



**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?

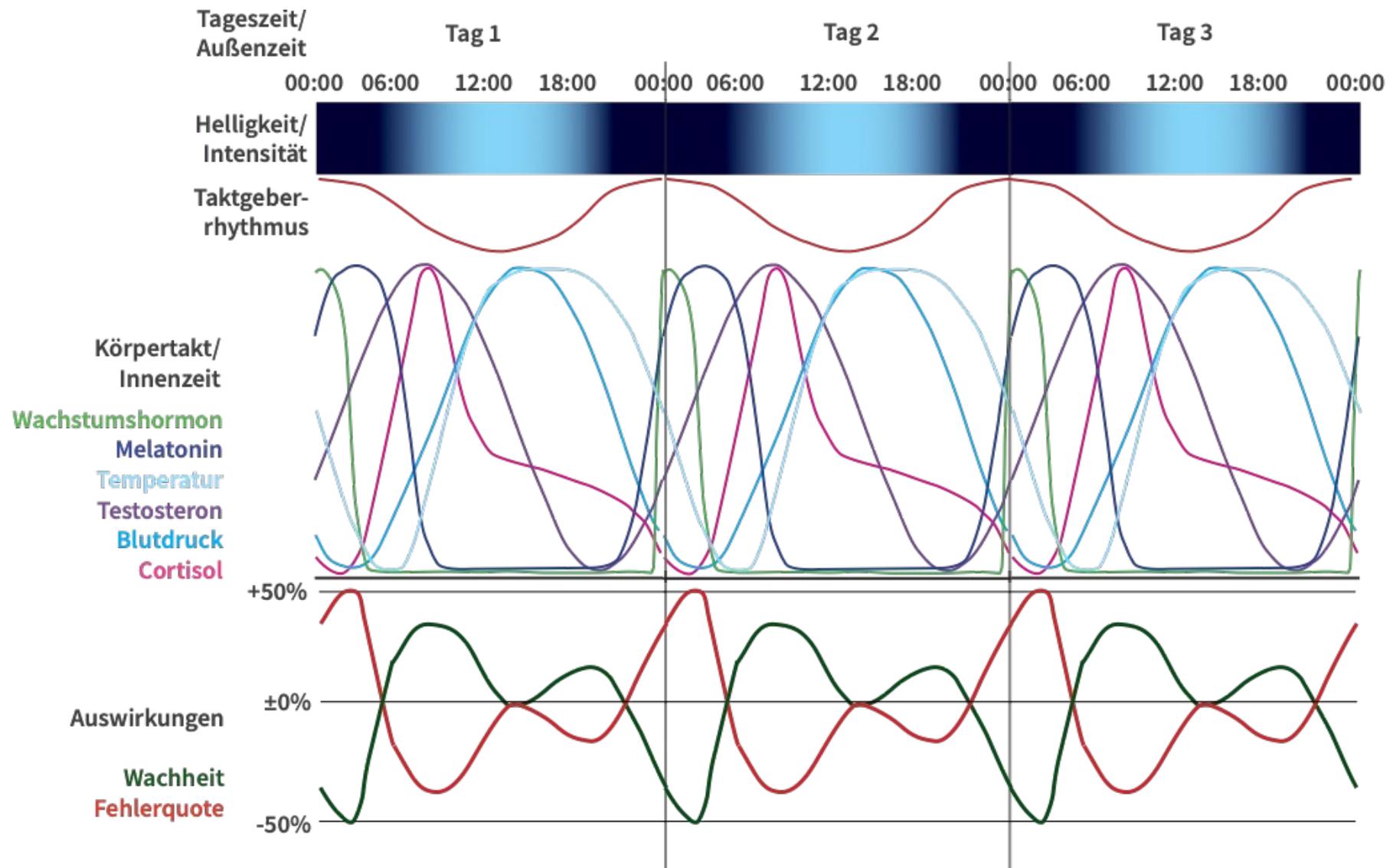


Quelle: DALL-E

# Licht ist ein zentraler Gesundheitsfaktor...

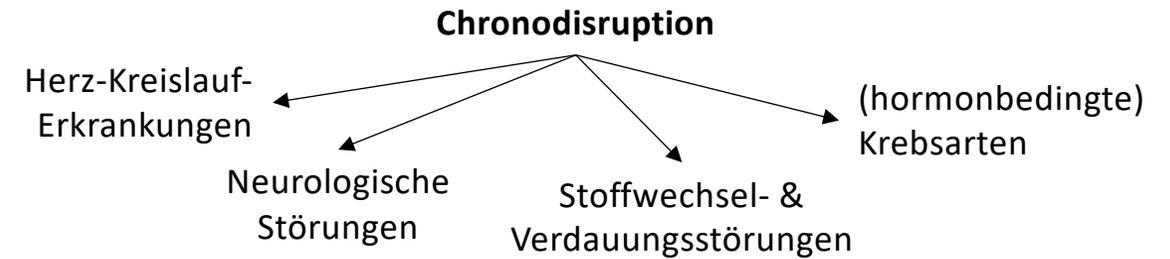
...u.a. weil es der stärkste Zeitgeber  
für unsere Innere Uhr ist

# 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).



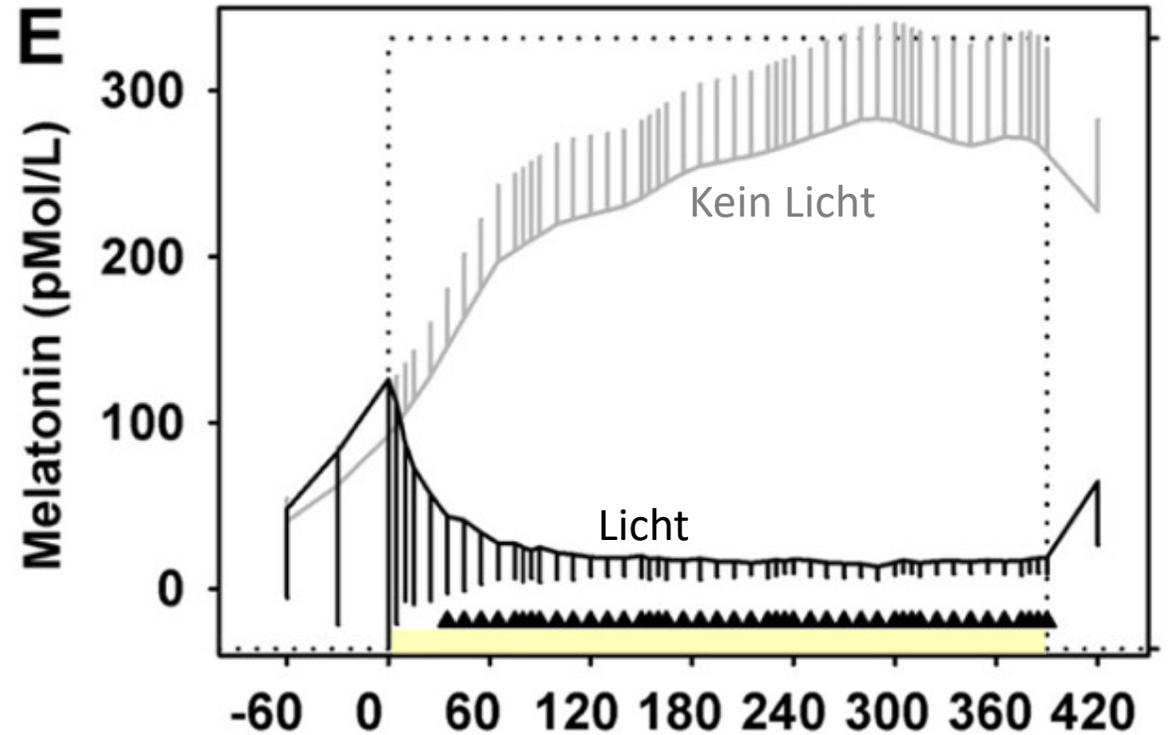
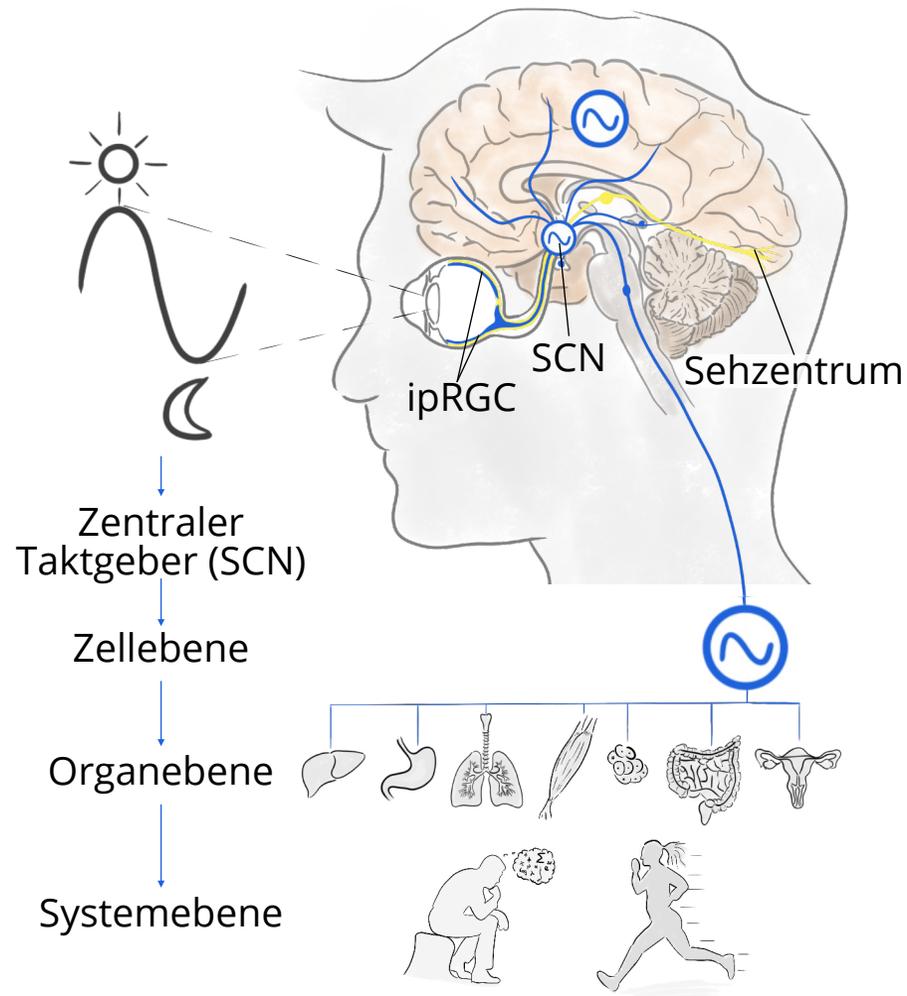
Die internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) hat im Juni 2019 Nachtschichtarbeit als Gruppe-2A-Karzinogen eingestuft (wahrscheinlich krebserregend für Menschen!)

(vorher bereits Schichtarbeit mit Chronodisruption 2a)

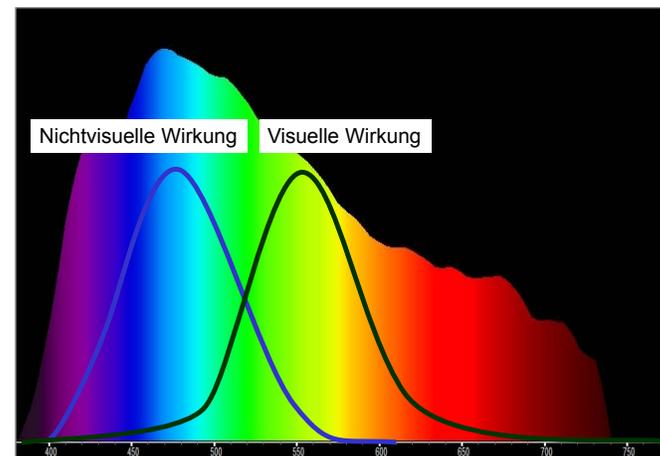


Bildquelle: Deutsches Ärzteblatt 2009

# Die innere Uhr wird vom Lichtinput im Auge gesteuert



Rahman et al. (Nature, 2019)

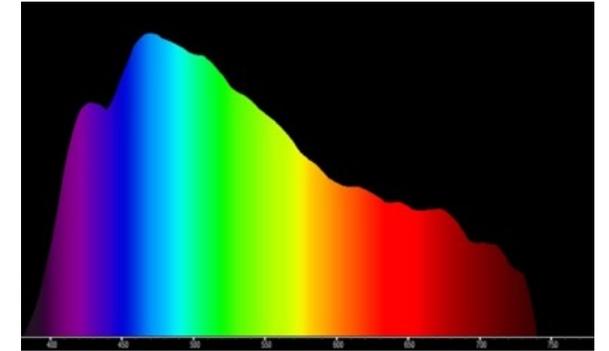


Source: © Johannes Zauner

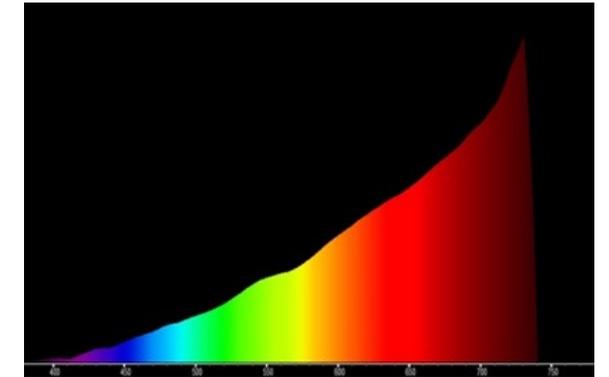
# Evolutionär sind Menschen geprägt vom Tageslichtverlauf



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-sternwarte.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

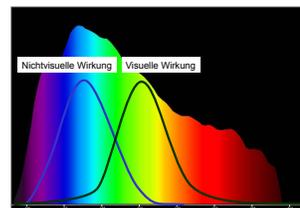
Es ist auf Dauer weder gesundheits- noch leistungsförderlich.

## 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

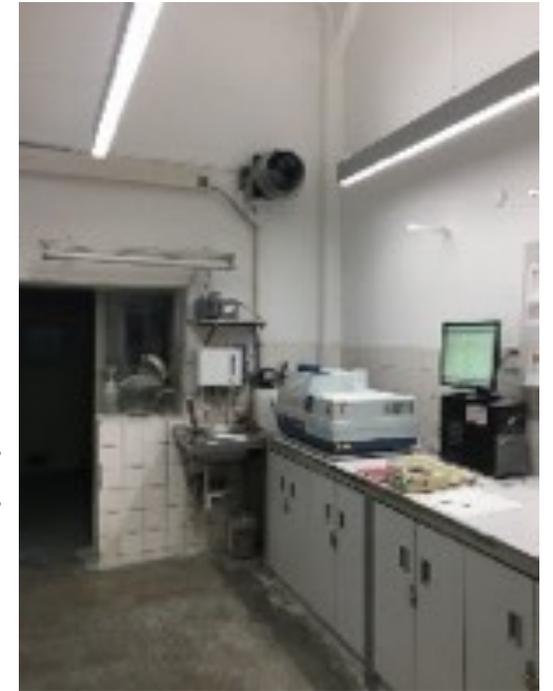
## Herzkontraktionskraft(Belastung) – Lernraum, Hochschule München

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



## Schlafqualität + Wohlbefinden + Produktionsgebäude, Schreinerei

DBU Projekt 29965/02, [www.dbu.de](http://www.dbu.de)



## Stress – Arbeitsbelastung – Wohlbefinden + Leitwarte & Untersuchungsraum, Aluminiumindustrie

Private Studie des Betriebs

# Entwicklung einer Beleuchtung für den Schichtbetrieb

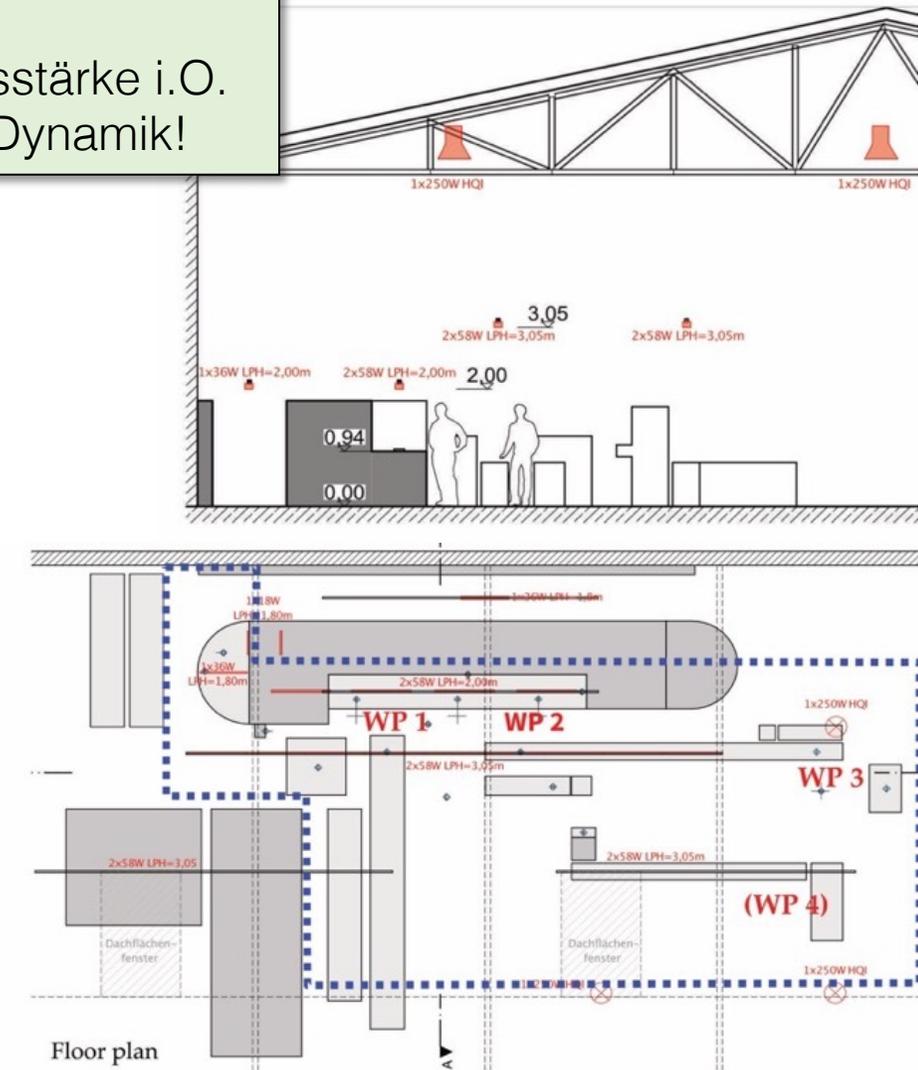
...im Hinblick auf gezielte  
nichtvisuelle Wirkungen

# Projektbeschreibung RHI Magnesita (Marktredwitz, Bayern)

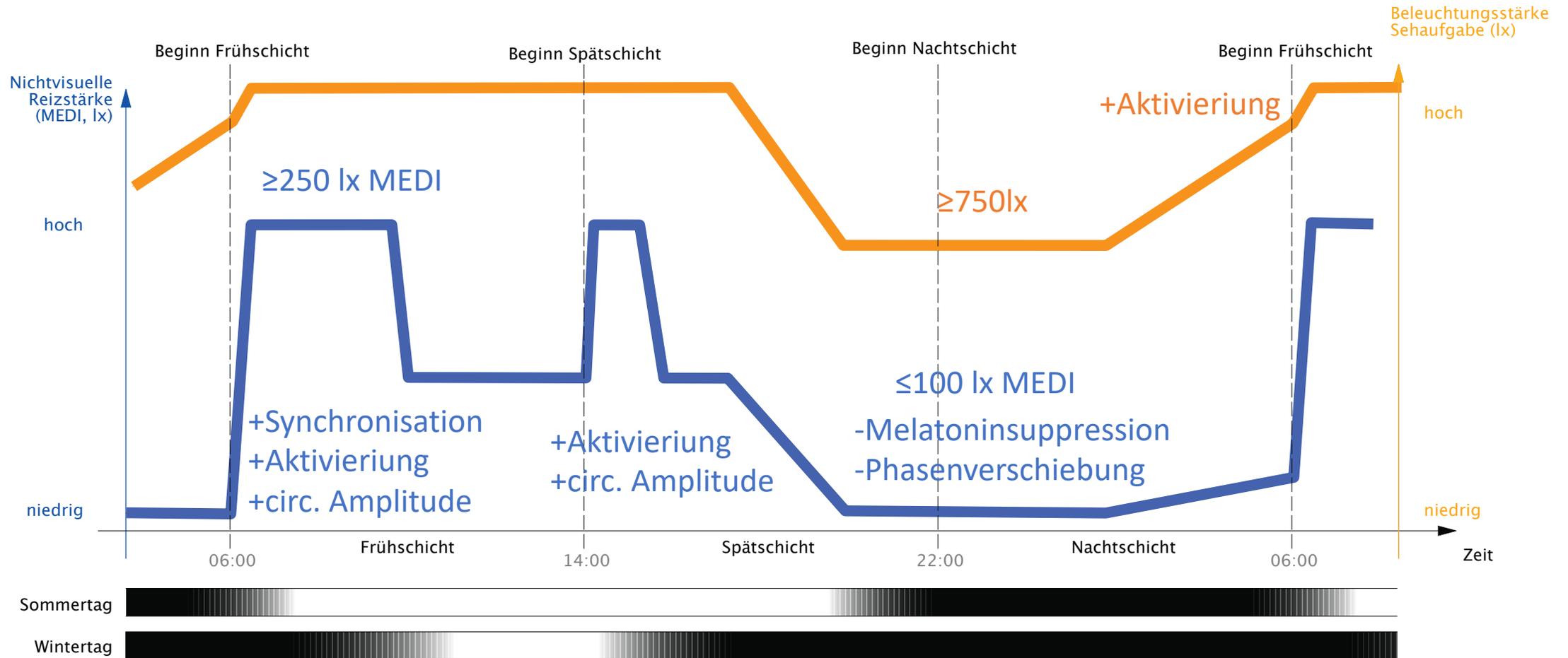
- 3 Arbeitsplätze
- 4 Schichten (Früh, Spät, Nacht, Frei)
- ~12 Personen betroffen

## Bestands-Bewertung:

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



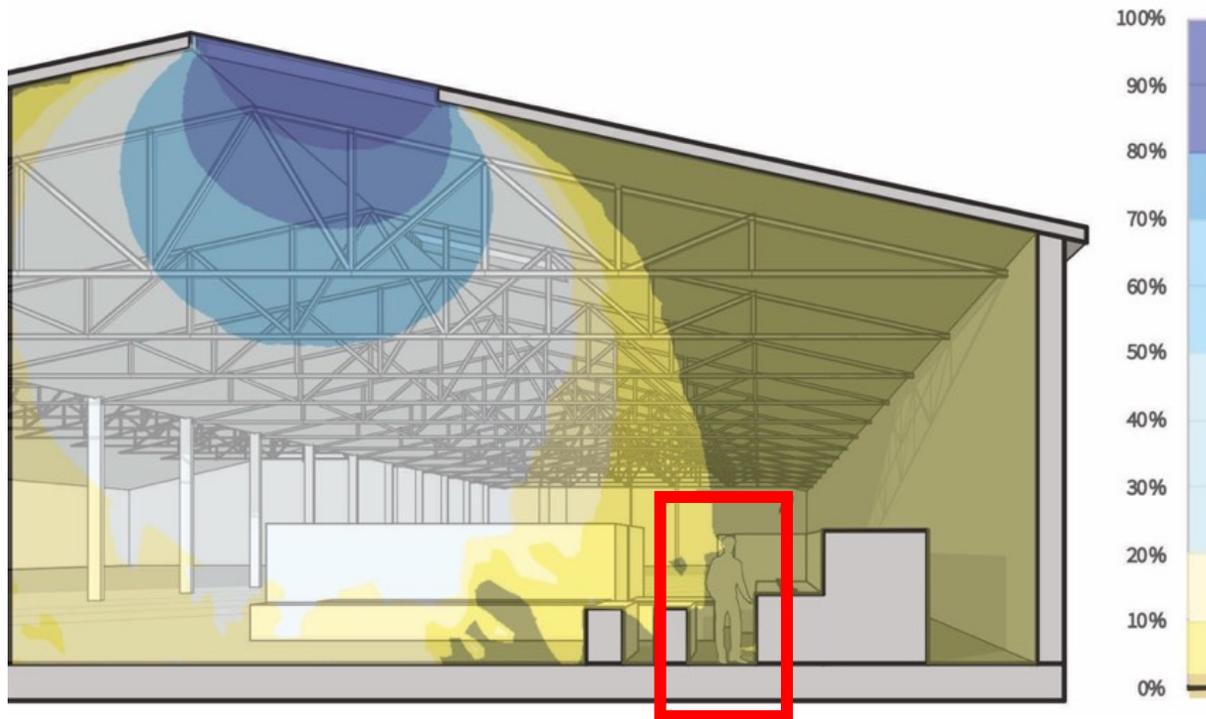
# Projektbeschreibung: Zielstellung



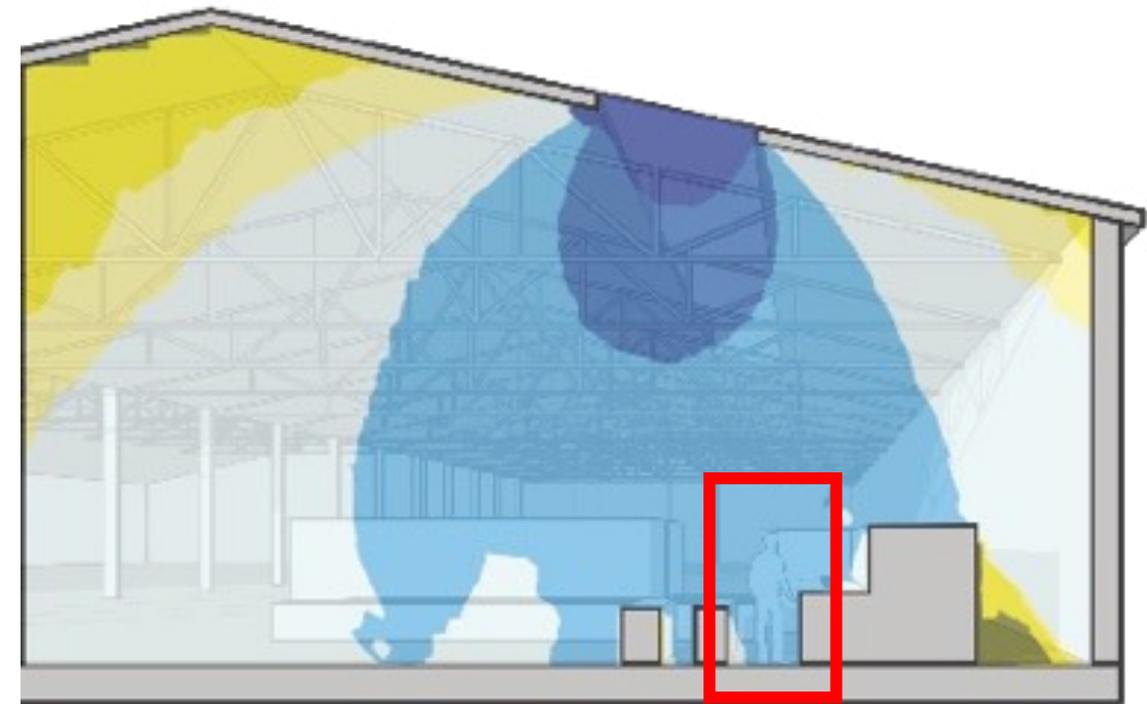
# Projektbeschreibung: Tageslichtsituation und -Optimierung

Simulation zur Abschätzung des Tageslichtbeitrags

Bestand (5% Öffnungsanteil, 0% Tageslichtautonomie)

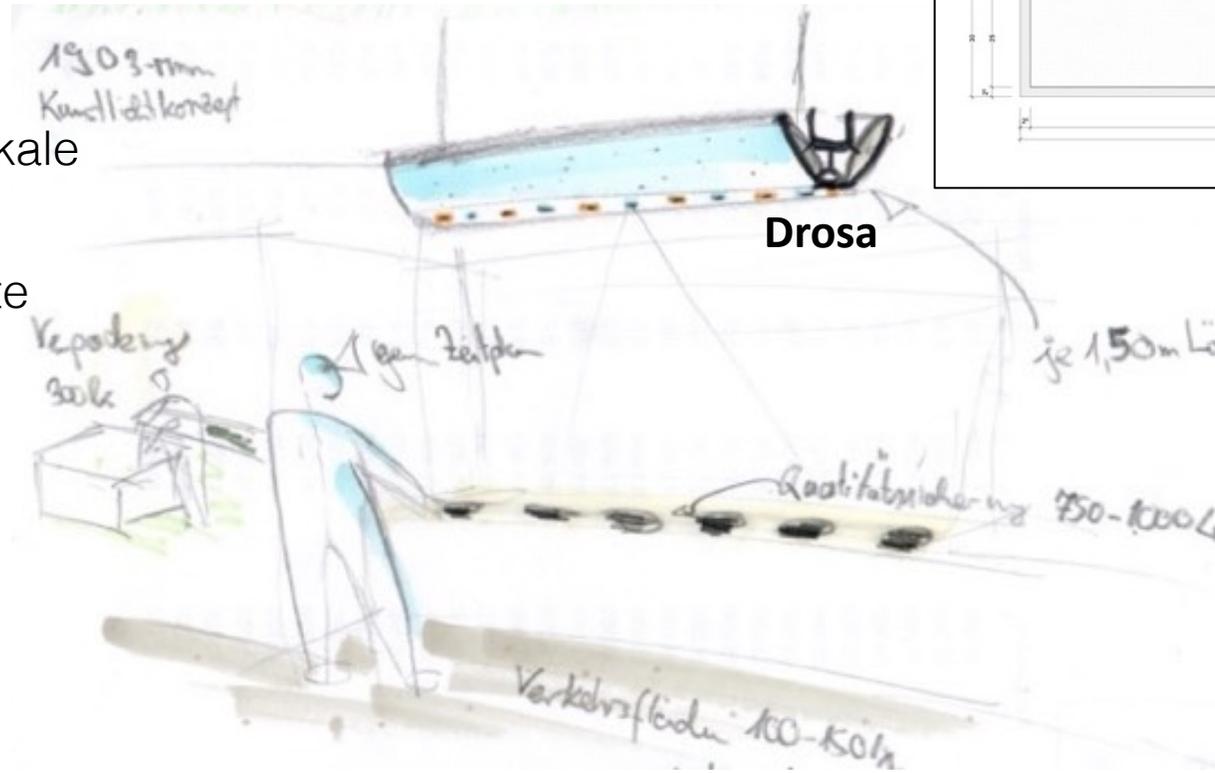
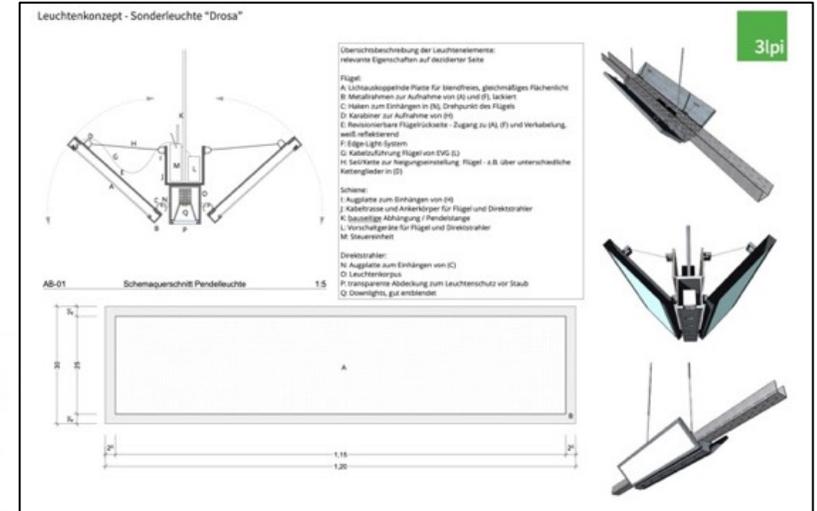


Optimierung (17% Öffnung, 58% Tageslichtautonomie)



## Lösungssuche/-Entwicklung

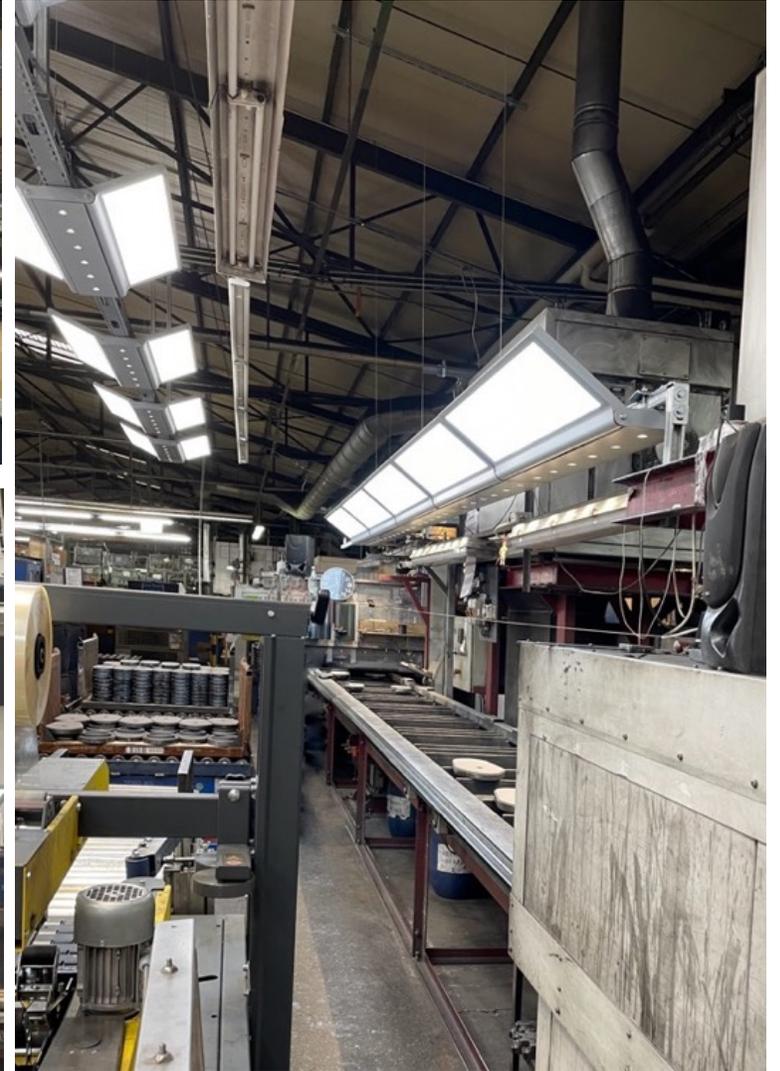
- Der Markt für dynamische Beleuchtung im industriellen Kontext ist dünn.
  - Keine befriedigende Lösung “von der Stange”.
  - Sonderleuchtenentwicklung
    - Flächenleuchte für vertikale Beleuchtung am Auge
    - Direktstrahlende Leuchte für Arbeitslicht
    - Adaptierbar für andere Arbeitsplätze
-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

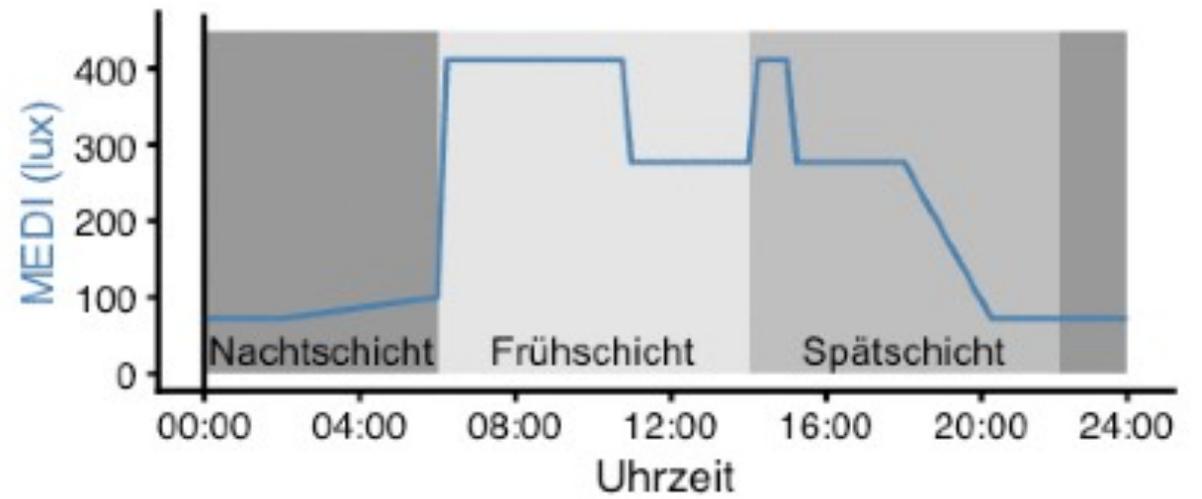
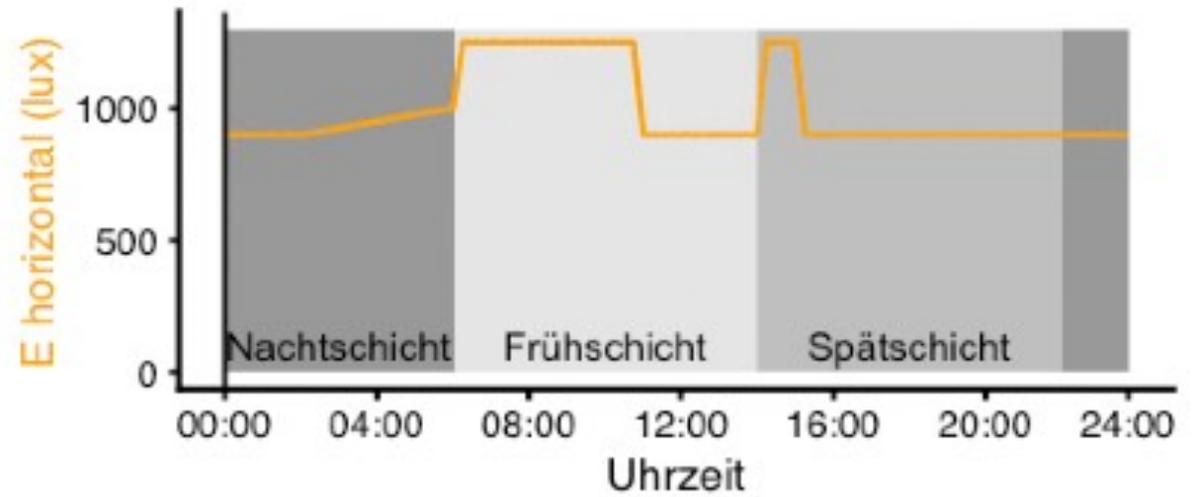
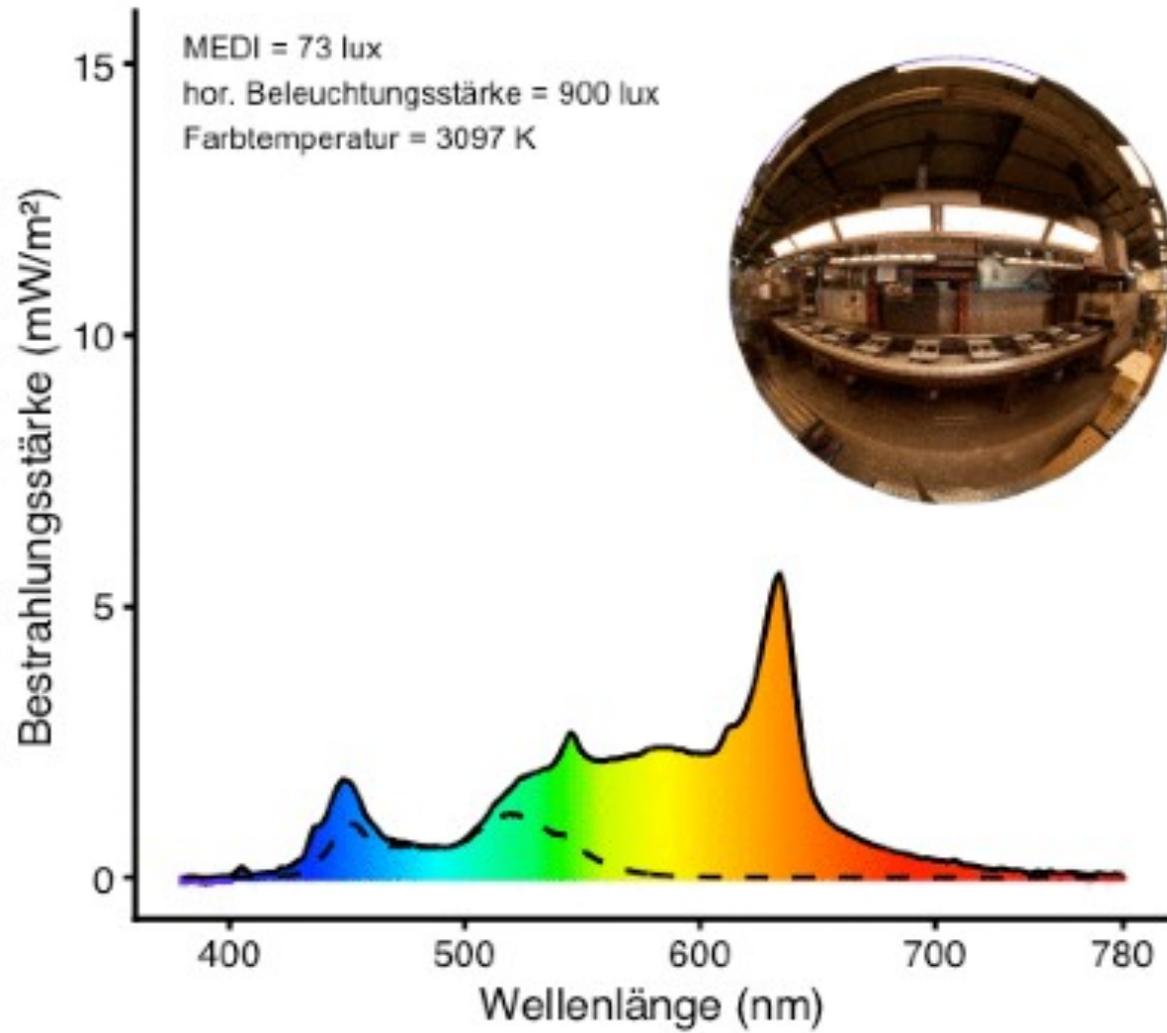


Nacht



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

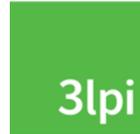


Projektleitung / Finanzierung



RHI MAGNESITA

Projektpartner / Pilotanlage



Lichtplanung



Wissensch. Beratung



Mitarbeiterevaluation



Leuchtenfertigung

johannes.zauner@tum.de



jz@3lpi.de



JZauner