



Lichtexposition aus natürlichen und künstlichen Quellen im Hinblick auf circadiane Wirkungen bei schichtarbeitenden Krankenpflegekräften

baua: Bericht

**Forschung
Projekt F 2355 – Teil 2**

Ljiljana Udovicic
Luke L.A. Price
Marina Khazova

**Lichtexposition aus natürlichen und künstlichen
Quellen im Hinblick auf circadiane Wirkungen bei
schichtarbeitenden Krankenpflegekräften**

1. Auflage 2020
Dortmund/Berlin/Dresden

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um den zweiten Teil des Berichts zum Kooperationsprojekt F 2355 „Ermittlung der tatsächlichen Lichtexposition aus natürlichen und künstlichen Quellen im Hinblick auf circadiane Wirkungen bei schichtarbeitenden Beschäftigten“ der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) und des Public Health England (PHE).

Der erste Teil der Ergebnisse wurde veröffentlicht als BAuA-Bericht:

Udovicic, L., Janßen, M., Nowack, D., Price, L. L. A. (2016). Personenbezogene Lichtexpositionsmessungen in Feldstudien – Eine Handlungsanleitung zur Charakterisierung und Kalibrierung von Lichtexpositionsdetektoren. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.

Autoren: Dr. rer. nat. Ljiljana Udovicic
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Luke L.A. Price, MSci MSLL
Marina Khazova, MSc
Public Health England (PHE)
Laser and Optical Radiation Dosimetry Group
Centre for Radiation, Chemical and Environmental Hazards
Chilton, Didcot, OX11 0RQ, United Kingdom

Titelfoto: shapecharge/iStock.com

Umschlaggestaltung: Susanne Graul
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Herstellung:

Herausgeber: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA)
Friedrich-Henkel-Weg 1 – 25, 44149 Dortmund
Postanschrift: Postfach 17 02 02, 44061 Dortmund
Telefon 0231 9071-2071
Telefax 0231 9071-2070
E-Mail info-zentrum@baua.bund.de
Internet www.baua.de

Berlin: Nöldnerstraße 40 – 42, 10317 Berlin
Telefon 030 51548-0
Telefax 030 51548-4170

Dresden: Fabricestraße 8, 01099 Dresden
Telefon 0351 5639-50
Telefax 0351 5639-5210

Die Inhalte der Publikation wurden mit größter Sorgfalt erstellt und entsprechen dem aktuellen Stand der Wissenschaft. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte übernimmt die BAuA jedoch keine Gewähr. Nachdruck und sonstige Wiedergabe sowie Veröffentlichung, auch auszugsweise, nur mit vorheriger Zustimmung der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.



doi: 10.21934/baua:bericht20200406

www.baua.de/dok/8835992

Inhaltsverzeichnis

Kurzreferat		5
Abstract		7
1	Einleitung	8
2	Experimentelle Methoden	12
2.1	Lichtexpositionsdetektor <i>Actiwatch Spectrum</i>	12
2.1.1	Optische Eigenschaften des <i>Actiwatch Spectrum</i> -Detektors	12
2.1.2	Methodik der Lichtexpositionsmessung	15
2.1.3	<i>Actiwatch Spectrum</i> -Detektor als Aktimeter	16
2.1.4	Messsignale eines <i>Actiwatch Spectrum</i> -Detektors	16
2.2	Bewegungsdetektoren <i>GENEActiv Original</i> und <i>MotionWatch-8</i>	18
2.3	Rekrutierung der Studienteilnehmer/innen	18
2.4	Fragebögen	20
3	Ergebnisse	21
3.1	Auswertung der Fragebögen	21
3.2	Bewertung der Lichtexposition	22
3.2.1	Bewertung der Lichtexposition als Blaulicht- Bestrahlungsstärke	27
3.2.2	Bewertung der Lichtexposition als Beleuchtungsstärke	31
4	Zusammenfassung	35
Literaturverzeichnis		41
Tabellenverzeichnis		45
Abbildungsverzeichnis		46
Anhang A	Radiometrische und photometrische Größen, Wirkungs- kurven für das Tagsehen und für die melanopische Lichtwirkung	48
Anhang B	Informationsmaterial für Studienteilnehmer/innen	50
Anhang B1	Information zu den Lichtexpositions- und Bewegungs- detektoren	50
Anhang B2	Information zu den unterschiedlichen Beleuchtungsquellen	52
Anhang C	Fragebögen für Studienteilnehmer/innen	53
Anhang C1	Startfragebogen	53
Anhang C2	Fragebogen zum Arbeits- und häuslichen Umfeld	54
Anhang C3	Aktivitätstagebuch	56
Anhang D	Jahresabhängige Dauer des Tageslichts in Dortmund und London	57
Danksagung		58

Lichtexposition aus natürlichen und künstlichen Quellen im Hinblick auf circadiane Wirkungen bei schichtarbeitenden Krankenpflegekräften

Kurzreferat

Schichtarbeit, die die Synchronisation circadianer physiologischer Vorgänge im menschlichen Körper mit dem natürlichen 24-Stunden-Tag-Nacht-Rhythmus stört, wird mit einer Reihe von Krankheiten in Verbindung gebracht. Seit der Identifizierung eines neuen nicht-visuellen photorezeptiven Mechanismus, der physiologische Prozesse reguliert, wurde der Einfluss des Lichts auf circadiane Rhythmen häufig unter Laborbedingungen untersucht. Für ein besseres Verständnis eines möglichen Zusammenhangs zwischen Schichtarbeit und Gesundheitsrisiken sind jedoch auch Untersuchungen zur persönlichen Lichtexposition in Feldstudien von großer Bedeutung.

Insgesamt 85 Krankenpfleger/innen aus dem Klinikum Dortmund und dem King's College Hospital in London nahmen an der gemeinsamen Studie der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) und des Public Health England (PHE) teil. Bei den 42 Krankenpfleger/innen in Dortmund handelte es sich entweder um schichtarbeitende Beschäftigte, die in drei 8-Stunden-Schichten (Früh-, Spät- und Nachtschicht) arbeiteten, oder um reguläre 8-Stunden tagarbeitende Krankenpflegekräfte. Die 43 Krankenpfleger/innen in London verrichteten entweder eine 12-Stunden-Schichtarbeit (Tag- und Nachtschicht) oder reguläre 8-Stunden Tagarbeit. Die Krankenpfleger/innen haben die Lichtexposition sowohl während als auch außerhalb der Arbeitszeit eine Woche lang und zu drei Jahreszeiten (Winter, Frühling und Sommer) anhand eines auf Brusthöhe getragenen Detektors gemessen.

Das Ziel war es, die charakteristischen Merkmale der Lichtexposition dieses Berufs zu identifizieren. Zur Einschätzung der nicht-visuellen Lichtwirkung diente die Lichtexposition im blauen Spektralbereich. Zusätzlich wurde auch die Beleuchtungsstärke erfasst, die für den Einfluss des Lichts auf das visuelle System maßgeblich ist. Für die beiden Lichtexpositionen gilt Folgendes:

- Arbeitszeitbedingte und jahreszeitliche Unterschiede in der Lichtexposition sind sowohl in Dortmund als auch in London trotz großer intra- und interindividueller Unterschiede deutlich erkennbar.
- Die Lichtexposition an Arbeitstagen wird im Wesentlichen durch die Arbeitszeit bestimmt und erreicht ihre maximalen Werte während des Hinwegs zum bzw. Rückwegs vom Arbeitsplatz, sofern diese Wegezeiten mit Tageslichtexposition verbunden waren.
- Die Lichtexposition durch künstliche Beleuchtungsquellen in Innenräumen am Arbeitsplatz und zu Hause ist viel geringer als die relativ kurz andauernde Lichtexposition gegenüber natürlichem Tageslicht im Freien.
- Während die 8-stündige Früh- und Spätschicht in Dortmund sowie die 8-stündige Tagarbeit sowohl in Dortmund als auch in London zumindest auf dem Weg zur Arbeit und nach Hause höhere Lichtexpositionen ermöglichten, ist die mittlere Lichtexposition an 12-stündigen Tagschichten in London aufgrund des ganztägigen Aufenthalts der Krankenpfleger/innen am Arbeitsplatz zu allen Jahreszeiten

sehr gering. Dies könnte zu einer Störung der circadianen Rhythmen, wie z. B. des Schlaf-Wach-Rhythmus, beitragen.

- Jahreszeitliche Unterschiede in der Lichtexposition zwischen Winter und Sommer sind deutlich erkennbar, während die Unterschiede zwischen Frühling und Sommer stark von den jeweiligen Wetterbedingungen abhängig sind.

Schlagwörter:

Lichtexposition, blaues Licht, Bestrahlungsstärke, Beleuchtungsstärke, personenbezogene Lichtexpositionsmessungen, circadiane Rhythmik, Schichtarbeit, Krankenpflegekräfte

Light exposure from natural and artificial sources with regard to circadian effects in shift-working nurses

Abstract

Shift work which disturbs the synchronization of circadian physiological processes in the human body with natural 24-hour day-night rhythm, is associated with a number of diseases. Since the identification of a new non-visual photoreceptive mechanism that is active in regulating physiological processes, the influence of light on the circadian rhythms has been often investigated under laboratory conditions. Research of personal light exposures in field studies is also of great importance to support better understanding of a possible connection between shift work and health risks.

A total of 85 nurses from the Klinikum Dortmund and the King's College Hospital in London took part in the joint study by the Federal Institute for Occupational Safety and Health (BAuA) and the Public Health England (PHE). The 42 nurses in Dortmund were either shift workers who worked in three 8-hour shifts (early, late and night shift) or 8-hour daytime working nurses. The 43 nurses in London did either a 12-hour shift (day and night shift) or regular 8-hour working days. The nurses recorded light exposure both during and outside working hours continuously for a week in three seasons (winter, spring and summer) using a detector worn at chest level.

The goal was to identify the characteristic features of the light exposure of this profession. To estimate the light exposure as it relates to the non-visual system, the light exposure in the blue spectral range was considered. In addition, the illuminance was recorded, which is decisive for the influence of light on the visual system. The following applies to the two light exposures:

- Working time-related and seasonal differences in light exposure are clearly recognizable in both Dortmund and London, despite large intra- and inter-individual differences.
- The light exposure on working days is essentially determined by the working hours and reaches its maximum values during the journey to and from the workplace, whenever this includes exposure to daylight.
- The light exposure from artificial lighting sources indoors at work and at home is much lower than the relatively short-term exposure to natural daylight outdoors.
- While the 8-hour early and late shift in Dortmund and the 8-hour daytime work in Dortmund and London enabled higher light exposures, at least on the way to work or home, the average light exposure on 12-hour day shifts in London is very low all year round, due to the nurses being at work for the whole day. This could lead to a disturbance in circadian rhythms such as of the sleep-wake rhythm.
- While seasonal differences in light exposure between winter and summer are clearly recognizable, differences between spring and summer strongly depend on the respective weather conditions.

Key words:

light exposure, blue light, irradiance, illuminance, personal light exposure measurements, circadian rhythm, shift work, nurses

1 Einleitung

Zahlreiche physiologische Vorgänge im menschlichen Körper folgen der circadianen Rhythmik – sie haben eine Periodenlänge von ungefähr 24 Stunden. Der offensichtlichste circadiane Rhythmus ist der Schlaf-Wach-Rhythmus, aber auch die Körpertemperatur, der Blutdruck oder die Ausschüttung von vielen Hormonen sind tageszeitabhängig [9, 15]. Die circadiane Rhythmik wird von der zentralen inneren Uhr gesteuert, die sich in einem Kerngebiet des Hypothalamus, dem suprachiasmatischen Nucleus (SCN), befindet und weitere innere Uhren in den Organen und Zellen des Körpers taktet. Die zentrale innere Uhr wird auf den externen 24-Stunden-Tag-Nacht-Rhythmus mit Hilfe von äußeren Reizen, den sogenannten Zeitgebern, synchronisiert.

Der Hauptzeitgeber für die Synchronisation des circadianen Systems ist das Licht – sowohl natürliches Tageslicht als auch das Licht aus künstlichen Beleuchtungsquellen. Informationen über die Lichtverhältnisse werden von Photorezeptoren in der Netzhaut empfangen, die nicht direkt am Sehen beteiligt sind – von sogenannten intrinsisch photosensitiven retinalen Ganglienzellen (ipRGCs von *intrinsically photosensitive retinal ganglion cells*) [4, 20]. Die nicht-visuelle Information über das Licht wird danach über den retinohypothalamischen Trakt an den SCN übertragen. Nicht-visuelle Wirkungen von Licht auf die circadiane Rhythmik hängen von mehreren Parametern ab, wie etwa von der Bestrahlungsstärke¹ oder von der spektralen Zusammensetzung des Lichts. So hat kurzwelliges Licht im blau-grünen Spektralbereich eine stärkere nicht-visuelle Wirkung als Licht anderer Wellenlängen (siehe Anhang A).

Weiterhin ist für die Synchronisation auch der Zeitpunkt der Lichteinwirkung entscheidend [37, 39]. Während die Wirkung des Lichts am frühen Morgen die zentrale innere Uhr früher laufen lässt, signalisiert Licht in den Abendstunden dem Körper, dass noch Tag ist, und verursacht eine Verzögerung der Uhr.

So kann zu viel Licht in der Nacht (Licht zur falschen Zeit²), etwa bei der Nachtschichtarbeit, oder zu wenig Licht am Tag (Lichtmangel), verursacht durch überwiegende Tätigkeiten in Innenräumen und zu wenig Aufenthalt im Freien bei Tageslicht, zu einer Desynchronisation der circadianen Rhythmik führen. Die Desynchronisation wiederum wird mit einer Reihe von gesundheitlichen Beeinträchtigungen in Verbindung gebracht [19, 24], z. B. mit Stoffwechselstörungen und Herz-Kreislauf-Erkrankungen, depressiven Verstimmungen und sogar mit einem erhöhten Krebsrisiko. Bereits 2007 wurde Schichtarbeit, die eine Desynchronisation der circadianen Rhythmik verursacht, durch die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) als wahrscheinliches Humankarzinogen (Gruppe 2A) eingestuft [36]. Die Einstufung basierte vorwiegend auf epidemiologischen Studien der Brustkrebsinzidenz bei Krankenpflegerinnen (alte Bezeichnung „Krankenschwestern“) und Flugbegleiterinnen (alte Bezeichnung „Stewardessen“), die besonders häufig von rotierenden

¹ Physikalische Größen werden im Anhang A erläutert.

² Für die nächtliche Lichtexposition wird in der englischsprachigen Literatur der Begriff LAN von „*light at night*“ benutzt.

Schichten mit Nachtarbeit betroffen sind. Bei langzeitiger Nachtarbeit ist bei diesen Beschäftigten das Risiko, an Brustkrebs zu erkranken, erhöht. Bei den deutschen Unfallversicherungsträgern gab es bereits 2010 erste Anzeigen auf Verdacht einer Berufskrankheit im Sinne einer nachtschichtbedingten Brustkrebserkrankung [7].

Als ein möglicher Mechanismus für die Krebsentstehung durch langjährige Schichtarbeit wird eine dauerhaft reduzierte Melatonin-Ausschüttung durch nächtliche Lichtexposition diskutiert [22] – die sog. LAN-Hypothese. Neben seiner wichtigen Funktion im Schlaf-Wach-Zyklus wirkt das Hormon Melatonin krebshemmend [5, 34]. Das Melatonin ist, unter anderem, ein wirksamer Radikalfänger, so dass es die Zellen vor Schäden durch freie Radikale schützt. Eine reduzierte Melatonin-Ausschüttung durch Licht aus künstlichen Beleuchtungsquellen während der Nacht kann zu einem verminderten Abfangen freier Radikale führen, die dann lokale Gewebeschäden hervorrufen können [25, 6, 23].

Weil das Licht der wichtigste exogene Zeitgeber für die Synchronisation circadianer physiologischer Vorgänge mit dem natürlichen Tag-und-Nacht-Rhythmus ist, scheint es plausibel, dass die Lichtexposition eine kritische Rolle bei der Entstehung gesundheitlicher Beeinträchtigungen spielen könnte. Allerdings ist das Wissen über die tatsächliche Lichtexposition der Menschen im Allgemeinen und bestimmter Berufsgruppen im Besonderen noch begrenzt. Entsprechend hoch ist hier der Bedarf an qualitativ hochwertigen Forschungsdaten.

In einigen bisher durchgeführten Studien wurde die Lichtexposition nicht direkt erfasst; die Daten beschränken sich auf Einschätzungen der Exposition der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer während der Arbeitszeit. So wurde z. B. in der Studie von Fernandez et al. 2014 [16] nur die Wahrscheinlichkeit einer nächtlichen Lichtexposition für schichtarbeitende Beschäftigte anhand subjektiver Erfassungsmethoden berücksichtigt.

In weiteren Studien wurde die Lichtexposition als Beleuchtungsstärke erfasst – eine photometrische Größe, die die spektrale Empfindlichkeit des Auges für die visuelle Wahrnehmung berücksichtigt³.

Die Beleuchtungsstärke der tag- und nachtschichtarbeitenden Beschäftigten haben z. B. Daugaard et al. 2019 [13] untersucht. Die Studie zeigt, dass die Beschäftigten in Innenräumen tagsüber niedrigen Beleuchtungsstärken ausgesetzt waren, die insbesondere im Winter das allgemeine Wohlbefinden und die Stimmung beeinträchtigen können. Nachtarbeitende Beschäftigte waren in den Nachtstunden nur für eine sehr begrenzte Zeit Beleuchtungsstärken ausgesetzt, die Melatonin unterdrücken können.

Hall et al. 2018 [18] erfassten die nächtliche Beleuchtungsstärke von nachtschichtarbeitenden Beschäftigten. An der Erhebung waren zwei Branchen (Rettungsdienst und Gesundheitswesen), vier Arbeitsplätze und zehn Berufe beteiligt. Dabei wurden

³ Experten sind sich mittlerweile einig, dass in Studien, die die nicht-visuellen Wirkungen des Lichts untersuchen, die alleinige Erfassung der Beleuchtungsstärke nicht geeignet ist, es sei denn, sie wird durch Messungen des nicht-visuell (oder melanopisch) wirksamen Lichts unterstützt [26, 11, 12]. Siehe dazu Anhang A.

bei den Krankenpflegekräften⁴ die höchsten und bei den Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen von Rettungsleitstellen die niedrigsten nächtlichen Beleuchtungsstärken gemessen. Auch in weiteren Studien, wie z. B. in der Studie von Burch et al. 2005 [8], Papantoniou et al. 2014 [28] oder Adamsson et al. 2018 [2] wurde die Lichtexposition der Beschäftigten als Beleuchtungsstärke erfasst.

Hubalek et al. 2010 [21] haben die Lichtexposition von Bürobeschäftigten gemessen. Diese Studie war eine der ersten, in der neben der Beleuchtungsstärke auch die Blaulichtexposition erfasst wurde, die in einer ersten Näherung zur Einschätzung der nicht-visuellen Lichtwirkung benutzt werden kann. Auch in der Studie von Smolders et al. 2013 [35] haben Bürobeschäftigte und Studierende die beiden Lichtexpositionen im Winter, Frühling, Sommer und Herbst gemessen.

In einer neueren Studie haben ebenfalls Rabstein et al. 2019 [33] die Lichtexposition im blauen Spektralbereich untersucht, diesmal von tag- und nachtschichtarbeitenden Krankenpflegerinnen. Mit Ausnahme der Abendstunden zeigten sich an Arbeitstagen mit Tag- und Nachtschicht große Unterschiede in der Blaulichtexposition. Die Blaulichtexposition spiegelte verschiedene tägliche Aktivitäten wider und wurde hauptsächlich von der Arbeitszeit bestimmt, aber auch beeinflusst von individuellen Faktoren wie Chronotyp, Alter, Bildung und Kinder im Haushalt.

Im vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse des Kooperationsprojekts F 2355 der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) und des Public Health England (PHE) „Ermittlung der tatsächlichen Lichtexposition aus natürlichen und künstlichen Quellen im Hinblick auf circadiane Effekte bei schichtarbeitenden Beschäftigten“ präsentiert. Im Rahmen dieser nicht-interventionellen Feldstudie wurde die Lichtexposition von schicht- und tagarbeitenden Krankenpfleger/innen untersucht.

An der Studie haben 42 Krankenpfleger/innen in Deutschland (Klinikum Dortmund) und 43 Krankenpfleger/innen in Großbritannien (King's College Hospital, London) teilgenommen. Die Lichtexposition wurde in einem Zeitraum von jeweils einer Woche und zu drei Jahreszeiten (im Winter, im Frühling und im Sommer) durch in Brusthöhe an der Kleidung befestigte Lichtexpositionsdetektoren ermittelt. Die Krankenpfleger/innen in Dortmund und London trugen die Lichtexpositionsdetektoren zeitgleich, sowohl während als auch außerhalb der Arbeitszeit. So enthalten die gesammelten Daten die Lichtexpositionen aus natürlichen und künstlichen Lichtquellen über mehrere aufeinanderfolgende 24-Stunden-Zeiträume.

Für die Einschätzung der nicht-visuellen Lichtwirkung wurde die Lichtexposition im blauen Spektralbereich, die Blaulicht-Bestrahlungsstärke, benutzt. Zusätzlich wurde die Beleuchtungsstärke erfasst, die – wie bereits erwähnt – den Einfluss des Lichts auf das visuelle System beschreibt. Überall dort, wo allgemein von der Lichtexposition gesprochen wird, sind beide Größen – sowohl die Blaulicht-Bestrahlungsstärke als auch die Beleuchtungsstärke – gemeint. Die Messungen wurden ergänzt durch das Ausfüllen von Fragebögen und das Führen eines Tagebuchs. Die Datenspeicherung und -auswertung erfolgte anonymisiert.

⁴ Vollständige Bezeichnung: „Gesundheits- und Krankenpflegerinnen bzw. Gesundheits- und Krankenpfleger“

Anhand der im Rahmen dieser Studie gemessenen Lichtexpositionen von Krankenpflegekräften in Dortmund und London – bei unterschiedlichen Arbeitszeiten und in der Freizeit – sollten folgende Fragen beantwortet werden:

- Zeigt die Lichtexposition der Berufsgruppe Krankenpflegekräfte für unterschiedliche Arbeitszeiten (Tagarbeit, Schichtarbeit mit Nachtschicht) charakteristische Merkmale?
- Sind für gleiche Arbeitszeiten jahreszeitliche Unterschiede in der Lichtexposition zu erkennen?
- Wie hoch ist die Lichtexposition der Beschäftigten in Innenräumen (am Arbeit, zu Hause) und im Freien?

Der Bericht gliedert sich wie folgt: Das Kapitel 2 erläutert die Messtechnik und die Messmethodik dieser Studie. In Kapitel 3 werden die Ergebnisse dargestellt und in Kapitel 4 zusammengefasst. Die Definitionen der physikalischen Größen Bestrahlungsstärke und Beleuchtungsstärke sowie die Wirkungskurven für das Tagsehen und die melanopische Lichtwirkung sind im Anhang A zu finden. Die Anhänge B und C enthalten das Informationsmaterial und die Fragebögen der Studie. Die für diese Studie relevante Dauer des Tageslichts in Dortmund und in London wird im Anhang D angegeben.

2 Experimentelle Methoden

In diesem Abschnitt werden die im Rahmen der Studie verwendete Messtechnik, insbesondere die Lichtexpositions- und Bewegungsdetektoren und die angewandte Messmethodik, die Auswahl der Versuchspersonen und die Struktur der eingesetzten Fragebögen erläutert.

2.1 Lichtexpositionsdetektor *Actiwatch Spectrum*

2.1.1 Optische Eigenschaften des *Actiwatch Spectrum*-Detektors

Die Lichtexposition wurde anhand der Lichtexpositionsdetektoren *Actiwatch Spectrum*⁵ [29] der Firma Philips Respironics erfasst. Ein *Actiwatch Spectrum*-Detektor ist ein kleines Messgerät mit Abmessungen von 48 mm × 37 mm × 14 mm, das wie eine Uhr am Handgelenk getragen werden kann (Abbildung 2.1 a). Der Detektor verfügt über drei Sensoren (Silizium-Photodioden), die die Lichtexposition im roten, grünen und blauen Bereich des sichtbaren Spektrums, zwischen 350 nm und 750 nm, erfassen (Abbildung 2.1 b). Da die Messwerte der Sensoren („rotes Licht“, „grünes Licht“ und „blaues Licht“) in der Einheit $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ angegeben sind, handelt es sich um die entsprechenden Bestrahlungsstärken. Die spektrale Empfindlichkeit des dazugehörigen „roten“, „grünen“ und „blauen“ Sensors (R-, G- und B-Sensors) wird vom Hersteller nicht spezifiziert. Anhand der gemessenen Bestrahlungsstärken des R-, G- und B-Sensors wird, unter Verwendung einer vom Hersteller ebenfalls nicht veröffentlichten Formel, die Beleuchtungsstärke E_v in der Einheit lx abgeleitet und von der Software als „weißes Licht“ angegeben. Ein *Actiwatch Spectrum*-Detektor ermöglicht nach Herstellerangaben Messungen der Bestrahlungsstärke im Bereich zwischen $0,1 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ und $5500 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ sowie der Beleuchtungsstärke im Bereich zwischen 1 lx und 100000 lx.

Lichtexpositionsdetektoren, wie der *Actiwatch Spectrum*, werden derzeit von vielen Forschergruppen in ihren Untersuchungen verwendet, häufig ohne ihre messtechnischen Eigenschaften und ihre Einschränkungen zu berücksichtigen. Die Wichtigkeit einer Charakterisierung von Lichtexpositionsdetektoren und, falls erforderlich, Kalibrierung vor Beginn einer Studie, um verlässliche Messergebnisse zu erzielen und eine Vergleichbarkeit der Forschungsergebnisse unterschiedlicher Studien zu ermöglichen, wurde in Price et al. 2017 [32] verdeutlicht (siehe auch [30, 17, 27]).

Im Rahmen dieses Projekts wurden *Actiwatch Spectrum*-Detektoren hinsichtlich ihres Linearitätsbereichs und Dunkelsignals sowie ihrer Richtungs- und spektralen Empfindlichkeit in den Optiklaboren der BAuA und des PHE untersucht. Die Ergebnisse für 23 in Dortmund eingesetzte Lichtexpositionsdetektoren wurden zuvor im BAuA-Bericht „Personenbezogene Lichtexpositionsmessungen in Feldstudien – Eine Handlungsanleitung zur Charakterisierung und Kalibrierung von Lichtexpositionsdetektoren“ [38] veröffentlicht. Entsprechende Ergebnisse für 25 in London ein-

⁵ Nicht mehr im Handel erhältlich.

gesetzte *Actiwatch Spectrum*-Detektoren (und andere Modelle von Lichtexpositionsdetektoren) sind in Veröffentlichungen von Price et al. aus 2012 [30] und 2017 [32] enthalten.

Dreiundzwanzig in der BAuA untersuchte *Actiwatch Spectrum*-Detektoren zeigten vernachlässigbare Dunkelsignale. Die Signale der Detektoren sind über mehrere Größenordnungen hinweg linear. Die Analyse der spektralen Empfindlichkeit ergab, dass die maximale spektrale Empfindlichkeit des B-, G- und R-Sensors bei 452 nm, 490 nm und 651 nm liegt (siehe Tabelle 2.1 und Abbildung 2.2).



Quelle: Uwe Völkner / Fotoagentur FOX

a)



b)

Abb. 2.1 a) Ein *Actiwatch Spectrum*-Detektor der Firma Philips Respironics.
b) Drei optische Sensoren des *Actiwatch Spectrum*-Detektors für den roten (R), grünen (G) und blauen (B) Spektralbereich (aus [38]).

Tab. 2.1 Wellenlängen der maximalen Empfindlichkeit des B-, G- und R-Sensors und Halbwertsbreiten der Empfindlichkeitskurven (aus [38]).

Sensor	Maximum der spektralen Empfindlichkeit	Halbwertsbreite
B-Sensor	452 nm	85 nm (405 nm - 490 nm)
G-Sensor	490 nm	80 nm (475 nm - 555 nm)
R-Sensor	651 nm	100 nm (600 nm - 700 nm)

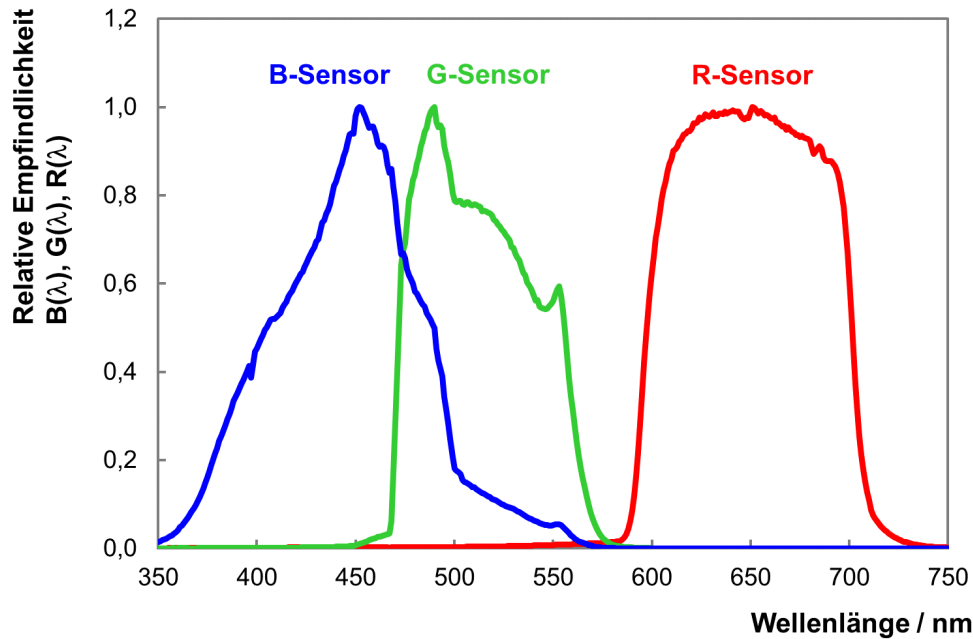


Abb. 2.2 Mittlere spektrale Empfindlichkeit der B-, G- und R-Sensoren von *Actiwatch Spectrum*-Detektoren, normiert auf ein Maximum von 1.

Die Notwendigkeit einer Kalibrierung der Sensoren wurde bestätigt und die Kalibrierung erfolgte mittels dreier künstlicher Lichtquellen (einer Halogen-, einer Leuchtstoff- und einer warm-weißen LED-Lampe) sowie bei Tageslicht. Die Messwerte der Bestrahlungsstärke des B- und G-Sensors waren durchschnittlich um 16% bzw. 122% höher als die tatsächlichen Bestrahlungsstärken E_G und E_B . Beim R-Sensor zeigte sich fast keine Abweichung von der tatsächlichen Bestrahlungsstärke E_R . Der Messwert der Beleuchtungsstärke E_v war im Durchschnitt 78% höher als die tatsächliche Beleuchtungsstärke. Tabelle 2.2 zeigt die errechneten Kalibrierungsfaktoren: Die tatsächlichen Bestrahlungsstärken und die Beleuchtungsstärke erhält man, indem die Messwerte durch die entsprechenden Kalibrierungsfaktoren dividiert werden. Für die in diesem Bericht dargestellten Ergebnisse wurden die Messwerte des B-Sensors (Blaulicht-Bestrahlungsstärke, E_B) und die Beleuchtungsstärke, E_v , benutzt.

Tab. 2.2 Mittelwerte der Kalibrierungsfaktoren von 23 in Dortmund eingesetzten *Actiwatch Spectrum*-Detektoren (aus [38]).

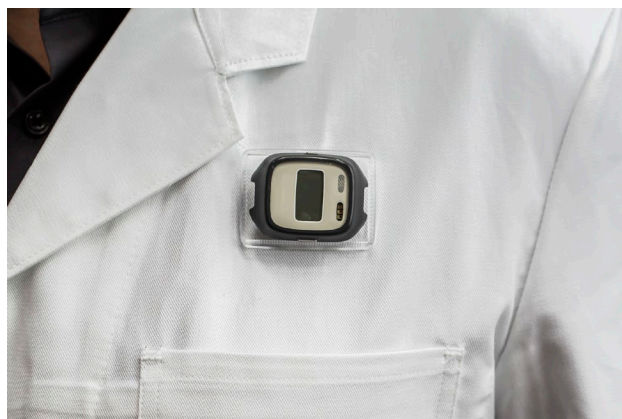
Signal	Kalibrierungsfaktor
B-Sensor / $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$	1,16
G-Sensor / $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$	2,22
R-Sensor / $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$	0,99
Beleuchtungsstärke / lx	1,78

2.1.2 Methodik der Lichtexpositions-messung

Lichtexpositionsdetektoren sollen in einer Feldstudie von Probandinnen und Probanden über einen längeren Zeitraum hinweg getragen werden, um auf diese Weise umfangreiche Datensätze aufzuzeichnen. Dabei ist es von großer Bedeutung, wie die Detektoren getragen werden. Im Idealfall sollte die Lichtexposition am Auge in Blickrichtung erfasst werden. Die an einer Brille montierten Detektoren erfassen genau diese Lichtexposition, können aber die Durchführung von Arbeitsaufgaben stören und zu einer Nichteinhaltung der Trageverpflichtung außerhalb der Arbeitszeiten führen. Das Tragen eines Detektors am Handgelenk wäre diskret, allerdings unterscheidet sich die gemessene Lichtexposition deutlich von der tatsächlichen Lichtexposition am Auge und kann durch langärmelige Kleidung noch zusätzlich verfälscht werden. Darüber hinaus dürfen Krankenpflegekräfte in britischen Krankenhäusern bei der Arbeit nichts unterhalb des Ellbogens tragen.

In dieser Studie wurde die persönliche Lichtexposition durch an der Kleidung in Brusthöhe befestigte *Actiwatch Spectrum*-Detektoren erfasst (siehe Abbildung 2.3). Diese Position kann als guter Kompromiss zwischen möglichst korrekter Erfassung der Lichtexposition am Auge durch an einer Brille befestigten Detektoren und maximalem Tragekomfort durch am Handgelenk getragene Detektoren betrachtet werden. In dieser Position wird die Lichtexposition in der vertikalen Ebene gemessen und es wird die vertikale Blaulicht-Bestrahlungsstärke und die vertikale Beleuchtungsstärke erfasst.

Die *Actiwatch Spectrum*-Detektoren wurden je eine Woche lang im Januar, April und Juni 2015, während und außerhalb der Arbeitszeit getragen. Die Studienteilnehmer/innen wurden instruiert, vor dem Einschlafen den Detektor mit den Sensoren nach oben auf den Nachttisch zu legen. Auf diese Weise konnte die Lichtexposition im Schlafzimmer auch während des Schlafs weiter gemessen werden.



Quelle: Uwe Völkner / Fotoagentur FOX

Abb. 2.3 Ein in der Brusthöhe befestigter *Actiwatch Spectrum*-Detektor, der derzeit auf der äußeren Kleidungsschicht getragen werden kann und die personenbezogene Lichtexposition erfasst.

2.1.3 *Actiwatch Spectrum*-Detektor als Aktimeter

Als aktimetrisches Gerät, erfasst ein *Actiwatch Spectrum*-Detektor auch die Bewegungsaktivität. Die Bewegungen werden hier mit Hilfe eines piezoelektrischen Beschleunigungssensors gemessen, der eine Veränderung der Beschleunigung in eine elektrische Spannung umwandelt. Der Sensor misst Beschleunigungen zwischen 0,5 g und 2 g ($g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$). Wenn die Messdaten heruntergeladen werden, wird das Ausmaß der Bewegungen als einheitslose Größe „Aktivität“ angegeben.

Die Aktivitätsdaten ließen sich dazu verwenden, Zeiträume zu identifizieren, in denen das Messgerät eventuell nicht getragen und damit die persönliche Lichtexposition nicht gemessen wurde. Diese Zeiträume wurden aus der Auswertung ausgeschlossen. Da für diese Kontrolle die absoluten Aktivitätswerte nicht notwendig sind, wurden die Beschleunigungssensoren nicht kalibriert.

2.1.4 Messsignale eines *Actiwatch Spectrum*-Detektors

Die Energieversorgung eines *Actiwatch Spectrum*-Detektors erfolgt durch eine integrierte aufladbare Lithium-Knopfbatterie, die eine kontinuierliche Aufnahme der Lichtexposition und der Aktivität im Feld über längere Zeiträume hinweg – Tage und Wochen – ermöglicht. Die Messintervalle können in einem Bereich zwischen 15 s und 1 min eingestellt werden. In dieser Studie wurden die Daten in Messintervallen von 30 s aufgezeichnet.

Die Konfiguration eines *Actiwatch Spectrum*-Detektors für die aktuelle Messaufgabe erfolgt mithilfe der Actiware Software (Version 5.71.0, Philips Respironics). Mit der Software werden auch die Messdaten abgerufen und in Form einer CSV-Datei zur weiteren Verarbeitung gespeichert.

Abbildung 2.4 zeigt beispielhaft die Messsignale des B-, G- und R-Sensors, des „weißen Lichts“ und der Aktivität eines *Actiwatch Spectrum*-Detektors. Auf diese Weise wurden während einer Woche kontinuierliche 168-Stunden-Daten pro Studienteilnehmer/in und Jahreszeit erfasst.

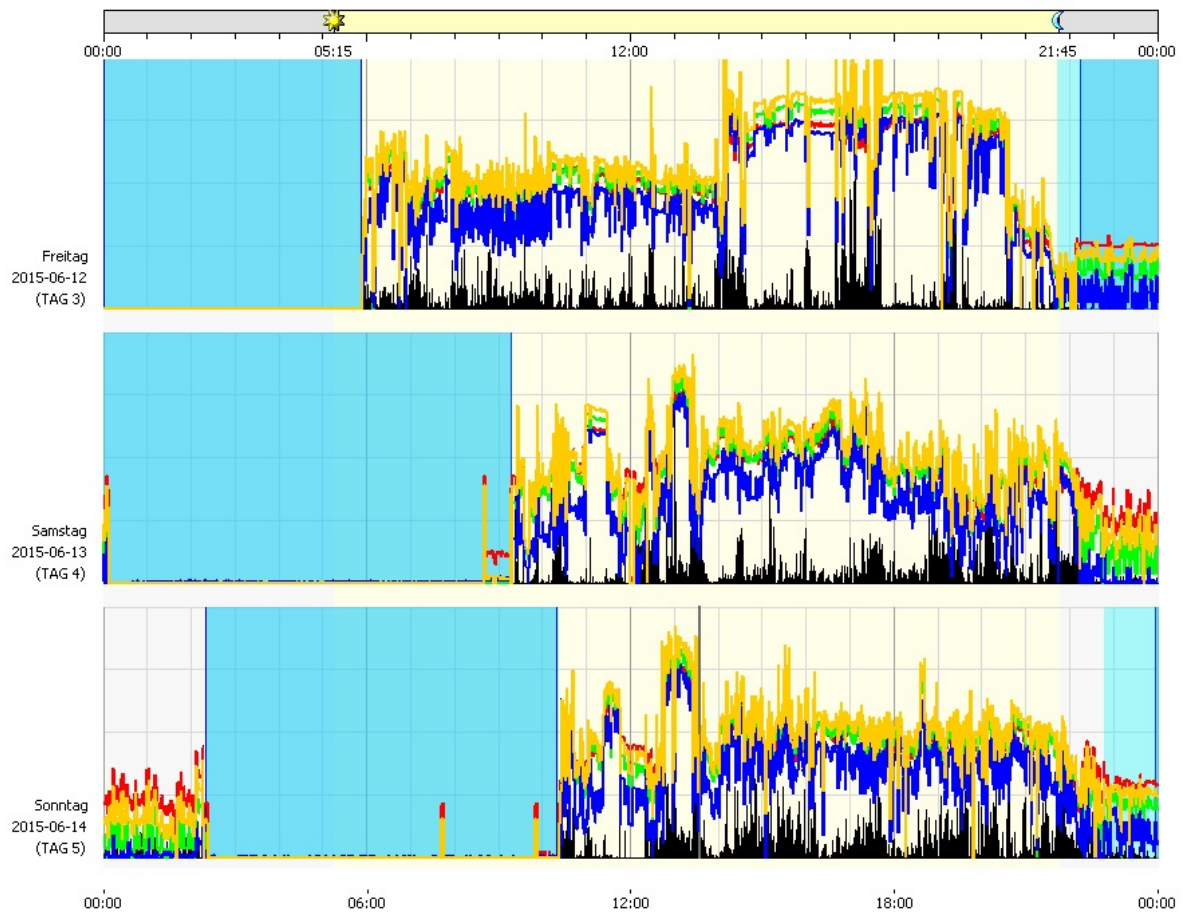


Abb. 2.4 Ein mit der Actiware Software erstelltes Aktogramm, das die Messsignale und die Aktivität einer Studienteilnehmerin über drei Tage hinweg zeigt. 24-Stunden-Tage werden übereinander angeordnet. Am oberen und unteren Rand des Aktogramms wird die Uhrzeit angezeigt. Hellblau unterlegte Bereiche bezeichnen die Ruheintervalle. Weitere Darstellung:

- Signal des B-Sensors (blau)
- Signal des G-Sensors (grün)
- Signal des R-Sensors (rot)
- Signal „weißes Licht“ (gelb)
- Aktivität (schwarz)

2.2 Bewegungsdetektoren *GENEActiv Original* und *MotionWatch-8*

Die Schlafzeiten einer Versuchsperson konnten anhand eines Bewegungsdetektors eindeutig festgestellt werden, der wie eine Uhr am Handgelenk des nicht-dominanten Arms nur während des Schlafens im Bett oder während eines Nickerchens außerhalb des Bettes getragen wurde. Während die Studienteilnehmer/innen in Dortmund einen *GENEActiv Original*-Bewegungsdetektor der Firma Activinsights [1] trugen (Abbildung 2.5 a), verwendeten die Studienteilnehmer/innen in London einen *MotionWatch-8*-Bewegungsdetektor der Firma CamNtech [10] (Abbildung 2.5 b).



Quelle: Activinsights-Homepage

a)



Quelle: CamNtech-Homepage

b)

Abb. 2.5 a) Ein *GENEActiv Original*-Bewegungsdetektor der Firma Activinsights.
b) Ein *MotionWatch-8*-Bewegungsdetektor der Firma CamNtech

2.3 Rekrutierung der Studienteilnehmer/innen

Die Rekrutierung der Studienteilnehmer/innen erfolgte nach einem Vorgespräch mit dem Pflegemanagement im jeweiligen Krankenhaus, in dem das Ziel und die Durchführung der Studie erläutert wurden. Die zur Verfügung gestellten Rekrutierungsflyer wurden danach intern an die Beschäftigten verteilt. Die potentiellen Studienteilnehmer/innen konnten sich direkt an die Projektmitarbeiter/innen wenden, um ihre Teilnahmebereitschaft zu signalisieren.

Vor der ersten Datenerhebung wurden die Studienteilnehmer/innen in einem persönlichen Gespräch ausführlich über das Ziel und den Ablauf der Studie, die Erhebung und Verwendung von Daten sowie über datenschutzrechtliche Aspekte informiert. Sie wurden darüber aufgeklärt, dass sie jederzeit von der Studie zurücktreten können und die Datenspeicherung und -verarbeitung anonymisiert erfolgt. Daraufhin erklärten sie schriftlich ihre Einwilligung zur Teilnahme an der Studie und zur Verwendung ihrer Angaben und Messergebnisse.

Für den korrekten Umgang mit den Messgeräten und als Unterstützung zum Ausfüllen von Fragebögen erhielten die Studienteilnehmer/innen das Informationsmaterial zu den Lichtexpositions- und Bewegungsdetektoren (Anhang B1) und zu den gängigen Beleuchtungsquellen (Anhang B2).

An der Studie nahmen 42 Krankenpflegekräfte des Klinikums Dortmund und 43 Krankenpflegekräfte des King's College Hospital in London teil. Bei der Rekrutierung der Studienteilnehmer/innen wurden solche Krankenhausabteilungen ausgeschlossen, wo Lichtquellen hoher Intensität (z. B. Chirurgie) oder therapeutische Lichtquellen (dermatologische und Frühgeborenenabteilungen) zum Einsatz kommen. Auch Abteilungen, wo das Tragen eines Detektors nicht mit den Arbeitsaufgaben vereinbar wäre, wurden ausgeschlossen – z. B. MRT-Abteilungen, da dort keine ferromagnetischen Materialien getragen werden dürfen. Die Krankenpfleger/innen des Klinikums Dortmund waren in unterschiedlichen Abteilungen beschäftigt (Endokrinologie, Gastroenterologie, Hals-Nasen-Ohrenheilkunde-Abteilung, Orthopädie, Innere Medizin, Intensivstation, Onkologie, *Stroke Unit*, Zentrale Notfallaufnahme). Alle Krankenpfleger/innen in London arbeiteten in der *Liver Intensive Care Unit* auf der dritten Etage des King's College Krankenhauses.

Tabelle 2.3 zeigt die Zahl der schicht- und tagarbeitenden Krankenpfleger/innen, die an der Studie teilgenommen haben.

Tab. 2.3 Gesamtzahl der rekrutierten schicht- und tagarbeitenden Krankenpflegekräfte in Dortmund und London.

Krankenpflegekräfte	Klinikum Dortmund	King's College Hospital London
Anzahl	42	43
schichtarbeitend	33	39
tagarbeitend	9	4

2.4 Fragebögen

Die Studie umfasste das Ausfüllen eines Startfragebogens, eines Umweltfragebogens und eines Aktivitätstagebuchs.

Startfragebogen

Der Startfragebogen (Anhang C1) enthielt allgemeine Fragen zu den Krankenpflegekräften, wie etwa zum Alter, zum Geschlecht, oder zum Arbeitszeitmodell.

Fragebogen zum Arbeits- und zum häuslichen Umfeld

Der Fragebogen zum Arbeits- und zum häuslichen Umfeld (Anhang C2) lieferte Informationen über die Art der dort eingesetzten Beleuchtungsquellen sowie darüber, ob es am Arbeitsplatz eine Sichtverbindung nach außen gab.

Aktivitätstagebuch

Im Aktivitätstagebuch (Anhang C3) wurden der Tagesablauf dokumentiert und die Zeiträume erfasst, in denen sich die Studienteilnehmer/innen in Innenräumen (im Krankenhaus, zu Hause, bei Besorgungen, in Sportstätten, usw.) oder im Freien (Spaziergänge, Sportaktivitäten, usw.) aufgehalten haben. Diese Angaben sollten die Interpretation der Messdaten unterstützen – sie lieferten die Information zu Ereignissen, die sich auf die Lichtexposition ausgewirkt haben. Bei längeren Inaktivitätszeiten, die entweder als Nickerchen oder als Entfernen des Geräts interpretiert werden konnten, half das Aktivitätstagebuch dabei zu entscheiden, ob der Lichtexpositionsdetektor in diesen Phasen getragen worden war oder nicht.

Die in dieser Studie gesammelten Daten wurden anonymisiert ausgewertet. Die Studienteilnehmer/innen in Dortmund haben dazu eigenständig einen vierstelligen Code nach dieser Vorlage generiert:

- erster Buchstaben des Geburtsorts;
- zweiter Buchstabe des Vornamens der Mutter;
- dritter Buchstabe des Nachnamens der Mutter;
- erste Ziffer der eigenen Hausnummer.

Wurde z. B. eine Person in Berlin geboren, hieß ihre Mutter Erika Mustermann und sie wohnte in der Hausnummer 35, lautete der Code BRS3. In London wurden ähnliche vierstellige Codes generiert.

Die Studienteilnehmer/innen haben den Code auf allen von ihnen ausgefüllten Fragebögen und dem Aktivitätstagebuch angegeben und ihn zusätzlich auf den vorgesehenen Feldern des Lichtexpositions- und Bewegungsdetektors angebracht.

3 Ergebnisse

3.1 Auswertung der Fragebögen

Tabelle 3.1 zeigt die demographischen Daten der Studienteilnehmer/innen, Tabelle 3.2 enthält Angaben darüber, ob es am Arbeitsplatz eine Sichtverbindung nach außen gab, und Tabelle 3.3 fasst die Angaben über die am Arbeitsplatz und in der häuslichen Umgebung eingesetzten Beleuchtungsquellen zusammen.

Tab. 3.1 Demographische Daten der Studienteilnehmer/innen.

Krankenpflegekräfte	Klinikum Dortmund	King's College Hospital London
Frauen	34	33
Männer	8	10
Alter / Jahre	22-54	23-53
BMI / kg·m ⁻²	21-42	17-37
Anzahl der Kinder	1-3	1-3
Dauer der Schichtarbeit / Jahre	1-34	1-24

Tab. 3.2 Angaben zur Sichtverbindung nach außen am Arbeitsplatz – prozentualer Anteil der Studienteilnehmer/innen.

Ort	Gute Sichtverbindung	Durchschnittliche Sichtverbindung	Schlechte Sichtverbindung / nicht vorhanden
Dortmund	26%	64%	10%
London	4%	56%	41%

Tab. 3.3 Prozentualer Anteil der zu Hause und am Arbeitsplatz verwendeten Beleuchtungsquellen.

Ort		Glüh- / Halogenlampe	Leuchtstoff- / Energiesparlampe	LED-Lampe
Dortmund	Zu Hause	58%	34%	8%
	Am Arbeitsplatz	29%	67%	4%
London	Zu Hause	35%	54%	11%
	Am Arbeitsplatz	19%	67%	14%

3.2 Bewertung der Lichtexposition

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der Lichtexpositionsmessungen von 42 bzw. 43 schicht- und tagarbeitenden Krankenpflegekräften in zwei Krankenhäusern in Dortmund und London dargestellt.

Die Lichtexpositionsmessungen fanden zu drei Jahreszeiten im Jahr 2015 statt: im Winter (Januar), im Frühling (April) und im Sommer (Juni). Grundsätzlich sind die Tageslichtverhältnisse sowohl von der Jahreszeit als auch vom geografischen Breitengrad abhängig. Da Dortmund und London auf demselben Breitengrad liegen (51,5°N), sind in diesen Städten, wie auch der Tabelle D1 im Anhang D zu entnehmen ist, die Tageslänge und damit die Dauer des Tageslichts identisch. In lokaler Zeit gemessen findet der Sonnenaufgang und Sonnenuntergang in Dortmund jedoch eine halbe Stunde später als in London statt⁶. Alle Ergebnisse sind in den lokalen Zeitzonen der beiden Städte angegeben.

Zur Einschätzung des nicht-visuell wirksamen Lichts wurde die Lichtexposition im blauen Spektralbereich betrachtet, d. h. die anhand des B-Sensors eines *Actiwatch Spectrum*-Detektors erfasste Blaulicht-Bestrahlungsstärke E_B (umgerechnet in $W \cdot m^{-2}$). Zusätzlich wird auch die für die visuelle Wirkung des Lichts relevante Größe Beleuchtungsstärke E_v dargestellt.

Die Arbeitszeiten von schichtarbeitenden Krankenpflegekräften in Dortmund umfassten drei 8-stündige Schichten: Frühschicht (von 6:00 Uhr bis 14:30 Uhr), Spätschicht (von 14:00 Uhr bis 22:30 Uhr) und Nachtschicht (von 22:00 Uhr bis 6:30 Uhr). Bei einigen Krankenpflegekräften in Dortmund gab es halb- bis zweistündige Abweichungen von diesen Arbeitszeiten, z. B. durch den früheren Beginn der Frühschicht um 5:30 Uhr, der Spätschicht um 13:30 Uhr oder der Nachtschicht um 21:30 Uhr. Die Arbeitszeiten der schichtarbeitenden Krankenpfleger/innen in London umfassten zwei 12-stündige Schichten: Die *long day shift* (im Folgenden als Tagschicht bezeichnet) dauerte von 7:30 Uhr bis 20:00 Uhr und die *long night shift* (hier als Nachtschicht bezeichnet) von 19:30 Uhr bis 8:00 Uhr. Die Arbeitszeit von tagarbeitenden Krankenpfleger/innen in Dortmund begann zwischen 6:00 Uhr und 7:30 Uhr und dauerte meistens bis 14:30 Uhr bzw. 16:00 Uhr. Die tagarbeitenden Krankenpflegekräfte (*day work*) in London waren 8 Stunden lang, von 9:00 Uhr bis etwa 17:00 Uhr, im Dienst.

Tabelle 3.4 zeigt die Anzahl n der ausgewerteten Arbeitstage in Dortmund und London für unterschiedliche Arbeitszeiten und Monate (Januar, April und Juni). In Dortmund ist die Arbeitszeit von in Frühschicht arbeitenden und tagarbeitenden Krankenpflegekräften vergleichbar. Deshalb wurden hier die Arbeitstage der tagarbei-

⁶ Da der Längengradunterschied zwischen Dortmund (7,5°E) und London (0°E) 7,5° beträgt, geht in Dortmund die Sonne eine halbe Stunde früher auf und unter als in London. Allerdings liegen Dortmund und London in zwei unterschiedlichen Zeitzonen: Dortmund in der Mitteleuropäischen Zeit (MEZ) Zone, London in der Greenwich Mean Time (GMT) Zone. Wegen der einstündigen Differenz zwischen diesen zwei Zeitzonen (MEZ = GMT +1 Stunde) finden Sonnenaufgang und Sonnenuntergang in Dortmund deshalb eine halbe Stunde später statt.

tenden Krankenpflegekräfte als Frühschicht-Arbeitstage erfasst. Des Weiteren werden die Messergebnisse nur für Nachtschicht-Arbeitstage gezeigt, die auf eine vorangegangene Nachtschicht folgen, da nur dieses Setting ein konsistentes Lichtprofil liefert. Insgesamt wurden in Dortmund 395 und in London 200 Arbeitstage ausgewertet.

Abbildung 3.1 zeigt beispielhaft Blaulicht-Bestrahlungsstärken E_B und Beleuchtungsstärken E_V , die von einer tag- und von einer schichtarbeitenden Krankenpflegerin gemessenen wurden. Der Dienst der tagarbeitenden Krankenpflegerin begann während der Januar-Messwoche (Abbildung 3.1 a) um 7:00 Uhr und endete zwischen 15:30 Uhr und 17:30 Uhr. Die Krankenpflegerin hatte ein freies Wochenende. Diese Messungen lieferten Lichtexpositionsdaten für fünf Frühschicht-Arbeitstage im Monat Januar. Die schichtarbeitende Krankenpflegerin (Abbildung 3.1 b) arbeitete während der Juni-Messwoche in zwei Frühschichten und drei aufeinanderfolgenden Nachtschichten, und hatte einen freien Tag. Messungen dieser Krankenpflegerin lieferten Lichtexpositionsdaten für zwei Frühschicht- und zwei Nachtschicht-Arbeitstage. Der erste Nachtschicht-Arbeitstag am 21. Juni wurde – aus dem im vorangegangenen Abschnitt erwähnten Grund – von der Auswertung ausgeschlossen.

Tab. 3.4 Anzahl n der ausgewerteten Arbeitstage in Dortmund und London.

Ort	Schicht	Januar	April	Juni	Summe aller ausgewerteten Arbeitstage
Dortmund	Frühschicht bzw. Tagarbeit 6:00 Uhr - 14:30 Uhr	n = 85	n = 61	n = 68	n = 395
	Spätschicht 14:00 Uhr - 22:30 Uhr	n = 39	n = 50	n = 38	
	Nachtschicht (N-N)* 22:00 Uhr - 6:30 Uhr	n = 22	n = 15	n = 17	
London	Tagarbeit 9:00 Uhr - 17:00 Uhr	n = 12	–**	n = 13	n = 200
	Tagschicht 7:30 Uhr - 20:00 Uhr	n = 41	n = 38	n = 34	
	Nachtschicht (N-N)* 19:30 Uhr - 8:00 Uhr	n = 25	n = 15	n = 22	

* Nur Nachtschicht-Arbeitstage, die auf eine vorangegangene Nachtschicht folgten (Nachtschicht nach Nachtschicht – Abkürzung N-N).

** Drei April-Tage wurden aufgrund unzureichender Daten für die statistische Analyse ausgeschlossen.

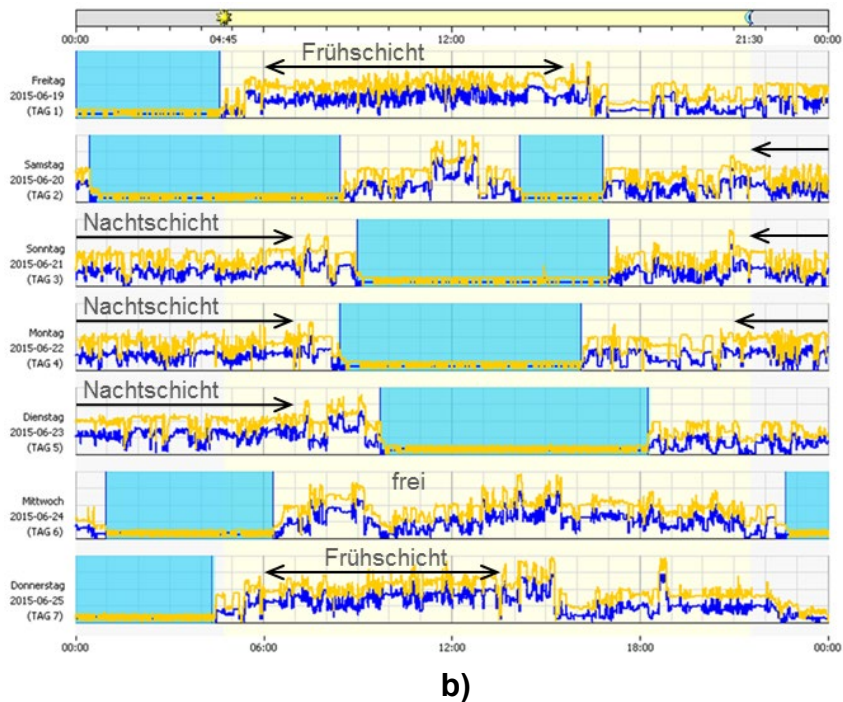
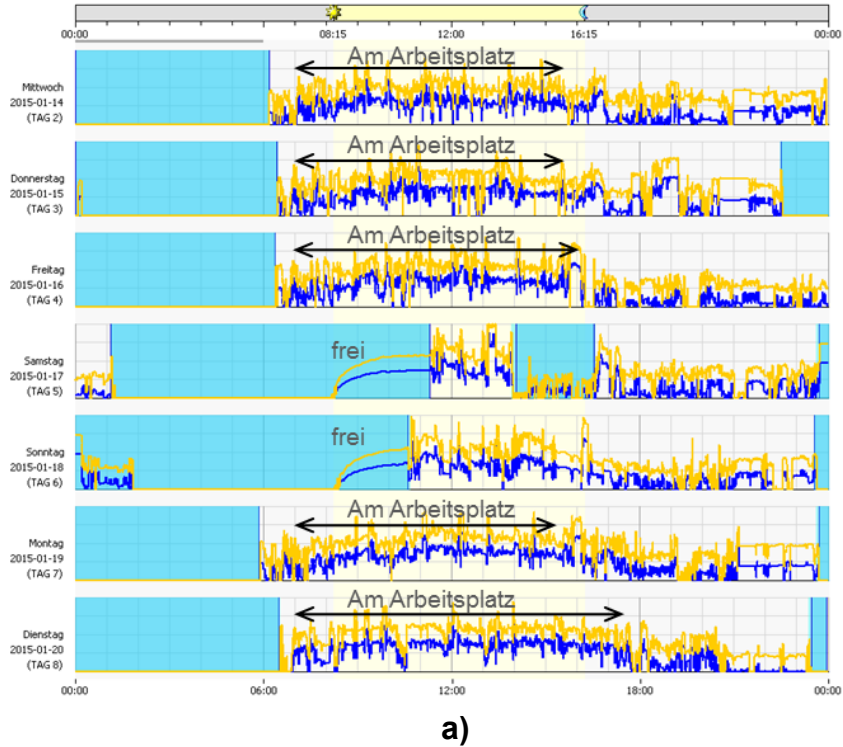


Abb. 3.1 Blaulicht-Bestrahlungsstärke E_B (blau) und Beleuchtungsstärke E_V (gelb) gemessen in Dortmund von

- a) einer tagarbeitenden Krankenschwester, die in der Januar-Messwoche an fünf Wochentagen gearbeitet hat und am Wochenende zwei freie Tage hatte sowie
- b) einer schichtarbeitenden Krankenschwester, die in der Juni-Messwoche in zwei Frühschichten und drei aufeinanderfolgenden Nachtschichten gearbeitet hat sowie einen freien Tag hatte.

Die Daten wurden in Messintervallen von 30 s erfasst (siehe Abschnitt 2.1.4). Bei der Auswertung wurden die gemessenen Werte der Blaulicht-Bestrahlungsstärke E_B sowie der Beleuchtungsstärke E_v über eine Stunde gemittelt, um auf diese Weise je 24 stündliche Werte der Blaulicht-Bestrahlungsstärke $E_{B,s}$ und der Beleuchtungsstärke $E_{v,s}$ zu erhalten. In den Abbildungen 3.2 bis 3.12 sowie 4.1 wurde ein stündlicher Wert zwischen zwei vollen Stunden der jeweiligen halben Stunde zugeordnet, z. B. der stündliche Wert zwischen 13:00 Uhr und 14:00 Uhr der Uhrzeit 13:30.

Ein und dieselbe Person weist bereits erhebliche Schwankungen bei den stündlichen Werten auf (intraindividuelle Schwankungen). Dies zeigt sich beispielhaft in Abbildung 3.2: Die maximalen $E_{B,s}$ -Werte einer Studienteilnehmerin, die in der Juni-Messwoche in vier Frühschichten gearbeitet hat, lagen zwischen $0,4 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ und $16,9 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Die hohen $E_{B,s}$ -Werte am 10., 15. und 16. Juni sind durch den Aufenthalt im Freien zustande gekommen.

Interindividuelle Unterschiede sind jedoch noch größer, wie der Abbildung 3.3 zu entnehmen ist. Sie zeigt die stündlichen Werte der Blaulicht-Bestrahlungsstärke $E_{B,s}$ aller 85 Dortmunder Frühschicht-Arbeitstage (zu denen auch die Arbeitszeit der tagarbeitenden Krankenpflegekräfte zählt) im Januar. Die maximalen individuellen $E_{B,s}$ -Werte überstiegen dabei kaum $0,2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, allerdings gibt es Studienteilnehmer/innen, die durch den Aufenthalt im Freien sehr viel höhere Werte gemessen haben.

Die schwarz gepunktete Kurve in Abbildung 3.3 zeigt die mittleren stündlichen Werte $(E_{B,s})_{\text{mitt}}$ aller 85 Kurven. Trotz der großen intra- und interindividuellen Unterschiede der stündlichen Blaulicht-Bestrahlungsstärken $E_{B,s}$ ist ein Trend zu höheren mittleren stündlichen Werten unmittelbar nach der Arbeit und am Nachmittag sichtbar.

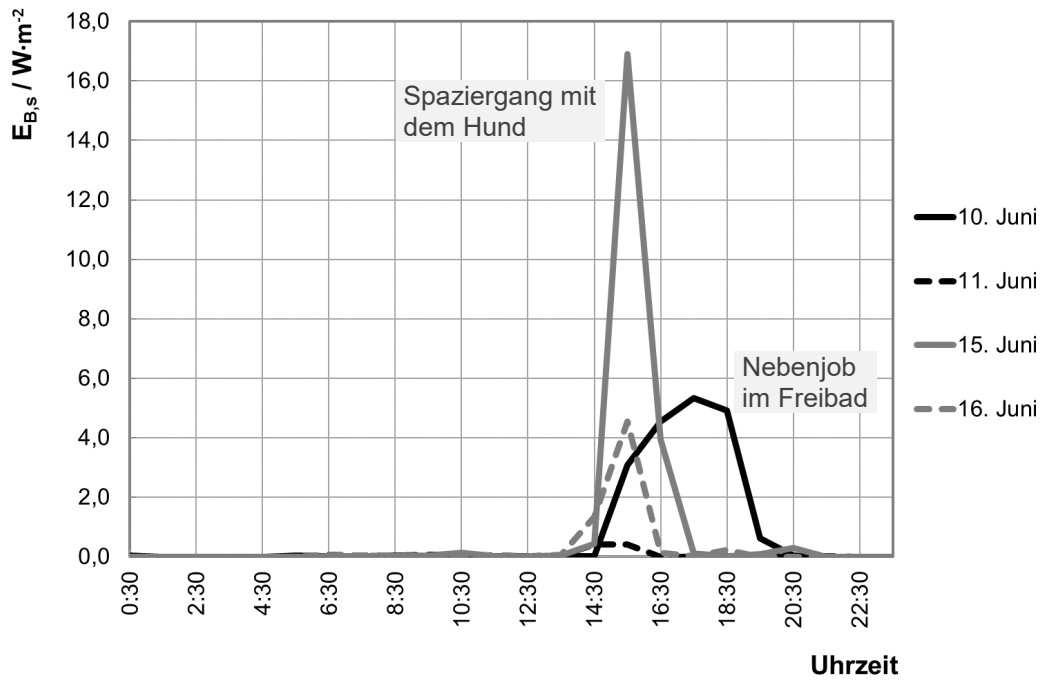


Abb. 3.2 Stündliche Blaulicht-Bestrahlungsstärke $E_{B,s}$ gemessen von einer schichtarbeitenden Krankenpflegerin in der Juni-Messwoche an vier Frühschicht-Arbeitstagen.

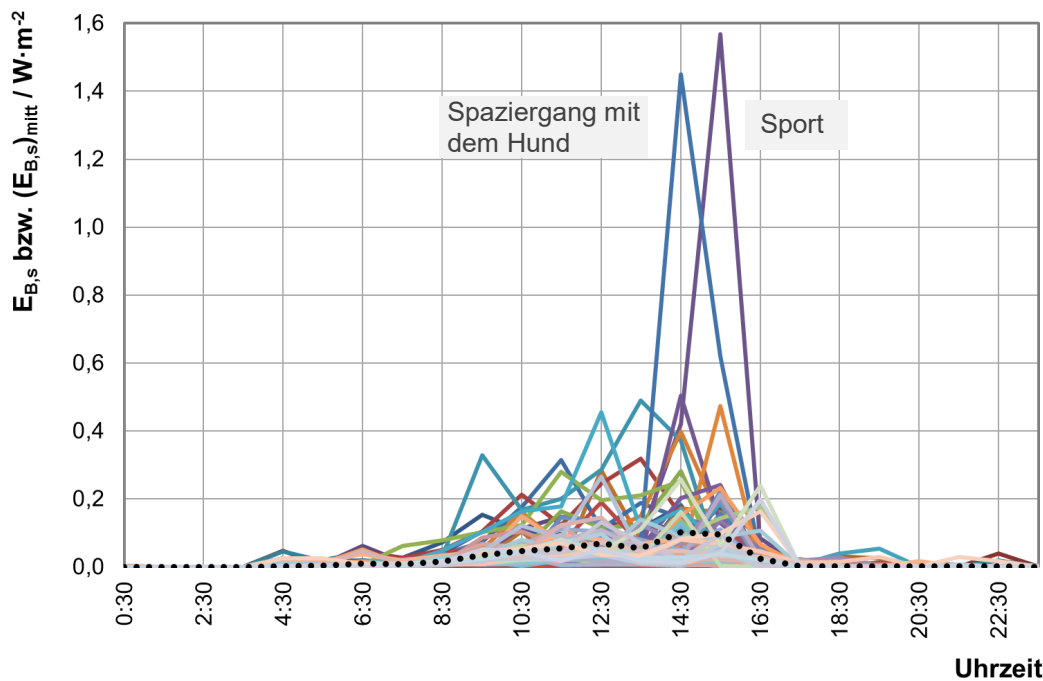


Abb. 3.3 Stündliche Blaulicht-Bestrahlungsstärken $E_{B,s}$ in Dortmund im Januar an Arbeitstagen mit Frühschicht (inklusive Tagarbeit). Die schwarz gepunktete Kurve stellt die Mittelwerte aller 85 Kurven dar, $(E_{B,s})_{mitt.}$.

3.2.1 Bewertung der Lichtexposition als Blaulicht-Bestrahlungsstärke

Die mittleren stündlichen Blaulicht-Bestrahlungsstärken $(E_{B,s})_{\text{mitt}}$ gemessen für unterschiedliche Jahres- und Arbeitszeiten in Dortmund, sind in den Abbildungen 3.4, 3.5 und 3.6 dargestellt.

- Abbildung 3.4 zeigt die $(E_{B,s})_{\text{mitt}}$ -Werte für Frühschicht-Arbeitstage im Januar, April und Juni. Die schwarz gepunktete Kurve für den Monat Januar ist die aus der Abbildung 3.3, die die Mittelwerte aller 85 Frühschicht-Arbeitstage darstellte. Bereits im Januar, trotz allgemein sehr niedriger $(E_{B,s})_{\text{mitt}}$ -Werte, zeigt sich ein Trend hin zu höheren Werten unmittelbar nach der Arbeit. Aufgrund der für diese Jahreszeit typischen kurzen Dauer des Tageslichts (bis 17 Uhr, vgl. Tabelle D1 im Anhang D) ist auch die Zeitspanne der erhöhten Lichtexposition sehr kurz. Dreizehn Wochen später – im April – sind die $(E_{B,s})_{\text{mitt}}$ -Werte wesentlich höher, und die Verlängerung der Dauer des Tageslichts ist deutlich zu erkennen. Weitere neun Wochen später, im Juni, sind die $(E_{B,s})_{\text{mitt}}$ -Werte überwiegend noch höher, und die Dauer des Tageslichts ist erkennbar länger.
- Abbildung 3.5 zeigt die $(E_{B,s})_{\text{mitt}}$ -Werte für Spätschicht-Arbeitstage. Die Werte für alle drei Monate (Januar, April und Juni) erreichen ihr Maximum gegen 13:30 Uhr, d. h. kurz vor Beginn der Arbeitszeit, wenn sich die Krankenpfleger/innen auf dem Weg zur Arbeit befinden. Ein Vergleich der $(E_{B,s})_{\text{mitt}}$ -Werte für April und Juni spiegelt wetterabhängige Einflüsse wider.
- Abbildung 3.6 zeigt die $(E_{B,s})_{\text{mitt}}$ -Werte für Nachtschicht-Arbeitstage (N-N). Im Januar sind diese Werte sehr niedrig. Im April zeigen sich zwei Maxima, eines nach Abschluss der Nachtschicht, wenn sich die Krankenpfleger/innen auf dem Weg nach Hause befinden, und das zweite am Nachmittag nach der Schlafenszeit beim Erledigen von Einkäufen o. Ä. Ein sehr ähnliches Lichtprofil zeigt sich auch im Monat Juni.

Die mittleren stündlichen Blaulicht-Bestrahlungsstärken $(E_{B,s})_{\text{mitt}}$ für unterschiedliche Jahres- und Arbeitszeiten, gemessen in London, sind in den Abbildungen 3.7, 3.8 und 3.9 dargestellt.

- Abbildung 3.7 zeigt die $(E_{B,s})_{\text{mitt}}$ -Werte für Tagarbeit im Januar und im Juni. Die beiden Kurven weisen Maxima zu Zeiten auf, wenn sich die Krankenpfleger/innen auf dem Weg zur Arbeit oder in der Mittagspause befinden. Drei Tage im April wurden aufgrund unzureichender Daten von der statistischen Analyse ausgeschlossen.
- Abbildung 3.8 zeigt die $(E_{B,s})_{\text{mitt}}$ -Werte für Tagschicht-Arbeitstage im Januar, April und Juni. Maximale Werte im Juni werden in den frühen Morgenstunden vor Beginn der Arbeit und um 20:30 Uhr nach dem Ende der Arbeitszeit erreicht.
- In Abbildung 3.9 sind die $(E_{B,s})_{\text{mitt}}$ -Werte für Nachtschichten (N-N) im Januar, April und Juni dargestellt. Ein Maximum zeigt sich nach dem Ende der Nachtschicht, wenn sich die Krankenpfleger/innen auf dem Weg nach Hause befinden, ein zweites in der Regel nach dem Schlafen und beim Einkäufen oder ähnlichen Aktivitäten.

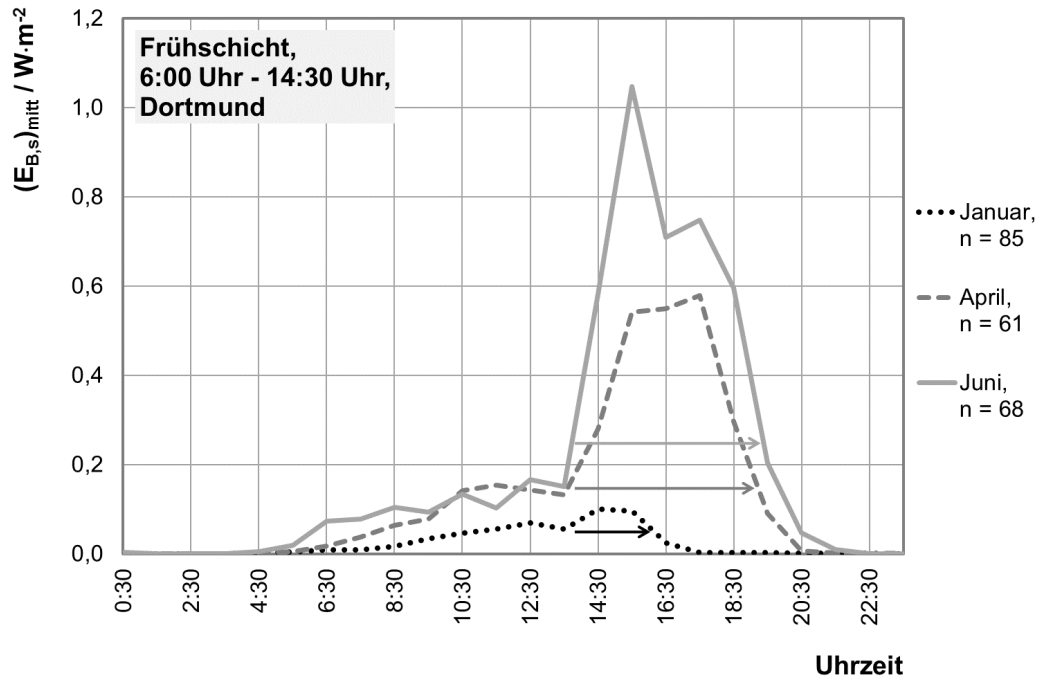


Abb. 3.4 Die $(E_{B,s})_{\text{mitt}}$ -Werte für Frühschicht-Arbeitstage in Dortmund zu unterschiedlichen Jahreszeiten. Die Pfeile geben die Verlängerung der Dauer des Tageslichts an; n ist in dieser und den folgenden Abbildungen 3.5 bis 3.12 die Anzahl der ausgewerteten Arbeitstage (vgl. Tabelle 3.4).

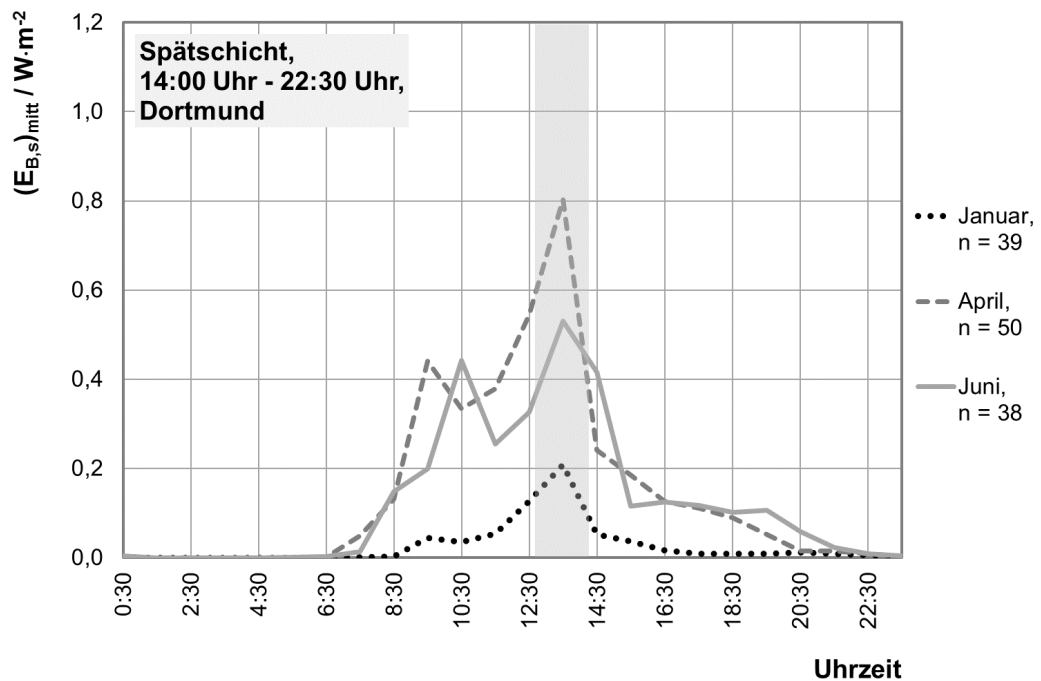


Abb. 3.5 Die $(E_{B,s})_{\text{mitt}}$ -Werte für Spätschicht-Arbeitstage in Dortmund zu unterschiedlichen Jahreszeiten. Alle Kurven zeigen ein Maximum vor Beginn der Spätschicht um 13:30 Uhr, also auf dem Weg zur Arbeit (hergehoben durch die graue Fläche).

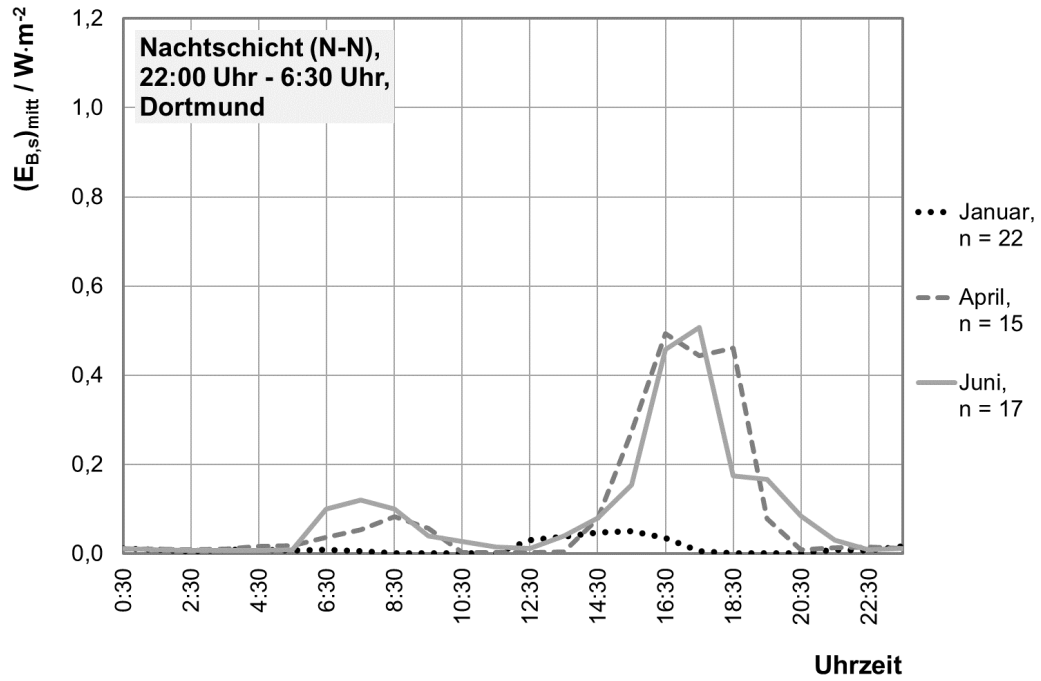


Abb. 3.6 Die $(E_{B,s})_{\text{mitt}}$ -Werte für Nachtschicht-Arbeitstage in Dortmund zu unterschiedlichen Jahreszeiten. Es handelt sich nur um Nachtschichtarbeitstage, die auf eine vorangegangene Nachtschicht folgen (N-N).

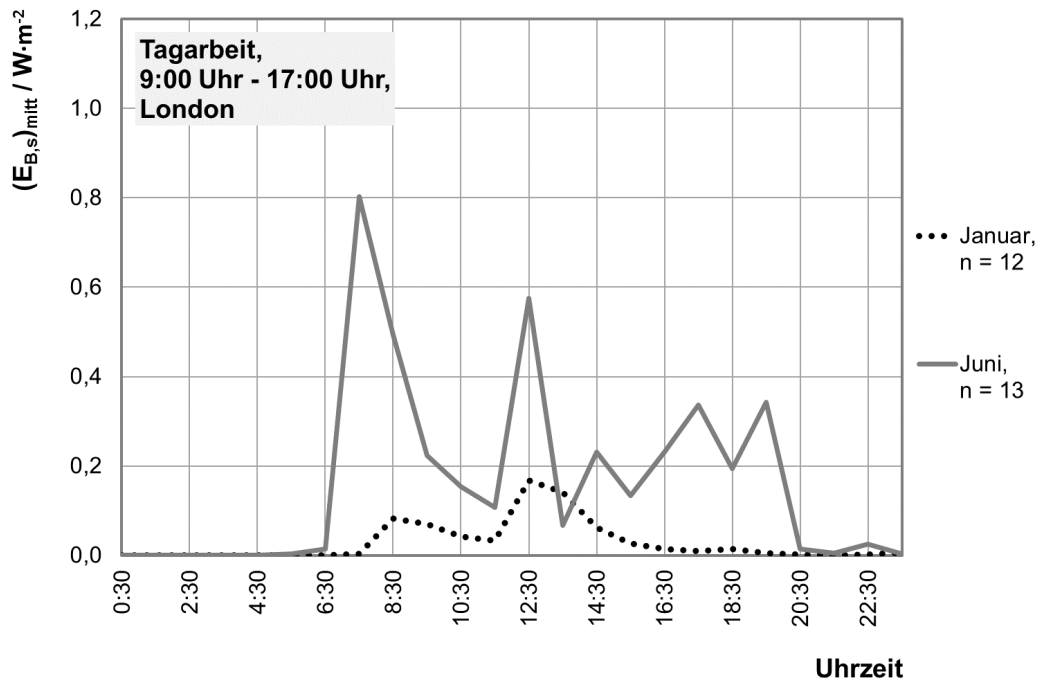


Abb. 3.7 Die $(E_{B,s})_{\text{mitt}}$ -Werte für die Tagarbeit in den Monaten Januar und Juni in London.

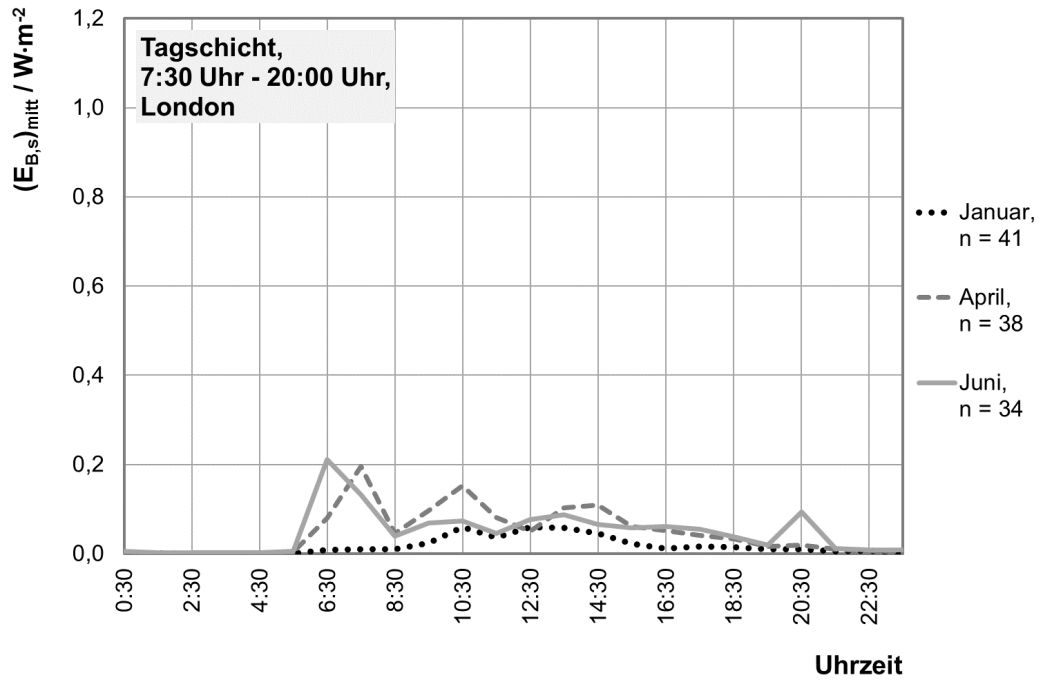


Abb. 3.8 Die $(E_{B,s})_{\text{mitt}}$ -Werte für die Tagschicht-Arbeitstage zu unterschiedlichen Jahreszeiten in London.

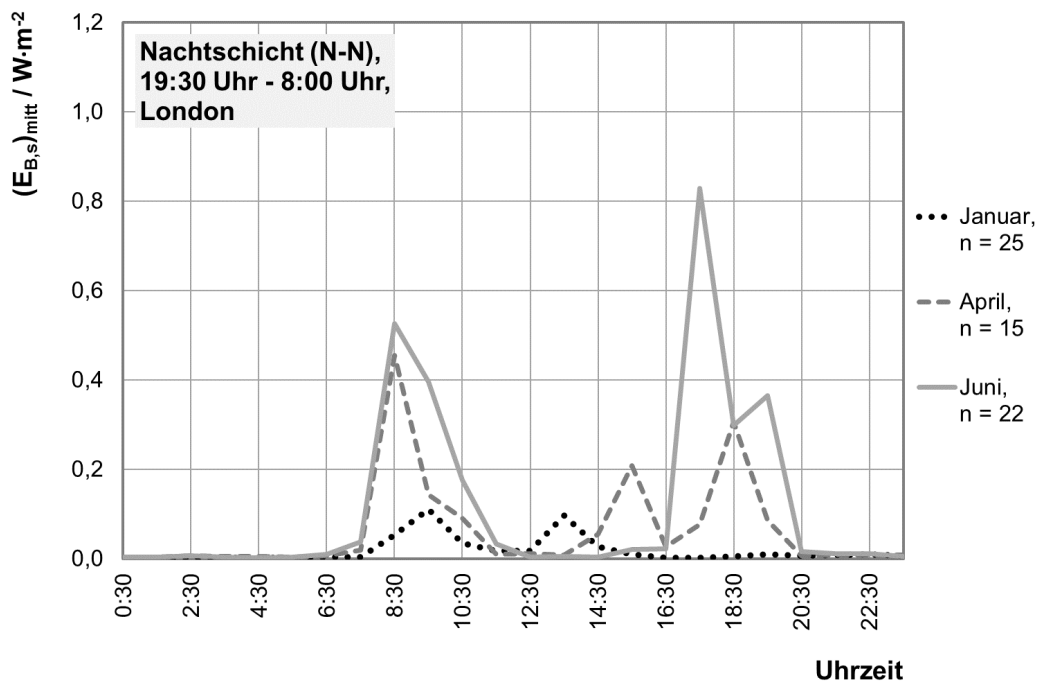


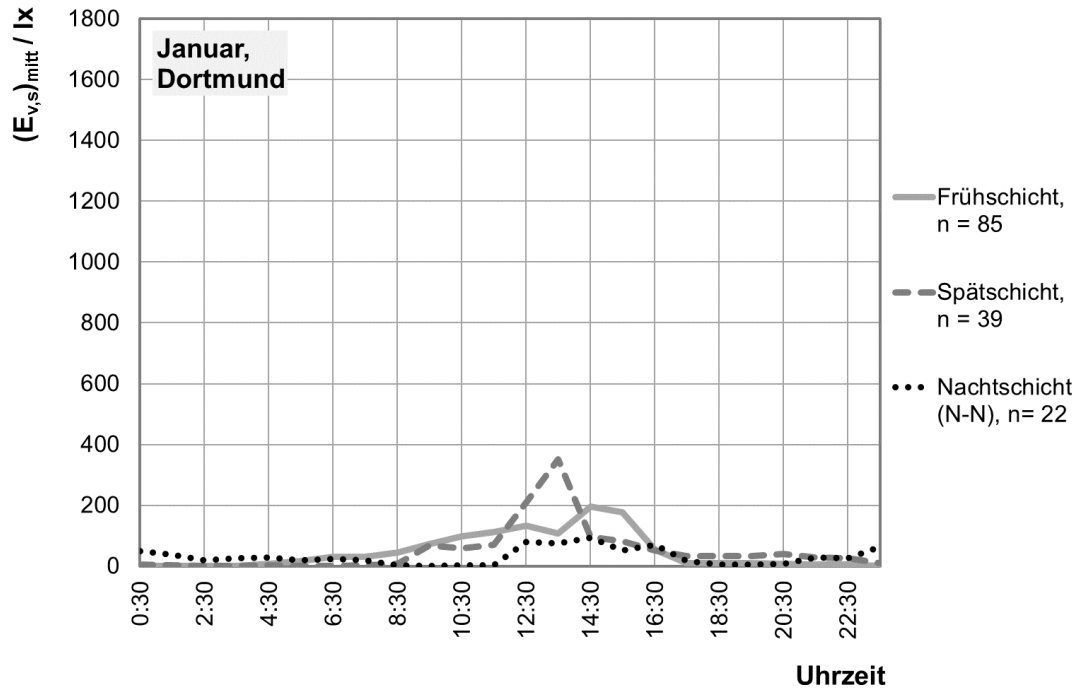
Abb. 3.9 Die $(E_{B,s})_{\text{mitt}}$ -Werte für Nachtschicht-Arbeitstage in London zu unterschiedlichen Jahreszeiten. Es handelt sich nur um Nachtschichten, die auf eine vorangegangene Nachtschicht folgen (N-N).

3.2.2 Bewertung der Lichtexposition als Beleuchtungsstärke

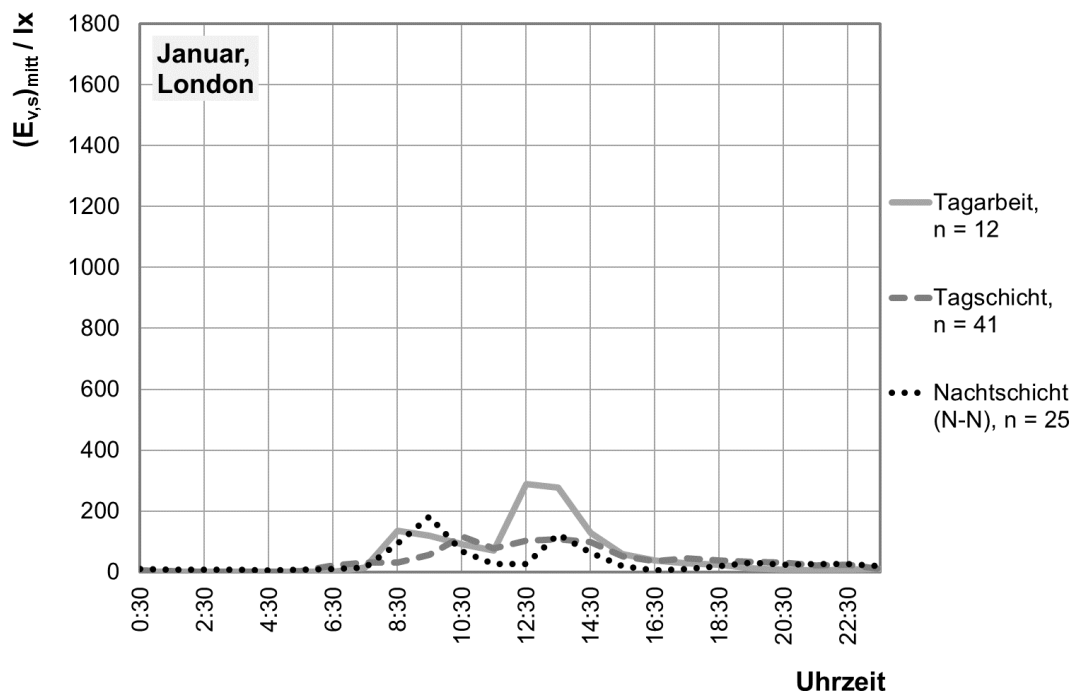
Im Folgenden werden auch die stündlichen Mittelwerte der gemessenen Beleuchtungsstärke $(E_{v,s})_{\text{mitt}}$ dargestellt. Im Vergleich zu den in Abschnitt 3.2.1 präsentierten Kurven haben sich die Lichtprofile nur wenig geändert.

Die Abbildungen 3.10, 3.11 und 3.12 zeigen die stündlichen Mittelwerte $(E_{v,s})_{\text{mitt}}$ in Dortmund und London im Januar, April und Juni. Die $(E_{v,s})_{\text{mitt}}$ -Werte sind jetzt den unterschiedlichen Arbeitszeiten zugeordnet.

Im Monat Januar sind die $(E_{v,s})_{\text{mitt}}$ -Werte sowohl in Dortmund als auch in London sehr niedrig und erreichen für alle Arbeitszeiten kaum 400 lx. In Dortmund sind im April die $(E_{v,s})_{\text{mitt}}$ -Werte für alle Arbeitszeiten viel höher und weisen ein Maximum von etwa 1600 lx für die Spätschicht auf. In London bleiben die Werte relativ niedrig und überschreiten 700 lx nicht. Schließlich bleibt festzuhalten, dass die $(E_{v,s})_{\text{mitt}}$ -Werte für Juni in Dortmund vergleichbar den Werten im April sind, diesmal zeigt sich ein Maximum von 1600 lx für die Frühschicht. Die Werte in London sind etwas höher als im April, erreichen aber kaum 1000 lx.

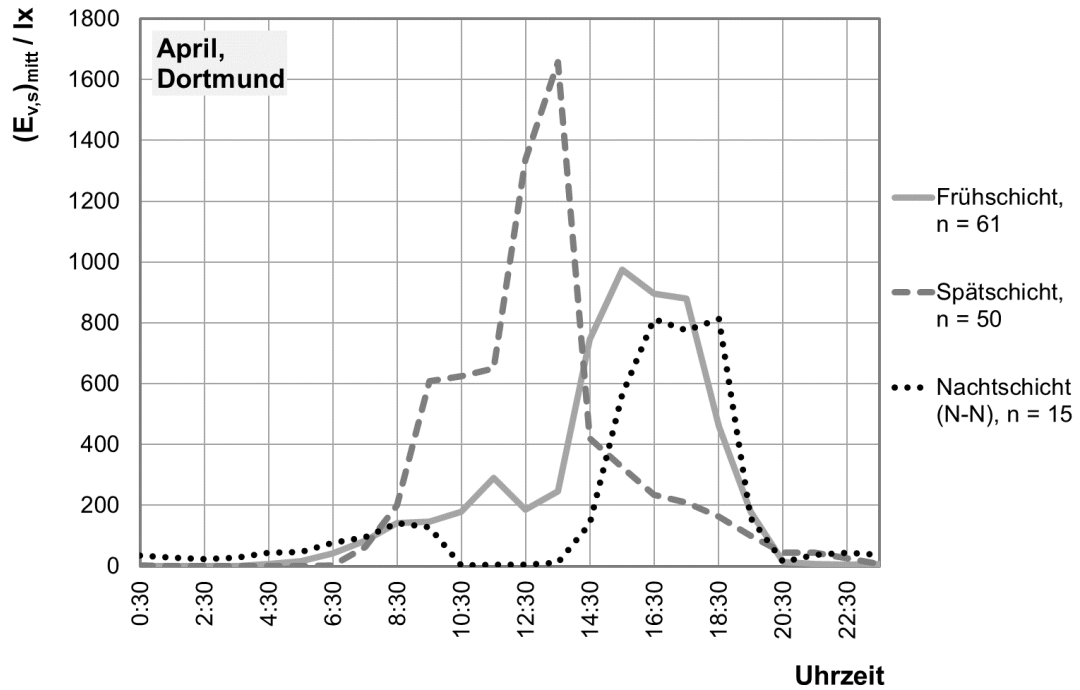


a)

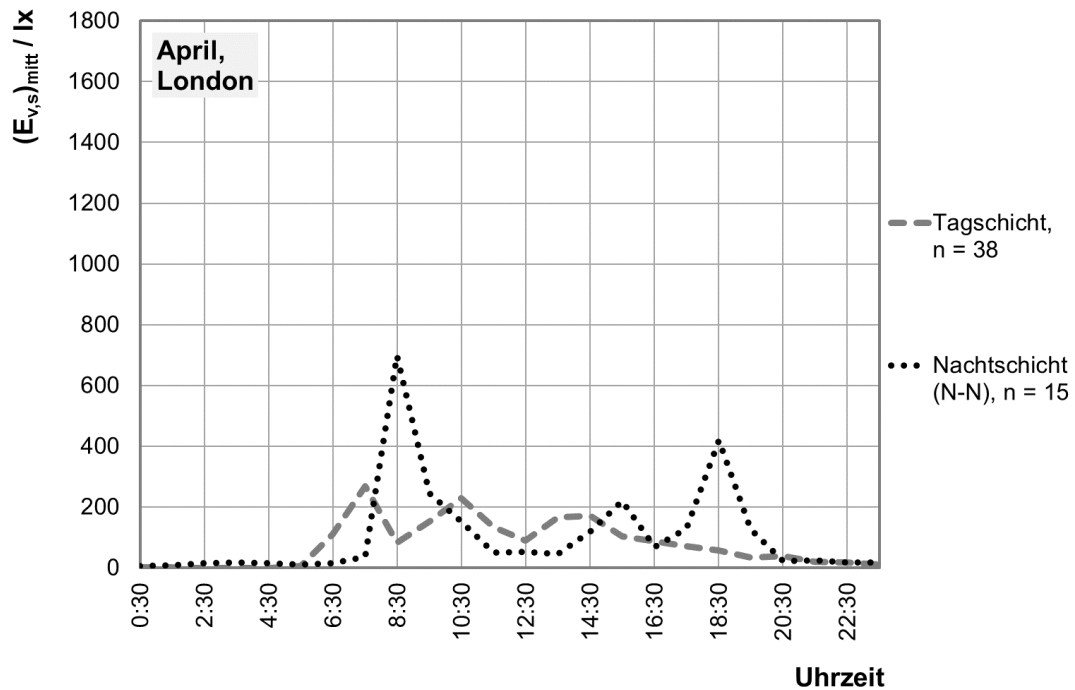


b)

Abb. 3.10 Die $(E_{v,s})_{\text{mitt}}$ -Werte im Januar in Dortmund (a) und London (b) für unterschiedliche Arbeitszeiten.

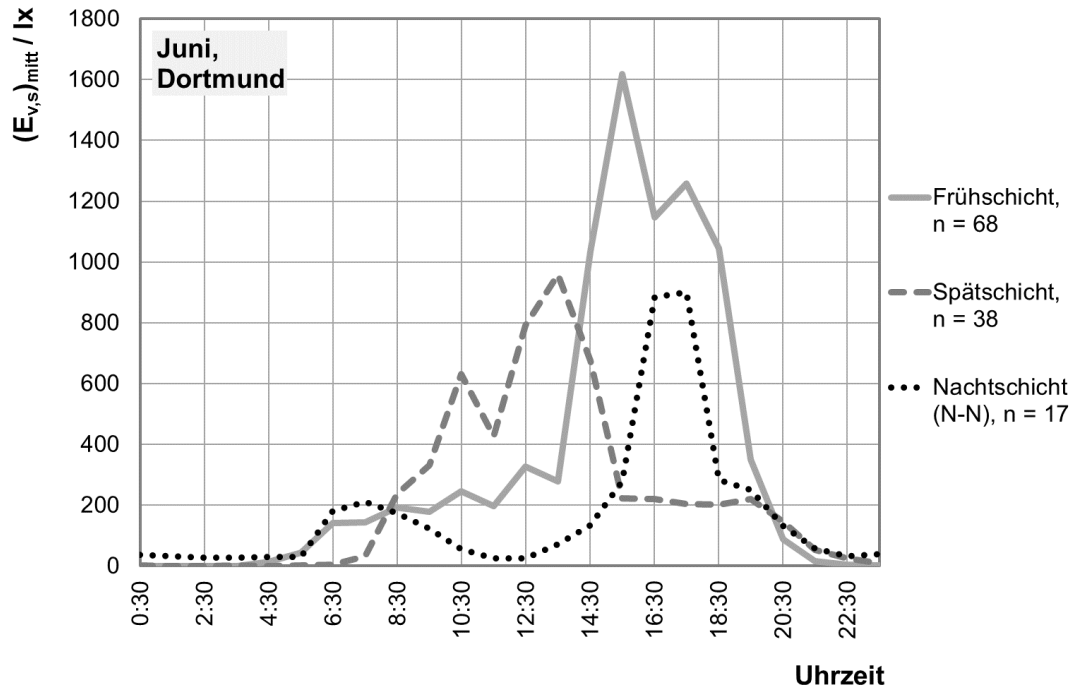


a)

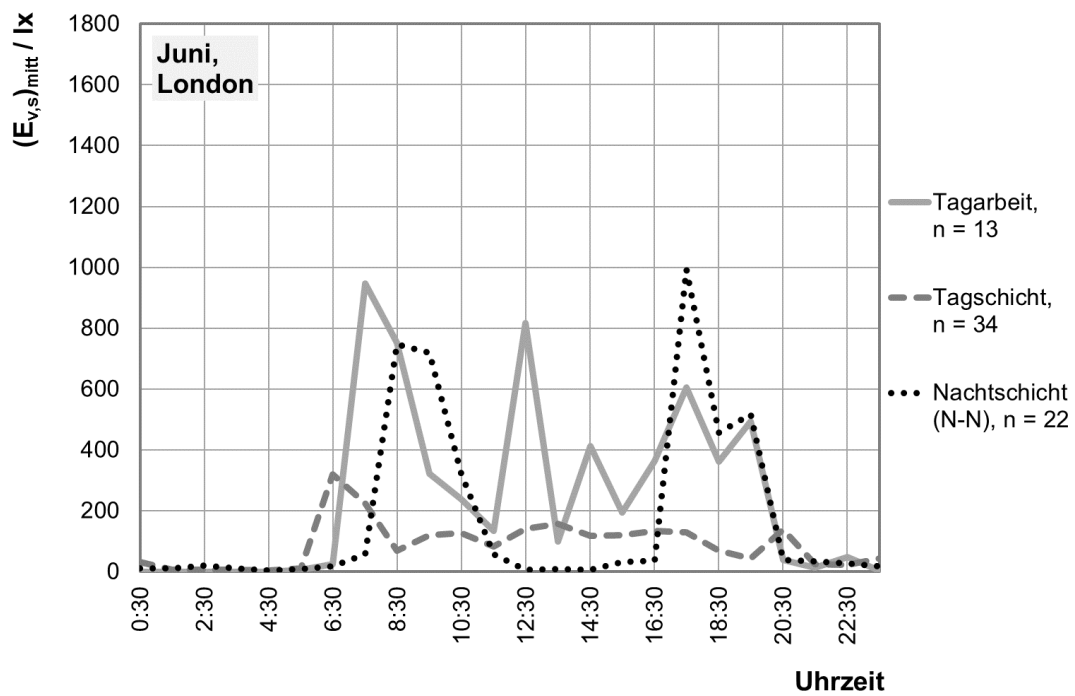


b)

Abb. 3.11 Die $(E_{v,s})_{mitt}$ -Werte im April in Dortmund (a) und London (b) für unterschiedliche Arbeitszeiten. Drei April-Tagarbeitsstage in London wurden aufgrund unzureichender Daten von der statistischen Analyse ausgeschlossen.



a)



b)

Abb. 3.12 Die $(E_{v,s})_{\text{mitt}}$ -Werte im Juni in Dortmund (a) und London (b) für unterschiedliche Arbeitszeiten.

4 Zusammenfassung

Innerhalb eines Zeitraums von 24 Stunden sind Beschäftigte sowohl natürlichem Tageslicht als auch dem Licht verschiedener künstlicher Quellen ausgesetzt, oft auch gleichzeitig. In Rahmen des Projekts F 2355 wurde die Lichtexposition im Hinblick auf circadiane Wirkung bei der Berufsgruppe der Krankenpflegekräfte untersucht. Zur metrologischen Beschreibung der nicht-visuellen Lichtwirkung dient in diesem Bericht die Blaulicht-Bestrahlungsstärke, erfasst anhand des B-Sensors eines *Actiwatch Spectrum*-Detektors.

An der Studie haben insgesamt 85 Krankenpfleger/innen aus zwei Krankenhäusern in Dortmund und London teilgenommen und anhand von Lichtexpositionsdetektoren eine Woche lang zu drei Jahreszeiten (Winter, Frühling und Sommer) die Lichtexposition gemessen. Bei den 42 Krankenpfleger/innen in Dortmund handelte sich entweder um schichtarbeitende Beschäftigte, die in drei 8-Stunden-Schichten arbeiteten (Früh-, Spät- und Nachtschicht) oder um tagarbeitende Krankenpfleger/innen, deren 8-stündige Arbeitszeit vergleichbar mit der Arbeitszeit der Frühschicht war. Die 43 Krankenpfleger/innen in London waren entweder in einer 12-Stunden-Schicht (Tagschicht und Nachtschicht) oder in einer 8-stündigen Tagarbeit tätig.

Obwohl die gemessenen Blaulicht-Bestrahlungsstärken große intra- und interindividuelle Unterschiede aufwiesen, konnten arbeits- und jahreszeitliche Abhängigkeiten der mittleren stündlichen Blaulicht-Bestrahlungsstärke festgestellt werden. Die Forschungsfragen, ob die Lichtexposition der Berufsgruppe der Krankenpflegekräfte für unterschiedliche Arbeitszeiten charakteristische Merkmale aufweist und ob für gleiche Arbeitszeiten jahreszeitliche Unterschiede in der Lichtexposition zu erkennen sind, lassen sich wie folgt beantworten.

Die mittlere stündliche Blaulicht-Bestrahlungsstärke an Arbeitstagen wird grundsätzlich durch die Arbeitszeit bestimmt. Höhere Blaulicht-Bestrahlungsstärken kamen nur durch den Aufenthalt im Freien zustande, meist während des Hinwegs zum bzw. Rückwegs vom Arbeitsplatz. Wie erwartet sind die mittleren stündlichen Blaulicht-Bestrahlungsstärken in Innenräumen erheblich geringer als im Freien.

- Arbeitszeiten – Dortmund

An 8-stündigen Frühschicht-Arbeitstagen in Dortmund zeigt sich das Maximum der mittleren stündlichen Blaulicht-Bestrahlungsstärke unmittelbar nach dem Ende der Arbeit (auf dem Weg nach Hause, während der Erledigung der Einkäufe, usw.) und in den Nachmittagsstunden (Freizeitaktivitäten). An diesen Arbeitstagen ist die Dauer der erhöhten mittleren stündlichen Blaulicht-Bestrahlungsstärke am längsten.

Die mittlere stündliche Blaulicht-Bestrahlungsstärke ist in Dortmund an 8-stündigen Spätschicht-Arbeitstagen vor Beginn der Arbeit am höchsten. An Arbeitstagen mit Spätschicht ist sie vormittags und mittags höher als an Frühschicht- und Nachtschicht-Arbeitstagen.

- Arbeitszeiten – Dortmund und London

An Nachtschicht-Arbeitstagen – den 8-stündigen in Dortmund und den 12-stündigen in London –, die auf eine vorangegangene Nachtschicht folgen, weist die mittlere stündliche Blaulicht-Bestrahlungsstärke zwei Maxima auf: eines am frühem Morgen und das zweite am Nachmittag. Eine hohe Tageslichtexposition nach dem Ende der Nachtschicht auf dem Weg nach Hause ist allerdings nicht wünschenswert, da sie die anschließende Schlafqualität und Erholung beeinträchtigen kann. Darüber hinaus führt Nachtarbeit naturgemäß auch zu langen nächtlichen Lichtexpositionen während der Arbeit.

- Arbeitszeiten – London

Die mittlere stündliche Blaulicht-Bestrahlungsstärke an 12-stündigen Tagschicht-Arbeitstagen in London ist durch den ganztägigen Aufenthalt der Krankenpflegekräfte am Arbeitsplatz zu allen Jahreszeiten niedrig, was eine circadiane Desynchronisation verursachen könnte. Eine Änderung von Start- und Endzeiten für die Frühschicht, die sich stärker an den Sonnenaufgangs- und Sonnenuntergangszeiten orientieren, würde den Beschäftigten etwas höhere Lichtexpositionen ermöglichen.

- Jahreszeiten – Dortmund und London

Schließlich sind die jahreszeitlichen Unterschiede der mittleren stündlichen Blaulicht-Bestrahlungsstärke anhand der von den Beschäftigten gemessenen Lichtexpositionen gut zu erkennen: Im Winter ist die mittlere stündliche Blaulicht-Bestrahlungsstärke für alle Arbeitszeiten sehr viel niedriger als im Frühling und Sommer. Die Unterschiede zwischen Frühling und Sommer sind jedoch stark wetterabhängig. Die Änderung der Dauer des Tageslichts zu verschiedenen Jahreszeiten zeigt sich in den veränderten mittleren stündlichen Blaulicht-Bestrahlungsstärken am späten Nachmittag und frühen Abend an Frühschicht-Arbeitstagen in Dortmund.

Zusätzlich zur Blaulicht-Bestrahlungsstärke wurde in dieser Studie die Beleuchtungsstärke erfasst. Im Winter ist die mittlere stündliche Beleuchtungsstärke sowohl in Dortmund als auch in London für alle Arbeitstage kleiner als 400 lx. Im Frühling zeigt sich in Dortmund für Spätschicht-Arbeitstage ein Maximum von 1600 lx, in London sind die Werte kleiner als 700 lx. Im Sommer erreicht die mittlere stündliche Beleuchtungsstärke in Dortmund höchstens 1600 lx, diesmal für die Frühschicht, während die Werte in London kleiner als 1000 lx sind. Am Arbeitsplatz wurden in Dortmund während der Nachtschicht im Winter 62 lx und im Sommer 40 lx gemessen. Die entsprechenden Werte für die mittlere stündliche Beleuchtungsstärke lagen in London bei 19 lx und 18 lx.

Tabelle 4.1 zeigt die mittleren stündlichen Blaulicht-Bestrahlungsstärken und Beleuchtungsstärken, $(E_{B,s})_{\text{mitt}}$ und $(E_{v,s})_{\text{mitt}}$, bei frührschicht- und tagarbeitenden Krankenpfleger/innen in Dortmund sowie bei tagarbeitenden Krankenpfleger/innen in London. Die $(E_{B,s})_{\text{mitt}}$ - und $(E_{v,s})_{\text{mitt}}$ -Werte zeigen den Einfluss der Jahreszeit (Winter, Sommer), der Tageszeit (Nacht, Nachmittag, Abend) und des jeweiligen Aufenthaltsorts (Innenräume zu Hause oder am Arbeitsplatz, im Freien). Die Werte in Innenräumen mit künstlichen Beleuchtungsquellen sind im Vergleich erheblich

niedriger als die Werte bei natürlichem Tageslicht im Freien. Die entsprechenden Werte in Dortmund und London ähneln sich hier.

Tab. 4.1 $(E_{B,s})_{\text{mitt}}$ - und $(E_{v,s})_{\text{mitt}}$ -Werte bei fröhschicht- und tagarbeitenden Krankenpflegekräften in Dortmund sowie bei tagarbeitenden Krankenpflegekräften in London im Winter und Sommer für ausgewählte Tageszeiten.

Ort / Urzeit		Winter		Sommer	
		$(E_{B,s})_{\text{mitt}} / \text{W}\cdot\text{m}^{-2}$	$(E_{v,s})_{\text{mitt}} / \text{lx}$	$(E_{B,s})_{\text{mitt}} / \text{W}\cdot\text{m}^{-2}$	$(E_{v,s})_{\text{mitt}} / \text{lx}$
8-stündige Fröhschicht und 8-stündige Tagarbeit in Dortmund	Zu Hause 0:30 - 4:30 Uhr	0,0005	1,6	0,0017	3,0
	Am Arbeitsplatz 10:30 - 11:30 Uhr	0,0513	105,5	0,1188	222,0
	Auf dem Weg nach Hause 14:30 - 15:30 Uhr	0,0989	186,4	0,8147	1037,0
	Im Freien, auf dem Weg nach Hause 14:30 - 15:30 Uhr	0,3637	639,6	2,8528	5074,7
	Zu Hause 20:30 - 22:30 Uhr	0,0015	7,2	0,0194	35,6
8-stündige Tagarbeit in London	Zu Hause 0:30 - 4:30 Uhr	0,0001	0,4	0,0001	0,2
	Auf dem Weg zur Arbeit 8:30 Uhr	0,0767	125,4	0,8180	700,7
	Am Arbeitsplatz 10:30 - 11:30 Uhr	0,0467	94,0	0,2241	265,4
	Auf dem Weg nach Hause 17:30 Uhr	0,0098	31,0	0,4406	731,1
	Zu Hause 20:30 - 22:30 Uhr	0,0027	8,8	0,0101	24,1

Im Folgenden werden einige Ergebnisse der in der Einleitung erwähnten Studien dargestellt, in deren Rahmen die Lichtexposition gemessen wurde. Teilweise werden Ergebnisse mit denen des vorliegenden Berichts verglichen.

In der Studie von Rabstein et al. 2019 [33] wurde die Blaulicht-Bestrahlungsstärke mithilfe von Lichtexpositionsdetektoren *LightWatcher* (Wolf Technologieberatung) gemessen. An der Studie nahmen 75 nachtschicht- und 25 tagarbeitende Krankenpflegerinnen des Berufsgenossenschaftlichen Universitätsklinikums Bergmannsheil

in Bochum teil (10 km von Dortmund entfernt). Die Autoren berichten, dass die mittlere stündliche Blaulicht-Bestrahlungsstärke hauptsächlich von der Arbeitszeit bestimmt wurde. Mit Ausnahme der Abendstunden zwischen 19:00 Uhr und 21:00 Uhr zeigten sich große Unterschiede zwischen den Tag- und Nachtschicht-Arbeitstagen (siehe Abbildung 4.1). Im Einklang mit den in diesem Bericht dargestellten Ergebnissen für die Nachtschicht-Arbeitstage in Dortmund und London zeigte sich auch hier ein Maximum in der Zeit, die mit dem Weg nach Hause zusammenfiel, sowie eines am Nachmittag (vgl. Abbildungen 3.6 und 3.9). Die mittleren stündlichen Blaulicht-Bestrahlungsstärken während der Nachtschicht von $0,017 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ sind in guter Übereinstimmung mit den Werten in Dortmund ($0,016 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$) und London ($0,008 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$). Allerdings unterscheiden sich bei tagarbeitenden Krankenpflegerinnen sowohl die Höhe als auch das Profil der mittleren stündlichen Blaulicht-Bestrahlungsstärke von unseren Ergebnissen (siehe Abbildung 3.4 zu den Frühschicht-Arbeitstagen in Dortmund zu unterschiedlichen Jahreszeiten).

Es ist ebenfalls zu erwähnen, dass die Lichtexposition in dieser Studie in der horizontalen Ebene gemessen wurde. Die für die nicht-visuellen Wirkungen relevante Lichtexposition sollte jedoch in der vertikalen Ebene gemessen werden, mit geringen oder keinen Beiträgen von Winkeln über die Horizontale, die größer als 50° sind (siehe CIE S 026/E:2018 [12]).

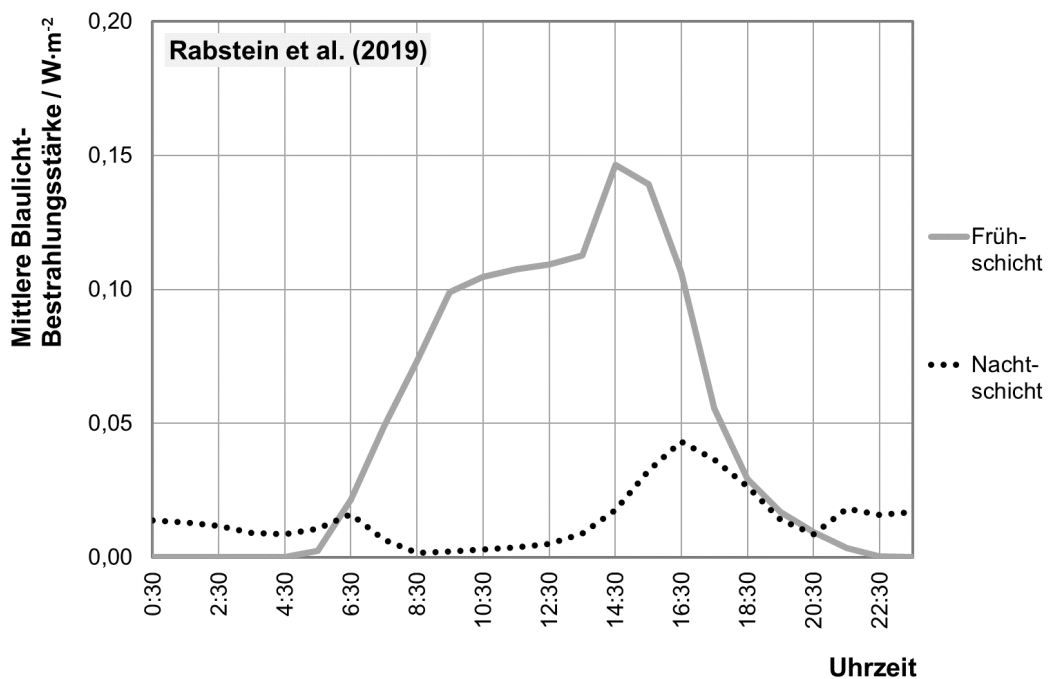


Abb. 4.1 Mittlere stündliche Blaulicht-Bestrahlungsstärke bei tag- und nachtarbeitenden Krankenpflegerinnen, die dem kreisförmigen Diagramm der Abbildung 1 aus Rabstein et al. 2019 [33] entnommen ist. Die Werte der mittleren stündlichen Blaulicht-Bestrahlungsstärke wurden durch Multiplizieren mit der Bandbreite des blauen Sensors (81,6 nm) des in dieser Studie benutzten Lichtexpositionsdetektors *LightWatcher* (Wolf Technologieberatung) berechnet.

Hubalek et al. 2010 [21] haben die Lichtexposition von 23 Bürobeschäftigten aus Zürich (47,4°N) an sieben aufeinanderfolgenden Tagen zwischen April und Juni mit Hilfe eines am Brillengestell befestigten Detektors (*LuxBlick*) gemessen. In dieser Studie wurde sowohl die Blaulicht-Bestrahlungsstärke als auch die Beleuchtungsstärke erfasst. Die Mediane der Blaulicht-Bestrahlungsstärke und der Beleuchtungsstärke während der im Büro verbrachten Zeit lagen bei 0,51 W·m⁻², bzw. 308 lx.

In der Studie von Smolders et al. 2013 [35] wurde die Vitalität in Abhängigkeit von der Lichtexposition untersucht. Dazu haben 42 Büromitarbeiter und Studierende aus dem niederländischen Eindhoven (51,5°N) die Lichtexposition an drei aufeinanderfolgenden Tagen im Winter, Frühling, Sommer und Herbst gemessen. Die Blaulicht-Bestrahlungsstärke und die Beleuchtungsstärke wurden mit Hilfe von am Brillengestell getragenen Lichtexpositionsdetektoren (*Daysimeter*, RPI Lighting Research Center and LumenTech Innovations) erfasst. Mit dem Argument, dass die Blaulicht-Bestrahlungsstärke und die Beleuchtungsstärke stark miteinander korrelieren, sind in der Veröffentlichung nur die Werte für die Beleuchtungsstärke zu finden. Es wurde festgestellt, dass eine Beleuchtungsstärke von über 1000 lx relativ selten war und die Studienteilnehmer während des größten Teils des Tages Beleuchtungsstärken von unter 500 lx ausgesetzt waren.

Daugaard et al. 2019 [13] haben die Beleuchtungsstärke bei tag- und nachtschichtarbeitenden Beschäftigten in Dänemark (55°N-56°N) anhand zuvor kalibrierter und am Oberarm befestigter Lichtexpositionsdetektoren (*Actiwatch Spectrum*, Philips Respironics) erfasst. Die Beleuchtungsstärke wurde eine Woche lang zu unterschiedlichen Jahreszeiten gemessen und anschließend anhand der Methode des gleitenden Mittelwerts aufbereitet. So lag beispielweise die mittlere Beleuchtungsstärke bei tagarbeitenden Beschäftigten zwischen 6:00 Uhr und 12:00 Uhr bei 755 lx im Sommer und bei 308 lx im Winter; bei Beschäftigten während der Nachtschicht zwischen 24:00 Uhr und 6:00 Uhr betrug sie im Sommer 25 lx und im Winter 38 lx. Die Daten wurden hinsichtlich der Dauer der Beleuchtungsstärke höher als 80 lx, 1000 lx und 2500 lx analysiert. Die Autoren berichten z. B., dass die Beschäftigten nachts durchschnittlich nur für 10 min bis 50 min einer Beleuchtungsstärke höher als 80 lx ausgesetzt waren, was zur Melatoninunterdrückung führen kann [40].

An der Studie von Burch et al. 2005 [8] nahmen 165 Mitarbeiter/innen einer Produktionsstätte für medizinische Geräte im Westen der USA (Seattle, 47,5°N) teil. Sie haben die Lichtexposition mittels eines am Handgelenk getragenen Lichtexpositionsdetektors (*Actiwatch-L*, Mini Mitter) an einem Tag zwischen Juni und Januar 24 Stunden lang gemessen, und über diese 24 Stunden gemittelt. Die so ermittelte Beleuchtungsstärke betrug an Frühschicht-Arbeitstagen (6:00 Uhr bis 14:00 Uhr) 770 lx, an Spätschicht-Arbeitstagen (14:00 Uhr bis 22:00 Uhr) 1338 lx, und an Nachtschicht-Arbeitstagen (22:00 Uhr bis 6:00 Uhr) 427 lx.

In der Studie von Hall et al. 2018 [18] wurde die nächtliche Lichtexposition von 102 schichtarbeitenden Beschäftigten der Rettungsleitstellen und des medizinischen Personals in British Columbia (Kanada) anhand der in Brusthöhe befestigten Lichtexpositionsdetektoren (*Daysimeter*, RPI Lighting Research Center and LumenTech Innovations) erfasst. Für Zeiten zwischen 23:00 Uhr und 05:00 Uhr ergaben die

Messungen bei Krankenpflegekräften z. B. einen Median der Beleuchtungsstärke von 22 lx.

An der Studie von Adamsson et al. 2018 [2] haben 30 tagarbeitende Bürobeschäftigte in Schweden teilgenommen und unter anderem über den Zeitpunkt und die Dauer der Lichtexposition im Freien selbst berichtet. Die Exposition gegenüber hellem Tageslicht im Freien erfolgte in der Regel vor und nach der Arbeit sowie in der Mittagspause. Die Studienteilnehmer/innen verbrachten im Winter durchschnittlich 32 min im Freien, 52 min im Frühjahr, 85 min im Sommer und 47 min im Herbst.

Bei den 17 Teilnehmer/innen der Studie von Papantoniou et al. 2014 [28] handelte es sich um die tag- und nachtschichtarbeitenden Beschäftigten eines Automobilherstellers, einer Eisenbahngesellschaft und eines Krankenhauses in Barcelona (41°N). Die Lichtexposition wurde etwa 24 Stunden lang mit Hilfe von in Schulterhöhe befestigter Lichtexpositionsdetektoren (*HOBOWare*, Onset Computer Corporation) gemessen. Für das tagarbeitende medizinische Personal im Krankenhaus berichten die Autoren von einer mittleren Beleuchtungsstärke von 822 lx während einer regulären 8-stündigen Arbeitszeit. Beim nachtschichtarbeitenden medizinischen Personal betrug die mittlere Beleuchtungsstärke zwischen 24:00 Uhr und 5:00 Uhr 50 lx.

Diese Übersicht zeigt, dass sich bisherige Studien sehr stark unterscheiden im Hinblick auf

- die Metrologie zur Beschreibung der Lichtexposition (Blaulicht-Bestrahlungsstärke, Beleuchtungsstärke),
- die vorherige Kalibrierung der Lichtexpositionsdetektoren (meist nicht vorgenommen),
- die Messmethodik (die Art des Tragens des Lichtexpositionsdetektors: am Brillengestell, an der Brust, an der Schulter, am Handgelenk; die Erfassung der vertikalen bzw. horizontalen Lichtexposition) und nicht zuletzt
- in Bezug auf die Auswertung der gemessenen Daten (Ergebnisse als Mittelwerte über eine Stunde, über die gesamte Arbeitszeit hinweg, über 24 Stunden, oder als Dauer der Lichtexposition oberhalb eines Schwellenwerts, usw.).

Diese Unterschiede erschweren die Vergleichbarkeit der Ergebnisse verschiedener Studien erheblich.

Es ist derzeit noch nicht bekannt, welches 24-Stunden-Lichtprofil (hinsichtlich der Bestrahlungsstärke, der spektralen Zusammensetzung des Lichts, des Zeitpunktes und der Dauer der Einwirkung) die Gesundheit und das Wohlbefinden am besten unterstützt – sowohl was die Synchronisation des circadianen Systems als auch was die akute Auswirkung z. B. auf die Aufmerksamkeit oder die Emotionen betrifft. Es scheint naheliegend, dass sich ausreichend Tageslicht nachhaltig auf die menschliche Gesundheit auswirkt. Die Lichtexpositionsprofile in dieser Studie zeigen jedoch, dass für viele Beschäftigte in Innenräumen der einzige Zeitraum, in dem sie dem Tageslicht ausgesetzt sind, der Weg zur und von der Arbeit sowie, eventuell, während der Mittagspause ist.

Literaturverzeichnis

- [1] **Activinsights:** GENEActiv Original,
<https://www.activinsights.com/actigraphy/geneactiv-original/>
- [2] **Adamsson, M.; Laike, T.; Morita, T.:** Seasonal variation in bright daylight exposure, mood and behavior among a group of office workers in Sweden. *J. Circadian Rhythms* **16(1)**, 1-17 (2018)
- [3] **Bailes, H.J. and Lucas, R.J.:** Human melanopsin forms a pigment maximally sensitive to blue light ($\lambda_{\max} \approx 479$ nm) supporting activation of $G_{q/11}$ and $G_{i/o}$ signalling cascades, *Proc. R. Soc. B* **280**:20122987 (2013)
- [4] **Berson, D.M.; Dunn, F.A.; Takao, M.:** Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock, *Science* **295**, 1070-1073 (2002)
- [5] **Blask, D.E.; Sauer, L.A.; Dauchy, R.T.:** Melatonin as a chronobiotic/anti-cancer agent: cellular, biochemical, and molecular mechanisms of action and their implications for circadian-based cancer therapy. *Curr. Top. Med. Chem.* **2**, 113-132 (2002)
- [6] **Brainard, G.C.; Rollag, M.D.; Hanifin, J.P.:** Photic regulation of melatonin in humans: ocular and neural signal transduction. *J. Biol. Rhythms* **12**, 537-546 (1997)
- [7] **Brüning, T. und Zaghaw, M.:** Neue Forschungsprojekte am IPA, *IPA-Journal* **1/2010**, S. 10-13 (2010)
- [8] **Burch, J.B.; Yost, M.G.; Johnson, W.; Allen, E.:** Melatonin, sleep, and shift work adaptation. *J. Occup. Environ. Med.* **47(9)**, 893-901(2005)
- [9] **Cajochen, C.; Münch, M.; Kobińska, S.; Kräuchi, K.; Steiner, R.; Oelhafen, P.; Orgül, S. and Wirz-Justice, A.:** High sensitivity of human melatonin, alertness, thermoregulation, and heart rate to short wavelength light. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* **90**, 1311-1316 (2005)
- [10] **CamNtech:** MotionWatch 8,
<https://www.camntech.com/products/motionwatch/motionwatch-8-overview>
- [11] **CIE TN003:2015:** Report on the First International Workshop on Circadian and Neurophysiological Photometry, 2013. CIE Central Bureau, Vienna (2015)
- [12] **CIE S 026/E:2018:** CIE System for Metrology of Optical Radiation for ipRGC-Influenced Responses to Light. CIE Central Bureau, Vienna (2018)

- [13] **Daugaard, S.; Markvart, J.; Bonde, J.P.; Christoffersen, J.; Garde, A.H.; Hansen, Å.M.; Schlünssen, V.; Vestergaard, J.M.; Vistisen, H.T.; Kolstad, H.A.:** Light exposure during days with night, outdoor, and indoor work. *Ann. Work Expo. Health* **63(6)**, 651-665 (2019)
- [14] **DIN SPEC 5031-100:2015-08:** Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik - Teil 100: Über das Auge vermittelte, melanopische Wirkung des Lichts auf den Menschen – Größen, Formelzeichen und Wirkungsspektren, Beuth Verlag
- [15] **Duffy, J.F. and Czeisler, C.A.:** Effect of light on human circadian physiology, *Sleep Med. Clin.* **4(2)**, 165-177 (2009)
- [16] **Fernandez, R.C.; Peters, S.; Carey, R.N.; Davies, M.J.; Fritschi, L.:** Assessment of exposure to shift work mechanisms in the general population: the development of a new job-exposure matrix. *Occup. Environ. Med.* **71**, 723-729 (2014)
- [17] **Figueiro, M.G.; Hamner, R.; Bierman, A. and Rea M.S.:** Comparisons of three practical field devices used to measure personal light exposures and activity levels, *Light. Res. Technol.* **4**, 421-434 (2013)
- [18] **Hall, A.L.; Davies, H.W.; Koehoorn, M.:** Personal light-at-night exposures and components of variability in two common shift work industries: uses and implications for future research. *Scand. J. Work Environ. Health* **44**, 80-87 (2018)
- [19] **Harth, V.; Pallapies, D.; Pesch, B.; Johnen, G.; Rabstein, S.; Raulf-Heimsoth, M.; Welge, P.; Brüning, T.:** Gesundheitliche Risiken durch Schichtarbeit? *IPA-Journal* **3/2009**, S. 12-15 (2009)
- [20] **Hattar, S.; Liao, H.W.; Takao, M.; Berson, D.M.; Yau, K.W.:** Melanopsin-containing retinal ganglion cells: architecture, projections, and intrinsic photosensitivity, *Science* **295**, 1065-1070 (2002)
- [21] **Hubalek, S.; Brink, M.; Schierz, C.:** Office workers' daily exposure to light and its influence on sleep quality and mood. *Lighting Res. Technol.* **42**, 33-50 (2010)
- [22] **IARC:** IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Volume 98: Painting, Firefighting and Shiftwork (2010)
- [23] **Jasser, S.A.; Hanifin, J.P.; Rollag, M.D.; Brainard, G.C.:** Dim light adaptation attenuates acute melatonin suppression in humans. *J. Biol. Rhythms* **21**, 394-404 (2006)
- [24] **Krüger, J.:** Psychische Gesundheit in der Arbeitswelt – Beleuchtung, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund (2016)

- [25] Lewy, A.J.; Wehr, T.A.; Goodwin, F.K.; Newsome, D.A.; Markey, S.P.: Light suppresses melatonin secretion in humans. *Science* **210**, 1267-1269 (1980)
- [26] Lucas, R.J.; Peirson, S.N.; Berson, D.M.; Brown, T.M.; Cooper, H.M.; Czeisler, C.A.; Figueiro, M.G.; Gamlin, P.D.; Lockley, S.W.; O'Hagan, J.B.; Price, L.L.A.; Provencio, I.; Skene, D.J.; Brainard, G.C.: Measuring and using light in the melanopsin age. *Trends. Neurosci.* **37**, 1-9 (2014)
- [27] Markvart, J.; Hansen, Å.M.; Christoffersen, J.: Comparison and correction of the light sensor output from 48 wearable light exposure devices by using a side-by-side field calibration method, *LEUKOS* **11**, 155-171 (2015)
- [28] Papantoniou, K.; Pozo, O.J.; Espinosa, A.; Marcos, J.; Castaño-Vinyals, G.; Basagaña, X.; Ribas, F.C.; Mirabent, J.; Martín, J.; Careny, G.; Martín, C.R.; Middleton, B.; Skene, D.J.; Kogevinas, M.: Circadian variation of melatonin, light exposure, and diurnal preference in day and night shift workers of both sexes. *Cancer Epidemiol. Biomarkers Prev.* **23(7)**, 1176-1186 (2014)
- [29] Philips Respironics: Actiwatch Spectrum. Activity Monitor, <https://www.usa.philips.com/healthcare/product/HC1046964/actiwatch-spectrum-activity-monitor>
- [30] Price, L.L.A.; Khazova, M. and O'Hagan, J.B.: Performance assessment of commercial circadian personal exposure devices, *Light. Res. Technol.* **44**, 17-26 (2012)
- [31] Price, L.L.A. and Lyachev, A.: Modification of a personal dosimetry device for logging melanopic irradiance. *Ligh. Res. Technol.* **49**, 922-927 (2017)
- [32] Price, L.L.A.; Lyachev, A.; Khazova, M.: Optical performance characterisation of light-logging actigraphy dosimeters, *J. Opt. Soc. Am. A* **34(4)**, 545-557 (2017)
- [33] Rabstein, S.; Burek, K.; Lehnert, M.; Beine, A.; Vetter, C.; Harth, V.; Putzke, S.; Kantermann, T.; Walther, J.; Wang-Sattler, R.; Pallapies, D., Brüning, T.; Behrens, T.: Differences in twenty-four-hour profiles of blue-light exposure between day and night shifts in female medical staff. *Sci. Total Environ.* **653**, 1025-1033 (2019)
- [34] Reiter, R.J.: Mechanisms of cancer inhibition by melatonin. *J. Pineal Res.* **37**, 213-214 (2004)
- [35] Smolders, K.; De Kort, Y.; van den Berg, S.: Daytime light exposure and feelings of vitality: Results of a field study during regular weekdays. *J. Environ. Psychol.* **36**, 270-279 (2013)

- [36] **Straif, K.; Baan, R.; Grosse, Y.; Secretan, B.; El Ghissassi, F.; Bouvard V.; Altieri, A.; Benbrahim-Tallaa, L.; Coglianò, V.:** WHO International Agency For Research on Cancer Monograph Working Group: Carcinogenicity of shift-work, painting, and fire-fighting. *Lancet Oncol.* **8**, 1065-1066 (2007)
- [37] **Tähkämö, L.; Partonen, T. and Pesonen, A.-K.:** Systematic review of light exposure impact on human circadian rhythm, *Chronobiol. Int.* **32:2**, 151-170 (2019)
- [38] **Udovicic, L.; Janßen, M.; Nowack, D.; Price, L.:** Personenbezogene Lichtexpositionsmessungen in Feldstudien – Eine Handlungsanleitung zur Charakterisierung und Kalibrierung von Lichtexpositionsdetektoren, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund (2016)
- [39] **Vandahl, C.; Bieske, K.; Neuhäuser, S.; Schierz, Ch.:** Optimale Beleuchtung bei Schichtarbeit, Literaturstudie im Auftrag der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (2009)
- [40] **Zeitler, J.M.; Dijk, D.-J.; Kronauer, R.E.; Brown, E.N.; Czeisler, C.A.:** Sensitivity of the human circadian pacemaker to nocturnal light: melatonin phase resetting and suppression. *J. Physiol.* **526**, 695-702 (2000)

Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1	Wellenlängen der maximalen Empfindlichkeit des B-, G- und R-Sensors und Halbwertsbreiten der Empfindlichkeitskurven (aus [38]).	13
Tab. 2.2	Mittelwerte der Kalibrierungsfaktoren von 23 in Dortmund eingesetzten <i>Actiwatch Spectrum</i> -Detektoren (aus [38]).	14
Tab. 2.3	Gesamtzahl der rekrutierten schicht- und tagarbeitenden Krankenpflegekräfte in Dortmund und London.	19
Tab. 3.1	Demographische Daten der Studienteilnehmer/innen.	21
Tab. 3.2	Angaben zur Sichtverbindung nach außen am Arbeitsplatz – prozentualer Anteil der Studienteilnehmer/innen.	21
Tab. 3.3	Prozentualer Anteil der zu Hause und am Arbeitsplatz verwendeten Beleuchtungsquellen.	21
Tab. 3.4	Anzahl n der ausgewerteten Arbeitstage in Dortmund und London.	23
Tab. 4.1	$(E_{B,s})_{\text{mitt}}$ - und $(E_{v,s})_{\text{mitt}}$ -Werte bei fröhschicht- und tagarbeitenden Krankenpflegekräften in Dortmund sowie bei tagarbeitenden Krankenpflegekräften in London im Winter und Sommer für ausgewählte Tageszeiten.	37
Tab. D1	Sonnenaufgang, Sonnenuntergang und Tageslänge in Dortmund und in London an einem Messtag im Januar, April und Juni 2015.	57

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1	<p>a) Ein <i>Actiwatch Spectrum</i>-Detektor der Firma Philips Respironics.</p> <p>b) Drei optische Sensoren des <i>Actiwatch Spectrum</i>-Detektors für den roten (R), grünen (G) und blauen (B) Spektralbereich (aus [38]).</p>	13
Abb. 2.2	Mittlere spektrale Empfindlichkeit der B-, G- und R-Sensoren von <i>Actiwatch Spectrum</i> -Detektoren, normiert auf ein Maximum von 1.	14
Abb. 2.3	Ein in der Brusthöhe befestigter <i>Actiwatch Spectrum</i> -Detektor, der jederzeit auf der äußeren Kleidungsschicht getragen werden kann und die personenbezogene Lichtexposition erfasst.	15
Abb. 2.4	<p>Ein mit der Actiware Software erstelltes Aktogramm, das die Messsignale und die Aktivität einer Studienteilnehmerin über drei Tage hinweg zeigt. 24-Stunden-Tage werden übereinander angeordnet. Am oberen und unteren Rand des Aktogramms wird die Uhrzeit angezeigt. Hellblau unterlegte Bereiche bezeichnen die Ruheintervalle.</p> <p>Weitere Darstellungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Signal des B-Sensors (blau) - Signal des G-Sensors (grün) - Signal des R-Sensors (rot) - Signal „weißes Licht“ (gelb) - Aktivität (schwarz) 	17
Abb. 2.5	<p>a) Ein <i>GENEActiv Original</i>-Bewegungsdetektor der Firma Activinsights.</p> <p>b) Ein <i>MotionWatch-8</i>-Bewegungsdetektor der Firma CamNtech</p>	18
Abb. 3.1	<p>Blaulicht-Bestrahlungsstärke E_B (blau) und Beleuchtungsstärke E_v (gelb) gemessen in Dortmund von</p> <p>a) einer tagarbeitenden Krankenpflegerin, die in der Januar-Messwoche an fünf Wochentagen gearbeitet hat und am Wochenende zwei freie Tage hatte sowie</p> <p>b) einer schichtarbeitenden Krankenpflegerin, die in der Juni-Messwoche in zwei Frühschichten und drei aufeinanderfolgenden Nachtschichten gearbeitet hat sowie einen freien Tag hatte.</p>	24
Abb. 3.2	Stündliche Blaulicht-Bestrahlungsstärke $E_{B,s}$ gemessen von einer schichtarbeitenden Krankenpflegerin in der Juni-Messwoche an vier Frühschicht-Arbeitstagen.	26
Abb. 3.3	Stündliche Blaulicht-Bestrahlungsstärken $E_{B,s}$ in Dortmund im Januar an Arbeitstagen mit Frühschicht (inklusive Tagarbeit). Die schwarz gepunktete Kurve stellt die Mittelwerte aller 85 Kurven dar, $(E_{B,s})_{\text{mitt}}$.	26

Abb. 3.4	Die $(E_{B,s})_{\text{mitt}}$ -Werte für Frühschicht-Arbeitstage in Dortmund zu unterschiedlichen Jahreszeiten. Die Pfeile geben die Verlängerung der Dauer des Tageslichts an; n ist in dieser und den folgenden Abbildungen 3.5 bis 3.12 die Anzahl der ausgewerteten Arbeitstage (vgl. Tabelle 3.4).	28
Abb. 3.5	Die $(E_{B,s})_{\text{mitt}}$ -Werte für Spätschicht-Arbeitstage in Dortmund zu unterschiedlichen Jahreszeiten. Alle Kurven zeigen ein Maximum vor Beginn der Spätschicht um 13:30 Uhr, also auf dem Weg zur Arbeit (hervorgehoben durch die graue Fläche).	28
Abb. 3.6	Die $(E_{B,s})_{\text{mitt}}$ -Werte für Nachtschicht-Arbeitstage in Dortmund zu unterschiedlichen Jahreszeiten. Es handelt sich nur um Nachtschichtarbeitstage, die auf eine vorangegangene Nachtschicht folgen (N-N).	29
Abb. 3.7	Die $(E_{B,s})_{\text{mitt}}$ -Werte für die Tagarbeit in den Monaten Januar und Juni in London.	29
Abb. 3.8	Die $(E_{B,s})_{\text{mitt}}$ -Werte für die Tagschicht-Arbeitstage zu unterschiedlichen Jahreszeiten in London.	30
Abb. 3.9	Die $(E_{B,s})_{\text{mitt}}$ -Werte für Nachtschicht-Arbeitstage in London zu unterschiedlichen Jahreszeiten. Es handelt sich nur um Nachtschichten, die auf eine vorangegangene Nachtschicht folgen (N-N).	30
Abb. 3.10	Die $(E_{v,s})_{\text{mitt}}$ -Werte im Januar in Dortmund (a) und London (b) für unterschiedliche Arbeitszeiten.	32
Abb. 3.11	Die $(E_{v,s})_{\text{mitt}}$ -Werte im April in Dortmund (a) und London (b) für unterschiedliche Arbeitszeiten. Drei April-Tagarbeitstage in London wurden aufgrund unzureichender Daten von der statistischen Analyse ausgeschlossen.	33
Abb. 3.12	Die $(E_{v,s})_{\text{mitt}}$ -Werte im Juni in Dortmund (a) und London (b) für unterschiedliche Arbeitszeiten.	34
Abb. 4.1	Mittlere stündliche Blaulicht-Bestrahlungsstärke bei tag- und nachtarbeitenden Krankenpflegerinnen, die dem kreisförmigen Diagramm der Abbildung 1 aus Rabstein et al. 2019 [33] entnommen ist. Die Werte der mittleren stündlichen Blaulicht-Bestrahlungsstärke wurden durch Multiplizieren mit der Bandbreite des blauen Sensors (81,6 nm) des in dieser Studie benutzten Lichtexpositionsdetektors <i>LightWatcher</i> (Wolf Technologieberatung) berechnet.	38
Abb. A1	Die Wirkungskurve für das Tagsehen ($V(\lambda)$ -Kurve) hat ein Maximum bei 555 nm. Der Maximum der Wirkungskurve für melanopische Lichtwirkung ($s_{\text{mel}}(\lambda)$) liegt bei etwa 490 nm. Folglich hat Licht im blau-grünen Spektralbereich den größten Einfluss auf circadiane Rhythmik.	49

Anhang A Radiometrische und photometrische Größen, Wirkungskurven für das Tagsehen und für die melanopische Lichtwirkung

Radiometrische Größen charakterisieren die optische Strahlung auf der Basis physikalisch messbarer Größen. So wird die Bestrahlungsstärke E als der Quotient der optischen Strahlungsleistung $d\Phi$, die auf ein Element mit der Fläche dA trifft, definiert:

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad (\text{A1})$$

Dabei ist die Strahlungsleistung Φ die Strahlungsenergie, die sich pro Zeiteinheit in Form einer elektromagnetischen Welle ausbreitet. Die SI-Einheit der Bestrahlungsstärke ist $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$.

Im sichtbaren Spektralbereich (für Wellenlängen zwischen 380 nm und 780 nm) werden oft statt radiometrischer Größen die photometrischen Größen angewendet. Die photometrischen Größen berücksichtigen die spektrale Empfindlichkeit des Auges für die visuelle Wahrnehmung. Für eine monochromatische Strahlung der Wellenlänge λ errechnet sich eine photometrische Größe durch die Multiplikation der entsprechenden radiometrischen Größe mit der spektralen Wirkungskurve des menschlichen Auges bei Tageslicht $V(\lambda)$ und dem Maximalwert des photometrischen Strahlungsäquivalents $K_m = 683 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$. Im Maximum der Augenempfindlichkeit für das Tagsehen bei 555 nm entspricht die Strahlungsleistung Φ von 1 W einem Lichtstrom Φ_v (die Symbole für photometrische Größen tragen einen Index „v“, das für visuell steht) von 683 lm. Die Beleuchtungsstärke E_v kann wie folgt berechnet werden:

$$E_v = K_m \int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} E(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda \quad (\text{A2})$$

Die Einheit der Beleuchtungsstärke ist Lux (lx).

Es gibt einen wesentlichen Unterschied in den spektralen Empfindlichkeiten des visuellen und des nicht-visuellen Systems. Die ipRGC enthalten das Photopigment Melanopsin, das im blau-grünen Spektralbereich am empfindlichsten ist (und eng mit dem Wirkungsspektrum für die nächtliche Unterdrückung des Hormons Melatonin übereinstimmt). Die Wirkungskurve $s_{\text{mel}}(\lambda)$ (Index „mel“ steht für Melanopsin) wird derzeit zur Beschreibung anderer nicht-visueller Lichtwirkungen verwendet und hat ihr Maximum bei einer Wellenlänge von ungefähr 490 nm [3, 26, 11, 14, 12]. Sie unterscheidet sich von der Wirkungskurve für das Tagsehen, $V(\lambda)$, mit ihrem Maximum im grünen Spektralbereich bei 555 nm (siehe Abbildung Abb. A1).

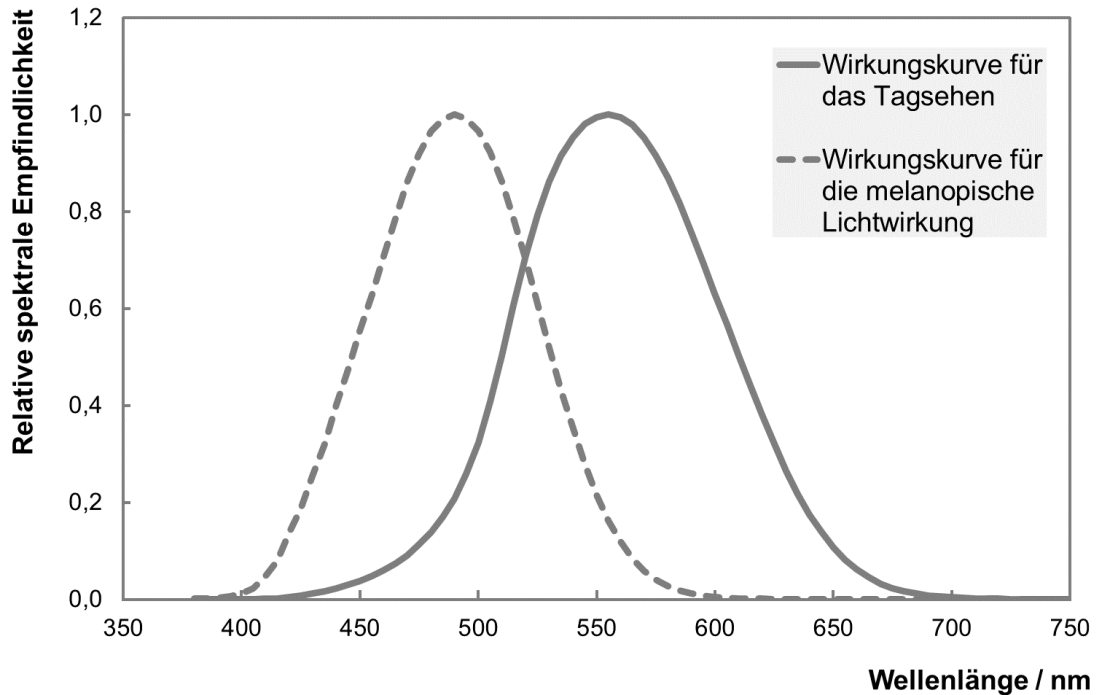


Abb. A1 Die Wirkungskurve für das Tagsehen ($V(\lambda)$ -Kurve) hat ein Maximum bei 555 nm. Der Maximum der Wirkungskurve für melanopische Lichtwirkung ($S_{mel}(\lambda)$) liegt bei etwa 490 nm. Folglich hat Licht im blau-grünen Spektralbereich den größten Einfluss auf circadiane Rhythmik.

Die Wichtung der spektralen Bestrahlungsstärke mit der Wirkungskurve für das Tagsehen ermöglicht es, die Wirkung des Lichts auf das visuelle System (die Sichtbarkeit eines Lichtreizes) als Beleuchtungsstärke zu beschreiben. Die Wirkung des Lichts auf das nicht-visuelle System wird durch Wichtung mit der melanopischen Wirkungskurve beschrieben.

Vor 2017 waren keine tragbaren Detektoren zur Messung der persönlichen, nicht-visuell wirksamen Lichtexposition mit einem einzelnen Sensor, der eng an die melanopische Wirkungskurve angepasst wäre, kommerziell verfügbar. Dies ist seit 2017 durch ein modifiziertes Modell des *ActTrust*-Lichtexpositionsdetektors der Firma Condor Instruments möglich [31].

Anhang B Informationsmaterial für Studienteilnehmer/innen

Anhang B1 Information zu den Lichtexpositions- und Bewegungsdetektoren

Seite 1

Ihre Lichtexpositions- und Bewegungsdetektoren

1 x Lichtexpositionsdetektor

Wird auf Brusthöhe, auf der äußersten Kleidungsschicht, ungefähr vertikal und leicht nach oben gerichtet angebracht. Der Detektor wird mit Klettband befestigt.



2 x Leere Befestigungen

Um Zeit zu sparen, können Sie den Detektor auf den Befestigungen wechseln. Vorgesehen sind zwei Befestigungen. So können Sie z. B. eine an Ihrer Berufs-/Alltagskleidung und eine an Ihrer Jacke befestigen.



1 x Bewegungsdetektor

Nur für den Gebrauch zu Hause.



Seite 2



Rechtshänder:

Tragen Sie den Bewegungsdetektor an Ihrer linken Hand. Der Pfeil muss Richtung Hand zeigen.



Linkshänder:

Tragen Sie den Bewegungsdetektor an Ihrer rechten Hand. Der Pfeil muss Richtung Körper zeigen.

Wechsel der Detektoren

Tragen Sie den Bewegungsdetektor nur im Bett (und während eines Nickerchens außerhalb des Bettes) und den Lichtexpositionsdetektor wenn Sie aufgestanden sind (also die restliche Zeit).

Legen Sie den Lichtexpositionsdetektor neben sich auf Ihren Nachttisch, wenn Sie zu Bett gehen. Danach sollten Sie den Bewegungsdetektor anlegen. Den Bewegungsdetektor können Sie wieder abnehmen, wenn sie aufgestanden sind. Nehmen Sie dann den Lichtexpositionsdetektor von Ihrem Nachttisch und befestigen Sie ihn an Ihrer äußersten Kleidung.

Schutz der Detektoren

Wasser: Tragen Sie die Detektoren nicht während Sie baden oder duschen. Legen Sie die Detektoren währenddessen an einen trockenen Ort in Ihrer Nähe.

Sport: So lange dem Lichtexpositionsdetektor nichts passieren kann, tragen Sie ihn auch beim Sport, z. B. beim Laufen oder Badminton, **aber nicht** beim Schwimmen oder Fußball spielen!

Starke Magnetfelder: Halten sie den Lichtexpositionsdetektor von starken Magnetfelder fern (z. B. MRT-Scanner).

Es kann vorkommen, dass Sie den Lichtexpositionsdetektor für kurze Zeit ablegen müssen. Versuchen Sie dabei den Detektor so nah wie möglich bei Ihnen zu platzieren und ihn so schnell wie möglich wieder anzulegen. Am besten ist es, wenn Sie ihn im selben Raum in der Nähe Ihres Gesichtes haben. Vermeiden Sie Berührungen mit Wasser, Stöße und starke Magnetfelder.

Bitte achten Sie darauf, dass Sie auf der Arbeit Ihren Lichtexpositionsdetektor nicht mit dem eines anderen Probanden verwechseln.

Anhang B2 Information zu den unterschiedlichen Beleuchtungsquellen

Beispiele für die unterschiedlichen Beleuchtungsquellen



Glühlampe



Energiesparlampe



LED-Lampe



Halogenlampe



Halogenlampe



Leuchtstoffröhre

Farbtemperatur

Die Farbtemperatur aller oben aufgeführten Lampenarten kann kalt, neutral oder warm sein.

kalt (blau)

neutral (weiß)

warm (gelb)

Anhang C Fragebögen für Studienteilnehmer/innen

Anhang C1 Startfragebogen

Probandin /
Proband

Startfragebogen

Allgemeine Angaben

Alter: _____ Jahre

Geschlecht: weiblich männlich

Gewicht: _____ kg Körpergröße: _____ cm

Wohnort (Stadt): _____

Familienstand: _____

Tätigkeit

Berufsbezeichnung: _____

Krankenhausabteilung: _____

Wie lange arbeiten Sie schon im Schichtdienst mit Nachtschicht? _____

Anhang C2 Fragebogen zum Arbeits- und häuslichen Umfeld

Seite 1

 Probandin /
 Proband

Fragebogen zum Arbeits- und häuslichen Umfeld

Am Arbeitsplatz

Die Sichtverbindung von Ihrem Arbeitsplatz nach außen ist

gut (freie Sicht)
 durchschnittlich
 schlecht (nicht vorhanden)

Können Sie die Hauptquellen an Ihrem Arbeitsplatz (ohne Berücksichtigung des Tageslichts) beschreiben?

Lichtquelle 1:

Glühlampe oder Halogenlampe
 Leuchtstofflampe oder Leuchtstoffröhre
 Energiesparlampe
 LED-Lampe

kalt (bläulich)
 neutral
 warm (gelblich)

Lichtquelle 2:

Glühlampe oder Halogenlampe
 Leuchtstofflampe oder Leuchtstoffröhre
 Energiesparlampe
 LED-Lampe

kalt (bläulich)
 neutral
 warm (gelblich)

Lichtquelle 3:

Glühlampe oder Halogenlampe
 Leuchtstofflampe oder Leuchtstoffröhre
 Energiesparlampe
 LED-Lampe

kalt (bläulich)
 neutral
 warm (gelblich)

Anhang D Jahresabhängige Dauer des Tageslichts in Dortmund und London

Tab. D1 Sonnenaufgang, Sonnenuntergang und Tageslänge in Dortmund und in London an einem Messtag im Januar, April und Juni 2015.

Datum	Ort / Zeitzone	Sonnen- aufgang / Uhrzeit	Sonnen- untergang / Uhrzeit	Tageslänge
22. Januar	Dortmund, MEZ ¹	8:23	17:00	8 h 37 min
	London, GMT ²	7:53	16:30	8 h 37 min
22. April	Dortmund, MESZ ³	6:21	20:36	14 h 14 min
	London, BST ⁴	5:52	20:07	14 h 15 min
22. Juni	Dortmund, MESZ	5:14	21:50	16 h 35 min
	London, BST	4:44	21:20	16 h 35 min

¹ MEZ: Mitteleuropäische Zeit

² GMT: Greenwich Mean Time

³ MESZ: Mitteleuropäische Sommerzeit (begann am 29. März)

⁴ BST: Britische Sommerzeit (begann am 29. März)

Danksagung

Wir bedanken uns bei den Krankenpflegerinnen und Krankenpflegern, die an dieser Studie teilgenommen haben. Unser Dank gilt auch dem Pflegemanagement des Klinikums Dortmund und des King's College Hospital in London, insbesondere dem Pflegedirektor des Klinikums Dortmund, Herrn Georg Schneider, sowie Elizabeth Benson und Margaret Pietrzyk für ihre Unterstützung bei der Rekrutierung der Studienteilnehmerinnen und Studienteilnehmer.

Für die Unterstützung bei den Messungen und bei der Auswertung der Messdaten möchten wir uns bei Dennis Nowack, Nina Schelter, Michael Higlett, Andrey Lyachev, Nils Kowalewski und Marco Janßen bedanken.