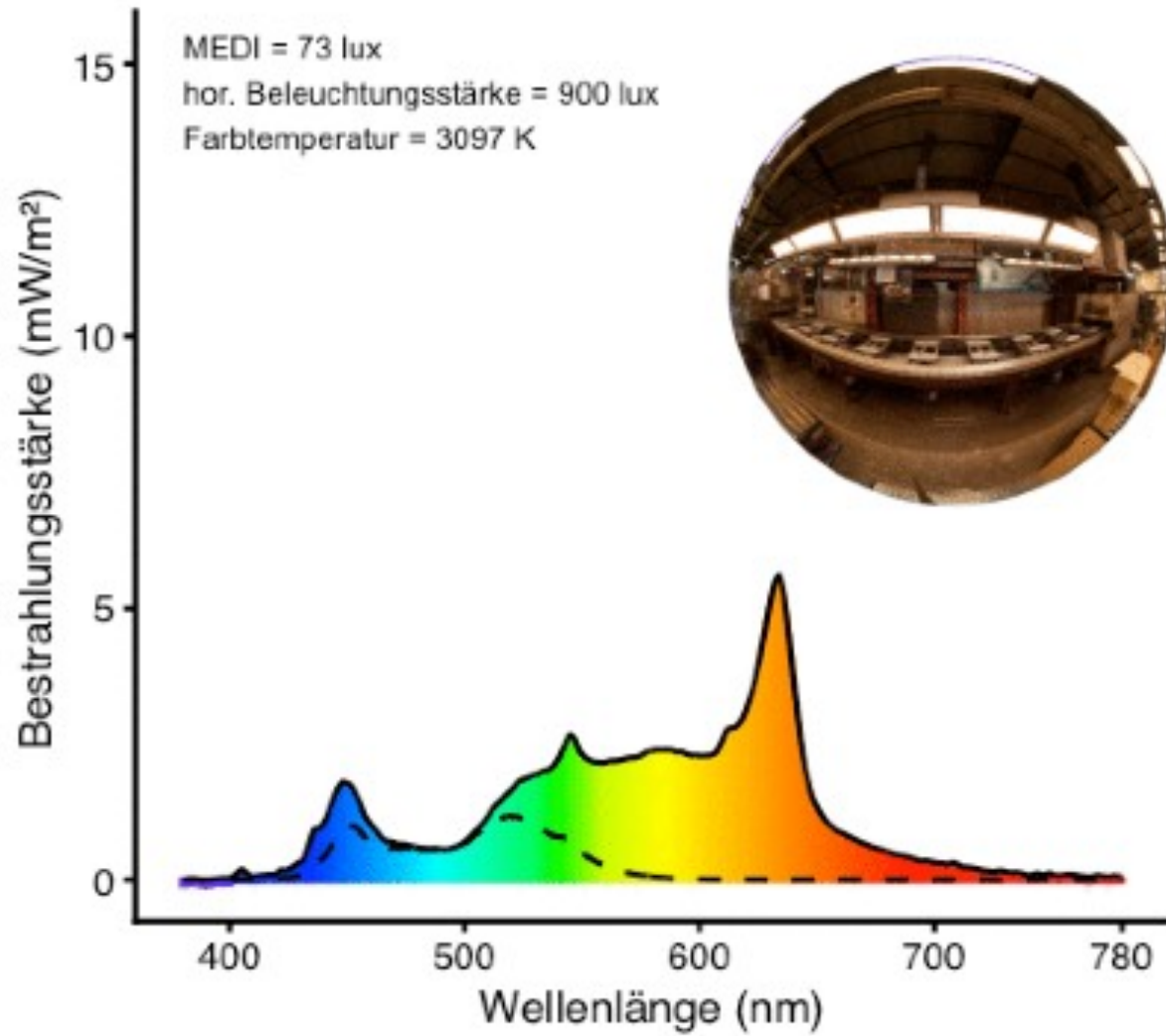


Nacht



Nachtende





- Planung im Hinblick auf nichtvisuelle Metriken ist mit Standardwerkzeugen der Lichtplanung möglich
- DIN/TS 5031-100 und E DIN/TS 67600 geben den metrologischen Rahmen und Beispiel-Kennwerte
- Für Methodik der Simulation siehe [Zauner & Plischke \(2021\), MDPI](#)
- Leuchtenmarkt für die Industrie-Anwendung ist überschaubar im Hinblick auf nichtvis. LW
- Leuchte *Drosa* als Anwendungsbeispiel, adaptierbar für andere Einsatzbereiche innerhalb und außerhalb der Industrie.
- Typische Herausforderungen der Lichtplanung auch / insbesondere bei den nichtvisuellen Lichtwirkungen gegeben.
- Gute Tageslichtplanung kostet wenig und bringt viel bei wenig Automationsaufwand.
- Wirkungsuntersuchung steht im laufenden Projekt noch aus (Nachbefragung)



Johannes Zauner



Projektleitung / Finanzierung



RHI MAGNESITA

Projektpartner / Pilotanlage



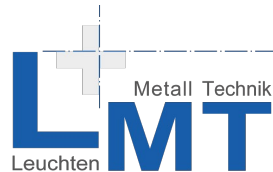
Lichtplanung



Wissensch. Beratung



Mitarbeiterevaluation



Leuchtenfertigung

johannes.zauner@tum.de



jz@3lpi.de



JZauner