



Optimale Beleuchtung bei Schichtarbeit **(Literaturstudie)**

FP 445

Laufzeit: 1.1.2020-31.12.2020

Bearbeiter:
TU Ilmenau
Fakultät Maschinenbau
Fachgebiet Lichttechnik
Dr.-Ing. C. Vandahl
Dr.-Ing. Karin Bieske
Prof. Dr. sc. nat. Ch. Schierz

Diese Forschungsarbeit wurde mit Mitteln der Deutschen Gesetzlichen
Unfallversicherung unterstützt.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Ilmenau, November 2021

Kurzfassung

Seit der Entdeckung der intrinsisch lichtempfindlichen retinalen Ganglienzellen (ipRGCs), die das Photopigment Melanopsin enthalten, sind die nicht-visuellen Lichtwirkungen stark in das Interesse von Forschung und Anwendung gerückt. Licht übt einen starken nicht-visuellen Einfluss auf die Physiologie des Menschen aus. Es ist bekannt, dass Licht die innere Uhr und damit den Rhythmus vieler Körperfunktionen beeinflusst. Licht kann die Stärke und die Phase der circadianen Rhythmen verändern sowie akut die Aufmerksamkeit erhöhen.

Schichtarbeit, insbesondere Nachtarbeit erfordert Aufmerksamkeit zu Zeiten, in denen der Mensch als tagaktives Wesen seinem Rhythmus entsprechend schläft. Das Licht während der Nachtschicht und weitere äußere Einflüsse bewirken eine Veränderung der Rhythmen, die die Leistungsfähigkeit und die Schlafqualität verschlechtern sowie akute und chronische Gesundheitsstörungen hervorrufen können. Ein verringerter Melatoninspiegel bei Schichtarbeitern wird sogar mit einem erhöhten Krebsrisiko in Zusammenhang gebracht.

Obwohl die grundsätzlichen Zusammenhänge zwischen Licht und dessen Wirkungen auf die circadiane Rhythmik des Menschen bekannt sind, gibt es bisher keine Richtlinien für die Gestaltung der Beleuchtung an Arbeitsplätzen für Nachtarbeit, die über die allgemeinen Empfehlungen hinausgehen. Im Rahmen der Recherche sollte ermittelt werden, ob es inzwischen Erkenntnisse gibt, aus denen sich Empfehlungen für Beleuchtungsparameter ableiten lassen, deren Anwendung die Risiken der Schichtarbeit in Bezug auf Beleuchtung minimieren können.

Die Recherche in Veröffentlichungen der letzten 10 Jahre erbrachte viele Bestätigungen der oben genannten Erkenntnisse über die phasenverschiebende Lichtwirkung und die negativen Auswirkungen, jedoch keine Empfehlungen, die einen sicheren Einsatz von Licht zur „Behandlung“ der Schichtarbeits-Probleme durch Anpassung des Rhythmus rechtfertigen würde. Diese Auffassung in findet sich auch in verschiedenen recherchierten Reviews.

Für Dauernachtschichten oder langsam vorwärtsrotierende Schichten werden Kompromisse für eine Phasenverschiebung vorgeschlagen, die neben der Beleuchtung noch weitere Interventionen beinhalten (z. B. fester Schlafplan und zeitlich abgestimmte Lichtgaben auch in der Freizeit).

Allgemeiner Konsens ist, dass unerwünschte Wirkungen des Lichtes möglichst gering zu halten sind. In diesem Zusammenhang wurde in den letzten Jahren vermehrt geforscht, ob Licht auch aktivierend sein kann, ohne Melatonin zu unterdrücken. Mehrere Studien deuten darauf hin, dass Licht ohne den stark phasenverschiebenden blauen Wellenlängenbereich eingesetzt werden kann, um für ausreichend Wachheit in der

Nachtschicht zu sorgen. Die Menge des Lichtes sollte auf ein notwendiges Minimum reduziert sein.

Als Ergebnis dieser Literaturstudie wird vorgeschlagen, die Aussage zur „Aktivierung durch Licht“ mit hohen Blauanteilen in DGUV-I 215-220 (Stand 2018, S. 24) zu ändern und zur Aktivierung eher warmweißes Licht ohne hohe Blauanteile zu empfehlen. Die Auswertung der Literatur gibt jedoch keinen Anlass von den sonstigen Empfehlungen in der DGUV 215-220 (Stand 2018) abzuweichen.

Abstract

Since the discovery of intrinsically photosensitive retinal ganglion cells (ipRGCs), which contain the photopigment melanopsin, the non-visual effects of light have become a major focus of research and application. Light exerts a strong non-visual influence on human physiology. It is known that light influences the internal clock and thus the rhythm of many bodily functions. Light can alter the strength and phase of circadian rhythms and acutely increase alertness.

Shift work, especially night work, requires attention at times when humans, as diurnal creatures, are sleeping according to their rhythms. The light during the night shift and other external influences cause a change in rhythms that can impair performance and sleep quality and cause acute and chronic health disorders. Reduced melatonin levels in shift workers have even been linked to an increased risk of cancer.

Although the basic relationships between light and its effects on human circadian rhythms are well known, there are as yet no guidelines for the design of lighting in workplaces for night work that go beyond the general recommendations. The aim of the research was to find out whether there are now any findings from which recommendations for lighting parameters can be derived, the application of which can minimise the risks of shift work with regard to lighting.

The search in publications of the last 10 years yielded many confirmations of the above-mentioned findings on the phase-shifting effect of light and the negative effects, but no recommendations that would justify the safe use of light to "treat" shift work problems by adjusting the rhythm. This view is also found in several researched reviews.

For continuous night shifts or slow-forward rotating shifts, phase-shifting compromises are proposed that include other interventions besides lighting (e.g. fixed sleep schedule and timed light giving even during off hours).

The general consensus is that undesirable effects of light should be kept as low as possible. In this context, there has been increased research in recent years on whether light can also be activating without suppressing melatonin. Several studies indicate that light without the strongly phase-shifting blue wavelength range can be used to ensure sufficient wakefulness during the night shift. The amount of light should be reduced to a necessary minimum.

As a result of this literature study, it is proposed to change the statement on "activation by light" with high blue components in DGUV-I 215-220 (as of 2018, p. 24) and to recommend rather warm white light without high blue components for activation. However, the evaluation of the literature does not give any reason to deviate from the other recommendations in DGUV 215-220 (as of 2018).

Inhalt

1	Themenstellung	6
2	Methode der wissenschaftlichen Recherche	7
3	Übersicht zu Lichtwirkungen bei Schichtarbeit	9
3.1	Wirkung des Lichtes auf den circadianen Rhythmus	10
3.1.1	Normale Rhythmik	10
3.1.2	Desynchronisation durch Schichtarbeit.....	12
3.2	Aktivierung durch Licht.....	14
3.3	Gesundheitsrisiken	16
4	Studien zu Licht und Schichtarbeit	18
4.1	Helles Licht zur Verschiebung oder Anpassung des Rhythmus.....	18
4.2	Blauangereichertes Licht zur Aktivierung und Rhythmusverschiebung.....	21
4.3	Helles Licht zur Aktivierung.....	23
4.4	Blaureduziertes Licht zur Vermeidung einer Melatoninunterdrückung	24
4.5	Rotes Licht zur Aktivierung	25
4.6	Weitere Interventionen	25
5	Empfehlungen für die Beleuchtung bei Schichtarbeit aus verschiedenen Veröffentlichungen	27
5.1	Konsenserklärungen der Working Time Society (WTS) und der International Commission on Occupational Health (ICOH): Evidenzbasierte Interventionen unter Einsatz von Licht zur Verbesserung der circadianischen Anpassung an die Arbeitszeiten.	27
5.2	Empfehlungen für Beschäftigte des Gesundheitsbereiches.....	29
5.3	Vorschlag für ein Szenario zum Erreichen einer Kompromiss-Phasenlage bei Dauernachtschicht	30

6	Zusammenfassung	33
6.1	Verschieben der circadianen Rhythmik.....	33
6.2	Aktivierung und Vermeidung der Rhythmusverschiebung.....	33
7	Nicht-visuelle Lichtwirkungen in Regeln, normativen Vorgaben und Empfehlungen	35
7.1	CIE 158:2009 Ocular Lighting Effects on Human Physiology and Behaviour	35
7.2	E DIN/TS 5031-100:2020-05 Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik - Teil 100: Über das Auge vermittelte, melanopische Wirkung des Lichts auf den Menschen	35
7.3	DIN SPEC 67600:2013-04 Biologisch wirksame Beleuchtung - Planungsempfehlungen	36
7.4	DGUV Information 215-220:2018-09 Nichtvisuelle Wirkungen von Licht auf den Menschen	37
7.5	CIE 218: 2016 Research Roadmap for Healthful Interior Lighting Applications ..	38
7.6	Empfehlung des Ausschusses für Arbeitsstätten (ASTA) - Künstliche biologisch wirksame Beleuchtung in Arbeitsstätten:2018-11	38
7.7	CIE Position Statement on Non-Visual Effects of Light: RECOMMENDING PROPER LIGHT AT THE PROPER TIME 2nd Edition 2019-10	39
8	Übersicht über die recherchierten Studien.....	40
9	Literaturverzeichnis	74

1 Themenstellung

Bei der Beleuchtung von Arbeitsplätzen für die Schichtarbeit steht neben der Frage der Sehbedingungen auch immer wieder die gesundheitliche Auswirkung von Licht im Mittelpunkt. Es gilt als gesichert, dass Licht in der Nacht akute Auswirkungen auf die Melatoninausschüttung hat und zudem den Schlaf-Wach-Rhythmus des Menschen, d. h. die innere Uhr wesentlich beeinflusst. Störungen der inneren Uhr führen akut zu Schlaf- und Verdauungsstörungen. Eine verringerte Leistungsfähigkeit und ein erhöhtes Unfallrisiko können die Folge sein. Langzeitliche gesundheitliche Folgen längerer Nachtarbeit sind Stoffwechselstörungen, Herz-Kreislauf-Erkrankungen und ein erhöhtes Krebsrisiko.

Obwohl die grundsätzlichen Zusammenhänge zwischen Licht und dessen Wirkungen auf die circadiane Rhythmik des Menschen bekannt sind, gibt es bisher keine Richtlinien für die Gestaltung der Beleuchtung an Arbeitsplätzen für Nachtarbeit, die über allgemeine Empfehlungen hinausgehen. Ziel der vorliegenden Studie ist es daher, die derzeit bekannten wissenschaftlichen Erkenntnisse zusammenzutragen und darzustellen sowie mögliche Ansätze für die Gestaltung der Beleuchtung abzuleiten. Bereits 2009 finanzierte die DGUV eine Literaturstudie, die die damaligen Erkenntnisse zusammenfasste. Die hier vorliegende Literaturrecherche führt diese Recherche fort. Der Schwerpunkt liegt dabei auf Veröffentlichungen aus den Jahren 2009 bis 2020.

Die Übersicht gibt sowohl die zum heutigen Zeitpunkt bekannten wissenschaftlichen Erkenntnisse, als auch Wissensdefizite im Hinblick auf optimale Beleuchtung bei Schichtarbeit wieder. Die aufbereiteten Informationen stammen aus vier verschiedenen Wissensbereichen:

- Wissenschaftliche Erkenntnisse zur Wirkung von Licht auf die innere Uhr und die Aufmerksamkeit bzw. Aktiviertheit
- Wissenschaftliche Studien über die Lichtanforderungen bei Schicht- und Nachtarbeit (Laborstudien und Feldstudien)
- Auswirkungen von Licht bei Schicht- und Nachtarbeit auf die Gesundheit
- Empfehlungen aus verschiedenen Quellen

Zusätzlich wurden Veröffentlichungen recherchiert, die für laufende und zukünftige Untersuchungen wichtig sind. Sie finden derzeit Eingang in das Projekt „Licht und Schicht 4.0“, welches ebenfalls von der DGUV gefördert wird.

2 Methode der wissenschaftlichen Recherche

Die Literatursuche (Stand: 6.11.2020) wurde unterstützt durch die Abteilung Recherche und Analyse des PATONs – des Landespatentzentrums der TU Ilmenau.

In einem ersten Suchlauf (August 2019) wurden weiterführend zur Literaturstudie Optimale Beleuchtung bei Schichtarbeit aus dem Jahr 2009 im Web of Science nach Autoren und deren Zitierungen für den Zeitraum 2009 bis 2019 recherchiert. Im Ergebnis wurden 583 Dokumente ermittelt, von denen 169 nach Sichtung in Titel und Abstract als relevant zum Thema bewertet wurden.

In einem zweiten Suchlauf Anfang November 2020 erfolgte eine Suche in der Literaturlatenbank Web of Science und der Fachdatenbank Medline. Gesucht wurde in den Datenfeldern „Titel“ und „Abstract“ ab dem Jahr 2009 nach Suchbegriffen gemäß Bild 1.

- | |
|---|
| <p>0. Light* or illumin* or Licht* or Beleucht*
AND</p> <p>1. Nachschichtarbeit* or schichtarbeit* or night shift* or shift work* or night work*
AND</p> <p>2. circadian* or tageszeitlich* or zirkadian*
AND</p> <p>3. system* or timing* or phase* or disruption* or rhythm* or stimulus* or clock* or time* or anpassung* or stoerung*
AND</p> <p>4. melatonin* or cancer* or fatigue* or cortisol* or chronobiolo* or alertness* or jetlag* or sleep* or health* or wake* or chronodisrupt* or disrupt* or selfcare* or care* or metaboli*
AND</p> <p>5. study or studies or crossover* or fieldwork*
AND</p> <p>6. human* or mensch* or nurse* or worker* or person*</p> |
|---|

Bild 1: Kriterien und Suchstrategie für Veröffentlichungen ab 2009.

Ausschlusskriterien (NOT) wurden bei der Suche vermieden, da dies auch zum Ausschluss relevanter Dokumente führen kann. Die Eingrenzung der Trefferzahl erfolgte über die Spezifizierung der Suchbegriffe.

Die Suche im Web of Science lieferte nach Ausschluss der Ergebnisse des ersten Suchlaufs 346 zusätzliche Treffer, die sich aus der Aktualisierung der Recherche und der angepassten Suchstrategie ergaben.

Wird das Kriterium 6 nicht mit in die Suchstrategie im Web of Science einbezogen und werden die Ergebnisse des ersten Suchlaufs ausgeschlossen, ergeben sich 233 Treffer, die auch Untersuchungen, die nicht am Menschen durchgeführt wurden, und neuere Veröffentlichungen beinhalten.

Die Suche in den Datenfeldern „Titel“ und „Abstract“ ab dem Jahr 2009 nach Kriterien und Suchstrategie gemäß Bild 1 in der Fachdatenbank Medline ergab 1404 Treffer. Wegen der großen Datenmenge wurde das Kriterium 1 nur im Titel gesucht, was die Dokumentenanzahl auf 593 Titel speziell zur Nachtschicht begrenzt.

Die Suche ergab insgesamt eine Sammlung von 1755 Dokumenten. Bild 2 zeigt die Anzahl der gefundenen Veröffentlichungen nach Erscheinungsjahr. Zu erkennen ist, dass seit 2013 jährlich im Mittel 165 neue Beiträge zum Thema erscheinen. Dies zeigt die Relevanz des Themas und den anhaltenden Forschungsbedarf. Einbezogen wurden letztlich nur Publikationen, die explizit Nachtschichtarbeit thematisierten. Für die Recherche wurden 127 Veröffentlichungen verwendet.

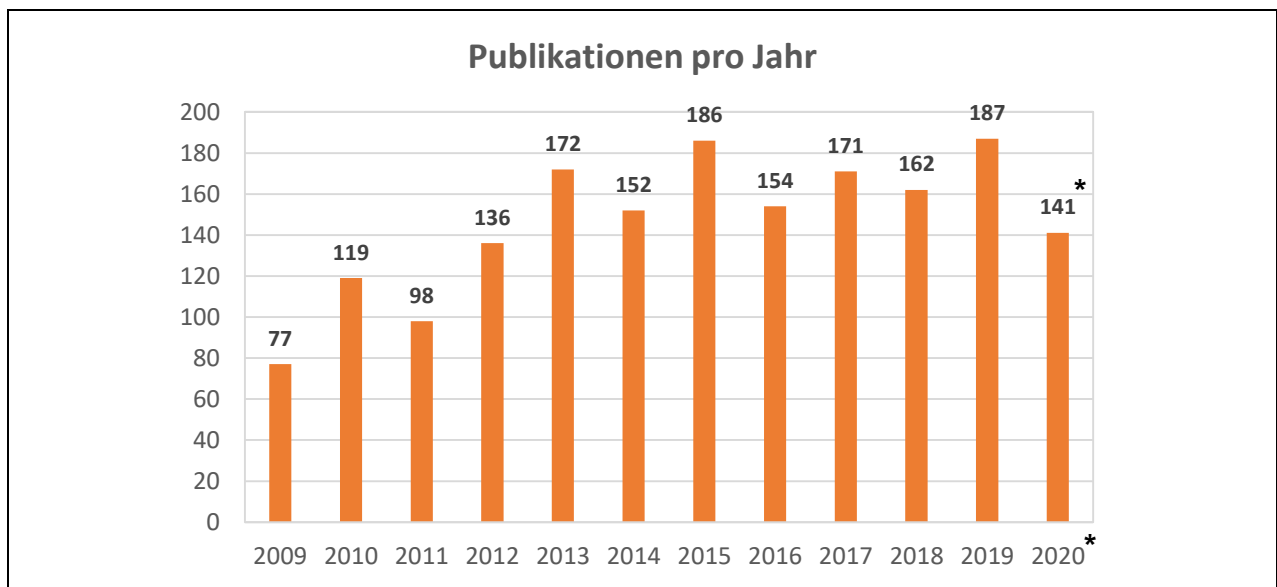


Bild 2: Anzahl der Publikationen nach Erscheinungsjahr aus der Ergebnissen der Recherche. * Die Dokumentenanzahl für 2020 beinhaltet nur Veröffentlichungen aus 10 Monaten.

3 Übersicht zu Lichtwirkungen bei Schichtarbeit

Licht beeinflusst den Menschen auf zwei Wegen: über die visuelle und die nicht-visuelle (biologische) neuronale Sehbahn. An Arbeitsplätzen spielen sowohl die visuellen als auch die nicht-visuellen Lichtwirkungen eine wichtige Rolle.

Die visuellen Lichtwirkungen dienen in erster Linie dem Sehen. Anforderungen an die Beleuchtung, die dem optimalen Sehen dienen, sind in den Regelwerken für Arbeitsplatzbeleuchtung umfangreich vorhanden. Bei der Beleuchtung von Schichtarbeit sind diese - Stand 2021 - einzuhalten. Sie enthalten allerdings keine Angaben, die die Besonderheit der Schichtarbeit berücksichtigen.

Leistungssteigerung an Arbeitsplätzen durch Erhöhung der Beleuchtungsstärke ist vielseitig untersucht worden. Ebenso existieren Untersuchungen zu Auswirkungen auf andere Gütemerkmale der Beleuchtung (Blendung, Leuchtdichteverteilung) auf die Sehleistung bzw. die allgemeine Leistungsfähigkeit.

Die vorliegende Literaturstudie konzentriert sich nahezu ausschließlich auf die nicht-visuellen Lichtwirkungen und die Anforderungen an die Beleuchtung, die damit im Zusammenhang stehen. Einige wenige Veröffentlichungen betrachteten die Auswirkungen einer für die Schichtarbeit optimierten Beleuchtung auf die Gütemerkmale. [Kranenburg2017] stellte beispielsweise fest, dass eine Farbtemperatur von 2000 K oder weniger zu einer Verschlechterung der Farbwiedergabe führt und daher nicht empfohlen werden kann. Auch in [Canazei2016] führte eine Beleuchtung mit reduziertem Blauanteil zu einem verringerten Farbunterscheidungsvermögen bei den Testpersonen, obwohl der Farbwiedergabeindex normgerecht bei CRI = 80 lag.

Neben den Stäbchen- und Zapfen, als den Rezeptoren, die dem Sehen dienen, enthält das Auge spezielle Zellen, die nicht-visuelle Information an das Gehirn vermitteln: die intrinsisch lichtempfindlichen retinalen Ganglienzellen (ipRGCs). Diese lichtempfindlichen Zellen liefern Signale sowohl direkt an die innere Uhr, die Verhalten, Hormonspiegel, Schlaf, Körpertemperatur und Stoffwechsel reguliert, als auch an verschiedene Hirnregionen, die an der Regulation von Wachheit, Aufmerksamkeit, kognitiver Leistungsfähigkeit und Stimmung beteiligt sind [LeGates2014].

Die bisher bekannten nicht-visuellen Lichtwirkungen äußern sich im Wesentlichen in der Synchronisation der biologischen Rhythmen (Verschiebung bzw. Aufrechterhaltung und Stabilisierung des 24-h-Rhythmus) und der akuten Aktivierung. Bei Schichtarbeit sind diese Lichtwirkungen besonders relevant. [Tähkämö2019] gibt einen systematischen Überblick über Erkenntnisse zu Lichtwirkungen auf den circadianen Rhythmus, insbesondere die Auswirkungen von Licht während der Nacht.

In [Kantermann2018] sind Studienergebnisse zu gesicherten arbeitsschutzrelevanten Erkenntnissen über die nichtvisuelle Wirkung von Licht auf den Menschen zusammengefasst.

Die Menge der Erkenntnisse über die nicht-visuellen Lichtwirkungen ist in den letzten 20 Jahren stark gestiegen. Sie haben in den vergangenen 10 Jahren erstmals auch Einzug in Normen und Empfehlungen erhalten. Diese sind in Kapitel 7 zusammengefasst.

3.1 Wirkung des Lichtes auf den circadianen Rhythmus

3.1.1 Normale Rhythmik

Die Körperfunktionen des Menschen unterliegen einer tagesperiodischen Rhythmik, im folgenden circadiane Rhythmik genannt. Diese Rhythmik wird vom SCN (Nucleus Suprachiasmaticus) generiert und beträgt in etwa 24 Stunden [Czeisler1999]. Der SCN wirkt dabei als innere Uhr, die viele physiologische und psychologische Funktionen steuert. Der Rhythmus äußert sich u. a. in Veränderungen der Körperkerntemperatur sowie des Melatonin- und des Cortisol-Spiegels. Da die Periodendauer der circadianen Rhythmik nicht exakt 24 Stunden beträgt (meist etwas mehr als 24 Stunden), muss die innere Uhr durch äußere Zeitgeber synchronisiert werden. Der entscheidende Zeitgeber ist dabei der Hell-Dunkel-Rhythmus des natürlichen Lichts. Weitere sind u. a. das soziale Umfeld, Temperaturschwankungen im Tagesverlauf und die Nahrungsaufnahme.

Melatonin

Melatonin wird über den Blutkreislauf in alle Körperzellen transportiert und liefert damit die Information, die zur Synchronisation notwendig ist. Die Melatoninausschüttung verläuft zyklisch über den Tag: nachts (im Dunkeln) ist die Ausschüttung hoch, tagsüber niedrig. Melatonin ist ein Hormon, das dem menschlichen Körper die Nacht signalisiert. Helles Licht kann am Abend und in der Nacht die Melatoninausschüttung unterdrücken. Licht am Morgen sendet ein starkes Wecksignal an unser Gehirn.

Die Informationen über das Licht gelangen über die Rezeptoren im Auge zum inneren, endogenen Schrittmacher. Nach [Zeitzer2000] wird die maximale nächtliche Melatoninunterdrückung ab 200 lx am Auge erreicht, sie sinkt auf die Hälfte, wenn die Beleuchtungsstärke auf 100 lx absinkt und ist unter 80 lx nur noch minimal vorhanden (Bild 3). Die Dosis-Wirkungsfunktion ist dabei eine logistische Funktion mit einem sehr steilen Anstieg im Bereich um 100 lx.

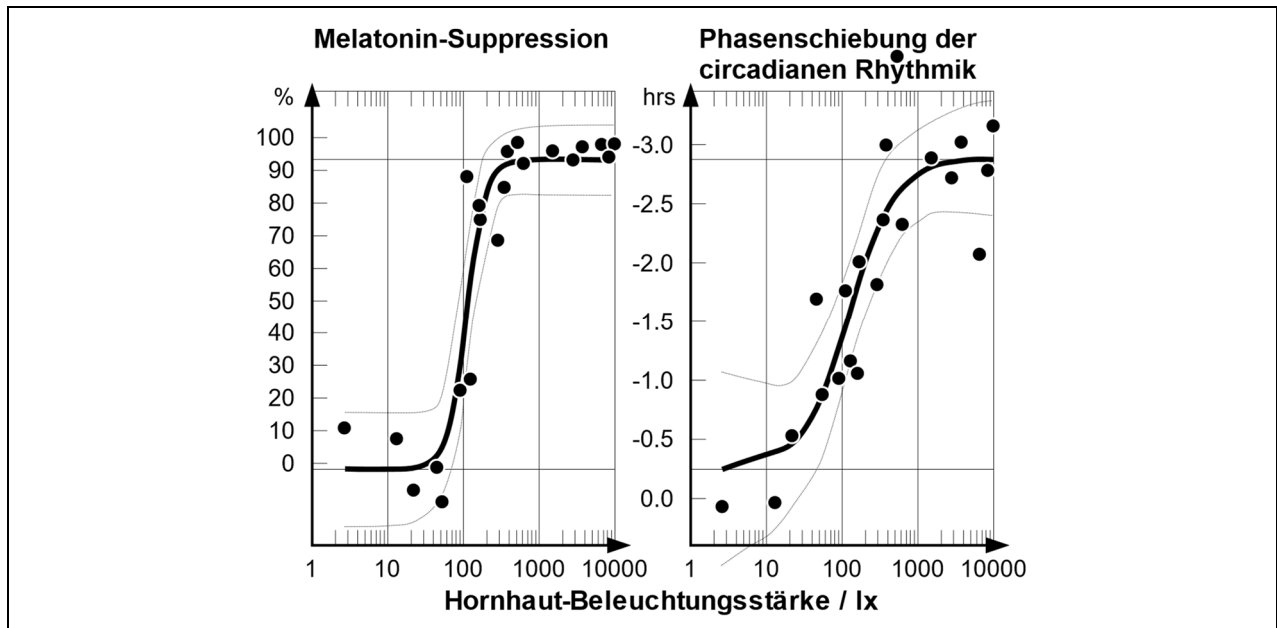


Bild 3: Melatonin-Unterdrückung und Verschiebung der circadianen Rhythmik in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke am Auge [Zeitzer2000]

Weitere Einflussfaktoren

Nicht alle Wellenlängen des Lichtes sind dabei gleich wirksam. So liegt das Maximum der Empfindlichkeit im blauen Spektralbereich. Neben der Tageszeit haben auch die Dauer der Beleuchtung, die Größe der lichtabgebenden Fläche und deren Lage im Gesichtsfeld sowie die vorherige Lichtexposition (Lichthistorie) einen Einfluss. Große helle Flächen in der oberen Gesichtsfeldhälfte haben größere Wirkungen als kleine punktförmige Lichtquellen. Details siehe [Kantermann2018]. Zusätzlich beeinflussen individuelle Eigenschaften, wie Alter, Gene und Chronotyp die Empfindlichkeit gegenüber dem Lichtreiz, der die nicht-visuellen Reaktionen auslöst.

Circadianer Rhythmus

Wenn die Phasenlage der inneren Uhr nicht mit der Hell-Dunkelphase des natürlichen Lichts übereinstimmt (z. B. nach Flügen über Zeitzonen), erfolgt die Synchronisation, indem eine Phasenverschiebung des circadianen Rhythmus stattfindet. Dabei ist der Zeitpunkt der Lichteinwirkung entscheidend. Licht in der Abendzeit verzögert den Rhythmus und verlängert dadurch die Phase, da dem Körper signalisiert wird, dass noch Tag ist. Entsprechend beschleunigt Licht am frühen Morgen den Rhythmus [Czeisler1999] und verkürzt ihn dadurch. Licht in der Mittagszeit hat nur einen geringen phasenverändernden Einfluss und stabilisiert daher den Rhythmus. Detaillierte Untersuchungen ohne direkten Bezug zur Schichtarbeit sind in [Smith2009c] und [Smith2009d] zur finden. Eine umfangreiche Zusammenfassung der Zusammenhänge findet sich in [Lowden2019]. Nach [Zeitzer2000] (Bild 3) wird bei dunkel adaptiertem Auge mit 1,5 h die Hälfte der maximal möglichen Phasenverlängerung durch Licht in den Abendstunden bei 100 lx erreicht. Oberhalb 550 lx ist keine Vergrößerung der Wirkung mehr zu erwarten.

Die Phasenlage und der Verlauf der Rhythmik sind individuell unterschiedlich. Daraus ergeben sich die so genannten Chronotypen. Bei Früh-Typen beginnt der Melatonin-ausstoß früher am Abend als bei Spät-Typen. Der Beginn des Melatoninanstieges, die maximale Melatoninausschüttung oder das Minimum der Körperkerntemperatur werden zur Bestimmung der individuellen Phasenlage eines einzelnen Menschen verwendet. Die Melatoninmenge kann aus Speichel-, Blut- und Sammel-Urinproben ermittelt werden.

Schlaf-Wach-Rhythmus

Einer der vielen im Organismus ablaufenden Rhythmen ist der Schlaf-Wach-Rhythmus, der bei den Auswirkungen von Nachtarbeit eine besondere Rolle spielt. Nach dem Zwei-Komponenten-Modell ist Schlaf ein Zusammenspiel zwischen der inneren Uhr (circadiane Komponente der Schlafregulation, C) und dem sich aufbauenden Schlafbedürfnis (Schlafdruck, homöostatische Komponente der Schlafregulation, S). Der Schlafdruck baut sich während der Wachphase auf und während des Schlafes ab. Er ist um so größer, je länger man wach ist. In ihrer synchron laufenden Rhythmik sorgen die beiden Komponenten dafür, dass der Mensch über den gesamten Tag wach sein kann und anschließend eine zusammenhängende Schlafphase hat [Borbely2016], [Vandahl2009].

Nach dem Zwei-Komponenten-Modell hat Licht über die circadiane Komponente Einfluss auf den Rhythmus, indem es die circadiane Phase verschieben kann. Ein akuter Effekt von Licht auf die Wachheit wird im Modell nicht berücksichtigt. In neuer Literatur wird daher diskutiert, ob dieser Effekt durch eine dritte Komponente in das Schlafmodell zu integrieren ist. [Hubbard2013] schlägt ein Drei-Komponenten-Modell vor, in dem der akute Effekt des Lichtes als dritte Komponente sowohl mit der circadianen als auch mit der homöostatischen Komponente interagiert. Die Idee einer zusätzlichen Komponente wird auch in [Johns2010] vorgeschlagen.

3.1.2 Desynchronisation durch Schichtarbeit

Das Zusammenspiel der Komponenten der Schlafregulation bewirkt, dass der Mensch am Tag leistungsfähig ist und in der Nacht schlafen kann. Schichtarbeit erfordert jedoch Wachheit und Aufmerksamkeit zu einer Zeit, in der der Körper nicht darauf eingestellt ist. So zeigt sich etwa, dass bei Schichtarbeit nachts um 3 Uhr die Fehlerrate am höchsten ist und damit die Aufmerksamkeit am geringsten. Dadurch steigt auch das Risiko für Fehlhandlungen und Arbeitsunfälle [Boivin2014] .

Chronotypen

Die Phasenlage der inneren Uhr ist bei den verschiedenen Chronotypen unterschiedlich, was großen Einfluss auf die Verträglichkeit verschiedener Arbeitsschichten hat. Spät-Typen haben in der Nachtschicht weniger Probleme, da ihr Leistungstief später einsetzt [Kantermann2010]. Dagegen haben sie Probleme in der Frühschicht und können sogar als Tagarbeiter im Laufe der Arbeitswoche ein Schlafdefizit aufbauen, das erst am Wochenende z. T. wieder abgebaut werden kann.

Die Ergebnisse einer Querschnittstudie [Bhatti2014] zeigen, dass der circadiane Rhythmus der nachts arbeitenden Früh-Typen im Vergleich zu Spät-Typen eher denen der am Tag arbeitenden Personen gleicht und sie daher in der Nachschicht eher müde sind. Unabhängig davon gibt es große individuelle Unterschiede bei der Lage der Phase [Hittle2018], [Stone2018]. Auch in [Hirschmann2020] zeigte sich ein Einfluss des Chronotyps auf die Schlafdauer bei Schichtarbeit.

An den Chronotyp angepasste Schichtpläne wurden in [Vetter2015] getestet. In der Studie wurden die anstrengendsten Schichten für den jeweiligen Chronotyp abgeschafft. Spät-Typen arbeiteten während der Studienphase nicht in der Frühschicht und Früh-Typen hatten keine Nachtschichten. Dabei wurde beobachtet, dass die Schlafdauer und -qualität zunahm, ebenso das allgemeine Wohlbefinden.

Anpassung des Rhythmus

Die Anpassung der einzelnen Rhythmen (von Melatonin, Cortisol und Körperkerntemperatur) kann unterschiedlich lange dauern [Scott2001], [Boivin2014]. Die einzelnen Komponenten der Schlafregulation laufen dann nicht mehr synchron ab, was großen Einfluss auf Einschlafzeitpunkt und Schlafdauer haben kann. Es kann beispielsweise dazu kommen, dass der Schlafdruck bereits sehr hoch ist, der circadiane Rhythmus aber auf Tag eingestellt ist und das Einschlafen erschwert oder die Schlafdauer stark verkürzt. Die Folge sind immer Schlafprobleme und Schlafdefizite, die sich im Laufe der gearbeiteten Schichten summieren.

Die Lichteinwirkung in der Nacht und auf dem anschließenden Heimweg führt meist zu einer Unterdrückung der Melatoninausschüttung und es kommt zu einer Phasenverlängerung des circadianen Rhythmus, was letztendlich zu einer weiteren, bei schnell vorwärts rotierenden Schichtsystemen ungewollten, Anpassung an den neuen Rhythmus führen kann.

Die Anpassung an einen neuen Rhythmus funktioniert dann am besten, wenn alle äußeren Zeitgeber gleichmäßig verschoben werden, wie es beispielsweise bei einem Transatlantikflug vorkommt. Bei Schichtarbeit hingegen liegen die äußeren Zeitgeber nicht mehr in der gewohnten Phasenlage zueinander. Die Zeitgeber Licht und Nahrungsaufnahme verschieben sich und unterstützen damit die Rhythmusverschiebung. Andere Zeitgeber (soziales Umfeld, Temperaturverlauf) ändern ihren Verlauf jedoch nicht und wirken einer Rhythmusverschiebung entgegen. Das kann auch durch „falsches“ Licht erfolgen (Tageslicht auf dem Nachhauseweg nach der Nachtschicht oder an freien Tagen, Schlaf in heller Umgebung). Eine vollständige Anpassung kann daher nur in den seltensten Fällen erreicht werden. Selbst Menschen in Dauernachtschicht erleben oft - trotz starker Eingriffe in die Freizeitgestaltung - keine komplette Anpassung. In [Jensen2016b] wird nach Analyse von 18 Feldstudien geschlossen, dass die meisten Nachtarbeiter selbst nach 3 Nachtschichten in Folge nicht an den neuen Rhythmus angepasst sind. Detaillierte Erläuterungen dazu finden sich im Review von [Boivin2014].

Auch in einer Studie von [Stone2018] erfüllte keiner der 21 Teilnehmer nach 3 bis 4 Nachtschichten die Anforderungen an eine partielle Anpassung. Weiterhin zeigen die Ergebnisse, dass die auftretende Phasenverschiebung (Größe und Richtung) stark von der individuellen Phasenlage der Person abhängt. Soll die Anpassung mit Licht unterstützt werden, müsste diese idealerweise an den einzelnen Menschen individuell angepasst sein. Auf große individuelle Unterschiede weist auch [Kantermann2012b] in einem Review hin. Die Umsetzung von Beleuchtungskonzepten an Arbeitsplätzen wird daher

Folgen einer unzureichenden Anpassung

Dazu zählen Müdigkeit während der Nachtschicht und Schlafprobleme in der darauffolgenden Schlafphase. Nach [Ahsberg2000] akkumuliert die Müdigkeit über den Zeitraum der Nachtschichten, es tritt ein Verlust an Motivation und Leistungsfähigkeit auf.

Die meisten Schichtpläne enthalten schnelle Wechsel zwischen Tag- und Nachtarbeit und führen deshalb zu einer dauerhaften Rhythmusdesynchronisation, denn die Anpassung ist nicht abgeschlossen, wenn nach 3 Nachtschichten wieder in eine Tagschicht gewechselt wird. Es gibt Vorschläge, dieses Problem dadurch zu verringern, dass man versucht, die Rhythmen nach Möglichkeit nicht zu verändern und das Licht so zu gestalten, dass der Rhythmus möglichst stabil bleibt [Figueiro2013].

3.2 Aktivierung durch Licht

Licht kann akute Auswirkung auf die Aufmerksamkeit und die Leistungsfähigkeit haben, die mit steigender Beleuchtungsstärke größer wird. [Cajochen2000] gibt dazu eine Dosis-Wirkungsfunktion für den Zusammenhang von Licht und subjektiver Aufmerksamkeit an, die ebenfalls einer logistischen Funktion folgt. Danach wird die Hälfte der maximalen Wirkung bei 90 bis 180 lx am Auge erreicht. Ab etwa 500 lx Beleuchtungsstärke tritt keine Erhöhung der subjektiven Munterkeit mehr auf (Bild 4).

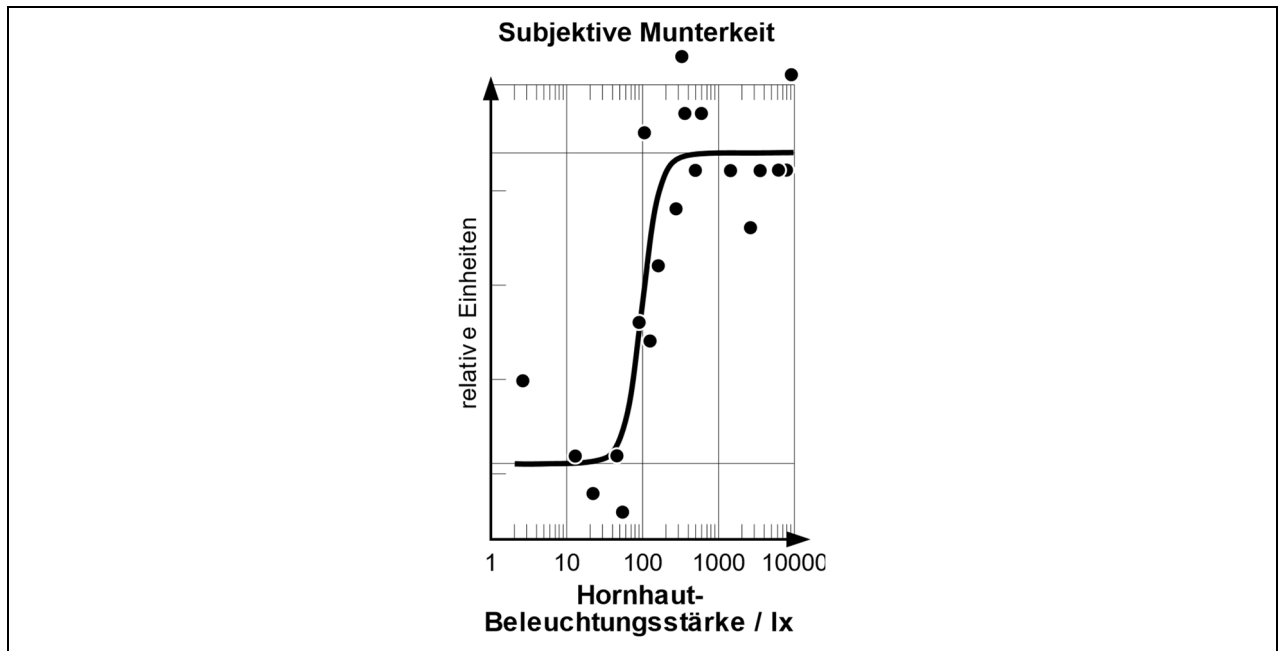


Bild 4: Subjektive Munterkeit in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke am Auge [Cajochen2000].

Eine Literaturstudie aus dem Jahr 2018 fasste Untersuchungen zu den Auswirkungen von Licht auf die Aufmerksamkeit sowohl während des Tages als auch in der Nacht zusammen [Souman2018]. Darin wurden die Studien in drei Gruppen zusammengefasst.

Zum einen wurde untersucht, wie sich helles Licht im Vergleich zu gedimmtem Licht auswirkt. Dabei wurden hohe Beleuchtungsstärkewerte im Bereich von 100 bis 10000 lx am Auge mit niedrigen Beleuchtungsstärken (<1 lx bis 1411 lx) verglichen. Als Messgrößen wurden meist die subjektive Aufmerksamkeit, in einigen Studien auch objektive Größen (z. B. Leistung oder Reaktionszeit) herangezogen. Die subjektiven Bewertungen zeigten bei über der Hälfte der Studien signifikante Effekte der Beleuchtungsstärke auf die Aufmerksamkeit, die objektiven Leistungsgrößen waren nur selten signifikant unterschiedlich. Im Vergleich aller betrachteten Studien wird geschlussfolgert, dass beim Vergleich von 50 lx mit Beleuchtungsstärken über 500 lx ein signifikanter Unterschied in der Aktivierung zu erwarten ist, beim Vergleich von Beleuchtungsstärken über 500 lx ist dieser nicht mehr zu erwarten. Die wenigen Studien, die mehr als zwei Level der Beleuchtungsstärke betrachteten, bestätigen die Ergebnisse von [Cajochen2000].

Die zweite Gruppe der Studien verglich verschiedene spektrale Verteilungen des Lichtes. Ein reduzierter spektraler Blauanteil hatte bei den Studien nur selten einen signifikanten Effekt auf die subjektive Aufmerksamkeit und auf objektive Leistungsgrößen. Die gleichen Ergebnisse erbrachten die Studien, in denen ein höherer spektraler Blauanteil (bzw. eine höhere Farbtemperatur) betrachtet wurde. Die dritte Gruppe von Studien betrachtete monochromatisches Licht. Auch hier lässt sich kein Effekt der spektralen Zusammensetzung schlussfolgern.

Nach derzeitigen Erkenntnissen kann sich eine erhöhte Lichtmenge unabhängig von der spektralen Verteilung positiv auf die subjektive Aktivierung auswirken. Tendenziell sind auch positive Auswirkungen erhöhter Lichtmenge auf die objektive Leistungsfähigkeit möglich.

3.3 Gesundheitsrisiken

Die Gesundheitsrisiken ergeben sich aus der akuten Melatoninunterdrückung durch Licht während der Nachtarbeit und der Störung des circadianen Rhythmus.

Die Beleuchtung während der Nachtschicht sorgt dafür, dass die Melatoninproduktion in der Nacht gehemmt wird [Grundy2011], [Anjum2013], [Papantoniou2014] und dass auch der mittlere Melatoninspiegel über 24 Stunden bei Schichtarbeitern geringer ist als bei Tagarbeitern [Dumont2012]. Das gilt sowohl für Beschäftigte in wechselnden Schichten als auch für Dauer-Nachtarbeiter. Details dazu finden sich in [Bhatty2014] (Querschnittsstudie mit 354 Nachtschichtarbeitern) und [Wei2020] (Review mit 1845 Nachtschichtarbeitern).

Eine Störung der normalen Melatoninsekretion wird beim Menschen mit mehreren Krankheiten in Verbindung gebracht, vor allem mit einigen Arten von Krebs, dem metabolischen Syndrom und psychischen Störungen [Touitou2017], aber eine Kausalität zwischen der Exposition gegenüber künstlichem Licht und diesen Erkrankungen ist nicht bewiesen. Die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) hat Schichtarbeit mit circadianer Störung als wahrscheinlich krebserregend für den Menschen eingestuft, was darauf hindeutet, dass nächtliche Lichtexposition zum Krebsrisiko beitragen kann, da Licht in der Nacht die Arbeit überhaupt möglich macht. Es gibt eine Reihe von Meta-studien zu Krebs im Zusammenhang mit Schichtarbeit: [Dun2020], [Yuan2018], [Touitou2017], [Bonde2012]. Nach [Erren2009] und [Erren2013] ist Licht im Zusammenhang mit Schichtarbeit als Medikation zu betrachten und als solche mit Umsicht zu behandeln.

Eine weitere Belastung des Schichtarbeiters entsteht durch die Störung der circadianen Rhythmen, da die äußeren Zeitgeber nicht mit der inneren Uhr übereinstimmen. Unregelmäßige Schlaf-Wach-Zyklen und Licht in der Nacht führen zu Dissonanzen, die insbesondere in Wechselschicht-Systemen zu erwarten sind. Die circadiane Störung hat Einfluss auf fast alle Körperfunktionen. Schichtarbeit birgt zahlreiche Gesundheitsrisiken, wie Herz-Kreislaufkrankungen, Stoffwechselerkrankungen und Magen-Darm-Beschwerden [Touitou2017] [Figueiro2013] [Cho2015].

Nachtschichtarbeit ist fast immer mit Müdigkeit am Arbeitsplatz, Befindlichkeitsstörungen und Schlafstörungen verbunden. Nach [Wickwire2017] entwickeln etwa 20 % der Schichtarbeiter das Krankheitsbild „Shift Work Disorder“ (SWD), welches sich in Schlafstörungen und Müdigkeit äußert. [Gumenyuk2012] zeigte, dass Probanden mit SWD

eine geringere Übereinstimmung der circadianen Rhythmen mit dem Nachtschichtarbeitsplan haben.

Der Tag-Schlaf erfolgt fast immer unter ungünstigen Bedingungen (Geräusche, Helligkeit, Wärmebelastung, soziale Verpflichtungen wie Familie). Selbst unter optimalen Bedingungen führt die Desynchronisation der circadianen Rhythmen zu Einschlafproblemen und Schlafverkürzungen und daraus folgend zu Schlafdefiziten [Boivin2014]. Wenn der Rhythmus nicht auf Schlaf eingestellt ist, bedarf es eines hohen Schlafdrucks, um einschlafen zu können. Durch Schichtarbeit verursachte Schlafstörungen wirken sich negativ auf die Gesundheit der Beschäftigten aus und die Leistungsfähigkeit und das Wohlbefinden werden beeinträchtigt. Es besteht eine erhöhte Unfallgefahr [Boivin2014] sowohl während der Arbeit als auch auf dem Weg nach Hause.

4 Studien zu Licht und Schichtarbeit

Im vorangegangenen Kapitel wurde dargestellt, welche Wirkungen Licht auf den Menschen hat. Es kann zu Phasenverschiebungen und Verflachung der Amplitude des Melatoninspiegels mit längerfristigen positiven und negativen Auswirkungen auf Wachheit und Schlafqualität kommen. Während der Arbeitszeit kann Licht auch zur direkten Aktivierung genutzt werden, so dass eine akute Leistungssteigerung und Erhöhung der Aufmerksamkeit möglich sind.

Es ergeben sich damit verschiedene Möglichkeiten, die Situation der Schichtarbeiter durch gezielte Lichtgaben oder eine Lichtreduktion zu verbessern:

1. Stabilisierung des Rhythmus, um auch bei Nachtschicht den tagorientierten Rhythmus beizubehalten
2. Akute Aktivierung und Verringerung der Ermüdung während der Schicht
3. Verschiebung des circadianen Rhythmus, um ihn dem Schlaf-Wach-Rhythmus der Schicht anzupassen
4. Rück-Verschiebung nach Ende der Nachtschicht-Periode auf den Rhythmus der Tag-Arbeit

In der Literatur sind dazu verschiedene Interventionen beschrieben und in mehreren Reviews zusammengefasst: [Figueiro2013], [Neil-Sztramko2014], [Pallensen2010], [Olson2020], [Slanger2016], [Lok2018], [Figueiro2020], [Aemmi2019].

Hier werden die folgenden Interventionen betrachtet:

1. Helles Licht zur Verschiebung bzw. Anpassung des Rhythmus
2. Blauangereichertes Licht zur Aktivierung und Rhythmusverschiebung
3. Helles Licht zur Aktivierung
4. Blaureduziertes Licht zur Vermeidung einer Melatoninunterdrückung
5. Rotes Licht zur Aktivierung
6. Weiteres

Viele der recherchierten Studien befassen sich mit der Verschiebung des circadianen Rhythmus. Deutlich zugenommen im Vergleich zur Literaturstudie von 2009 haben Untersuchungen, die die Vermeidung der Rhythmusverschiebung bei gleichzeitiger Aktivierung zum Ziel haben und dazu auch Licht aus dem langwelligen Spektralbereich als Intervention verwenden.

4.1 Helles Licht zur Verschiebung oder Anpassung des Rhythmus

In verschiedenen Studien wurde die Wirkung verschiedener Beleuchtungssituationen auf die Melatoninunterdrückung in der Nacht untersucht. Dabei kamen Beleuchtungsstärken von 400 lx bis 10000 lx zum Einsatz, meist angegeben als Beleuchtungsstärke am Auge.

Intervention während der Schicht

Eine Möglichkeit, das Licht zu verabreichen, ist, die Studienteilnehmer in Lichtboxen oder spezielle Therapieleuchten schauen zu lassen. Auf diese Weise erhielten die Testpersonen hohe Lichtdosen. Zum Beispiel wurden in [Thorne2010], [Boivin2012a], [Boivin2012b] und [Boudreau2013], [Maghsoudidour2019] 1000 lx bis 10000 lx verwendet. Die Verabreichung des Lichtes erfolgte dabei in den Pausenzeiten während der Schicht.

Außer bei [Maghsoudidour2019] konnte in den Studien kein Zusammenhang zwischen Lichtintervention und Melatoninspiegel festgestellt werden. Bei [Boivin2012a] zeigten die Melatoninmessungen, dass auch in der Kontrollgruppe ohne Lichtbehandlung eine Phasenverschiebung stattgefunden hat. Auch in [Thorne2010] zeigte sich kein Unterschied zur Kontrollgruppe. Allerdings wurden immer Verbesserungen der Schlafqualität festgestellt.

Bei [Olson2020] wurden 5000 lx aus einer Lichtbox 30 Minuten lang vor Beginn der Nachtschicht und zum gleichen Zeitpunkt bereits am Vortag verabreicht. In subjektiven Befragungen berichteten die Krankenschwestern über weniger Müdigkeit, weniger Arbeitsfehler, besseren und längeren Schlaf und eine positivere Stimmung.

In weiteren Studien kamen Leuchten, die an der Decke im Pausenraum oder im Arbeitsraum montiert waren, zum Einsatz. [Zamanian2010] und [Kakooei2010] verabreichten 2 x 45 Minuten 4500 lx während der Pausen und beobachteten dabei eine signifikante Melatoninunterdrückung. [Pederson2018] zeigte, dass eine helle Beleuchtung (890 lx) in der Nacht hinterher zu einem längeren Schlaf führt.

[Chinoy2016] verwendete 2200 lx und testete die Wirkung nur während der zweiten Hälfte der Nachtschicht. Dies führte zu einer teilweisen Phasen Anpassung, was eine längere Schlafdauer nach der Schicht und eine erhöhte Leistungsfähigkeit in der Schicht bewirkte.

In [Lee2020] erhielten die Testpersonen während der Pausen in der Nachtschicht 4 x 10 Minuten helles Licht (4700 lx) oder kein Licht (1 lx). Verglichen mit dem moderaten Licht (430 lx) förderte die dunkle Pause signifikant die Melatoninunterdrückung und die Bedingung der hellen Pausen verringerte die Melatoninunterdrückung signifikant. Erklärt wird dieser unerwartete Effekt damit, dass die dunklen Pausen die Empfindlichkeit für das nach der Pause einwirkende Licht erhöhte.

Bei [Rahman2019] kamen 9500 lx sowohl kontinuierlich als auch intermittierend zum Einsatz, wobei die resultierende Wirkung auf den Melatoninspiegel vergleichbar war. 10000 lx für verschieden lange Zeiträume (einmalig 0,5 bis 4 Stunden) verwendet [Chang2012]. Dabei zeigte sich, dass die kurzzeitige Applikation effektiver war. Interventionen am Tag ohne Interventionen in der Nacht untersuchten [Dumont2009] und [Chapdelaine2012]. Sie entwickelten zeitlich angepasste Muster der Beleuchtungsstärke, die entweder eine Phasenverkürzung oder eine Phasenverlängerung möglich

machen sollten. Mit Beleuchtungsstärken von 400 lx bis 1800 lx, verabreicht zwischen 8:00 und 9:00 Uhr, sowie 150 lx in den Abendstunden konnte die Fehlanpassung des Rhythmus nach der Nachschichtphase korrigiert werden. Die Gruppe, deren Phase verlängert werden sollte, trug tagsüber eine Sonnenbrille.

In anderen Studien trugen die Testpersonen beim Aufenthalt im Freien auf dem Weg nach Hause teilweise Sonnenbrillen, um hohe Beleuchtungsstärken zum falschen Zeitpunkt zu vermeiden [Thorne2010], [Boivin2012b], [Sasseville2010] [Olson2019]. In [Sasseville2009] und [Boivin2012a] waren das orangefarbene Brillen, die den hochwirksamen spektralen Blauanteil herausfiltern. [Olson2020] verwendete keine orangefarbenen Brillen, da 70% der Testteilnehmer angaben, diese außerhalb der Studie nicht zu akzeptieren. Nur in der Studie von [Sasseville2009] wurde diese Intervention unabhängig von Lichtbehandlungen untersucht. Als Wirkung wurde ein verlängerter Schlaf, der weniger Unterbrechungen aufwies, beobachtet.

Intervention während der Schlafphase

Ein sich deutlich von den bisher geschilderten Studien unterscheidender Ansatz wird in [Nagasima2018] verfolgt. Um den Rhythmus während der Nachschicht möglichst nicht zu verschieben, schliefen die Testpersonen unter hellen Lichtbedingungen am Tag. Die Schlafqualität wurde dadurch nicht verringert und der Tag-orientierte Schlaf-Wach-Rhythmus konnte deshalb beibehalten werden. Messungen des Melatonins zeigten, dass der Beginn des Melatoninanstieges am nächsten Abend nicht verzögert und der Melatoninspiegel auch nicht reduziert war. Weitere Studien, die diesen Zusammenhang bestätigen, wurden nicht gefunden.

Circadiane Teilanpassung

Eine Reihe von Studien [Smith2008a], [Smith2008b], [Smith2009a], [Smith2009b] hatte das Ziel, die Lage der circadianen Phase so zu verändern, dass sie zwischen einer vollständigen Anpassung an die Nachtarbeit und keiner Anpassung liegt. Dieser Kompromiss wurde nach 3 Nächten erreicht und führte zu einer erhöhten Wachheit in der Nachtschicht und einem verbesserten Schlaf danach. Durch die nicht vollständige Anpassung an die Nachtarbeit kann gleichzeitig guter Schlaf und Wachheit an den freien Tagen erreicht werden. Die Studien zielten vor allem auf Dauer-Nachtarbeit ab.

In [Smith2012] werden alle Teilstudien zusammengefasst und eine Schlussfolgerung für die Anwendung abgeleitet: Das Ziel einer Kompromissphasenlage ist nur erreichbar, wenn die zeitliche Abfolge von Licht und Dunkelheit sowie Wachphasen und Schlafenszeiten optimiert werden. Dies schließt das Tragen von Sonnenbrillen im Freien zu bestimmten Zeiten, den Schlaf im Dunkeln nach einem festen Plan (auch an freien Tagen), helles Licht nach der Schlafperiode und helles Licht während der Nachtarbeit ein. Ein entsprechender Zeitplan wird vorgeschlagen (Details in Kapitel 5.3), der allerdings nur für die Dauernachtschicht oder allenfalls für Wechsel zwischen Spät- und Nachschicht sinnvoll anwendbar ist. Schnelle Wechsel zwischen Tag- und Nachtschichten

führen immer zu einer Fehlanpassung der Rhythmen, die nicht verhindert werden kann, da die circadiane Uhr innerhalb von 24 Stunden nur um etwa eine Stunde verschoben werden kann.

4.2 Blauangereichertes Licht zur Aktivierung und Rhythmusverschiebung

Da das circadiane System des Menschen eine höhere Empfindlichkeit im blauen Wellenlängenbereich hat, wird in den Studien häufig mit hohen Farbtemperaturen oder blau-angereichertem Licht gearbeitet und es werden die Effekte mit denen bei niedrigeren Farbtemperaturen verglichen. Die meisten Studien untersuchten dabei sowohl die Auswirkung auf den circadianen Rhythmus (bzw. den Melatoninspiegel) als auch auf die Aktivierung.

Die Beleuchtungsstärken, die in diesen Untersuchungen verwendet wurden, lagen im Bereich typischer Beleuchtungsanwendungen (200 lx bis 500 lx am Auge) und damit deutlich unter denen des vorherigen Kapitels. Vereinzelt betrachteten auch noch geringere Werte.

Bei den Studien kamen Leuchtstofflampen verschiedener Farbtemperaturen zum Einsatz: 6500 K ([Chellappa2011], [Lowden2012], [Motamedzadeh2017], [Kazemi2018]) und 17000 K ([Sletten2017], [Motamedzadeh2017], [Kazemi2018]), die teilweise mit monochromatischem Licht ergänzt wurden, beispielsweise mit Peakwellenlängen von 460 nm ([Rahman2014]) oder 500 nm [Sasseville2010]. Neuere Studien arbeiteten mit LED-Beleuchtung [Rodriguez2014], [Rodenbeck2019], [Sunde2020a].

Bei den meisten Untersuchungen ([Chellappa2011], [Lowden2012], [Motamedzadeh2017] und [Kazemi2018]) zeigte sich eine größere Melatoninunterdrückung im Vergleich zu Situationen mit niedrigen Farbtemperaturen (2500 K bis 3000 K). Bei [Sunde2020a] dagegen konnte kein Unterschied zwischen 2700 K und 7000 K festgestellt werden. [Kranenburg2017] zeigte, dass die Melatoninunterdrückung mit steigender Farbtemperatur zunahm. Bei der geringsten untersuchten Farbtemperatur von 2000 K war sie nahezu vernachlässigbar. Die Beleuchtungsstärke am Auge betrug in diesem Experiment 200 lx.

Die Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit wurden meist objektiv ermittelt. Fehlerzahlen und Reaktionszeiten sanken. Es wird aber auch von einer Erhöhung der Fehlerzahl berichtet: bei [Rodriguez2017] führte eine höhere physiologische Erregung zu mehr Fehlern im Fahrsimulator.

[Lowden2012] verwendete ein farbdynamisches Beleuchtungssystem und applizierte blaues Licht nur zu Zeiten, in denen eine Aktivierung bzw. eine Phasen Anpassung erfolgen sollte. Daher variierten die Zeitpunkte der Beleuchtung zwischen den einzelnen Schichten der Schichtperiode. Die Auswirkungen auf den Schlaf waren differenziert: die Schlafdauer erhöhte sich, gleichzeitig traten nach der dritten Nachschicht längere Wachphasen während der Schlafphase auf.

Bei [Rodenbeck2019] hatte keines der Lichtszenarien Einfluss auf die Schlafqualität. Hier kamen unterschiedliche Farbtemperaturen und auch ein farbdynamisches System zum Einsatz.

In [Figueiro2010] wurden einstündige Expositionen von 40 lx am Auge mit rotem und blauem Licht verglichen. Nachts führte das blaue Licht zu einer signifikanten Melatoninunterdrückung, während das rote Licht zu keiner Melatoninunterdrückung führte. [Phipps-Nelson2009] zeigte, dass gedämpftes blaues Licht (1 lx) bei einer Fahrsimulatorenaufgabe die Leistungsfähigkeit im Vergleich zu rotem und weißem Licht fördern kann.

[Souman2018] betrachtete in seiner Metastudie unter anderem die Auswirkungen der Farbtemperatur von weißem Licht auf die subjektive Aufmerksamkeit. Diese waren nicht eindeutig. Einige Studien fanden eine erhöhte Aufmerksamkeit bei höheren Farbtemperaturen, andere Studien berichteten über keine nachteiligen Auswirkungen des Ausfilterns der kurzen Wellenlängen aus dem Spektrum. Ebenso zeigten Studien, die monochromatische Lichtexposition verwendeten, kein systematisches Muster für die Auswirkungen von blauem Licht im Vergleich zu längeren Wellenlängen auf die Aktivierung [Figueiro2009], [Chang2012], [Kretschmer2012], [Higuchi2011], [Rahman2011], [vandeWerken2013], [Figueiro2014], [Sasseville2015], [Canazei2016], [Phipps-Nelson2009], [Papamichael2012], [Plitnick2010].

Eine Übersichtsarbeit [Xu2018] widmet sich Studien, die den Effekt des Lichtes auf die Aufmerksamkeit unter Berücksichtigung der drei Prozesse der Schlafregulation (s. Kapitel 3.1.1) betrachteten. Die Stärke der Lichtauswirkung hängt vom Chronotyp und der Lichthistorie (also vor in den letzten 24 Stunden erhaltenen Lichtmenge) ab. In den betrachteten Studien wurde u. a. die Aufmerksamkeit in der Nacht während der Beleuchtung [Sasseville2015], [vandeWerken2013], [Rahman2011] oder nach der Intervention mit Licht in den Pausen [Phipps-Nelson2009], [Karchani2011] untersucht. Aus den Ergebnissen wird geschlossen, dass die Erhöhung der Aufmerksamkeit in der Nacht geringere Lichtmengen erfordert, als es tagsüber der Fall ist. Blaues Licht geringer Intensität ist demnach nachts wirksamer hinsichtlich Aufmerksamkeitssteigerung als am Tag, während moderates weißes Licht die Schläfrigkeit am Tag wirkungsvoller reduziert als in der Nacht.

Alle Studien belegen die Melatoninunterdrückung durch blaues Licht bzw. kurzwellige Spektralanteile. Auch zeigte sich meist eine gleichzeitige aktivierende Wirkung. Ein Vorteil gegenüber weißem oder rotem Licht lässt sich jedoch nicht ableiten, da ähnliche aktivierende Wirkungen auch durch weißes oder rotes Licht erzeugt werden können.

4.3 Helles Licht zur Aktivierung

Zur aktivierenden Wirkung von Licht in der Nacht gibt es eine Vielzahl von Studien, die an vielen Stellen bei einer Erhöhung der Beleuchtungsstärke signifikante Verbesserungen von subjektiver Aufmerksamkeit, Müdigkeit und objektiven Leistungsgrößen zeigen.

Auch bei diesen Studien wurden teilweise Lichtboxen oder Therapieleuchten verwendet, die von den Studienteilnehmern während der Pausenzeiten genutzt wurden. Auf diese Weise erhielten die Testpersonen einmalig oder mehrmals hohe Lichtdosen: 1 x 30 Minuten 10000 lx [Maghsoudipour2019], 1000 lx bis 5000 lx je nach Möglichkeit einer Pause bei [Boivin2012a] und [Boudreau2013], 10000 lx für verschieden lange Zeiträume [Chang2012]. In [Boudreau2013], [Maghsoudipour2019] und [Chang2012] wird von positiven Auswirkungen auf die subjektive Aufmerksamkeit berichtet. In [Boivin2012a] zeigten sich positive Effekte auf die Reaktionszeiten in Leistungstests. Es wurde mit neutralweißer Beleuchtung gearbeitet.

In [Weisgerber2017] wurden 5600 lx aus einer Lichtbox für 45 Minuten vor einer Fahrsimulatorenaufgabe verabreicht. Dies führte zu weniger Zwischenfällen bzw. Unfällen während der Fahraufgabe ohne die Reaktionszeiten signifikant zu beeinflussen.

In [Griepentrog2018] wurde in den Fluren eines Krankenhauses eine große Anzahl Therapieleuchten an den Wänden montiert und so im Feldversuch dauerhaft eine Beleuchtungsstärke von 1500 lx bis 2000 lx erreicht. Die subjektive Müdigkeit verringerte sich dabei, allerdings stieg die Fehlerzahl im Leistungstest signifikant an.

In weiteren Studien kamen Leuchten, die an der Decke im Pausenraum oder im Arbeitsraum montiert waren, zum Einsatz. [Zamanian2010], [Karchani2011], [Sadeghniaat2011], [Khammar2017] experimentierten mit zwei oder vier Intervallen, die zwischen 15 und 45 Minuten lang waren und Beleuchtungsstärken von 2500 lx bis 4500 lx erreichten. Alle Studien berichten von einer Verringerung der Müdigkeit, die auf die Lichtbehandlung zurückgeführt werden kann.

Eine hellere Beleuchtung während der gesamten Arbeitszeit von 900 lx bis 2000 lx verwendeten [Mrdalji2018] und [Sunde2020b]. In beiden Studien verringerten sich die Fehlerzahl bei objektiven Leistungstests und die subjektive Müdigkeit.

Kretschmer testete in mehreren Studien [Kretschmer2011], [Kretschmer2012], [Kretschmer2013] hohe Beleuchtungsstärken in der ersten Hälfte der jeweiligen Schicht. Dabei lag die Beleuchtungsstärke zu Schichtbeginn bei 3000 lx und wurde bis zum Schichtende auf 300 lx reduziert. Die objektiven Leistungen wurden dabei nur teilweise positiv durch das Licht beeinflusst (geringere Fehlerraten). Einige Leistungsparameter (Dauer- und selektive Aufmerksamkeit) blieben unverändert.

Eine Übersichtsarbeit zu Interventionen gegen Müdigkeit findet sich in [Slanger2016]. Die dort betrachteten Studien mit insgesamt 556 Teilnehmern schließen folgende hier aufgeführte Veröffentlichungen mit ein: [Karchani2011], [Sadeghniaat2011], [Boivin2012a], [Thorne2010], [Boudreau2013] und lieferten kein schlüssiges Ergebnis.

Eine Übersichtsstudie zu hellen Lichtexpositionen von Krankenschwestern im Schichtdienst [Aemmi2020] schloss fünf Studien ein und zeigte, dass helles Licht (1500 lx bis 10000 lx) die Müdigkeit reduziert und die Leistungsbereitschaft steigert [Kakooei2010], [Boivin 2012b], [Huang2013], [Griepentrog2018].

Eine Metastudie „Licht und Aufmerksamkeit“ [Lok2018] fasst die Auswirkungen von weißem Licht zusammen. Danach ist oberhalb von 1000 lx am Auge kein weiterer Effekt zu erwarten. Eine Melatoninunterdrückung tritt bereits zwischen 50 lx und 130 lx auf. Es besteht ein starker Zusammenhang zwischen Melatoninunterdrückung und Aktivierung: [Chang2012], [Figueiro2016], [Sahin2013], [Chellappa2011], [Smolders2014].

[Souman2018] fasst in einer Metastudie die aktivierenden Effekte von Licht zusammen. Es zeigt sich, dass eine Erhöhung der Helligkeit von polychromatischem weißem Licht die subjektive Bewertung der Wachheit in der Mehrheit der Studien erhöhen kann, obwohl ein großer Anteil der Studien keine signifikanten Effekte gefunden hat.

4.4 Blaureduziertes Licht zur Vermeidung einer Melatoninunterdrückung

Die Unterdrückung von Melatonin während der Nachtarbeit wird inzwischen als kritisch angesehen, da eine Reihe gesundheitlicher Auswirkungen (bis hin zur Krebsentstehung) darauf zurückgeführt werden. Das führte zu einer Reihe von Untersuchungen, die mit reduzierten blauen Spektralanteilen arbeiteten, da diese für die Melatoninunterdrückung besonders wirksam sind.

In den meisten Studien trugen die Probanden Brillen, die das kurzwellige Licht teilweise oder ganz herausfilterten [Rahman2011], [Rahman2013], [Casper2014], [Sasseville2015]. Weiterhin gibt es Studien, die mit Filtern vor den Leuchten arbeiteten [vandeWerken2013] oder die Spektren der Leuchten entsprechend auswählten [Canazei2016], [Jensen2016a], [Regente2017]. Alle Studien zeigten, dass auch mit blaureduziertem Licht eine Aktivierung möglich ist, die sich nicht oder kaum von derjenigen bei ungefiltertem weißem Licht unterscheidet.

Es zeigte sich auch, dass die Melatoninunterdrückung erwartungsgemäß bei blaureduziertem Licht geringer ausfiel, bei weißem Licht [Rahman2011], [Rahman2013], [vandeWerken2013], [Casper2014]. Die verringerte Melatoninunterdrückung hatte immer eine verbesserte Schlafqualität zur Folge, woraus in den Studien geschlossen wird, dass wenig Desynchronisation vorhanden war. In [Jensen2016a] konnte zwar kein Unterschied im Melatoninspiegel festgestellt werden, die subjektive Schlafqualität war jedoch auch hier verbessert.

[Kranenburg2017] zeigte, dass die Melatoninunterdrückung mit steigender Farbtemperatur zunahm. Bei der geringsten untersuchten Farbtemperatur von 2000 K war sie nahezu vernachlässigbar. In der Studie zeigte sich ein signifikanter Einfluss auf das Farbumscheidungsvermögen, weshalb eine Farbtemperatur von 2000 K oder weniger

nicht empfohlen wurde. [Canazei2016] zeigte ebenfalls, dass eine Beleuchtung mit reduziertem Blauanteil zu einer verringerten Farbunterscheidung führen kann.

4.5 Rotes Licht zur Aktivierung

In einer Literaturübersicht [Figueiro2013] wird zusammengefasst, dass sich mit hellem weißem Licht in Bereichen von 2500 lx bis 10000 lx die Müdigkeit in der Nacht reduzieren lässt. Diese Intervention führt jedoch immer zu einer Phasenverschiebung, was bei schnellen Schichtwechseln für nicht sinnvoll gehalten wird.

Als Alternative wird die Verwendung von langwelligem (rotem) Licht gesehen. Verschiedene Untersuchungen [Figueiro2009], [Figueiro2010], [Plitnick2010], [Pampichael2012], [Figueiro2014], [Figueiro2016a], [Figueiro2020], [Bjorvatn2020] zeigten, dass beim Vergleich der Effekte von blauem mit rotem Licht in der Nacht keine Unterschiede in der Aufmerksamkeit und der Leistungsfähigkeit beobachtet wurden. In allen Studien wurde mit monochromatischem Licht (blau 460 nm bis 480 nm, rot 620 nm bis 640 nm, Halbwertsbreiten 16 nm bis 25 nm) gearbeitet. Die meisten dieser Experimente arbeiteten mit Lichtboxen, in die die Studienteilnehmer zwischen 45 und 60 Minuten lang schauten. Die Beleuchtungsstärke am Auge betrug dabei zwischen 40 lx und 280 lx. Ein weiteres Verfahren, Licht zu verabreichen, ist die Verwendung von speziellen Brillen, in denen sich LEDs befinden, die die entsprechende Beleuchtungsstärke am Auge erzeugen. In [Figueiro2014] und [Figueiro2020] erhielten die Testpersonen das rote oder blaue Licht der Lichtbrille zusätzlich zum weißen Licht der Arbeitsplatzbeleuchtung. Dieses Verfahren kann auch an realen Arbeitsplätzen angewendet werden.

In einer Studie [Higuchi2011] trugen die Probanden blau- und rotabsorbierende Visiere, die Licht aus der oberen Gesichtsfeldhälfte filterte, die normalen Tätigkeiten beim Blick in den Arbeitsbereich während der simulierten Schichtarbeit aber nicht beeinflussten. Auf diese Weise versuchte man das circadian wirksame Licht zu variieren, ohne die Beleuchtung der Sehaufgabe zu beeinflussen. Alle Studien zeigten, dass rotes Licht die Melatoninunterdrückung während der Nacht geringer ausfallen lässt als blaues Licht. Eine verringerte Aufmerksamkeit wurde dabei nicht beobachtet.

4.6 Weitere Interventionen

Neben einer Anpassung der Beleuchtung gibt es noch viele weitere Interventionen zur Reduktion der Belastung durch Schichtarbeit. Details sind in den genannten Reviews zu finden:

- Begrenzung der Anzahl aufeinander folgender Nachtschichten [Bonde2012]
- optimierte Arbeitspläne mit maximierter Ruhezeit [Boivin2014], [Neil-Sztramko2014], [Wright2013]
- Schlafhygiene, angepasste Schlafpläne, Schlaf bei Dunkelheit [Boivin2014], [Wright2013], [Slanger2016]

- Schulung über Strategien zur Anpassung [Neil-Sztramko2014]
- Nickerchen/Kurzschlaf [Boivin2014], [Pallensen2010], [Slinger2016]
- Melatoningaben [Boivin2014], [Pallensen2010]
- Koffein [Boivin2014]
- Stimulanzien [Boivin2014], [Pallensen2010], [Neil-Sztramko2014]
- Schlafmittel [Pallensen2010], [Neil-Sztramko2014]
- körperliche Aktivitäten [Boivin2014], [Neil-Sztramko2014], [Pallensen2010], [Slinger2016]
- Überwachung der Müdigkeit [Boivin2014], [Pallensen2010]
- Abnahme des Körpergewichtes zur Verbesserung des allgemeinen Gesundheitszustandes, was zur besseren Verträglichkeit der Schichtarbeit beiträgt [Neil-Sztramko2014]

5 Empfehlungen für die Beleuchtung bei Schichtarbeit aus verschiedenen Veröffentlichungen

5.1 Konsenserklärungen der Working Time Society (WTS) und der International Commission on Occupational Health (ICOH): Evidenzbasierte Interventionen unter Einsatz von Licht zur Verbesserung der circadianischen Anpassung an die Arbeitszeiten.

Lowden, Arne; Öztürk, Gülcin; Reynolds, Amy; Bjorvatn, Bjørn (2019): Working Time Society consensus statements: Evidence based interventions using light to improve circadian adaptation to working hours. In: Industrial health 57 (2), S. 213–227. DOI: 10.2486/indhealth.SW-9.

Die Veröffentlichung ist die Konsens-Erklärung der Working Time Society (WTS) und der International Commission on Occupational Health (ICOH), die von namhaften Wissenschaftlern erstellt (Arne Lowden, Gülcin Öztürk, Amy Reynolds, Bjorne Bjorvatn) und reviewt (Drew Dawson, Charmane Eastman, Mariana Figueiro) wurde. Sie basiert auf 13 Studien, die bereits in der Literaturrecherche von 2009 [Vandahl2009] enthalten waren, und 9 Studien, die auch in dieser Recherche betrachtet wurden.

Der Konsens wurde wie folgt zusammengefasst:

Empfehlungen für die Nutzung von hellem Licht zur Verbesserung der Anpassung an die Schichtarbeit

- 1) Bei den meisten Menschen verlängert helles Licht (1000 Lux weißes Licht am Auge) zwischen 18:00 Uhr und 4:00 Uhr die Phase des circadianen Systems. Der Schlaf-Wach-Rhythmen sowie viele andere physiologische Prozesse verschiebt sich dadurch auf einen späteren Zeitpunkt. Damit ist das Einschlafen zwischen 7:00 Uhr und 15:00 Uhr leichter möglich, als es sonst nach der Nachtarbeit wäre.
- 2) Helles Licht zwischen 6:00 Uhr und 9:00 Uhr verkürzt die Phase des circadianen Systems oder verhindert seine Verlängerung. Das bedeutet, dass Schlaf-Wach-Rhythmen sowie viele andere physiologische Prozesse zu einem früheren Zeitpunkt eintreten.
- 3) Orangefarbene Brillen (Blaulicht-Blocker, die Licht unter 525 nm blockieren), die zwischen 6:00 Uhr und 9:00 Uhr getragen werden, blockieren die phasenverkürzenden Effekte von hellem Licht und unterstützen das circadiane System bei der Phasenverlängerung. Dies kann besonders wichtig sein, wenn sich Beschäftigte zwischen 5:00 Uhr und 8:00 Uhr bei Tageslicht auf dem Heimweg befinden.
- 4) Die Wiederanpassung von der Nacht an den Tag kann durch die Exposition gegenüber zeitlich geplantem hellem Licht (oder natürlichem Tageslicht) entsprechend der individuellen circadianen Phase gefördert werden. Die individuelle circadiane Phase und damit der richtige Zeitpunkt für die Lichtexposition sind schwer zu bestimmen.
- 5) Das Arbeiten in der Nähe eines Fensters, das natürliches Tageslicht zulässt, kann die Wachheit bei Tagschichten fördern.

6) In der Praxis sind die fünf bekannten Parameter der Beleuchtung zu berücksichtigen, die die Lichtwirkung beeinflussen:

1. Spektrum: je größer der Blauanteil, desto stärker ist die Wirkung.
2. Intensität: je heller, desto stärker ist die Wirkung, diese addiert sich mit der Wirkung des höheren Blauanteils.
3. Dauer der Lichtexposition: die Wirkung ist nicht linear
4. Tageszeit der Lichtexposition: Phasenverkürzung durch frühmorgendliches Licht und Phasenverlängerung durch Licht am Abend.
5. Lichthistorie: je mehr Tageslicht vorhanden war, desto geringer wird die Wirkung künstlicher Beleuchtung am folgenden Abend und in der folgenden Nacht.

Bewertung der herangezogenen Studien durch die Autoren der Konsens-Erklärung

Es ist wichtig, darauf hinzuweisen, dass der größte Teil der Studien, die mit hellem Licht durchgeführt wurden und für die Konsens-Erklärung herangezogen wurden, eine geringe Qualität hat.

Auch sagen die Ergebnisse von Interventionsstudien mit Licht hauptsächlich kurzfristige circadiane Wirkungen vorher, so dass Empfehlungen für mittel- bis langfristige Gesundheit und Sicherheit nur eingeschränkt abgeleitet werden können. Auch spiegeln die Ergebnisse, die auf einer begrenzten Teilmenge von Messwerten (z. B. der Phasenlage des Melatonins) basieren, möglicherweise nicht die Veränderungen bei anderen gesundheitsbezogenen Aspekten wider. So ist nicht bekannt, wie die Nahrungsaufnahme und die Stoffwechselfunktionen langfristig auf eine schnelle Anpassung an die Nachtarbeit reagieren.

Bis heute gibt es keine randomisierten, kontrollierten Langzeitstudien, die untersucht haben, wie sich unterschiedliche Phasenlagen und veränderte Raten der circadianen Anpassung auf die langfristige Gesundheit auswirken. Die Vielfalt der Symptome, die unterschiedliche Anpassungsgeschwindigkeit für regulatorische biologische Prozesse und die breiteren individuellen Unterschiede machen die Bewertung von Interventionsstrategien komplex und es ist schwierig, allgemeine Empfehlungen zu geben.

Basierend auf der bisher veröffentlichten Literatur sind WHO und ILO daher der Ansicht, dass es in der vorhandenen Literatur keine ausreichenden Belege für Lichteingriffe bei Schichtarbeitern gibt, um detaillierte, definitive Ratschläge für optimale Vorgehensweisen zu geben.

5.2 Empfehlungen für Beschäftigte des Gesundheitsbereiches

Figueiro, Mariana G.; Hunter, Claudia M. (2016b): Understanding Rotating Shift Workers' Health Risks. In: Occupational health & safety (Waco, Tex.) 85 (11), 32, 34, 36.

In dieser Veröffentlichung wird eine Handlungsempfehlung für Beschäftigte des Gesundheitswesens gegeben, die auch auf andere Bereiche anwendbar ist. Der Ansatz besteht darin, dass die Beleuchtung so gestaltet wird, dass eine akute Melatoninunterdrückung bei den Nachtschichtarbeitern minimiert wird.

Ein regelmäßiger Wechsel von hellem und dunklem Licht innerhalb von 24-Stunden ist wesentlich für die circadiane Anpassung. Um Schlaf, Leistung und Wohlbefinden zu verbessern, sollten Fachkräfte in der Tagschicht daher:

- tagsüber eine hohe Beleuchtungsstärke von einer weißen Lichtquelle erhalten (mindestens 200 lx bis 300 lx am Auge), insbesondere morgens nach dem Aufwachen.
- morgens mindestens 30 Minuten Tageslicht (durch eine Fenster) zu erhalten.
- helles Licht (über 20 lx bis 30 lx am Auge) am Abend (mindestens zwei Stunden vor der Schlafenszeit) und in der Nacht vermeiden.
- leuchtende Tablet-Computer am Abend ausschalten oder dimmen.
- an Sommerabenden den Aufenthalt im Freien und zu viel Tageslicht vermeiden oder alternativ eine orangefarbene Brille tragen, die alles Licht unter einer Wellenlänge von 525 nm herausfiltert.

Für Nachtschichtpersonal ist die Situation komplexer, da sie durch soziale Aktivitäten an einen Tagschicht-Lebensstil gewöhnt. Daher kann der Versuch, Beschäftigte, die nachts arbeiten, auf einen nächtlichen Lebensstil umzustellen, sowohl persönlich unpraktisch als auch unerwünscht sein. Nachtschichtbeschäftigte, die den Lebensstil der Tagschicht beibehalten wollen, aber dennoch während der Nachtschicht wach sein wollen, sollten:

- helles Licht (über 20 lx bis 30 lx am Auge) während der Nachtschicht ab 21 Uhr möglichst vermeiden.
- gesättigtes rotes Licht (schmalbandig, 640 nm) von mindestens 40 lx bis 60 lx am Auge in Ruhezonen oder Arbeitsräumen während der Dämmerungsphase erhalten. Die Exposition mit rotem Licht kann intermittierend während der ganzen Nacht erfolgen, ähnlich wie eine Kaffeepause. Die Exposition mit rotem Licht hat keinen Einfluss auf den Melatoninspiegel, bietet aber einen wachmachenden Effekt, ähnlich wie eine Tasse Kaffee.
- Arbeitsplatzleuchten verwenden, um die Lichtintensität auf der Arbeitsfläche zu erhöhen und für bestimmte, kritische Aufgaben, wie z. B. das Legen einer Infusion.
- nicht selbst mit dem Auto nach Hause fahren, um einen Sekundenschlaf am Steuer zu vermeiden.

Eine weitere Alternative für Nachtschichtarbeiter ist eine "Kompromisslösung", die eine Verwendung von Licht im früheren Teil der Nacht beinhaltet, um den Zeitpunkt, an dem die Beschäftigten meistens schlafen, bis nach dem Ende ihrer Schicht hinauszuzögern. Gleichzeitig sollte dieser Zeitpunkt nahe dem Ende der Schlafperioden liegen, sobald die Beschäftigten keine Nachtschichten mehr haben. Damit ist der Nachtschichtarbeiter immer noch an einen Tagschicht-Lebensstil gewöhnt, ist jetzt aber eine "Nachteule". Diese Kompromissanpassung lässt die Beschäftigten leichter zwischen Nacht- und Tagschicht wechseln. Um die Kompromisslösung zu implementieren, sollten Nachtschichtarbeiter:

- bis 3 oder 4 Uhr morgens am Arbeitsplatz hohe Beleuchtungsstärken (mindestens 200-300 lx am Auge) von einer weißen Lichtquelle erhalten, gefolgt von gedimmtem weißem Licht (20 lx bis 30 lx am Auge) bis zum Ende der Arbeitsschicht.
- während der gedimmten Lichtperiode gesättigtes rotes (640 nm) Licht von mindestens 40 lx bis 60 lx am Auge in Ruhebereichen oder an Arbeitsplätzen erhalten. Die Exposition gegenüber rotem Licht kann intermittierend während der Nacht verwendet werden, ähnlich wie bei einer Kaffeepause.
- während der gedimmten Lichtperiode Arbeitsplatzleuchten verwenden, um die Lichtstärke auf der Arbeitsebene zu erhöhen und für bestimmte, kritische Aufgaben, wie das Legen einer Infusion.
- auf dem Heimweg nach der Arbeit eine dunkle Sonnenbrille tragen, um zu verhindern, dass das Tageslicht die gewünschte Anpassung als „Nachteule“ beeinträchtigt.
- öffentliche Verkehrsmittel nehmen und nicht selbst nach Hause fahren, um zu vermeiden, dass sie hinter dem Steuer einschlafen.

Einige dieser Beleuchtungslösungen wurden unter kontrollierten Laborbedingungen getestet, müssen aber noch im Feld erprobt werden. Derzeit wird empfohlen, dass eine dynamische Umgebungsbeleuchtung, die sich in Farbe und Lichtniveau ändert, verwendet werden sollte, um das circadiane System zu unterstützen, zusammen mit einer speziellen Aufgabenbeleuchtung für kritische visuelle Aufgaben.“

5.3 Vorschlag für ein Szenario zum Erreichen einer Kompromiss-Phasenlage bei Dauernachtschicht

Smith, Mark R.; Eastman, Charmane I. (2012): Shift work: health, performance and safety problems, traditional countermeasures, and innovative management strategies to reduce circadian misalignment. In: Nature and science of sleep 4, S. 111–132

Eine Reihe von Studien [Smith2008a], [Smith2008b], [Smith2009a], [Smith2009b] hatte das Ziel, die Lage der circadianen Phase so zu verändern, dass sie zwischen einer vollständigen Anpassung an die Nachtarbeit und keiner Anpassung liegt. Dieser Kompromiss soll zu einer erhöhten Wachheit in der Nachtschicht und einem verbesserten

Schlaf danach führen und entspricht in etwa dem dritten Teil der Handlungsempfehlung aus Kapitel 5.2.

In [Smith2012] wird in Zusammenfassung der Studien ein Szenario vorgeschlagen, mit dem diese Kompromissphasenlage erreicht werden kann. Obwohl eine angepasste Beleuchtung während der Nachtschicht dabei wichtig ist, gibt es noch mehrere weitere Aspekte zu beachten, wie die Vorgabe eines Schlaf-Zeitplanes.

Das Erreichen der gewünschten Phasenlage erfolgt innerhalb der ersten 5 Nachtschichten und der folgenden beiden freien Tage (Bild 5). Die Lage der circadianen Phase wird hier durch den Zeitpunkt des Temperaturminimums beschrieben (rotes Dreieck im Bild 5). Ziel der Anpassung ist, diesen Zeitpunkt in die Schlafphase zu schieben (sowohl während der Arbeitsperioden als auch an den freien Tagen), da damit der bestmögliche Schlaf erreicht werden kann.

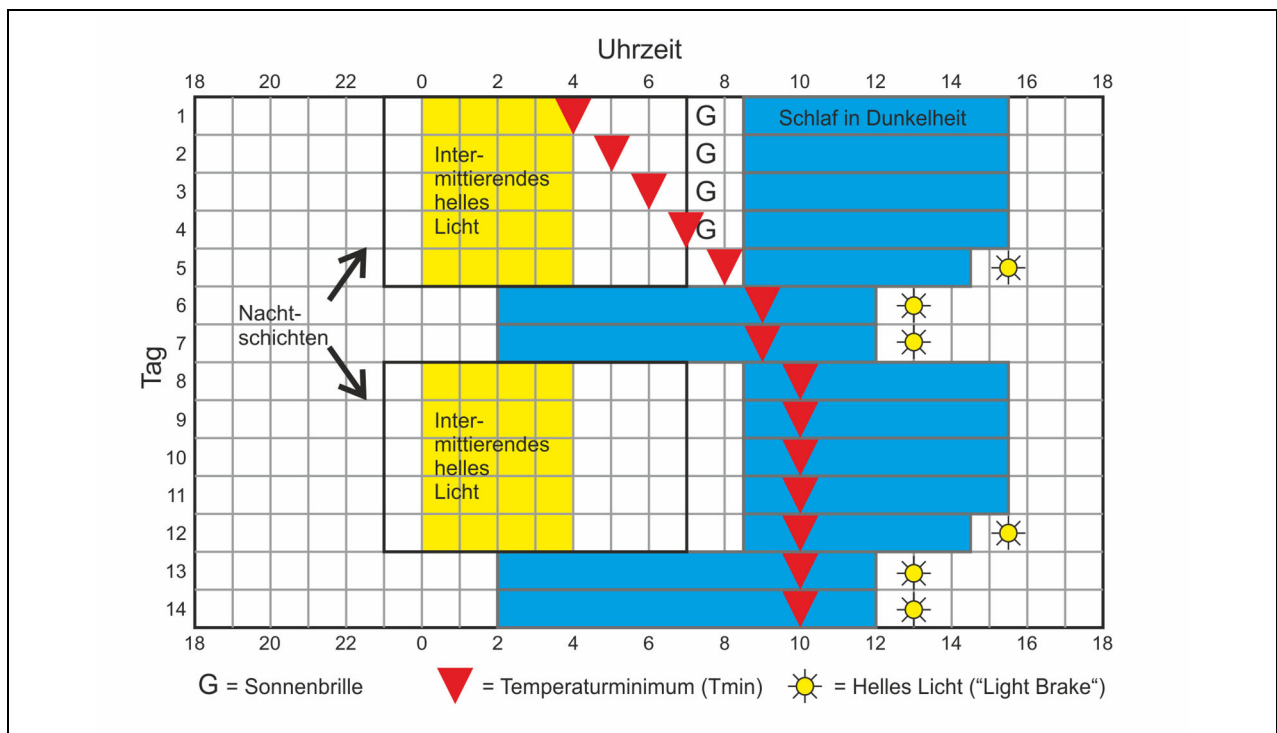


Bild 5: Zeitplan zur Herstellung einer Kompromiss-Phasenlage nach [Smith2012]

Während der Nachtschichten sollen die Beschäftigten besonders viel helles Licht erhalten, insbesondere zwischen Mitternacht und 4:00 Uhr. Das Licht soll heller als die üblichen 500 lx auf der Arbeitsfläche sein, je heller, desto besser. Großflächige Leuchten mit einer Farbtemperatur von 4000 K sind besonders geeignet. Höhere Farbtemperaturen zeigten keine signifikant größeren Phasenverschiebungen. Es können auch Lichtkästen zum Einsatz kommen.

Es zeigte sich, dass helles Licht den Zeitpunkt des Temperaturminimums um ca. 1 Stunde pro Tag verschieben kann. Wenn helles Licht nach dem Zeitpunkt des Temperaturminimums auftritt, wird es der Phasenverlängerung entgegenwirken. Daher sollen auf dem Heimweg Sonnenbrillen getragen werden (G im Bild 5). Das wird auch für die

Tage 8 bis 12 usw. empfohlen, da aufgrund großer individueller Unterschiede nicht genau bekannt ist, wo das Temperaturminimum aktuell liegt. Wenn der Heimweg nach dem Zeitpunkt des Temperaturminimums stattfindet (Tag 1 bis 5) sollten die Beschäftigten nicht selbst mit dem Auto fahren, da das aufgrund der bereits eingetretenen Müdigkeit gefährlich sein könnte. Nach Erreichen der Kompromissphasenlage sollte dieser Fall aber nicht mehr eintreten.

Ein Schlaf-Plan sieht vor, dass der Schlaf im dunklen Schlafzimmer möglichst bald nach Schichtende beginnen sollte. Die Schlafperiode sollte 7 Stunden betragen und am letzten Tag verkürzt werden, um dann abends früher müde zu werden. An freien Tagen sollte möglichst lange geschlafen werden.

Um die Phasenlage zu stabilisieren, wird für einige Tage nach der Schlafenszeit eine sogenannte Lichtbremse („Light Brake“, Sonnensymbol in Bild 5) vorgeschlagen. Dieses helle Licht kann durch einen Aufenthalt im Tageslicht oder durch eine Lichtbox realisiert werden.

Das gesamte Szenario ist so aufgebaut, dass phasenverlängernde und phasenverkürzende Effekte im Gleichgewicht sind und für eine stabile Phase sorgen. Dabei können die Zeitpunkte und Lichtmengen individuell unterschiedlich sein.

Eine Kompromissphasenlage kann auf ähnliche Weise auch für einen Wechsel zwischen Früh- und Spätschichten erreicht werden. Für ein langsam vorwärts rotierendes 3-Schicht-System ist eine Phasenverlängerung erreichbar. Für schnelle Wechsel gibt es keine Möglichkeit, die Fehlanpassung zu reduzieren, da sich die innere Uhr nicht schnell genug anpassen kann.

6 Zusammenfassung

6.1 Verschieben der circadianen Rhythmik

Die Anpassung circadianer Rhythmen an einen anderen Tag-Nacht-Rhythmus kann durch gezielte Lichtgaben erreicht werden. Dazu liegen sehr viele Studien vor, deren Angaben zu relevanten Parametern, wie z. B. Beleuchtungsstärke und Zeitverlauf, recht unterschiedlich sind. Gute Übereinstimmungen finden sich bei der Angabe, dass blaues Licht effektiver auf die Melatoninunterdrückung und Phasenverschiebung wirkt als Licht anderer Wellenlängen.

Vorteile:

Zahlreiche Studien zeigen, dass Personen, deren Rhythmus dem neuen Schlaf-Wach-Rhythmus teilweise angepasst ist, wacher sind und eine höhere Leistungsfähigkeit haben. Ebenso wird die Schlafdauer und -qualität des Tagschlafes erhöht und die Stimmung verbessert.

Nachteile:

Bei sorgfältiger Einstellung der Parameter kann eine Phasenverschiebung von nur 1 bis 3 Stunden pro Nacht erreicht werden, der Prozess braucht also relativ viel Zeit. Das tagorientierte Leben der Beschäftigten in der Freizeit wirkt der Phasenverschiebung entgegen. Eine Realisierung erfordert hohen organisatorischen Aufwand, der auch von den Beschäftigten aktiv mitgetragen werden muss und auch Auswirkungen auf die Organisation der Freizeit inklusive Wochenende hat.

Nicht sorgfältig geplante Lichtgaben, beispielsweise zum falschen Zeitpunkt, können den Rhythmus abschwächen. Der daraus resultierende niedrige Melatoninspiegel steht im Verdacht, krebsfördernd zu wirken. Mögliche negative Langzeiteffekte sind bisher nicht untersucht.

Schlussfolgerungen:

Aufgrund der Dauer der Anpassung ist es nicht sinnvoll, bei kurzen Schichtwechseln umzustellen. Eine gezielte Umstellung der circadianen Rhythmik für Dauernachtarbeit oder sehr langsame Schichtwechsel müssen auf jeden Fall mit medizinischer Kompetenz begleitet werden.

6.2 Aktivierung und Vermeidung der Rhythmusverschiebung

Es wurde eine große Anzahl an Studien recherchiert, die die Aktivierung der Beschäftigten während der Nachschicht betrachtet. Das Ziel ist dabei, die Beschäftigten zu aktivieren, ohne Melatonin zu unterdrücken und ohne eine Phasenverschiebung zu generieren. Es konnte gezeigt werden, dass das mit Licht, welches im Blaubereich reduziert ist, möglich ist. Meist zeigte sich bei der subjektiven Aufmerksamkeit kein Unterschied in der Wirkung von blaureduziertem Licht (warmweißem Licht) im Vergleich zu anderen Lichtfarben. Bei der Untersuchung objektiver Leistungsgrößen ergab sich jedoch kein

eindeutiges Bild. In Reviews und Meta-Studien wurde die Evidenz der Untersuchungen mehrheitlich gering eingeschätzt und weitere Forschung auf dem Gebiet gefordert, bis die Anwendung von blaureduziertem Licht in der Praxis empfohlen werden kann.

Vorteile:

Wenn keine Anpassung des circadianen Rhythmus vorgesehen ist, kann mit Licht dennoch die Aufmerksamkeit erhöht werden. Dies ist vor allem zum Zeitpunkt des Wachheits- und Leistungstiefs sinnvoll, wenn kritische bzw. risikoreiche Tätigkeiten ausgeführt werden. Zusätzlich kann durch gezielte Lichtgaben am Tag versucht werden den bestehenden Tag-Nacht-Rhythmus beispielsweise mit viel Licht um die Mittagszeit (idealerweise Spaziergang im Freien) zu stärken und so die Amplitude des Melatonin-Spiegels hoch zu halten.

Nachteile:

Prinzipiell ist es nur schwer möglich, Arbeitsplätze in der Nacht regelgerecht zu beleuchten, ohne den circadianen Rhythmus der Beschäftigten zu beeinflussen. In zwei Studien wurde gezeigt, dass stark blau reduziertes Licht das Farbunterscheidungsvermögen beeinträchtigen kann. Dauernde Aktivierung zum Zeitpunkt des Wachheits- und Leistungstiefs könnte zu gesundheitlichen Problemen führen.

Schlussfolgerungen:

Aufgrund fehlender detaillierter Erkenntnisse, kann derzeit nur empfohlen werden, für die Beleuchtung von Arbeitsplätzen in der Nacht warmweißes Licht mit regelgerechter Farbwiedergabe zu verwenden und die Beleuchtungsstärke nicht über die Normvorgaben hinaus zu vergrößern. Jedes Licht, was nicht für die Erledigung der Sehaufgabe notwendig ist, sollte vermieden werden. Dazu gehört auch eine großflächige Aufhellung der Raumbegrenzungsflächen.

Sind für die Sehaufgabe und eine notwendige Aktivierung mehr Licht erforderlich, sollte auf keinen Fall kaltweißes oder blau angereichertes Licht verwendet werden.

7 Nicht-visuelle Lichtwirkungen in Regeln, normativen Vorgaben und Empfehlungen

7.1 CIE 158:2009 Ocular Lighting Effects on Human Physiology and Behaviour

In der CIE 158:2009 werden Erkenntnisse von nicht-visuellen Lichtwirkungen auf Menschen und Tiere zusammengefasst, die Grundlage für das Verständnis für die Wirkmechanismen und Einflussgrößen sind. Berichtet wird von der Lichttherapie zur Behandlung einiger klinischer Störungen und möglichen Anwendungen bei Problemen mit Schichtarbeit und Jetlag. Die Schrift ist Grundlage für das Verständnis von Lichtqualität bei der Beleuchtung, die sowohl für das Sehen als auch für physiologische und psychologische Stimulationen optimal sind.

Empfehlungen für die Nachtschicht:

- Helles Licht in der Nacht wirkt sich unmittelbar auf die Leistungsfähigkeit aus und kann eine Phasenverschiebung der circadianen Rhythmik unterstützen. Dies kann Vorteile für die Gesundheit bieten und Fehler sowie Unfälle vermeiden helfen. Eine anhaltend helle Beleuchtung während der gesamten Nachtschicht wird dabei nicht als notwendig erachtet. Vielmehr wird von der Phasenverschiebung hin zu einem späteren Zeitpunkt durch die Wirkung von hellem Licht vor dem Zeitpunkt der minimalen Körperkerntemperatur ausgegangen.
- Die erforderliche Lichtintensität, die Dauer und der Zeitpunkt für die helle Beleuchtung in der Nacht waren dabei noch offene Fragestellungen.
- Es wird von einer an den Schichttyp angepassten Beleuchtung ausgegangen und stellt klar, dass die Lichtexposition am Auge die Wirkung bestimmt.

7.2 E DIN/TS 5031-100:2020-05 Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik - Teil 100: Über das Auge vermittelte, melanopische Wirkung des Lichts auf den Menschen

Die E DIN/TS 5031-100 wurde vom DIN-Normenausschuss Lichttechnik im Arbeitsausschuss 27 Wirkung des Lichts auf den Menschen (FNL 27) erarbeitet und erschien bereits 2009 als Vornorm DIN V 5031-100:2009-06. Dieses Dokument legt die spektrale Bewertung der optischen Strahlung im sichtbaren Bereich zur Beurteilung von melanopischen Lichtwirkungen fest und definiert Begriffe und Größen. Damit wurde die Basis für eine einheitliche Bewertung von Lichtquellen und Beleuchtungssituationen geschaffen. Zudem wurden Regelungen festgelegt, die eine vollständige Beschreibung der Lichtexposition von Personen in wissenschaftlichen Experimenten und in Praxisanwendungen ermöglichen. Dies ist wichtig für den Vergleich und die Bewertung wissenschaftlicher Ergebnisse

in der letzten Fassung wurden eine Korrekturfunktion für die Berücksichtigung der altersabhängigen Linsentransmission nach CIE 203:2012 neu festgelegt sowie zusätzlich Effekte von Materialien auf nicht-visuelle Lichtwirkungen beschrieben.

7.3 DIN SPEC 67600:2013-04 Biologisch wirksame Beleuchtung - Planungsempfehlungen

Der Fachbericht DIN SPEC 67600:2013-04 Biologisch wirksame Beleuchtung - Planungsempfehlungen wurde vom FNL 27 nach dem Fachbericht-Verfahren erarbeitet. Dieses Dokument fasst Erkenntnisse zur Thematik zusammen und beinhaltet Planungsempfehlungen für Lichtenwendungen.

Empfehlungen für die Nachtschicht:

Für die Nachtschichtarbeit werden zwei Konzepte beschrieben:

- Verschiebung der circadianen Phase
- Stabilisierung der Phase mit Aktivierung in kritischen Situationen

Verschiebung der circadianen Phase bei lang andauernden Nachtschichtphasen:

- Zu Schichtbeginn: hohe Werte für Farbtemperatur und Beleuchtungsstärke am Auge mit großflächigen Leuchten im oberen Gesichtsfeld in Zeiten vor dem Minimum der Körperkerntemperatur, Anpassung mit Dauer der Nachtschicht
- Zum Schichtende: niedrige Werte für Farbtemperatur und Beleuchtungsstärke am Auge, zusätzlich Gelbbrillen auf dem Weg nach Hause und Dunkelheit während der Schlafphase am Tag

Stabilisierung der Phase mit Aktivierung in kritischen Situationen bei Nachtarbeit an wenigen Tagen:

- Maximale Beleuchtungsstärke an Sehaufgabe angepasst, niedrige Farbtemperatur
- Zur punktuellen Aktivierung: Beleuchtungsstärke am Auge ≥ 300 lx
- Tageslicht am Morgen, hohe Werte für Farbtemperatur und Beleuchtungsstärke am Auge

Aktuell befindet sich das Dokument in der Überarbeitung und wird voraussichtlich als Technischer Report DIN/TR 67600 Nicht-visuell wirksame Beleuchtung – Kriterien für die Lichtplanung und Lichtenwendung voraussichtlich 2021 veröffentlicht. Die allgemeinen Hinweise stimmen mit den Empfehlungen aus der Vorgängerversion überein, jedoch werden die Empfehlungen umformuliert in Ursache-Wirkungs-Beschreibungen. Die oben genannten Zahlenwerte für Beleuchtungsstärken werden nicht mehr enthalten sein. Es wird darauf hingewiesen, dass eine sorgfältige Abwägung im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung notwendig ist. Auf weiterführende Hinweise in der DGUV Information 215-220: 2018 wird verwiesen.

7.4 DGUV Information 215-220:2018-09 Nichtvisuelle Wirkungen von Licht auf den Menschen

Die hier getroffenen Hinweise und Empfehlungen für Arbeit in der Nachtschicht (ohne Dauernachtschicht) sollen negativen Auswirkungen von Licht in der Nacht entgegenwirken. Diese sind bei der Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigen.

Spektrum und Lichtverteilung: Um die innere Uhr und den Tagschlaf nach der Nachtschicht möglichst wenig zu stören, müssen während der Nachtschicht helles Licht oder Licht mit hohen Blauanteilen vermieden werden. Das Licht sollte in dieser Zeit primär die für die Sehaufgabe relevante Arbeitsflächen beleuchten und nicht direkt ins Auge fallen. Der direkte Blick in die Lichtquelle und auf sehr hell beleuchtete Flächen sollte vermieden werden.

Abschalten nicht benötigter Lichtquellen: Grundsätzlich muss das für die Arbeit benötigte Licht auch nachts zur Verfügung stehen. Nicht benötigte Lichtquellen sollten abgeschaltet oder gedimmt werden. Wenn ein Abschalten oder Dimmen nicht möglich ist und die Arbeitsaufgabe es zulässt, sollte die Blickrichtung oder die Position des Arbeitenden so verändert werden, dass der Abstand zwischen Auge und Lichtquelle so groß wie möglich ist. Es muss aber beachtet werden, dass bei Arbeiten in der Nacht das Licht auch der Übersicht über das gesamte Arbeitsumfeld dient. Ebenso ist zu berücksichtigen, dass Dunkelheit in großen Bereichen auch zu Beklommenheit oder Angst führen kann.

Nutzung von Endgeräten: Bei Arbeit am Computer, Tablet oder Smartphone sollten am Abend und in der Nacht spezielle Blaulichtfilter-Programme (z. B. flux, Night Shift oder weitere herstellerspezifische Blaulichtfilter-Apps) genutzt werden. Solche Software sorgt für eine automatische Anpassung der Farbtemperatur des Bildschirms für die Zeiten, in denen blaue Lichtanteile vermieden werden sollen. Die Nutzung solcher Software ist vor allem dann sinnvoll, wenn die Arbeitsaufgabe es zulässt, z. B. wenn sie keine speziellen Anforderungen an die Farbqualität stellt. Für die Installation muss in der Regel die IT-Abteilung des Unternehmens die Voraussetzungen schaffen.

Arbeitspausen: Für die Pausen gelten dieselben Hinweise und Empfehlungen wie für die Arbeitszeit.

Aktivierung durch Licht: Für Tätigkeiten, die besonders risikobehaftet sind oder erhöhte Aufmerksamkeit erfordern, kann auch in der Nacht helles Licht und/oder Licht mit hohen Blauanteilen eingesetzt werden, um Wachheit und Aufmerksamkeit zu fördern. Insbesondere hier ist eine Gefährdungsbeurteilung maßgeblich, um diese Maßnahme zu rechtfertigen.

Schichtende und Nachhauseweg: Wenn zum Ende der Nachtschicht oder auf dem Nachhauseweg bereits Tageslicht vorherrscht, kann dieses den anschließenden Schlaf stören. In diesen Fällen kann ein Schutz vor Tageslicht z. B. durch Jalousien oder blau-

lichtreduzierende (orangefarbene) Brillen sinnvoll sein. Wenn am Ende der Nachtschicht die Müdigkeit besonders hoch ist, kann das Tragen einer solchen Brille jedoch zu einem erhöhten Risiko insbesondere im Straßenverkehr führen.

Bereitschaftsdienst: Grundsätzlich sollte immer in dunklen, ruhigen und kühlen Zimmern geschlafen werden. Dies gilt auch für den Schlaf nach der Nachtschicht oder während des Bereitschaftsdienstes am Dienort.

7.5 CIE 218: 2016 Research Roadmap for Healthful Interior Lighting Applications

Vom Technischen Komitee der CIE TC3-46 wurde ein Forschungsplan erarbeitet, um evidenzbasierte Empfehlungen für eine gesundheitsförderliche Beleuchtung zu entwickeln. Auf der Grundlage der CIE 158:2004/2009 fasst der Report den Wissensstand zusammen, zeigt Lücken im Verständnis auf und macht den Forschungsbedarf zur Thematik deutlich. Es ist Konsens, dass konkrete Empfehlungen für die Nachtschicht bisher nur allgemein möglich sind, weil wichtige Zusammenhänge für die Einstellung des circadianen Rhythmus als auch für Effekte auf zugrundeliegende Prozesse wie Wachsamkeit, Aufmerksamkeit, Kognition, Stimmung, soziales Verhalten, Schlaf und Stoffwechsel bisher nicht schlüssig erklärt werden können.

7.6 Empfehlung des Ausschusses für Arbeitsstätten (ASTA) - Künstliche biologisch wirksame Beleuchtung in Arbeitsstätten:2018-11

Der Ausschuss für Arbeitsstätten (ASTA), der im Auftrag des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales arbeitet, kommt zu dem Schluss, dass aus den aktuell vorliegenden Forschungsergebnissen zu biologischen Lichtwirkungen noch keine konkreten quantitativen Festlegungen für Arbeitsschutzregeln abgeleitet werden können. Gleichwohl sind einige Zusammenhänge hinreichend belegt, um qualitative Empfehlungen für Arbeitsstätten geben zu können.

Bei **Nachtarbeit** können bereits im Rahmen bestehender Beleuchtungskonzepte unerwünschte biologische Wirkungen eintreten, wobei langfristige negative Folgen für die Gesundheit nicht ausgeschlossen werden können. Kritisch sind hohe Beleuchtungsstärken am Auge insbesondere, wenn diese mit Lichtfarben hoher ähnlichster Farbtemperatur verbunden sind. Diese führen zu einer Aktivierung, die am späten Abend oder in der Nacht mit einer Störung der inneren Uhr mit möglichen negativen Folgen für die Gesundheit verbunden sein kann. Für das Sehen erforderliche Beleuchtungsstärken sollten in der Nacht eher mit warmen bis neutralweißen Lichtfarben realisiert werden. Daher wird empfohlen, in der Nacht Licht mit einer Farbtemperatur von weniger als 4100 K zu verwenden. Von einer dauernden Beleuchtung durch kalte Lichtfarben hoher Beleuchtungsstärke sollte abgesehen werden.

7.7 CIE Position Statement on Non-Visual Effects of Light: RECOMMENDING PROPER LIGHT AT THE PROPER TIME 2nd Edition 2019-10

Die CIE arbeitet aktiv daran, Leitlinien zur zeitlichen Auslegung der passenden Beleuchtung zu erstellen, die auf soliden wissenschaftlichen Erkenntnissen und einem Konsens beruhen. Die CIE und das Technische Komitee ISO/TC 274 entwickeln den ersten internationalen konsensbasierten technischen Bericht über integrative Beleuchtung (ISO/CIE TR 21783 Light and lighting - Integrative lighting - Non-visual effects, aktuell in Vorbereitung), in dem sowohl die potenziellen positiven Auswirkungen der Beleuchtung als auch die möglichen Risiken, die es zu vermeiden gilt, aufgeführt werden.

Darüber hinaus diskutierten führende Wissenschaftler im August 2019 in Manchester in einem zweiten unabhängigen Workshop zu nicht-visuellen Lichtwirkungen, wie die Erkenntnisse in diesem Bereich in Richtlinien für ein gesundes tägliches Lichtexpositionsmuster umgesetzt werden können. Eine Konsens-Publikation zu den Ergebnissen des Workshops wird derzeit von den Workshop-Teilnehmern vorbereitet und soll von einer CIE Technical Note gefolgt werden, die detailliert über den Workshop berichtet.

8 Übersicht über die recherchierten Studien

Im Folgenden werden die recherchierten Studien kurz zusammengefasst. Die Darstellung erfolgt in vier Abschnitten: Ziel, Testpersonen und Interventionen, Messgrößen, Ergebnisse.

Verwendete Abkürzungen:

KSS: Karolinska Sleepiness Scale, Fragebogen zur Ermittlung der subjektiven Müdigkeit

SSS: Stanford Sleepiness Scale, Fragebogen zur Ermittlung der subjektiven Müdigkeit

PVT: Psychomotor Vigilance Task, Aufgabe zur objektiven Messung der Wachsamkeit

DLMO: Dim Light Melatonin Onset, Beginn des nächtlichen Melatoninanstiegs, Kenngröße zur Bestimmung der individuellen Phasenlage des circadianen Rhythmus

Bjorvatn, Bjørn; Pallesen, Ståle; Waage, Siri; Thun, Eirunn; Blytt, Kjersti M. (2020): The effects of bright light treatment on subjective and objective sleepiness during three consecutive night shifts among hospital nurses - a counter-balanced placebo-controlled crossover study

Ziel war es, die Auswirkungen einer zeitlich begrenzten hellen Lichtbehandlung auf subjektive und objektive Maße der Müdigkeit während drei aufeinanderfolgenden Nachtschichten bei Krankenschwestern zu untersuchen. Verglichen wurden weißes und rotes Licht.

n = 35, Cross-over-Design

an je drei aufeinanderfolgende Nachtschichten

10000 lx (weißes Licht, 4000 K) aus einer Lichtbox versus 100 lx (rotes Licht) aus der selben Lichtbox

Dauer je 30 Minuten

Nacht 1: zwischen 02:00-03:00 Uhr

Nacht 2: zwischen 03:00-04:00 Uhr

Nacht 3: zwischen 04:00-05:00 Uhr

KSS, PVT

Die Behandlung mit hellem weißem Licht reduzierte signifikant schwere Augenlider. Die Ergebnisse des KSS und PVT wurden durch helles Licht jedoch nicht beeinflusst. Es gab keine Unterschiede in der subjektiven Müdigkeit während der drei Tage nach den Nachtschichten.

Boivin, Diane B.; Boudreau, Philippe; Tremblay, Geneviève M. (2012a): Phototherapy and orange-tinted goggles for night-shift adaptation of police officers on patrol.

Das Ziel der Feld- und Laborstudie war es, die circadiane Anpassung (Verschiebung gegenüber Tagschicht) bei zwei Gruppen von Polizeibeamten im Streifendienst zu untersuchen.

Interventionsgruppe (n = 8): 7 Nachtschichten
intermittierenden Exposition gegenüber hellem Licht in den ersten 6 Stunden der Nacht
(mit Therapieleuchte Litebook)
orangefarbene Brille bei Sonnenaufgang
Beibehaltung einer regelmäßigen Schlaf-/Dunkelheitsepisode am Tag
Kontrollgruppe (n = 9)

Melatoninmessungen, PVT, subjektive Aufmerksamkeit

Eine signifikante Phasenverschiebung des Speichelmelatonins wurde in beiden Gruppen am Ende der Studie beobachtet, obwohl kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen erreicht wurde. Die Reaktionsgeschwindigkeit und die subjektive Aufmerksamkeit nahmen in beiden Gruppen signifikant ab. Die Reaktionsgeschwindigkeit nahm während der gesamten Arbeitswoche in der Kontrollgruppe signifikant ab, während in der Interventionsgruppe kein Unterschied beobachtet wurde. Die Beobachtungen deuten auf eine bessere physiologische Adaptation an die Nachtschicht in der Interventionsgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe hin.

Boivin, Diane B.; Boudreau, Philippe; James, Francine O.; Kin, N. M. K. Ng Ying (2012b): Photic resetting in night-shift work: impact on nurses' sleep. In: Chronobiology international 29 (5), S. 619–628. DOI: 10.3109/07420528.2012.675257.

Das Ziel dieser Studie war die Quantifizierung des Tagesschlafs bei Nachtschichtarbeitern mit und ohne eine Intervention, die darauf abzielt, den normalen Rhythmus wiederherzustellen.

Kontrollgruppe (n = 8)
Interventionsgruppe (n = 9): 3243 +/-2274 lx (intermittierend) in den ersten 6 Stunden der Nachtschicht
Vollspektrum-Therapieleuchten
abdunkelnde Brillen auf dem Heimweg
vorgegebene 8-Stunden-Schlaf-/Dunkelzeitpläne

Melatonin-Messungen, Schlaf-Parameter

Die Probanden der Interventionsgruppe hatten signifikant längere Schlaf-Episoden im Vergleich zur Kontrollgruppe. Der Anstieg der Gesamtschlafzeit ging mit einem größeren Anteil der Melatoninausschüttung während des Tagesschlafs bei der Interventionsgruppe einher. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass die Rhythmusanpassung längere Schlafepisoden am Tag begünstigt.

Boudreau, Philippe; Dumont, Guy A.; Boivin, Diane B. (2013): Circadian adaptation to night shift work influences sleep, performance, mood and the autonomic modulation of the heart.

Das Ziel war es zu untersuchen, wie die circadiane Anpassung an Nachtschichtarbeit die psychomotorische Leistung, den Schlaf, die subjektive Aufmerksamkeit, die Stimmung, den Melatoninspiegel und die Herzfrequenzvariabilität (HRV) beeinflusst. Es handelt es sich um eine Re-Analyse von Daten der Studie Boivin2012a. In der weiteren Auswertung wurde Probanden-Daten nach ihrem Grad der circadianen Anpassung an die Nachtschicht gruppiert. Die Teilnehmer wurden als an die Nachtschichtarbeit „angepasst“ betrachtet, wenn ihre Speichermelatonin-Spitzenwert während der Tagesschlafperiode auftrat.

Die circadiane Anpassung an die Nachtschichtarbeit führte zu besserer Leistung, Aufmerksamkeit und Stimmungslage und längerem Tagesschlaf und geringerer Sympathikus-Dominanz während des Tagesschlafs. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass der Grad der circadianen Anpassung an die Nachtschichtarbeit mit verschiedenen Gesundheitsindizes verbunden ist.

Canazei, Markus; Pohl, Wilfried; Bliem, Harald R.; Weiss, Elisabeth M. (2017): Acute effects of different light spectra on simulated night-shift work without circadian alignment.

In der vorliegenden Studie wurden akute Effekte weißer Lichtquellen mit unterschiedlich reduzierten Anteilen kurzer Wellenlängen auf die kognitive und visuelle Leistungsfähigkeit, die Stimmung und die Herzleistung untersucht.

n = 31, Cross-over-Design

Normgerechte Beleuchtung 501 lx horizontal, 149 lx vertikal in 1,20m Höhe

3 Szenen mit unterschiedlich großem Blauanteil (4667 K, 3366 K, 2166 K)

PVT, German-language multidimensional mood questionnaire (MDBF)

Visuelle Leistung (Farnsworth–Munsell 100 hue Test und Character Comparison Test)

Herzrate, Herzratenvariabilitäts-Parameter

Die Exposition bei dem Lichtspektrum mit 2166 K reduzierte die Herzfrequenz und erhöhte die Herz-Parameter während der Nacht im Vergleich zu den anderen Lichtspektren ohne nachteilige Auswirkungen auf die anhaltende Aufmerksamkeit, das Arbeitsgedächtnis und die subjektive Aufmerksamkeit. Darüber hinaus war das Farbumscheidungsvermögen unter dieser Lichtquelle signifikant vermindert.

Es konnte jedoch kein Einfluss der drei verschiedenen polychromatischen Weißlichtspektren auf die nächtliche Aufmerksamkeit, Verarbeitungsgeschwindigkeit und subjektive Aufmerksamkeit bei normalem Raumlicht gezeigt werden.

Chang, Anne-Marie; Santhi, Nayantara; St Hilaire, Melissa; Gronfier, Claude; Bradstreet, Dayna S.; Duffy, Jeanne F. et al. (2012): Human responses to bright light of different durations.

Studie zur Dauer-Wirkungs-Beziehung von phasenverzögerndem hellem Licht.

9-tägige stationäre Studie.

Baseline-Tage zur Phasenbestimmung

heller Lichtimpuls (~10.000 Lux) verschiedener Dauer aus Deckenbeleuchtung

0,2 h (n = 9),

1,0 h (n = 10),

2,5 h (n = 10)

4,0 h (n = 10) während einer 4,5-stündigen Episode an zwei aufeinander folgenden Tagen

Melatoninmessung zur Bestimmung der Phasenverschiebungen

Die Exposition mit unterschiedlich langandauerndem hellem Licht setzte den circadianen Schrittmacher in einer dosisabhängigen, nicht-linearen Weise zurück. Pro Minute der Exposition war die 0,2-stündige Dauer mehr als 5 mal effektiver bei der Phasenverzögerung des circadianen Schrittmachers im Vergleich zur 4,0-stündigen Dauer. Die akute Melatoninunterdrückung und die subjektive Müdigkeit zeigten ebenfalls eine dosisabhängige Reaktion auf die Dauer der Lichtexposition.

Chapdelaine, Simon; Paquet, Jean; Dumont, Marie (2012): Effects of partial circadian adjustments on sleep and vigilance quality during simulated night work.

In dieser Studie wurden die Auswirkungen kleiner, aber statistisch signifikanter partieller circadianer Anpassungen auf die Schlafqualität und die Wachsamkeit in einer Laborstudie untersucht um festzustellen, welche partielle circadianen Anpassung notwendig ist, um die Schlafqualität und die Wachsamkeit zu verbessern. (siehe auch [Dumont2009])

2 Tagschichten, gefolgt von 4 aufeinanderfolgenden Nachtschichten

3 Gruppen

konstante Phase (Kontroll-Gruppe, n = 13)

Phasenverlängerung (Delay-Gruppe, n = 12) 400 lx 8:00 – 9:00 Uhr und Sonnenbrille

Phasenverkürzung (Advance-Gruppe, n = 13) 1800 lx 8:00 – 9:00 Uhr

Nachtbeleuchtung 50 lx in allen 3 Gruppen

KSS, PVT, EEG, Melatoninmessung

Die Auswirkungen der teilweisen circadianen Anpassungen auf Schlaf und Wachsamkeit waren geringer als erwartet, zeigten aber dennoch ein geringeres Schlafdefizit in der Delay-Gruppe und eine verbesserte subjektive Aufmerksamkeit und Stimmung während der Nachtarbeit in der Advance-Gruppe, ohne dass es nachteilige Auswirkungen auf die Schlafqualität am Tag hat. Circadiane Phasenverschiebungen, Advance oder

Delay, waren mit einer verbesserten subjektiven Aufmerksamkeit und Stimmung während der Nachtschicht verbunden. Eine partielle circadiane Anpassung, sowohl durch Phasenverkürzung als auch durch Phasenverzögerung, hat großes Potenzial, Nachtarbeitern zu helfen.

Chellappa, Sarah Laxhmi; Steiner, Roland; Blattner, Peter; Oelhafen, Peter; Götz, Thomas; Cajochen, Christian (2011): Non-visual effects of light on melatonin, alertness and cognitive performance: can blue-enriched light keep us alert?

Es wurde untersucht, ob handelsübliche Kompaktleuchtstofflampen mit unterschiedlichen Farbtemperaturen einen Einfluss auf die Aufmerksamkeit und kognitive Leistungsfähigkeit haben.

n = 16, Cross-over-Design mit Lichtexposition von 3 verschiedenen Lichteinstellungen
Kompaktleuchtstofflampen: 40 Lux bei 6500K
Kompaktleuchtstofflampen: 40 Lux bei 2500K
Glühlampen: 40 Lux bei 3000K
während 2 h am Abend

PVT, GO/NOGO Task, KSS, Melatoninmessungen, Visual Comfort Scale (VCS)

Die Exposition bei Licht mit 6500K induzierte eine stärkere Melatoninunterdrückung, zusammen mit erhöhter subjektiver Aufmerksamkeit, Wohlbefinden und visuellem Komfort. In Bezug auf die kognitive Leistung führte Licht bei 6500K zu signifikant schnelleren Reaktionszeiten bei Aufgaben, die mit anhaltender Aufmerksamkeit assoziiert sind aber nicht bei Aufgaben, die mit der exekutiven Funktion assoziiert sind. Diese kognitive Verbesserung stand in engem Zusammenhang mit verminderten Melatoninspiegeln im Speichel, insbesondere für die Lichtbedingung bei 6500K.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Sensitivität der menschlichen Aufmerksamkeit und der kognitiven Reaktion auf polychromatisches Licht bei Werten von nur 40 Lux im Vergleich zum photopischen System blau verschoben ist. Somit hat die Auswahl von handelsüblichen Kompaktleuchtstofflampen mit unterschiedlichen Farbtemperaturen einen signifikanten Einfluss auf die circadiane Physiologie und die kognitive Leistung zu Hause und am Arbeitsplatz.

Chinoy, Evan D.; Harris, Michael P.; Kim, Min Ju; Wang, Wei; Duffy, Jeanne F. (2016): Scheduled evening sleep and enhanced lighting improve adaptation to night shift work in older adults.

Mit einem simuliertes Schichtarbeitsprotokoll wurden die Hypothese getestet, dass bei älteren Erwachsenen eine schlaf- und rhythmusbasierte Licht-Behandlung in der zweiten Hälfte der Nachtschichten die Aufmerksamkeit und Leistungsfähigkeit verbessern, die Schlafdauer nach den Nachtschichten verlängern und zu signifikanten Verschiebungen der circadianen Phase führen würde.

3 Nachtschichten, Vor- und Nachbeobachtung, 8 Stunden Schlaf ab 13:00 Uhr
Intervention (n = 9): 2209 ± 342 lx, 4100 K in der Zeit von 03:00–07:00 Uhr
Kontrollgruppe (n = 9): typische Beleuchtung

KSS, PVT, Schlafdauer (Aktigraphie) , circadianes Timing (DLMO)

Die kombinierte Behandlung mit geplantem Abendschlaf und verbesserter Beleuchtung verlängerte die Schlafdauer und glich die circadiane Phase teilweise an die Schlaf- und Arbeitszeiten an, was zu einer verbesserten Aufmerksamkeit und Leistung in der Nachtschicht führte.

Cuesta, Marc; Boudreau, Philippe; Cermakian, Nicolas; Boivin, Diane B. (2017): Rapid resetting of human peripheral clocks by phototherapy during simulated night shift work.

Das Ziel der Studie war es, die Effekte einer heller Lichtexposition während der Nacht sowohl auf zentrale als auch auf periphere Uhrenmarker bei Probanden zu quantifizieren.

Kontrollgruppe (n = 9): gedimmtes Licht

helles Licht (n = 9): 6500 lx, Details sind nicht angegeben

Messung von Melatonin und Cortisol, sowie weiterer Marker

Drei Zyklen von 8-stündigem hellem Licht induzierten signifikante Phasenverzögerungen.

Dumont, Marie; Blais, Hélène; Roy, Joanie; Paquet, Jean (2009): Controlled patterns of daytime light exposure improve circadian adjustment in simulated night work.

Die Autoren beschrieben zuvor unterschiedliche Lichtexpositionsmuster bei Nachtschwestern mit und ohne circadiane Anpassung. In der vorliegenden Studie wurden die Hauptmerkmale dieser Muster verwendet, um Lichtexpositionsprofile für den Tag zu entwerfen. Die Profile wurden dann in einer Laborsimulation von Nachtarbeit getestet, um ihre Wirksamkeit bei der Reduzierung der circadianen Fehlanpassung bei Nacharbeitern zu bewerten. (siehe [Chapdelaine2012])

2 Tagschichten, gefolgt von 4 aufeinanderfolgenden Nachtschichten

konstante Phase (Kontroll-Gruppe, n = 13)

Phasenverlängerung (Delay-Gruppe, n = 12) 400 lx 8:00 – 9:00 Uhr und Sonnenbrille

Phasenverkürzung (Advance-Gruppe, n = 13) 1800 lx 8:00 – 9:00 Uhr

Nachtbeleuchtung 50 lx in allen 3 Gruppen

Melatonin-Messungen

Der DLMO zeigte eine signifikante Phasenverkürzung von 2,3 h (± 1,3 h) in der Advance-Gruppe und eine signifikante Phasenverlängerung von 4,1 h (± 1,3 h) in der

Delay-Gruppe. Die Kontrollgruppe zeigte eine kleinere, aber signifikante Phasenverzögerung von 1,7 h (\pm 1,6 h).

Diese Ergebnisse zeigen, dass signifikante Phasenverschiebungen bei Nachtarbeitern durch die Kontrolle der Lichtexposition am Tag erreicht werden können, ohne dass eine Intervention in der Nacht erfolgt.

Dumont, Marie; Paquet, Jean (2014): Progressive decrease of melatonin production over consecutive days of simulated night work.

Hier wurden die Auswirkung von Nachtarbeit auf die nächtliche und 24-Stunden-Melatoninproduktion bestimmt. (Daten aus [Chapdelaine2012] und [Dumont2009])

2 Tagschichten, gefolgt von 4 aufeinanderfolgenden Nachtschichten

3 Gruppen

konstante Phase (Kontroll-Gruppe, n = 13)

Phasenverzögerung (Delay-Gruppe, n = 12) 400 lx 8:00 – 9:00 Uhr und Sonnenbrille

Phasenverkürzung (Advance-Gruppe, n = 13) 1800 lx 8:00 – 9:00 Uhr

Nachtbeleuchtung 50 lx in allen 3 Gruppen

Melatoninmessungen

Die Ergebnisse zeigten, dass die Melatoninproduktion an aufeinanderfolgenden Tagen mit simulierter Nachtarbeit progressiv abnahm, sowohl während der Nachtzeit als auch über die 24 h. Es gab keinen Unterschied zwischen den drei Gruppen, und das Ausmaß der Abnahme der Melatoninproduktion für die Nachtzeit und für die 24 Stunden war nicht mit dem Ausmaß der absoluten circadianen Phasenverschiebung verbunden. Da die Lichtintensität relativ gering war und die Abnahme der Melatonin-Produktion progressiv verlief, war die direkte Unterdrückung durch die nächtliche Lichtexposition wahrscheinlich kein bedeutender Faktor. Nach früheren experimentellen Beobachtungen spiegelt die Abnahme der Melatonin-Produktion jedoch höchstwahrscheinlich die circadiane Störung wider, die mit dem Prozess des Re-Entrainments verbunden ist. Es bleibt zu klären, ob eine verminderte Melatoninproduktion an sich schädlich sein kann, aber eine langfristige und wiederholte circadiane Störung ist es höchstwahrscheinlich.

Figueiro, Mariana G.; Bierman, Andrew; Plitnick, Barbara; Rea, Mark S. (2009): Preliminary evidence that both blue and red light can induce alertness at night.

Das Experiment wurde durchgeführt, um den Einfluss von blauem und rotem Licht in zwei verschiedenen Stufen auf die nächtliche Aufmerksamkeit zu untersuchen. Das rote Licht war visuell wirksam, aber für die Stimulation des circadianen Systems unwirksam.

Cross-over-Design

n = 14, Zwei-Nächte-Studie

4 Lichtbedingungen, realisiert mit Lichtboxen, je 45 Minuten

Beleuchtungsstärke am Auge: 10 und 40 lx

Wellenlängen: 470 nm und 630 nm

Vor jeder Lichtbedingung blieben die Probanden 60 Minuten lang im Dunkeln ($< 1 \text{ lx}$)

EEG, EKG, PVT, KSS, Speichel-Melatonin

Die Exposition bei rotem und blauem Licht führte zu einer erhöhten Beta- und reduzierten Alpha-Leistung im Vergleich zu den vorangegangenen dunklen Bedingungen. Expositionen bei hohen, aber nicht bei niedrigen Werten von rotem und blauem Licht erhöhten signifikant die Herzfrequenz im Vergleich zur dunklen Bedingung. Die Leistungs- und Müdigkeitsbewertungen wurden durch die Lichtbedingungen nicht stark beeinflusst. Nur der höhere Anteil an blauem Licht führte zu einer Reduzierung des Melatonin-Spiegels im Vergleich zu den anderen Lichtbedingungen.

Diese Ergebnisse unterstützen frühere Befunde, dass die Aufmerksamkeit durch das circadiane System vermittelt werden kann, aber es scheint nicht der einzige lichtempfindliche Pfad zu sein, der die Aufmerksamkeit in der Nacht beeinflussen kann.

Figueiro, Mariana G.; Rea, Mark S. (2010): The effects of red and blue lights on circadian variations in cortisol, alpha amylase, and melatonin.

Das primäre Ziel der Studie war es, unser Verständnis der Auswirkungen von Lichtexpositionen auf das endokrine und autonome System zu erweitern.

$n = 12$, Cross-over-Design

1 Stunde 40 lx an der Hornhaut aus einer Lichtbox

alle 3 Stunden während 27 Stunden

Rotes Licht 625 nm

Blaues Licht 470 nm

Kontroll-Bedingung: $E < 3 \text{ lx}$

Cortisol-, Alpha-Amylase- und Melatonin-Messung

Die Ergebnisse zeigten, dass, wie erwartet, nur das blaue Licht das nächtliche Melatonin reduzierte. Im Gegensatz dazu beeinflussten sowohl blaues als auch rotes Licht den Cortisol-Spiegel und, wenn auch weniger deutlich, auch den Alpha-Amylase-Spiegel. Die vorliegenden Daten werfen die Frage auf, ob der nicht-visuelle Weg, der die nächtliche Melatoninunterdrückung vermittelt, derselbe ist wie der, der andere Reaktionen auf Licht vermittelt, die vom endokrinen und autonomen Nervensystem gezeigt werden.

Figueiro, M. G.; Nonaka, S.; Rea, M. S. (2014): Daylight exposure has a positive carryover effect on nighttime performance and subjective sleepiness.

In zwei Studien wurden die Effekte von Tageslicht auf die Leistung und die Selbsteinschätzung der Müdigkeit untersucht.

Die Effekte von Tageslicht und Dunkelheit wurden unabhängig von den Effekten der gleichzeitigen periodischen, einstündigen Exposition mit schmalbandigem blauem und rotem Licht im Verlauf von 26-stündigen Sitzungen verglichen.

Studie 1: n = 13, keine späten Chronotypen

Beleuchtungsstärkeangaben am Auge

Beleuchtungsszenarien:

(DkB) Dunkelheit/Blau, bei der die Probanden, während der gesamten 26-stündigen Sitzung in kontinuierlicher Dunkelheit blieben (gedimmtes Umgebungslicht 51 lx von roten Leuchtdioden (640 nm). Zusätzlich trugen die Probanden eine Brille mit LEDs, die alle 4 Stunden ab 08:00 Uhr für 65 Minuten schmalbandiges, blaues Licht lieferten;

(DyB) Tageslicht/Blau, bei dem die Probanden von 07:00 bis 17:00 Uhr mehr als 500 lx durch Tageslicht (kein direktes Sonnenlicht) erhielten. Zwischen 17:00 Uhr und 09:00 Uhr am nächsten Morgen erlebten die Probanden die Dunkelheit der Umgebung. Zusätzlich trugen die Probanden LED-Brillen, die alle 4 Stunden ab 08:00 Uhr 65 Minuten lang schmalbandiges, blaues Licht (40 lx) lieferten

(DkR) Dunkelheit/Rot, bei der die Probanden während der gesamten 26-stündigen Sitzung in kontinuierlicher Dunkelheit blieben (gedimmtes Umgebungslicht 51 lx von roten (640nm) LEDs). Zusätzlich trugen die Probanden LED-Brillen, die alle 4 Stunden ab 08:00 Uhr 65 Minuten lang schmalbandiges, rotes Licht (40 lx) lieferten.

(DyR) Tageslicht/Rot, bei dem die Probanden von 07:00 bis 17:00 Uhr mehr als 500 lx durch Tageslicht erhielten. Zwischen 17:00 Uhr und 09:00 Uhr am nächsten Morgen erlebten die Probanden die Dunkelheit der Umgebung. Zusätzlich trugen die Probanden LED-Brillen, die alle 4 Stunden ab 08:00 Uhr für 65 Minuten schmalbandiges, rotes Licht (40 lx) lieferten.

Studie 2: (DkT), dunkle Szene, Beleuchtungsstärke unter 1 lx

Baseline-Woche, täglich 7:30 Uhr Leistungstest

Actigraphs zur Ermittlung der Schlafenszeit in der Baseline-Woche

Untersuchungen in der Nacht nach dem 5. Tag: KSS, Leistungstests

Die nächtliche Leistung, aber nicht die subjektive Müdigkeit, war nach der Exposition bei Tageslicht signifikant besser. Es gab keinen unterschiedlichen Effekt auf die Leistung oder Müdigkeit durch die Exposition mit blauem oder rotem Licht.

Die nächtliche Leistung und die subjektive Müdigkeit waren in beiden Studien bei der dunklen Sitzung signifikant schlechter als bei den Sitzungen mit Tageslicht und blauem Licht.

Figueiro, Mariana G.; Sahin, Levent; Wood, Brittany; Plitnick, Barbara (2016a): Light at Night and Measures of Alertness and Performance: Implications for Shift Workers.

Diese Studie untersuchte, ob die Exposition mit rotem Licht in der Nacht nicht nur die Aufmerksamkeit erhöht, sondern auch die Leistung verbessert. Die Hypothese war,

dass sowohl die Exposition mit rotem als auch mit weißem Licht die Leistung verbessern würde, aber dass nur das weiße Licht die Melatonin-Werte signifikant beeinflussen würde.

n = 17, Cross-over-Design

3-wöchigen nächtlichen Laborstudie

Vergleich von 3 Situationen:

Beleuchtungsstärke an der Hornhaut durch spezielle Lichtbrillen

(1) gedimmtes weißes Licht < 5 lx, 3500 K, Leuchtstofflampe

(2) Brille mit roten LEDs, 631 nm, 213 lx

(3) Brille mit weißen LEDs 361 lx, 2568 K

Schlafstagebuch, Dimesimeter zur Licht- und Aktivitätsmessung (24h)

EG, KSS, Leistungstest (GO/NOGO), Melatoninmessungen

Die Ergebnisse zeigen, dass rotes Licht nicht nur die Aufmerksamkeit verbessern kann, sondern auch bestimmte Arten der Leistung in der Nacht, ohne den Melatoninspiegel zu beeinflussen.

Figueiro, Mariana G.; Pedler, David (2020): Red light: A novel, non-pharmacological intervention to promote alertness in shift workers.

Frühere Studien zeigen, dass nächtliche Rotlicht-Exposition die Aufmerksamkeit fördern und die Leistungsfähigkeit verbessern kann, ohne die Melatonin-Sekretion negativ zu beeinflussen. Diese Studie testete die Wirksamkeit und Akzeptanz von rotem Licht, das Tag- und Nachtschichtarbeitern mit persönlichen Lichtbrillen während der Arbeit verabreicht wurde.

70 Krankenhaus-Mitarbeiter, davon 27 in Nachtschichten

20-wöchiges Protokoll

3 Situationen, Cross-over-Design

(1) gedimmtes weißes Licht 10 lx, 3000 K

(2) Brille mit roten LEDs, 630 nm, 50 lx

(3) Brille mit blauen LEDs 466 nm, 50 lx

Leistungstests, Speichelmelatonin- und Cortisolproben

subjektive Einschätzungen: Müdigkeit, Schlafstörungen, allgemeiner Gesundheitszustand

Die Reaktionszeiten wurden durch die rote und blaue Beleuchtung verbessert. Die Genauigkeit und die Trefferquote bei den Leistungstests änderten sich nicht. Blaues Licht wurde mit Verbesserungen der Schlafstörungen im Vergleich zu gedimmtem Licht in Verbindung gebracht. Rotes Licht kann verwendet werden, um die Reaktionszeiten von Schichtarbeitern zu verbessern.

Griepentrog, John E.; Labiner, Hanna E.; Gunn, Scott R.; Rosengart, Matthew R. (2018): Bright environmental light improves the sleepiness of nightshift ICU nurses.

Es wurde untersucht, ob eine verlängerte Exposition gegenüber hellem Licht in Form einer Lichttherapie während einer Nachtschicht die Müdigkeit reduziert und die psychomotorische Leistung bei Intensivpflegekräften verbessert.

n = 43, Cross-over-Design

Intervention: 1500-2000 lx (4000 K) in den ersten 10 Stunden der 12-Stunden-Schicht im Vergleich zur Standardbeleuchtung: 300 lx, 3500-4100 K

SSS, PVT

Bei der Exposition mit hoher Beleuchtungsstärke zeigten die Probanden signifikant geringere Müdigkeitswerte als bei Standardbeleuchtung. Allerdings begingen sie auch signifikant mehr psychomotorische Fehler.

Higuchi, Shigekazu; Fukuda, Tomomi; Kozaki, Tomoaki; Takahashi, Masaya; Miura, Nobuhiko (2011): Effectiveness of a red-visor cap for preventing light-induced melatonin suppression during simulated night work.

Es wurden die Auswirkungen eines roten Visiers, welches das blaue Licht aus dem oberen Gesichtsfeld herausfiltert ohne das Sehvermögen zu beeinflussen, auf die lichtinduzierte Melatoninunterdrückung, die Leistungsfähigkeit und die nächtliche Müdigkeit untersucht.

n = 11, Cross-over-Design

Baseline am 1. Tag: 20:00 bis 03:00 Uhr: 15 lx, Basisdaten

Interventionen am 2. Tag: 23:00 bis 03:00 Uhr

kein Visier: 500 lx am Auge Leuchtstofflampen 4200 K

rotes Visier: ca. 160 lx

blaues Visier: ca. 160 lx

Befragung zu subjektiver Müdigkeit, Stimmung, visuellem Komfort und Helligkeit, PVT, Melatoninmessung

Verglichen mit der Melatoninkonzentration im Speichel unter gedimmtem Licht war die Abnahme der Melatoninkonzentration ohne Visier signifikant, jedoch nicht signifikant bei Verwendung des roten und des blauen Visiers. Für das blaue Visier wurde dieses Ergebnis nicht erwartet. Allerdings zeigte sich, dass beim blauen Visier die Melatoninunterdrückung nur kurzzeitig vorhielt, während sie beim roten Visier länger anhielt.

Das rote Visier hatte keine nachteiligen Auswirkungen auf die Leistung des PVT, die Helligkeit und den visuellen Komfort, obwohl sie tendenziell die subjektive Müdigkeit er-

höhte. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass ein rotes Visier die Melatoninunterdrückung wirksam verhindert, ohne negative Auswirkungen auf die Vigilanz, die Helligkeit und das Sehen zu haben.

Huang, Li-Bi; Tsai, Mei-Chu; Chen, Ching-Yen; Hsu, Shih-Chieh (2013): The effectiveness of light/dark exposure to treat insomnia in female nurses undertaking shift work during the evening/night shift.

Die Studie untersuchte, ob eine helle Lichtexposition während der ersten Hälfte der Nachtschicht in Kombination mit einer reduzierten Beleuchtung am Morgen, Schlafprobleme bei Krankenschwestern im Wechselschichtdienst, die an klinischer Insomnie leiden, zu verringern.

Interventionsgruppe (n = 46): 7.000-10.000 lx, aus einer Lichtbox, mindestens 30 Minuten, mindestens 10 Tage während 2 Wochen

Kontrollgruppe (n= 46)

Dunkle Sonnenbrillen im Freien (beide Gruppen)

Insomnia Severity Index (ISI), Hospital Anxiety and Depression Scale (HADS)

Nach der Behandlung zeigte die Behandlungsgruppe signifikante Verbesserungen des ISI-Scores und der HADS-Gesamt- und Subskalen-Scores im Vergleich zu vorher. Die ISI-, HADS- und Subskalen der HADS-Scores verbesserten sich in der Interventionsgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe signifikant.

Die Studie zeigt, dass eine höhere Intensität und kürzere Dauer von heller Lichtexposition während der ersten Hälfte der Nachtschicht in Verbindung von reduzierter Beleuchtung am Tag die Insomnie, die Angst und Depressionsschwere verbessern könnte.

Jensen, Hanne Irene; Markvart, Jakob; Holst, René; Thomsen, Tina Damgaard; Larsen, Jette West; Eg, Dorthe Maria; Nielsen, Lisa Seest (2016a): Shift work and quality of sleep: effect of working in designed dynamic light.

Es wurde der Effekt von dynamischem Licht auf die Schlafqualität von Krankenschwestern im Hinblick auf die Schlaffeffizienz, den Melatoninspiegel im Speichel und die subjektive Wahrnehmung der Schlafqualität untersucht. Die Untersuchung bezog auch die Tagschichten mit ein.

Interventionsgruppe (n = 55)

dynamisches Licht: 22:00 – 5:00 Uhr gedimmt und im blauen Bereich reduziert, danach Erhöhung der Farbtemperatur

weitere Szenen auch für die Tagschichten

Kontrollgruppe (n = 58), bei normgerechter Beleuchtung (3000 K) in vergleichbarer Umgebung

Melatonin-Profil, subjektive Schlafqualität, objektive Schlafparameter, subjektives Wohlbefinden

Die Studie fand keine signifikanten Unterschiede in der überwachten Schlaffeffizienz und dem Melatoninspiegel. Pflegekräfte der Interventionsgruppe fühlte sich signifikant ausgeruhter und bewertete ihren Zustand beim Aufwachen als besser als die Kontrollgruppe

Kakooei, Hossein; Ardakani, Zahra Zamanian; Ayattollahi, Mohammad Taghi; Karimian, Mortaza; Saraji, Gebraeil Nasl; Owji, Ali Akbar (2010): The effect of bright light on physiological circadian rhythms and subjective alertness of shift work nurses in Iran.

In dieser Studie wurden die Wirkungen von hellem Licht auf die Rhythmen der Körpertemperatur, Plasma-Melatonin, Plasma-Cortisol und die subjektive Aufmerksamkeit bei Krankenschwestern im Schichtdienst untersucht.

n = 34, Cross-over-Design

2 x 45 Minuten 4500 lx oder 300 lx am Auge (5000 K Leuchtstofflampen)

während jeder Pause in der Nachtschicht innerhalb von 4 Wochen mit kurz wechselnden Schichten

Cortisol- und Melatoninmessungen, Körpertemperatur, KSS

Die Verabreichung von hellem Licht unterdrückte signifikant den nächtlichen Melatoninspiegel. Helles Licht erhöhte tendenziell den Cortisolspiegel und die Körpertemperatur und verbesserte signifikant die Aufmerksamkeit.

Karchani, Mohsen; Kakooei, Hossein; YAZDI, Zohre; ZARE, Mohsen (2011): Do bright-light shock exposures during breaks reduce subjective sleepiness in night workers?

In dieser Studie werden die Auswirkungen von hellem Licht auf die subjektive Müdigkeit während zwei Nachtschichten in einer Metallurgie-Produktionsanlage untersucht.

Weißes Licht (n = 45): 2500-3000 lx durch Deckenleuchten

je 15 Minuten: 22.00 Uhr (vor Arbeitsbeginn), 24.00 Uhr, 02.00 Uhr und 04.00 Uhr (in den Pausen)

Kontrollgruppe (n = 45): 300 lx

SSS um 23.00 Uhr, 01.00 Uhr, 03.00 Uhr und 05.00 Uhr

Es gab signifikante Unterschiede in der Rate der Müdigkeit zwischen den beiden Gruppen. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Lichtstimulation in industriellen Umgebungen die Anpassung an die Nachtarbeit erhöhen könnte.

Kazemi, Reza; Hemmatjo, Rasoul; Mokarami, Hamidreza; Hamidreza, Mokarami (2018): The effect of a blue enriched white light on salivary antioxidant capacity and melatonin among night shift workers: a field study

Ziel der Studie war es, die Wirkung von blau angereichertem Licht auf den oxidativen Stress bei Nachtschichtarbeitern empirisch zu untersuchen.

Interventionen s. [Motamedzadeh2017]

Melatonin und weitere Biomarker im Speichel

Es gab keinen signifikanten Unterschied zwischen den verschiedenen Lichtbedingungen in Bezug auf die Speichelbiomarker gab. Es gab jedoch einen signifikanten Unterschied zwischen 3000 K und 17.000 K in Bezug auf die Konzentration von Speichel-melatonin.

Da es keinen signifikanten Unterschied zwischen den verschiedenen Lichtbedingungen in Bezug auf die Biomarker gab, wird gefolgert, dass die Verwendung von Lichtquellen mit hoher Farbtemperatur empfohlen werden kann. Dennoch wird aufgrund der Einschränkungen der vorliegenden Studie (z. B. kurzer Interventionszeitraum) empfohlen, bei der Verwendung solcher Lichtquellen Vorsicht walten zu lassen.

Khammar, Alireza; Moghimian, Maryam; Ebrahimi, Mohammad; Abbasi, Milad; Baneshi, Mohammad; Yari, Ahmad et al. (2017): Effects of bright light shock on sleepiness and adaptation among night workers of a hospital in Iran.

In dieser Studie werden die Auswirkungen von hellem Licht auf die Müdigkeit während zwei Nachtschichten in einem Krankenhaus untersucht. Inhaltlich gleicht sie der Studie von Karchani_2011, z. T. gibt es identische Abschnitte.

Interventionsgruppe (n = 70): 3000-3500 lx, 5000 K, Deckenbeleuchtung

Kontrollgruppe (n = 70): 400 lx

je 15 Minuten: 22.00 Uhr (vor Arbeitsbeginn), 24.00 Uhr, 02.00 Uhr und 04.00 Uhr (in den Pausen)

KSS um 23:00 Uhr, 1:00 Uhr, 3:00 Uhr und 5:00 Uhr

Die Ergebnisse zeigten, dass es signifikante Unterschiede im Ausmaß der Müdigkeit zwischen den beiden Gruppen (Intervention und Kontrolle) gab. Schlussfolgerung: Die Ergebnisse der vorliegenden Studie haben die Durchführbarkeit und den Nutzen der Licht-Stimulation gezeigt, die die Anpassung an die Nachtarbeit erhöht.

Kraneburg, Anja; Franke, Steffen; Methling, Ralf; Griefahn, Barbara (2017): Effect of color temperature on melatonin production for illumination of working environments.

Es wurde der Einfluss der ähnlichsten Farbtemperatur (CCT) von 7 Weißlicht-Beleuchtungen (1600 K – 14.000 K, 200 lx) in 2 Experimenten untersucht.

n = 16, Cross-over-Design

Weißes Licht: Leuchtstofflampen (z. T. mit Rotfiltern)

1600 K, 200 lx

1950 K, 200 lx

2750 K, 200 lx,

3900 K, 200 lx

6100 K, 200 lx

7100 K, 200 lx

14000 K, 200 lx (jeweils horizontale Beleuchtungsstärke)

Gedimmtes Licht: <0,1 lx

Melatoninmessungen, Sehleistung, Farbunterscheidung

Sehschärfe, Kontrastempfindlichkeit und Müdigkeit variierten nicht mit den Beleuchtungen, aber weißes Licht von <2000 K beeinträchtigte die Farbunterscheidung.

Die Melatoninunterdrückung war bei CCT <2000 K nahezu vernachlässigbar, nahm aber mit steigender CCT zu. Daher sind CCTs unter 2000 K für Arbeitsplätze nicht geeignet. Es wird erwartet, dass polychromatisches weißes Licht mit höheren CCTs und signifikanter Melatoninunterdrückung den circadianen Rhythmus verschiebt und die Adaptation an Nachtarbeit beschleunigt. Dieser Effekt sollte mit Erhöhung der Leuchtdichte verstärkt werden.

Kretschmer, V.; Griefahn, B.; Schmidt, K-H (2011): Bright light and night work: effects on selective and divided attention in elderly persons.

Diese Studie konzentriert sich auf die Auswirkungen von hellem Licht in der Nacht auf die selektive und geteilte Aufmerksamkeit bei älteren Personen während drei aufeinanderfolgenden Nachtschichten.

Intervention (n = 16): 3000 lx am Auge, 5000 K

Schicht: 22:00 bis 2:00 Uhr

Schicht 23:00 bis 3:00 Uhr

Schicht 0:00 bis 4:00 Uhr

Kontrollgruppe: (n = 16): 300 lx, 5000 K

Aufmerksamkeitstests

Es zeigte sich, dass die Exposition mit hellem Licht in der Nacht die Fehlerraten bei einer Aufgabe zur geteilten Aufmerksamkeit reduzierte, die Leistung bei einer Aufgabe zur selektiven Aufmerksamkeit jedoch unbeeinflusst blieb.

Kretschmer, V.; Schmidt, K-H; Griefahn, B. (2012): Bright light effects on working memory, sustained attention and concentration of elderly night shift workers.

Die Untersuchung konzentriert sich auf die Auswirkungen von heller Lichtexposition auf das Arbeitsgedächtnis, die Konzentration und die anhaltende Aufmerksamkeit älterer Personen während dreier aufeinanderfolgender Nachtschichten.

Interventionen s. [Kretschmer2011]

Aufmerksamkeitstests

Exposition mit hellem Licht in der Nacht reduziert die Fehlerraten für eine Arbeitsgedächtnis-Aufgabe und eine Konzentrations-Leistungs-Aufgabe, die Leistung bei einer Daueraufmerksamkeits-Aufgabe bleibt jedoch völlig unbeeinflusst.

Kretschmer, Veronika; Schmidt, Klaus-Helmut; Griefahn, Barbara (2013): Bright-light effects on cognitive performance in elderly persons working simulated night shifts: psychological well-being as a mediator?

Die vorliegende Studie untersuchte, ob der Zusammenhang zwischen Lichtexposition und kognitiver Leistungsfähigkeit durch das psychische Wohlbefinden bei älteren Personen, die in Nachtschichten arbeiten, vermittelt wird. Müdigkeit und Stimmung wurden als Indikatoren für das psychische Wohlbefinden herangezogen. Die kognitive Leistungsfähigkeit wurde in Bezug auf Konzentration, Arbeitsgedächtnis und geteilte Aufmerksamkeit untersucht.

Interventionen s. [Kretschmer2011]

Messung von Konzentration, Arbeitsgedächtnis und geteilter Aufmerksamkeit
Erfassung von hypothetischen Mediatoren durch Fragebögen

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass Müdigkeit und Stimmung nicht als Mediatoren bei der Vorhersage von Konzentration, Arbeitsgedächtnis und/oder geteilter Aufmerksamkeit durch Lichtexposition fungierten.

Müdigkeit führte zu einer Unterschätzung des positiven Hell-Licht-Effekts auf die Konzentrationsleistung. Die Stimmung zeigte nur einen zufälligen Effekt aufgrund des positiven Hell-Licht-Effekts auf das Arbeitsgedächtnis. Müdigkeit und Stimmung konnten als Mediatoren in der Beziehung zwischen Lichtexposition und kognitiver Leistungsfähigkeit vollständig ausgeschlossen werden.

Diese Studie unterstreicht, dass das psychische Wohlbefinden älterer Personen keine kritische Komponente bei der Behandlung von hellem Licht auf die kognitive Leistung am Nachtschichtarbeitsplatz ist. Zusammenfassend wird deutlich, dass helles Licht einen starken direkten und unabhängigen Einfluss auf die kognitive Leistung hat, insbesondere auf das Arbeitsgedächtnis und die Konzentration.

Lee, Sang-il; Kinoshita, Saki; Noguchi, Anna; Eto, Taisuke; Ohashi, Michihiro; Nishimura, Yuki et al. (2020): Melatonin suppression during a simulated night shift in medium intensity light is increased by 10-minute breaks in dim light and decreased by 10-minute breaks in bright light.

In der Studie wurde untersucht, ob die Exposition bei sehr schwachem Licht oder sehr hellem Licht für eine kurze Dauer die Melatoninunterdrückung, die subjektive Müdigkeit und die Leistungsfähigkeit während der Exposition bei konstantem mäßig hellem Licht beeinflusst.

n = 12, Cross-over-Design

Beleuchtung: 550 lx (am Auge), 4500 K

Beleuchtung in den Pausen (4 Mal pro Nacht, a 10 min):

Mittelhelle Pause: 430 lx, 3800 K

Helle Pause: 4700 lx, 5000 K

Dunkle Pause: 1 lx

Melatonin-Konzentration im Speichel, subjektive Müdigkeit, PVT stündlich ab 21:00 Uhr

Verglichen mit der Melatoninunterdrückung zwischen 04:00 und 06:00 Uhr unter der Bedingung mittelheller Pausen förderte die dunkle Pause signifikant die Melatoninunterdrückung und die Bedingung heller Pausen verringerte die Melatoninunterdrückung signifikant. Es gab jedoch keinen bemerkenswerten Effekt von dunklen Pausen oder hellen Pausen auf die subjektive Müdigkeit und die Leistung.

Lowden, Arne; Åkerstedt, Torbjörn (2012): Assessment of a new dynamic light regimen in a nuclear power control room without windows on quickly rotating shiftworkers--effects on health, wakefulness, and circadian alignment: a pilot study

Ziel der Studie war es, zu testen, ob ein neues dynamisches Lichtregime die Aufmerksamkeit, den Schlaf und die Anpassung an rotierende Schichtarbeit verbessern würde.

n = 7, Cross-over-Design

neue Beleuchtung mit Deckenleuchten

(i) weißes/blauges Licht: 745 lx, 6000 K

(ii) schwaches gelbes Licht: 650 lx, 4000 K

(iii) gelbes moderates Licht: 700 lx, 4000 K

Zeitpunkte der Beleuchtung variierten zwischen den einzelnen Schichten der Schichtperiode.

3 Nachtschichten – 2 freie Tage – 2 Frühschichten 1 Nachmittagschicht

7 Testpersonen

Kontrollgruppe (n = 16: Leuchtstofflampe: 200 Lux (am Auge), 3000 K

Untersuchung im Winter mit wenig Tageslicht

Aktigraph, Schlaftagebuch, KSS, Melatonin in Speichel

Die Ergebnisse des Schlaftagebuchs zeigten, dass die neue Lichtbehandlung die Aufmerksamkeit während der 2. Nachtschicht signifikant erhöhte. Der Zeitpunkt des Aufwachens war in der Lichtbedingung nach der 3. Nachtschicht signifikant verzögert, während die Länge der wachen Phasen während des Schlafes nach der 2. Nachtschicht signifikant zunahm. Außerdem zeigte sich eine Tendenz der Abnahme der Schlafeffizienz. Auswirkungen auf die circadiane Phase waren angesichts der geringen Stichprobengröße und der unregelmäßigen Probenahme von Speichelmelatonin schwer festzustellen. Nichtsdestotrotz scheint es, dass angemessenes dynamisches Licht in Räumen ohne Fenster während der dunklen nordischen Jahreszeit Aufmerksamkeit, Schlaf und eine bessere Anpassung an schnell rotierende Schichtarbeit fördern kann.

Maghsoudipour, Maryam; Hosseinzadeh, Samaneh; Parkhoo, Mohammad; Ansari, Mohammad; Karbasi, Ashkan (2019): 0642 The Effect of Bright Light on Temperature, Sleepiness, and Salivary Melatonin in Shift Work Nurses.

Es sollte die Auswirkung von hellem Licht auf die Müdigkeit, die Mundtemperatur und das Speichelmelatonin bei Krankenschwestern der Nachtschicht untersucht werden.

n = 22, Cross-over-Design

Intervention: Lichtbox am Arbeitsplatz, 10000 lx, 23 Uhr für eine halbe Stunde

Kontrollgruppe

KSS, Mundtemperatur, Speichelmelatonin

Helle Lichtexposition hatte einen signifikanten Einfluss auf Temperatur und KSS über den Zeitraum von 24 Stunden. Die Mittelwerte von Temperatur und KSS waren in den beiden Gruppen und in beiden Zeiträumen signifikant unterschiedlich. Die Änderungen von Temperatur und KSS hatte in den zwei Gruppen entgegengesetzte Richtungen. Der Trend der Änderungen der Melatoninkonzentrationen war zwischen Interventions- und Kontrollgruppe unterschiedlich. In der Interventionsgruppe stiegen die Mittelwerte an, während sie in der Kontrollgruppe abnahmen. Während die helle Lichtexposition zum Auftreten des minimalen KSS um 4 Uhr morgens und des maximalen KSS um 4 Uhr nachmittags führte, führte sie zu verminderten Melatoninkonzentrationen am frühen Morgen (im Vergleich zum nächsten Abend).

Helle Lichtexposition um 23 Uhr verändert das Muster der Müdigkeit, der oralen Temperatur und des Speichelmelatonins bei Krankenschwestern der Nachtschicht. Diese Effekte helfen den Krankenschwestern, die Schichtzeiten besser zu tolerieren und zu Hause besser zu schlafen.

Motamedzadeh, Majid; Golmohammadi, Rostam; Kazemi, Reza; Heidari-moghadam, Rashid (2017): The effect of blue-enriched white light on cognitive performances and sleepiness of night-shift workers: A field study.

Die Studie hat große Ähnlichkeit mit [Kazemi2018].

Es wurde untersucht, ob eine mit blauem Licht angereicherte Weißlichtbeleuchtung eine praktische Strategie zur Verringerung der Müdigkeit und zur Verbesserung der kognitiven Leistung während der Nachtschichten darstellt. Die Studie fand im Kontrollraum eines petrochemischen Komplexes statt.

n = 30 Vorher-Nachher-Design

Schichtarbeitsplan: 7 Nachtschichten, 7 Tagschichten und 7 freie Tage.

vorher: Leuchtstofflampen 3000 K, 500 lx

nachher: 6500 K und 17.000 K (je 500 lx)

Untersuchungen von 3 aufeinander folgenden Arbeitszyklen mit je 7 Nächten.

KSS, Performance Test, Messung der kognitiven Leistung, Melatoninmessung

Im Vergleich zu normalen Licht-Bedingungen (3000 K) nahmen die Müdigkeit und der Melatonin-Rhythmus der Teilnehmer signifikant ab, wenn sie blau-angereicherter weißes Licht ausgesetzt waren. Außerdem gab es einen signifikanten Effekt auf die Reduktion von Arbeitsgedächtnis-Fehlern. Es verringerten sich Auslassungsfehler und die Reaktionszeit.

Die Verwendung von blau-angereicherter weißes Licht könnte eine geeignete ergonomische Strategie sein, um die Leistung und Aufmerksamkeit, besonders während der Nacht, in sensiblen Umgebungen wie Kontrollräumen zu verbessern.

Mrdalj J, Sunde E, Pedersen T, Thun E, Gronli J, Harris A, Bjorvatn B, Waage S, Pallesen S (2018): Effects of bright light on sleepiness and cognitive performance during simulated night shift work.

Es wurde untersucht, wie unterschiedliche Intensitäten von weißem Licht die subjektive Müdigkeit und kognitive Leistung während simulierter Nachtschichten beeinflussen.

n = 25, Cross-over-Design

drei aufeinanderfolgende Nächte (23:00 bis 7:00 Uhr)

Deckenleuchte, Vollspektrum-Licht, 4000 K

helles Licht: mittlere Beleuchtungsstärke: 890,2 lx, SD = 85,9

gedimmtes Licht: mittlere Beleuchtungsstärke: 88,5 lx, SD = 8,3

PVT, KSS

Die vorläufige Analyse zeigt, dass die PVT-Fehler und die KSS-Scores während jeder Nachtschicht in beiden Lichtbedingungen zunahmten. In der hellen Lichtbedingung war der Anstieg der PVT-Fehler und des KSS-Scores in den späteren Stunden der Nachtschichten jedoch wesentlich geringer als in der schwachen Lichtbedingung. Die Exposition bei hellem Licht scheint die kognitive Leistung zu verbessern und die Müdigkeit im Vergleich zu schwachem Licht zu reduzieren.

Nagashima, Shunsuke; Osawa, Madoka; Matsuyama, Hiroto; Ohoka, Wataru; Ahn, Aemi; Wakamura, Tomoko (2018): Bright-light exposure during daytime sleeping affects nocturnal melatonin secretion after simulated night work.

Die Richtlinien für Nacht- und Schichtarbeiter empfehlen, dass sie nach der Nachtarbeit tagsüber in einer dunklen Umgebung schlafen sollten. Der Aufenthalt in einer dunklen Umgebung während des Tages reduziert jedoch die nächtliche Melatoninausschüttung und verzögert deren Beginn. Helle Lichtexposition am Tag nach der Nachtarbeit ist wichtig für die Melatoninausschüttung in der darauffolgenden Nacht und für die Aufrechterhaltung des circadianen Rhythmus. Es ist jedoch nicht klar, ob der Schlaf am Tag nach der Nachtarbeit in einer Umgebung mit gedimmtem oder hellem Licht erfolgen sollte, um die Melatoninausschüttung aufrechtzuerhalten. Das Ziel dieser Studie war es daher, den Effekt einer Hell-Licht-Exposition während des Tagesschlafs auf die nächtliche Melatonin-Sekretion nach simulierter Nachtarbeit zu untersuchen.

n = 12, Cross-over-Design

3 Nachtschichten

Schlaf ab 10:00 Uhr für 6 Stunden bei

hellem Licht (>3000 lx)

gedimmtem Licht (50 lx)

Melatoninmessung im Speichel, Aktivitätsmessungen

Die Melatoninkonzentration bei gedimmtem Licht war am zweiten Tag signifikant niedriger als am ersten Tag. Bei hellem Licht gab es jedoch keinen signifikanten Unterschied in der Melatoninkonzentration zwischen den Tagen. Es wurden keine signifikanten Unterschiede in irgendeinem Schlafparameter gefunden. Das Schlafen am Tag unter hellen Lichtbedingungen reduzierte die Melatoninausschüttung am späten Abend nicht und verzögerte auch die Phase der Melatoninausschüttung nicht. Die Qualität des Tagesschlafs war dabei nicht verringert. Daher legen diese Ergebnisse nahe, dass Schichtarbeiter nach der Nachtarbeit tagsüber eher unter hellen als unter gedimmten Lichtbedingungen schlafen sollten, um ihren konventionellen Schlaf-Wach-Zyklus beizubehalten.

Olson, Jay A.; Artenie, Despina Z.; Cyr, Mariève; Raz, Amir; Lee, Virginia (2020): Developing a light-based intervention to reduce fatigue and improve sleep in rapidly rotating shift workers.

Es wurde eine praktische Intervention entwickelt, die auf zirkadianen und schlafhygienischen Prinzipien basiert, um einige der negativen Folgen der Schichtarbeit zu reduzieren. Diese wurden in einer Machbarkeitsstudie mit 33 Krankenschwestern schnell rotierenden Schichten getestet.

Kontrollzeitraum (Beobachtung) und Interventionszeitraum mit je zwei bis vier aufeinanderfolgenden Nachtschichten

40 Minuten helle Lichtexposition durch eine Lichtbox vor der Nachtschicht, Sonnenbrille auf dem Heimweg, Schlafplan

Chronotyp-Bestimmung, subjektive Befragung zu Müdigkeit, Arbeitsfehlern und Schlaf

Die große Mehrheit dieser Empfehlungen befolgte den Plan. Nach der Intervention berichteten die Krankenschwestern über weniger Müdigkeit, weniger Arbeitsfehler, besseren und längeren Schlaf und eine positivere Stimmung. Außerdem berichteten Krankenschwestern mit einer Vorliebe für die Abende (d. h. späte Chronotypen) über die stärksten Vorteile.

Papamichael, Christiana; Skene, Debra J.; Revell, Victoria L. (2012): Human non-visual responses to simultaneous presentation of blue and red monochromatic light.

Die Labor-Studie untersuchte die Auswirkung der gleichzeitigen Verabreichung von blauem und rotem monochromatischem Licht auf die akute Melatoninunterdrückung und die subjektive Stimmung und Aufmerksamkeit.

n = 21

30 Minuten blaues (479 nm) und/oder rotes (627 nm) monochromatisches Licht verschiedener Bestrahlungsstärken (entsprechen etwa 4 bis 280 lx) aus einer 45 cm Kugel

Melatoninspiegel im Plasma, subjektive Stimmung, Aufmerksamkeit

Die subjektive Aufmerksamkeit war unabhängig von der Wellenlänge oder der Bestrahlungsstärke des Lichts nach dem Einsetzen des Lichts erhöht. Die Melatoninunterdrückung änderte sich signifikant mit der Bestrahlungsstärke des blauen Lichtes. Die gleichzeitige Verabreichung von rotem Licht verschiedener Bestrahlungsstärken, veränderte die Reaktion auf blaues Licht allein nicht signifikant. Unter den aktuellen experimentellen Bedingungen war die primäre Determinante der Melatoninunterdrückungsreaktion die Bestrahlungsstärke des blauen Lichts. Diese wurde durch die gleichzeitige Verabreichung von rotem Licht nicht beeinträchtigt.

Bei niedrigen Bestrahlungsstärken steigerte blaues Licht signifikant die Aufmerksamkeit im Vergleich zu rotem Licht. Bei höheren Bestrahlungsstärken war kein signifikanter Unterschied erkennbar.

Pedersen, T. T.; Mrdalj, J.; Pallensen, S.; Sunde, E.; Thun, E.; Henriksen, T. E. G. et al. (2018): Bright Light Exposure during Simulated Night Shift Work – Impact on Daytime Sleep.

Es wurde untersucht, wie sich die Exposition gegenüber verschiedenen Lichtintensitäten von weißem Licht während simulierter Nachtschichten auf Schlafparameter nach der Schicht auswirkt.

Intervention s. [Mrdalj2018]

Schlafparameter mit Hilfe der Polysomnographie

Nach jeder Nachtschicht gingen die Teilnehmer nach Hause, um zu schlafen, und der Tagesschlaf wurde überwacht. Der gesamte Tagesschlaf nach der dritten Nachtschicht war länger, wenn die Teilnehmer während der Nachtschicht hellem Licht ausgesetzt waren, im Vergleich zu den Teilnehmern, die der gediminten Lichtbedingung ausgesetzt waren. Die Exposition gegenüber hellem Licht während simulierter Nachtschichten erhöhte den Gesamt-Tagesschlaf im Vergleich zu Licht geringerer Intensität.

Phipps-Nelson, Jo; Redman, Jennifer R.; Schlangen, Luc J. M.; Rajaratnam, Shantha M. W. (2009): Blue light exposure reduces objective measures of sleepiness during prolonged nighttime performance testing.

Diese Studie untersuchte die Auswirkungen einer nächtlichen Exposition bei gedimmtem, schmalbandigem blauem Licht im Vergleich zu gedimmtem breitbandigem (weißem) Umgebungslicht auf subjektive und objektive Indizes der Müdigkeit während nächtlicher Leistungstests.

n = 8, Cross-over-Design

Blaues Licht (460 nm, 1 Lux, 2 mW/cm²)

Breitbandiges (weißem) Umgebungslicht (0,2 Lux, 0,5 mW/cm²)

Placebo-Bedingung: rotes Licht (640 nm, 1 Lux, 0,7 mW/cm²)

Leistung im Fahrsimulator, PVT, subjektive Müdigkeit, Melatonin im Speichel, EEG-Aktivität

Die Ergebnisse zeigen, dass eine Blaulichtexposition mit niedriger Intensität die Aufmerksamkeit, gemessen durch einige der objektiven Indizes, während längerer nächtlicher Leistungstests fördern kann. Die Exposition mit blauem Licht niedriger Intensität hat das Potenzial, in Situationen angewendet zu werden, in denen es wünschenswert ist, die Aufmerksamkeit zu erhöhen, aber nicht praktikabel oder angemessen ist, helles Licht zu verwenden, wie z.B. in bestimmten beruflichen Situationen.

Plitnick, B.; Figueiro, M. G.; Wood, B.; Rea, M. S. (2010): The effects of red and blue light on alertness and mood at night.

In dieser Studie wurde untersucht, welche Rolle lang- und kurzwelliges Licht auf die momentane Stimmung und Aufmerksamkeit bei Nacht hat.

n = 22

rotes (630 nm) Licht (n = 11) und

blaues (470 nm) Licht (n = 11)

jeweils 10 lx und 40 lx am Auge aus einer Lichtbox, je 60 Minuten

EEG, Subjektive Aufmerksamkeit, Müdigkeit und Stimmung

Die Ergebnisse zeigten, dass rotes und blaues Licht die EEG-Beta-Leistung (12-30 Hz) erhöhte, die Müdigkeit verringerte und den positiven Affekt im Vergleich zur vorherigen Periode mit gedimmtem Licht steigerte, was darauf hindeutet, dass Aufmerksamkeit und Stimmung durch Licht beeinflusst werden können, ohne notwendigerweise den Melatonin-Weg zu stimulieren. Der Einfluss des Lichts war jedoch bescheiden, verglichen mit der Zunahme der Müdigkeit im Laufe der Nacht.

Rahman, Shadab A.; Marcu, Shai; Shapiro, Colin M.; Brown, Theodore J.; Casper, Robert F. (2011): Spectral modulation attenuates molecular, endocrine, and neurobehavioral disruption induced by nocturnal light exposure.

(auch in [Caspar2014] veröffentlicht)

In der Studie wurden die molekularen, neuroendokrinen und neurobehavioralen Effekte einer im kurzwelligen Spektralbereich reduzierten polychromatischen Beleuchtung untersucht.

n = 12, Within-Subject-Design

ungefiltert mit Blick in die Leuchte, 1000 lx

ungefiltert mit Blendschutzwinkel, 500 lx

Filterung mit Brille zur Wellenlängenvariation: 400-800 lx

0% Transmission unter 480 nm

0% Transmission unter 460 nm und 30% Transmission unter 480 nm

Exposition zwischen 20:00 und 08:00 Uhr

Messung Melatonin und Cortisol, objektive Wachsamkeit, subjektive Aufmerksamkeit

Das Filtern kurzer Wellenlängen unter 480 nm verhinderte die nächtliche lichtinduzierte Unterdrückung der Melatonin-Sekretion, erhöhte Cortisol-Sekretion und störte die periphere Uhrengen-Expression (Biosynthese von Proteinen zur Steuerung der Uhren). Darüber hinaus waren die subjektive Aufmerksamkeit, die Stimmung und die Fehler bei einer objektiven Vigilanz-Aufgabe um 8 Uhr durch die Filterung der Wellenlängen unter 480 nm im Vergleich zu ungefilterter nächtlicher Lichtexposition signifikant weniger beeinträchtigt.

Diese Veränderungen waren nicht mit signifikant erhöhter Müdigkeit oder Müdigkeit im Vergleich zur ungefilterten Lichtexposition verbunden. Die Veränderungen der molekularen, endokrinen und neurobehavioralen Prozesse wurden durch die vollständige Filterung unter 460 nm und der teilweisen Filterung bis 480 nm im Vergleich zur ungefilterten nächtlichen Lichtexposition nicht signifikant beeinflusst. Wiederholte Hell-Dunkel-Zyklus-Änderungen wie bei rotierenden Nachtschichten können circadiane Rhythmen stören und gesundheitliche Störungen hervorrufen. Die aktuellen Daten deuten darauf hin, dass die spektrale Modulation eine effektive Methode zur Regulierung der Auswirkungen von Licht auf physiologische Prozesse sein könnte.

Rahman, Shadab A.; Shapiro, Colin M.; Wang, Flora; Ainlay, Hailey; Kazmi, Syeda; Brown, Theodore J.; Casper, Robert F. (2013): Effects of filtering visual short wavelengths during nocturnal shiftwork on sleep and performance.

Es wurde die Auswirkungen der Filterung kurzer Wellenlängen (<480 nm) während der Nachtschichten (Krankenschwestern) auf Schlaf und Leistung untersucht

n = 9, Cross-over-Design (?)

Intervention: Brillen, die Wellenlängen unter 480 nm komplett herausfilterten

Beleuchtungsstärke ca. 180 lx

Kontrollgruppe

Messung von Schlafparametern , Melatonin Spiegel im Speichel, Aufmerksamkeit, subjektive Müdigkeit, Leistungstests

In der Baseline-Nacht waren die Gesamtschlafzeit und die Schlafeffizienz signifikant vermindert und die Wachzeiten signifikant erhöht im Vergleich zum Nachtschlaf der Vergleichsgruppe. Im Gegensatz dazu war unter der Intervention die Gesamtschlafzeit um durchschnittlich 40 min im Vergleich zum Ausgangswert erhöht und die Schlafeffizienz wurde auf ein ähnliches Niveau wie in der Vergleichsnacht erhöht. Der Tagesschlaf war sowohl unter den Basislinien- als auch unter den Interventionsbedingungen signifikant beeinträchtigt. Die Melatonin Spiegel im Speichel waren in der ersten und mittleren Nachtschicht unter der Intervention im Vergleich zum Ausgangswert signifikant höher. Die subjektive Müdigkeit nahm während der gesamten Nacht unter beiden Bedingungen. Die Reaktionszeit und der Durchsatz bei Leistungstests waren unter der Intervention ähnlich der Tagesleistung, aber in der ersten Nachtschicht gegenüber dem Ausgangswert verschlechtert. In der mittleren Nachtschicht war der Leistungsunterschied zwischen Tagschicht und einer der beiden Nachtschichtbedingungen nicht mehr signifikant, was darauf hindeutet, dass unter den Ausgangsbedingungen eine gewisse Anpassung an die Nachtschicht stattgefunden hatte. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass sowohl der Tages- als auch der Nachtschlaf bei Wechselschichtarbeitern beeinträchtigt wird und dass die Filterung kurzer Wellenlängen ein Ansatz sein könnte, um die Schlafstörung zu reduzieren und die Leistung bei Wechselschichtarbeitern zu verbessern.

Rahman, Shadab A.; Flynn-Evans, Erin E.; Aeschbach, Daniel; Brainard, George C.; Czeisler, Charles A.; Lockley, Steven W. (2014): Diurnal spectral sensitivity of the acute alerting effects of light.

Es wurde die spektrale Empfindlichkeit am Tag in Bezug auf Aufmerksamkeit, Leistung und das Elektroenzephalogramm (EEG) im Wachzustand untersucht. Die Studie fand in einer Intensivstation statt. Es wurde mit einer analogen Untersuchung in der Nacht aus [Lockley2006] verglichen.

n = 8

Untersuchung am Tag

monochromatisches Licht gleicher Photonendichte:

Blau (n = 8): 460 nm, 0,41 lx

Grün (n = 8): 555 nm , 6,8 lx

Messung Reaktionszeit und Müdigkeit (EEG)

Die 460-nm-Lichtexposition am Tag und in der Nacht verbesserte signifikant die auditive Reaktionszeit, reduzierte signifikant die Aufmerksamkeitsaussetzer und verbesserte die EEG-Korrelate der Aufmerksamkeit im Vergleich zur 555-nm-Exposition. Während sich die subjektiven Müdigkeits-Werte zwischen den beiden spektralen Bedingungen tagsüber nicht unterschieden, reduzierte die nächtliche 460-nm-Lichtexposition die subjektive Müdigkeit signifikant im Vergleich zur nächtlichen 555-nm-Lichtexposition. Darüber hinaus verbesserte die nächtliche 460-nm-Exposition die Aufmerksamkeit auf ein tagesnahes Niveau.

Die wachmachenden Wirkungen von kurzwelligem 460-nm-Licht werden vermittelt, indem sie nachts sowohl dem circadianen als auch dem homöostatischen Schlafdruck entgegenwirken, am Tag aber nur den homöostatischen Schlafdruck reduzieren.

Rahman, Shadab A.; Wright, Kenneth P.; Lockley, Steven W.; Czeisler, Charles A.; Gronfier, Claude (2019): Characterizing the temporal Dynamics of Melatonin and Cortisol Changes in Response to Nocturnal Light Exposure.

Es wurde die Dynamik der Melatoninunterdrückung und die Veränderungen des Cortisolspiegels bei Menschen als Reaktion auf nächtliche Lichtexposition untersucht.

3 Lichtbedingungen während der Nacht

Beleuchtung mit Deckenleuchten (Leuchtstofflampen)

IBL: intermittierend helles Licht (n = 7): ~9.500 lx 6 x 15 Minuten, Abstand je 1 Stunde

CBL: kontinuierliches helles Licht (n = 7) ~9.500 lx

VDL: kontinuierliches gedimmtes Licht (n = 7): ~1 lx

Das intermittierende Licht führte zu einer ähnlichen Melatoninunterdrückung wie das kontinuierliche Licht.

Regente, J.; Zeeuw, J. de; Bes, F.; Nowozin, C.; Appelhoff, S.; Wahnschaffe, A. et al. (2017): Can short-wavelength depleted bright light during single simulated night shifts prevent circadian phase shifts?

Es wurde untersucht, ob im kurzwelligen Spektralbereich reduziertes helles Licht während einer simulierten Nachtschicht schlafentzugsbedingten Leistungsminderungen entgegenwirken kann.

n = 24, Cross-over-Design

DL: gedimmtes Licht 3 lx (Glühlampe)

FBL: im kurzwelligen Spektralbereich reduziertes helles Licht 300 lx, 1800 K (LL+LED)

Reaktionszeiten, subjektive Müdigkeit, Melatoninkonzentration im Speichel, Schlafparametern

Während FBL wurden keine Melatoninunterdrückung im Vergleich zu DL beobachtet, aber leicht schnellere Reaktionszeiten in der zweiten Nachthälfte. Der Tagesschlaf unterschied sich zwischen beiden Beleuchtungsbedingungen nicht und es gab keine signifikante Phasenverschiebung nach FBL. Die Ergebnisse zeigen positive Effekte von FBL während simulierter einzelner Nachtschichten.

Rodenbeck, A.; Neuwirth, M.; Özgüc, R.; Wiater, A. (2019): Feldstudie zu verschiedenen Lichtsituationen mit steuerbarem Blauanteil bei industrieller Spätschicht.

Es wurde die Wirkung von Licht auf Schlaf und Müdigkeit nach jeweils drei bzw. vier Wochen Beleuchtung an Industriearbeitern in der Spätschicht untersucht.

n = 37, Fall-Kontrollstudie

Licht-Szenarien:

Baseline (BL): kaltweiß (5000 K, 138 lx, 124 mlx melanopische Lux),

L1: warmweiß (2700 K, 278 lx, 123 mlx),

L2: neutralweiß (4000 K, 374 lx, 281 mlx),

L3: dynamisch (6800-2700 K, 272-123 mlx)

L4: kaltweiß (6800 K, 370 lx, 445 mlx)

Stimmung, subjektive Schläfrigkeit, Wachheit, Schlaf-Parameter

Schlafdauer und -qualität, Insomnieschweregrad und subjektive Müdigkeit blieben unter allen Bedingungen unverändert, während das generelle Wohlbefinden ab L2 kontinuierlich signifikant anstieg und die Stimmung unter BL am niedrigsten war. Unter L1 war die Zufriedenheit mit dem Licht signifikant am geringsten bei gleichzeitig höchster aktueller Wachheit. Die objektive Müdigkeit mittels Pupillografie war unter L2 und L3 tendenziell am geringsten, die Konzentrationsleistung im d2-Test unter BL.

Helles Licht mit hohem Blauanteil steigerte das allgemeine Wohlbefinden, ohne den Schlaf zu verschlechtern. Die objektive Müdigkeit verbesserte sich ebenfalls, sofern mit mindestens 250 mlx beleuchtet wurde.

Rodríguez-Morilla, Beatriz; Madrid, Juan A.; Molina, Enrique; Correa, Angel (2017): Blue-Enriched White Light Enhances Physiological Arousal But Not Behavioral Performance during Simulated Driving at Early Night.

Es wurden die Auswirkungen von blau angereichertem weißem Licht und langwelligem orangefarbenem Licht im Vergleich zu einer Kontrollbedingung mit gedimmtem Licht auf subjektive, physiologische und verhaltensbezogene Messungen um 21:45 Uhr im Fahr-simulator getestet.

gedimmtes Licht (n = 9?) < 1lx am Auge

BWL (n = 10): Blau angereichertes weißes LED-Licht, Blau-Peak bei 440 nm, 469 lx

OL (N = 10): langwelliges orangefarbenes Licht, breitbandig bei 595 nm, 410 lx

KSS, subjektive Stimmungsskala, Index der physiologischen Erregung, Genauigkeit beim simulierten Fahren, PVT

Blau angereichertes Licht führte zu einer erhöhten Erregung, während es weder die Reaktionszeit noch die Fahrleistung verbesserte. Stattdessen produzierte Blaulicht größere Fahrfehler als OL, während die Leistung bei OL bei der Aufgabe stabil war. Diese Daten deuten darauf hin, dass eine durch Licht induzierte physiologische Erregung nicht unbedingt eine kognitive Verbesserung bedeutet. In der Tat könnte übermäßige Erregung die Genauigkeit bei komplexen Aufgaben, die Präzision erfordern, wie z. B. beim Autofahren, verschlechtern.

Sadeghniaat-Haghighi, Khosro; Yazdi, Zohreh; Jahanihashemi, Hassan; Aminian, Omid (2011): The effect of bright light on sleepiness among rapid-rotating 12-hour shift workers.

Die Studie untersuchte die Auswirkungen von hellem Licht auf die Müdigkeit während der Nachtarbeit in einer industriellen Umgebung. Inhaltlich gleicht sie der Studie von Karchani_2011

n = 94, Cross-over-Design

helles Licht 2500 lx, 5000 K am Auge durch Deckenbeleuchtung in den Pausen der Nachtschicht

Standardbeleuchtung 300 lx, 5000 K am Auge, 2 x 20 Minuten

SSS um 22.00, 24.00, 02.00 und 04.00 Uhr

Unter Standardbeleuchtung erreichte die Müdigkeit um 02:00 Uhr ihren Höhepunkt. Eine signifikante Reduktion (22% im Vergleich zu normalen Lichtbedingungen) der Müdigkeit wurde beobachtet, nachdem die Arbeiter hellem Licht ausgesetzt waren.

Sasseville, Alexandre; Benhaberou-Brun, Dalila; Fontaine, Charlotte; Charon, Marie-Claude; Hebert, Marc (2009): Wearing blue-blockers in the morning could improve sleep of workers on a permanent night schedule: a pilot study.

Es wurde untersucht, ob die Blockierung kurzer Lichtwellenlängen unter 540 nm die Schlafqualität am Tag und die nächtliche Vigilanz von Nachtschichtarbeitern verbessern kann.

permanente Nachtschichtarbeiter im Zeitraum von 4 Wochen (davon 2 Wochen Baseline)

im Sommer: n = 8

Blau-blockierende Brille auf dem Heimweg und ab 16:00 Uhr im Freien

im Herbst und Winter: n = 20

Blau-blockierende Brille 2 Stunden vor Schichtende und ab 16:00 Uhr im Freien

Aktivitätsmonitor am Handgelenk, subjektive Vigilanz

Wenn sie die Brille trugen, schliefen die Arbeiter mehr, es erhöhte sich die Schlafeffizienz und es verringerte sich Schlafragmentierung. Die subjektive Vigilanz verbesserte sich in der Herbst-Winter-Gruppe generell an Freitagen. Blaublocker scheinen den Tagesschlaf von Dauernachtschichtarbeitern zu verbessern.

Sasseville, Alexandre; Hébert, Marc (2010): Using blue-green light at night and blue-blockers during the day to improve adaptation to night work: a pilot study.

Es wurde untersucht, inwieweit eine Anpassung an die Schichtarbeiter erfolgt, wenn Arbeiter in einem Sägewerk nachts blau-grünem Licht ausgesetzt werden und tagsüber Blau-blockierende Brillen tragen.

n = 4

zwei Wochen Nachtschicht, eine Woche Tagschicht

Umgebungslicht (≈ 130 lx), angereichert mit blau-grünem Licht (200 lx), engbandig 500 nm

Blau-blockierende Brille im Außenraum

Speichelmelatoninprofile, Aktigraphie zur Schlafüberwachung, subjektive Vigilanz, Leistungsbewertung durch Fehleranalyse

Durch die experimentelle Woche haben sich die Melatoninprofile von 3 Teilnehmern um mindestens 2 Stunden verschoben. Verbesserungen wurden bei den Schlafparametern und der subjektiven Vigilanz ab der dritten Nacht beobachtet, während die Leistung in der vierten Nacht verbesserte. Die strategische Exposition gegenüber kurzen Wellenlängen in der Nacht und/oder die Verwendung einer Blue-Blocker-Brille am Tag schieben Schlaf, Vigilanz und Leistung zu verbessern.

Sasseville, Alexandre; Martin, Jeanne Sophie; Houle, Jérôme; Hébert, Marc (2015): Investigating the contribution of short wavelengths in the alerting effect of bright light.

Das Ziel dieser Studie war es, die aktivierende Wirkung einer weißen LED-Lichtquelle mit und ohne Verwendung von Blau-reduzierenden Filtern zu vergleichen um den Beitrag kurzwelliger Strahlung zu ermitteln.

Baseline (n = 29): 5 lx (1. Nacht)

Gruppe A (n = 10): ungefiltertes LED-Licht $1500 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ am Auge (ab 3:00 Uhr für 30 Minuten in der 2. Nacht)

Gruppe B (n = 10): wie A, aber mit blau-blockierender Brille, $500 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ am Auge

Subjektive Aufmerksamkeit, Energie, Stimmung und Angst mit einer visuellen Analogskala, SSS, objektive Aufmerksamkeit

Es wurde kein Unterschied zwischen Gruppe A und Gruppe B in Bezug auf subjektive Aufmerksamkeit, Energie, Stimmung, Angst und Müdigkeit sowie objektive Aufmerksamkeit festgestellt. Subjektive Aufmerksamkeit, Energie und Müdigkeit waren jedoch nach Lichtexposition in der zweiten Nacht unabhängig von der Lichtbedingung verbessert.

Die Studie zeigt, dass bei hoher Müdigkeit die wachmachende Wirkung von Licht auch nachts in Abwesenheit von kurzwelligem Licht mit einem 30-minütigen Lichtpuls von 500 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ausgelöst werden kann. Dies deutet darauf hin, dass der zugrundeliegende Mechanismus, durch den eine kurze polychromatische Lichtexposition die Aufmerksamkeit verbessert, nicht allein durch kurzwelliges Licht über intrinsisch photosensitive retinale Ganglienzellen erfolgt

Sletten, Tracey L.; Ftouni, Suzanne; Nicholas, Christian L.; Magee, Michelle; Grunstein, Ronald R.; Ferguson, Sally et al. (2017): Randomised controlled trial of the efficacy of a blue-enriched light intervention to improve alertness and performance in night shift workers.

Die Studie untersuchte die Wirksamkeit von blau-angereichertem polychromatischem Licht zur Verbesserung der Aufmerksamkeit und der neurologischen Leistung bei Nachtarbeitern.

Interventionen von 23:00 Uhr bis 07:00 Uhr
blau angereichertes weißes Licht (n = 36): 17000 K, 89 lx
weißes Standardlicht (n = 36): 4000 K, 84 lx

Schlaf-Wach-Protokolle und Aktigraphie, Melatoninmessungen, subjektive und objektive Bewertungen der Müdigkeit, Leistungstests

Subjektive und objektive Müdigkeit nahmen während der Nachtschicht unter beiden Lichtbedingungen zu, aber es wurden keine signifikanten Effekte der Lichtbedingung beobachtet. Das 17000 K Licht verbesserte jedoch die subjektive Müdigkeit im Vergleich zur 4000 K Bedingung, wenn die Lichtexposition mit dem Zeitpunkt des Melatoninmaximums zusammenfiel. Diese Studie deutet darauf hin, dass blau angereichertes Licht zwar das Potenzial hat, die subjektive Müdigkeit bei Nachtschichtarbeitern zu verbessern, dass aber weitere Forschung bei der Auswahl der Lichteigenschaften erforderlich ist, um die Vorteile zu maximieren.

Smith, Mark R.; Cullnan, Erin E.; Eastman, Charmane I. (2008a): Shaping the light/dark pattern for circadian adaptation to night shift work.

Dies ist die zweite in einer Reihe von simulierten Nachtschichtstudien, die darauf abzielen, eine Kompromissposition der circadianen Phase zu erreichen und anschließend beizubehalten, die zwischen einer vollständigen Anpassung an die Tagesschlafperiode

und keiner Phasenverschiebung liegt. Dieser Kompromiss könnte zu einer verbesserten Aufmerksamkeit während der Nachtschicht und zu einem verbesserten Schlaf am Tag führen, während er immer noch einen adäquaten Schlaf in der Nacht und Wachheit an freien Tagen ermöglicht. Ziel war es, den Melatoninanstieg bei gedimmtem Licht (DLMO) von 21:00 Uhr auf 3:00 Uhr zu verzögern.

3 Nachtschichten, gefolgt von zwei freien Tagen
Lichtkästen zur Beleuchtung kreisförmig um die Person angeordnet
4100 lx am Auge, Leuchtstofflampen 5095 K
helles Tageslicht nach der Schlafperiode
Gruppe 1 (n = 9): 5 Lichtpulse a 15 min
Gruppe 2 (n = 10): 1 Lichtpulse mind. 20 min
dunkle Sonnenbrille im Freien, feste Schlafzeiten in dunklen Räumen
Kontrollgruppe (n = 12)
in der Nachtschicht unter 50lx, helle Sonnenbrille im Freien, kein Schlafplan

Melatonin-Messungen

Nach den freien Tagen lag der DLMO der Experimentalgruppen bei ca. 0:00-1:00 und damit nicht ganz beim Zielwert von 3:00, aber so, dass dieser nach weiteren Nachtschichten mit hellem Licht erreicht werden kann. Der DLMO der Kontrollgruppe änderte sich nur leicht. Die Versuchspersonen erbrachten während der Nachtschichten bessere Leistungen als die Kontrollpersonen.

Smith, Mark R.; Eastman, Charmane I. (2008b): Night shift performance is improved by a compromise circadian phase position: study 3. Circadian phase after 7 night shifts with an intervening weekend off.

Ziel und Beleuchtung: s. [Smith2008a]

n = 24

3 Nachtschichten - 2 freie Tage - 4 Nachtschichten

Versuchsgruppe (n = 12): 5 Lichtpulse a 15 min

dunkle Sonnenbrille im Freien, feste Schlafzeiten in dunklen Räumen, helles Tageslicht nach der Schlafperiode

Kontrollgruppe (n = 12): normale Raumbeleuchtung, helle Sonnenbrille im Freien, kein Schlafplan

Der endgültige DLMO der Versuchsgruppe lag bei ca. 4:30 Uhr, nahe der angestrebten Kompromissphasenposition und signifikant später als bei der Kontrollgruppe um ca. 0:30 Uhr. Die Versuchspersonen zeigten bessere Leistungen als die Kontrollgruppe und schliefen fast die gesamte vorgesehene Zeit im Bett. Bei der letzten Nachtschicht erbrachten sie in der Nacht fast die gleiche Leistung wie bei der Baseline am Tag. Die Kontrollpersonen zeigten ausgeprägte Leistungseinbußen in den späten Nachtschichten und wiesen große individuelle Unterschiede in der Schlafdauer auf.

Smith, Mark R.; Fogg, Louis F.; Eastman, Charmane I. (2009a): Practical interventions to promote circadian adaptation to permanent night shift work: study 4.

Ziel und Beleuchtung: s. [Smith2008a]

19 Probanden

3 Nachtschichten - 2 freie Tage - 4 Nachtschichten - 2 freie Tage

Versuchsgruppe (n = 10): 4 Lichtpulse aus Lichtbox a 15 min, dunkle Sonnenbrille im Freien, feste Schlafzeiten in dunklen Räumen, helles Tageslicht nach der Schlafperiode

Kontrollgruppe (n = 10): normale Raumbelichtung, helle Sonnenbrille im Freien, kein Schlafplan

Der endgültige DLMO der Versuchsgruppe lag bei $3:22 \pm 2,0$ Uhr, nahe am Ziel von 3:00 und später als die der Kontrollgruppe mit $23:24 \pm 3,8$ Uhr Die Versuchspersonen schliefen fast die gesamte erlaubte Zeit im Bett. Einige Kontrollprobanden, die am Wochenende spät schliefen, erreichten ebenfalls die Kompromiss-Phasenlage und erhielten mehr Schlaf am Tag. Probanden mit einer Phasenverschiebung (egal ob in der Versuchs- oder Kontrollgruppe) nahe der Zielphase schliefen während der Nachtschichten besser. Eine Kompromissphasenposition verbesserte die Leistung während der Nachtschichten, ermöglichte ausreichenden Schlaf während des Tages nach den Nachtschichten und während der späten Nachtzeit an freien Tagen.

Smith, Mark R.; Fogg, Louis F.; Eastman, Charmane I. (2009b): A compromise circadian phase position for permanent night work improves mood, fatigue, and performance.

Anhand von Daten aus [Smith2008b] und [Smith2009b] wurde untersucht, ob sich Stimmung, Müdigkeit und Leistung bei Nachtschicht verbessert, wenn die Abweichung zwischen dem circadianen Rhythmus einem Schlaf-Wach-Rhythmus reduziert wird.

Die Testpersonen mit teilweiser oder vollständiger Anpassung der Rhythmen zeigte eine deutlich verbesserte Stimmung, Müdigkeit und Leistung im Vergleich zur nicht angepassten Gruppe. Die partielle Umstellung auf einen permanenten Nachtschichtplan ist mit einer stark reduzierten Beeinträchtigung während der Nachtschicht verbunden.

Sunde, Erlend; Pedersen, Torhild; Mrdalj, Jelena; Thun, Eirunn; Grønli, Janne; Harris, Anette et al. (2020a): Blue-Enriched White Light Improves Performance but Not Subjective Alertness and Circadian Adaptation During Three Consecutive Simulated Night Shifts.

Es wurde die Wirkung von blau angereichertem Licht auf Aktivierenden und Leistung während der Nachtarbeit untersucht.

n = 30, Cross-over-Design

3 simulierte Nachtschichten

blau angereicherte weißes Licht: 7000 K; ~200 lx

warmweißes Licht: 2500 K, gleiche Photonendichte

KSS, PVT, Digit-Symbol-Substitutionstest (DSST), DLMO

Die subjektive Aufmerksamkeit und die Leistung im PVT und DSST verschlechterten sich während der Nachtschichten. 7000 K Licht war vorteilhafter für die Leistung, hauptsächlich in Bezug auf weniger Fehler im PVT, am Ende der ersten und zweiten Nachtschicht, verglichen mit 2500 K Licht. Blau angereichertes Licht hatte nur einen geringen Einfluss auf die PVT-Reaktionszeiten. Sowohl bei 7000 K als auch bei 2500 K Licht war der DLMO bei den Teilnehmern verzögert. Beide Lichtbedingungen wurden positiv bewertet, obwohl die Teilnehmer 7000 K als geeigneter für die Arbeit empfanden, jedoch 2500 K Licht als angenehmer bewerteten. Die Daten deuten auf geringfügige, aber vorteilhafte Auswirkungen von 7000 K Licht im Vergleich zu 2500 K Licht auf die Leistung bei Nachtarbeit hin.

Sunde, Erlend; Mrdalj, Jelena; Pedersen, Torhild; Thun, Eirunn; Bjorvatn, Bjørn; Grønli, Janne et al. (2020b): Role of nocturnal light intensity on adaptation to three consecutive night shifts: a counterbalanced crossover study.

Es wurde untersucht, wie eine helle Lichtintervention die Aufmerksamkeit und die neurologische Leistung während dreier aufeinanderfolgender simulierter Nachtschichten und das Timing des circadianen Rhythmus nach den Schichten beeinflusst.

n = 27, Cross-over-Design

in aufeinanderfolgende Nachtschichten (23:00 bis 7:00 Uhr)

helles Licht: LED: 4000 K, 900 lx

Standardlicht: 4000 K, 90 lx

KSS, PVT, Digit-Symbol-Substitutionstest (DSST), DLMO

Die subjektive Aufmerksamkeit und die Leistung verschlechterten sich während der Nachtschichten unter beiden Lichtbedingungen. Helles Licht führte zu signifikant weniger Aufmerksamkeits- und Leistungsverschlechterung im Vergleich zu Standardlicht. Bei einer Untergruppe der Teilnehmer war der DLMO nach drei Nachtschichten bei hellem Licht um durchschnittlich 3:17 Stunden und bei Standardlicht um 2:06 Stunden verzögert, was darauf hinweist, dass helles Licht eine größere Phasenverzögerung verursacht.

Thorne, Helen; Hampton, Shelagh; Morgan, Linda; Skene, Debra J.; Arendt, Josephine (2010): Returning from night shift to day life: Beneficial effects of light on sleep.

Das Ziel dieser Studie war es, die Wirksamkeit einer zeitlich abgestimmten Lichtbehandlung zu untersuchen, um die circadiane Rück-Anpassung nach einer Nachtschichtperiode zu beschleunigen und den Schlaf nach der Nachtschicht zu verbessern.

Cross-over-Design (n = 10)

zeitgesteuerte Lichtbehandlung mit Therapieleuchten 3000 lx/Sonnenbrille nach Ende der Nachtschicht auf dem Heimweg

Kontrollgruppe: keine Lichtbehandlung/keine Sonnenbrille

Chronotyp, Actiwatch-L zur Überwachung von Licht und Aktivität, Schlaftagebuch, Melatonin-Messung

Die aktigraphische Schlaffeffizienz war nach der Licht-/Sonnenbrillen-Behandlung signifikant verbessert im Vergleich zu keiner Lichtbehandlung. Es war kein Zusammenhang zwischen Lichtbehandlung und Melatonin-Spiegel erkennbar. Die subjektive und objektive Schlafdauer war nach der Lichtbehandlung länger im Vergleich zu keiner Behandlung. Bei angemessenem Timing haben Licht und Dunkelheit positive Auswirkungen auf die Schlaffeffizienz und Schlafdauer nach einer Nachtschicht.

van de Werken, Maan; Giménez, Marina C.; Vries, Bonnie de; Beersma, Domien G. M.; Gordijn, Marijke C. M. (2013): Short-wavelength attenuated polychromatic white light during work at night: limited melatonin suppression without substantial decline of alertness.

An 33 männlichen Probanden wurde untersucht, ob kurzwelliges abgeschwächtes polychromatisches weißes Licht (unter 530 nm herausgefiltert) in der Nacht den Melatoninspiegel im Dämmerlicht erhält und ob es ähnliche Hauttemperaturen, Aufmerksamkeit und Leistungsniveaus wie unter Vollspektrumlicht induziert.

n = 33 Cross-over-Design (?)

gedimmtes Licht: 3 lx

blareduziertes Weißlicht: 193 lx (durch Verwendung von Filterfolien an der Leuchte)

Vollspektrumlicht: 256 lx, 3000 K Leuchtstofflampe

Speichel-Melatonin, Hauttemperatur, subjektive Müdigkeit, Aktivierung, Leistungsbewertung mit Additionsaufgabe

Die Ergebnisse zeigen, dass blareduziertes Licht das Speichelmelatonin nur geringfügig unterdrückt. Der durchschnittliche Hauttemperatur-Gradient (DPG) und sein zeitliches Muster blieben unter blareduziertem Licht ähnlich wie bei gedimmtem Licht. Die Probanden erbrachten bei einer Additionsaufgabe in beiden Situationen gleich gute Leistungen. Obwohl die subjektive Bewertung der Aktivierung unter blareduziertem Licht geringer war, war die subjektive Müdigkeit nicht erhöht. Blareduziertes Licht in der Nacht hat einige Vorteile gegenüber hellem Licht. Es unterdrückt kaum die Melatoninkonzentration, während die Leistungsfähigkeit ähnlich der hellen Lichtbedingung ist. Dennoch ist die Aufmerksamkeit im Vergleich zu hellem Licht leicht reduziert, und die DPG zeigt Ähnlichkeit mit dem Zustand bei gedimmtem Licht, was ein physiologisches Zeichen für reduzierte Aufmerksamkeit ist. Blareduziertes Licht könnte daher in Arbeitsumgebungen, die ein hohes Maß an Aufmerksamkeit erfordern, nicht ratsam sein.

Weisgerber, Denise M.; Nikol, Maria; Mistlberger, Ralph E. (2017): Driving home from the night shift: a bright light intervention study.

Es wurde die Auswirkung von hellem Licht auf Aufmerksamkeit und kognitive Leistung bei Testfahrten am Ende einer durchwachten Nacht (Schlafentzug) im Vergleich zu Fahrten nach dem Aufwachen untersucht.

n = 29, Cross-over-Design

BL: helles Licht 5600 lx, 5000 K aus seiner Lichtbox

DL: gedimmtes Licht 35 lx

Schlaf oder durchwachte Nacht bei DL, danach 45 Minuten BL oder DL

KSS, PVT, Testfahrten im Fahrsimulator

In den durchwachten Nächten mit Schlafentzug nahm die Mundtemperatur ab, während die Reaktionszeit und die Müdigkeit zunahm. BL unterdrückte das Speichelmelatonin, hatte aber wenig oder keinen Effekt auf Müdigkeit oder Reaktionszeit. Schlafentzug führte zu einer deutlichen Zunahme von Zwischenfällen und Unfällen. Fünf Probanden (26 %) erlitten in der DL-Bedingung einen tödlichen Unfall, aber keiner in der BL- oder der Ruhe-BL-Bedingung. Im Vergleich zu DL war BL insgesamt mit weniger Zwischenfällen und Unfällen verbunden und mit einer besseren Leistung in der zweiten Runde der Rennstrecke bei mehreren Leistungsmessungen.

Schlussfolgerung: BL am Ende einer Nachtschicht hat möglicherweise Potenzial als Gegenmaßnahme zur Verbesserung der Fahrleistung nach Nachtarbeit.

Zamanian, Z.; Kakooei, H.; Ayattollahi, S. M. T.; Dehghani, M. (2010): Effect of bright light on shift work nurses in hospitals.

Ziel der Studie war, die Auswirkungen von hellem Licht auf die Rhythmen von Körpertemperatur, Plasma-Melatonin, Plasma-Cortisol und subjektiver Aufmerksamkeit während der Schichtarbeit von Krankenschwestern zu untersuchen.

n = 34, Cross-over-Design

helles Licht (4500 lx) während zwei Pausen, je 45 Minuten

Beleuchtungssystem nicht angegeben

Vergleich mit Standard-Beleuchtung (300 lx)

KSS, Cortisol- und Melatonin-Messungen, subjektive Aufmerksamkeit

Es wurde festgestellt, dass die Verabreichung von hellem Licht den nächtlichen Melatoninspiegel während der Nachtschicht signifikant unterdrückte, am stärksten um 2:00 Uhr morgens. Helles Licht erhöhte tendenziell den Cortisolspiegel und die Körpertemperatur und verbesserte die subjektive Aufmerksamkeit während der Nachtschicht signifikant.

9 Literaturverzeichnis

- Aemmi, Seyedeh Zahra; Mohammadi, Eesa; Heidarian-Miri, Hamid; Fereidooni-Moghadam, Malek; Boostani, Hatam; Zarea, Kourosh (2020): The effectiveness of bright light exposure in shift-worker nurses: A systematic review and meta-analysis. In: *Sleep science (Sao Paulo, Brazil)* 13 (2), S. 145–151. DOI: 10.5935/1984-0063.20190137.
- Åhsberg, Elizabeth; Kecklund, Göran; Åkerstedt, Torbjörn; Gamberale, Francesco (2000): Shiftwork and different dimensions of fatigue. In: *International Journal of Industrial Ergonomics* 26 (4), S. 457–465. DOI: 10.1016/S0169-8141(00)00007-X.
- Anjum, B.; Verma, N. S.; Tiwari, S.; Singh, R.; Fatima, G.; Singh, P. et al. (2013): Light exposure at night and rotating night shift associated with circadian disruption of 6-sulfatoxy melatonin. In: *Inte. Jour. of Medi. Res. & Health Sci.* 2 (4), S. 809. DOI: 10.5958/j.2319-5886.2.4.129.
- Arendt, Josephine (2010): Shift work: coping with the biological clock. In: *Occupational medicine (Oxford, England)* 60 (1), S. 10–20. DOI: 10.1093/occmed/kqp162.
- ASTA (2018): Empfehlung des Ausschusses für Arbeitsstätten (ASTA) - Künstliche biologisch wirksame Beleuchtung in Arbeitsstätten.
- Bhatti, Parveen; Mirick, Dana K.; Davis, Scott (2014): The impact of chronotype on melatonin levels among shift workers. In: *Occupational and environmental medicine* 71 (3), S. 195–200. DOI: 10.1136/oe-med-2013-101730.
- Bjorvatn, Bjørn; Pallesen, Ståle; Waage, Siri; Thun, Eirunn; Blytt, Kjersti M. (2020): The effects of bright light treatment on subjective and objective sleepiness during three consecutive night shifts among hospital nurses - a counter-balanced placebo-controlled crossover study. In: *Scandinavian journal of work, environment & health.* DOI: 10.5271/sjweh.3930.
- Boivin, Diane B.; Boudreau, Philippe; Tremblay, Geneviève M. (2012a): Phototherapy and orange-tinted goggles for night-shift adaptation of police officers on patrol. In: *Chronobiology international* 29 (5), S. 629–640. DOI: 10.3109/07420528.2012.675252.
- Boivin, Diane B.; Boudreau, Philippe; James, Francine O.; Kin, N. M. K. Ng Ying (2012b): Photic resetting in night-shift work: impact on nurses' sleep. In: *Chronobiology international* 29 (5), S. 619–628. DOI: 10.3109/07420528.2012.675257.
- Boivin, D. B.; Boudreau, P. (2014): Impacts of shift work on sleep and circadian rhythms. In: *Pathologie-biologie* 62 (5), S. 292–301. DOI: 10.1016/j.patbio.2014.08.001.
- Bonde, Jens Peter; Hansen, Johnni; Kolstad, Henrik Albert; Mikkelsen, Sigurd; Olsen, Jørgen H.; Blask, David E. et al. (2012): Work at night and breast cancer--report on evidence-based options for preventive actions. In: *Scandinavian journal of work, environment & health* 38 (4), S. 380–390. DOI: 10.5271/sjweh.3282.
- Borbély, Alexander A.; Daan, Serge; Wirz-Justice, Anna; Deboer, Tom (2016): The two-process model of sleep regulation: a reappraisal. In: *Journal of sleep research* 25 (2), S. 131–143. DOI: 10.1111/jsr.12371.
- Boudreau, Philippe; Dumont, Guy A.; Boivin, Diane B. (2013): Circadian adaptation to night shift work influences sleep, performance, mood and the autonomic modulation of the heart. In: *PloS one* 8 (7), e70813. DOI: 10.1371/journal.pone.0070813.
- Canazei, Markus; Pohl, Wilfried; Bliem, Harald R.; Weiss, Elisabeth M. (2017): Acute effects of different light spectra on simulated night-shift work without circadian alignment. In: *Chronobiology international* 34 (3), S. 303–317. DOI: 10.1080/07420528.2016.1222414.
- Casper, Robert F.; Rahman, Shadab (2014): Spectral modulation of light wavelengths using optical filters: effect on melatonin secretion. In: *Fertility and sterility* 102 (2), S. 336–338. DOI: 10.1016/j.fertnstert.2014.06.006.
- Chang, Anne-Marie; Santhi, Nayantara; St Hilaire, Melissa; Gronfier, Claude; Bradstreet, Dayna S.; Duffy, Jeanne F. et al. (2012): Human responses to bright light of different durations. In: *The Journal of physiology* 590 (13), S. 3103–3112. DOI: 10.1113/jphysiol.2011.226555.

- Chapdelaine, Simon; Paquet, Jean; Dumont, Marie (2012): Effects of partial circadian adjustments on sleep and vigilance quality during simulated night work. In: *Journal of sleep research* 21 (4), S. 380–389. DOI: 10.1111/j.1365-2869.2012.00998.x.
- Chellappa, Sarah Laxhmi; Steiner, Roland; Blattner, Peter; Oelhafen, Peter; Götz, Thomas; Cajochen, Christian (2011): Non-visual effects of light on melatonin, alertness and cognitive performance: can blue-enriched light keep us alert? In: *PloS one* 6 (1), e16429. DOI: 10.1371/journal.pone.0016429.
- Chinoy, Evan D.; Harris, Michael P.; Kim, Min Ju; Wang, Wei; Duffy, Jeanne F. (2016): Scheduled evening sleep and enhanced lighting improve adaptation to night shift work in older adults. In: *Occupational and environmental medicine* 73 (12), S. 869–876. DOI: 10.1136/oemed-2016-103712.
- Cho, YongMin; Ryu, Seung-Hun; Lee, Byeol Ri; Kim, Kyung Hee; Lee, Eunil; Choi, Jaewook (2015): Effects of artificial light at night on human health: A literature review of observational and experimental studies applied to exposure assessment. In: *Chronobiology international* 32 (9), S. 1294–1310. DOI: 10.3109/07420528.2015.1073158.
- CIE (2009): Ocular lighting effects on human physiology and behaviour. Technical report. Vienna: CIE Central Bureau (CIE technical report, 158).
- CIE (2016): Research roadmap for healthful interior lighting applications. Vienna: CIE Central Bureau (Technical report / CIE, 218).
- CIE (2019): Position Statement on Non-Visual Effects of Light: RECOMMENDING PROPER LIGHT AT THE PROPER TIME. 2. Aufl.
- Cuesta, Marc; Boudreau, Philippe; Cermakian, Nicolas; Boivin, Diane B. (2017): Rapid resetting of human peripheral clocks by phototherapy during simulated night shift work. In: *Scientific reports* 7 (1), S. 16310. DOI: 10.1038/s41598-017-16429-8.
- Czeisler, C. A.; Duffy, J. F.; Shanahan, T. L.; Brown, E. N.; Mitchell, J. F.; Rimmer, D. W. et al. (1999): Stability, precision, and near-24-hour period of the human circadian pacemaker. In: *Science (New York, N.Y.)* 284 (5423), S. 2177–2181. DOI: 10.1126/science.284.5423.2177.
- DGUV (2018): Nichtvisuelle Wirkungen von Licht auf den Menschen. DGUV Information 215-220.
- DIN (2013): DIN SPEC 67600:2013-04, Biologisch wirksame Beleuchtung_ - Planungsempfehlungen. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- DIN (2015): 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. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- DIN (2020): DIN/TS 5031-100:2020-05, Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik_ - Teil_100: Über das Auge vermittelte, melanopische Wirkung des Lichts auf den Menschen_ - Größen, Formelzeichen und Wirkungsspektren. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- Dumont, Marie; Blais, H el ene; Roy, Joanie; Paquet, Jean (2009): Controlled patterns of daytime light exposure improve circadian adjustment in simulated night work. In: *Journal of biological rhythms* 24 (5), S. 427–437. DOI: 10.1177/0748730409343795.
- Dumont, Marie; Lanct ot, Val erie; Cadieux-Viau, Rapha elle; Paquet, Jean (2012): Melatonin production and light exposure of rotating night workers. In: *Chronobiology international* 29 (2), S. 203–210. DOI: 10.3109/07420528.2011.647177.
- Dumont, Marie; Paquet, Jean (2014): Progressive decrease of melatonin production over consecutive days of simulated night work. In: *Chronobiology international* 31 (10), S. 1231–1238. DOI: 10.3109/07420528.2014.957304.
- Dun, Aishe; Zhao, Xuan; Jin, Xu; Wei, Tao; Gao, Xiang; Wang, Youxin; Hou, Haifeng (2020): Association Between Night-Shift Work and Cancer Risk: Updated Systematic Review and Meta-Analysis. In: *Frontiers in oncology* 10, S. 1006. DOI: 10.3389/fonc.2020.01006.
- Eichele, Gregor; Oster, Henrik (2020): Auf der Suche nach der biologischen Zeit. Von der Erforschung der circadianen Uhr. [S.l.]: SPRINGER.
- Erren, Thomas C.; Morfeld, Peter; Stork, Joachim; Knauth, Peter; M ulmann, Matthias J. A. von; Breitstadt, Rolf et al. (2009): Shift work, chronodisruption and cancer?--The IARC 2007 challenge for research

and prevention and 10 theses from the Cologne Colloquium 2008. In: *Scandinavian journal of work, environment & health* 35 (1), S. 74–79. DOI: 10.5271/sjweh.1303.

Erren, Thomas C. (2013): Shift work and cancer research: can chronotype predict susceptibility in night-shift and rotating-shift workers? In: *Occupational and environmental medicine* 70 (4), S. 283–284. DOI: 10.1136/oemed-2012-100984.

Figueiro, Mariana G.; Bierman, Andrew; Plitnick, Barbara; Rea, Mark S. (2009): Preliminary evidence that both blue and red light can induce alertness at night. In: *BMC neuroscience* 10, S. 105. DOI: 10.1186/1471-2202-10-105.

Figueiro, Mariana G.; Rea, Mark S. (2010): The effects of red and blue lights on circadian variations in cortisol, alpha amylase, and melatonin. In: *International journal of endocrinology* 2010, S. 829351. DOI: 10.1155/2010/829351.

Figueiro, Mariana G.; Rea, Mark S. (2012): Preliminary evidence that light through the eyelids can suppress melatonin and phase shift dim light melatonin onset. In: *BMC research notes* 5, S. 221. DOI: 10.1186/1756-0500-5-221.

Figueiro, M. G.; Nonaka, S.; Rea, M. S. (2014): Daylight exposure has a positive carryover effect on nighttime performance and subjective sleepiness. In: *Lighting Research & Technology* 46 (5), S. 506–519. DOI: 10.1177/1477153513494956.

Figueiro, Mariana G.; Sahin, Levent; Wood, Brittany; Plitnick, Barbara (2016a): Light at Night and Measures of Alertness and Performance: Implications for Shift Workers. In: *Biological research for nursing* 18 (1), S. 90–100. DOI: 10.1177/1099800415572873.

Figueiro, Mariana G.; Hunter, Claudia M. (2016b): Understanding Rotating Shift Workers' Health Risks. In: *Occupational health & safety (Waco, Tex.)* 85 (11), 32, 34, 36.

Figueiro, Mariana G.; Plitnick, Barbara; Roohan, Charles; Sahin, Levent; Kalsher, Michael; Rea, Mark S. (2019): Effects of a Tailored Lighting Intervention on Sleep Quality, Rest-Activity, Mood, and Behavior in Older Adults With Alzheimer Disease and Related Dementias: A Randomized Clinical Trial. In: *Journal of clinical sleep medicine : JCSM : official publication of the American Academy of Sleep Medicine* 15 (12), S. 1757–1767. DOI: 10.5664/jcsm.8078.

Figueiro, Mariana G.; Pedler, David (2020): Red light: A novel, non-pharmacological intervention to promote alertness in shift workers. In: *Journal of safety research* 74, S. 169–177. DOI: 10.1016/j.jsr.2020.06.003.

Griepentrog, John E.; Labiner, Hanna E.; Gunn, Scott R.; Rosengart, Matthew R. (2018): Bright environmental light improves the sleepiness of nightshift ICU nurses. In: *Critical care (London, England)* 22 (1), S. 295. DOI: 10.1186/s13054-018-2233-4.

Grønli, Janne; Mrdalj, Jelena (2018): Can night shift workers benefit from light exposure? In: *The Journal of physiology* 596 (12), S. 2269–2270. DOI: 10.1113/JP276043.

Grundy, Anne; Tranmer, Joan; Richardson, Harriet; Graham, Charles H.; Aronson, Kristan J. (2011): The influence of light at night exposure on melatonin levels among Canadian rotating shift nurses. In: *Cancer epidemiology, biomarkers & prevention : a publication of the American Association for Cancer Research, cosponsored by the American Society of Preventive Oncology* 20 (11), S. 2404–2412. DOI: 10.1158/1055-9965.EPI-11-0427.

Hannibal, Jens; Hindersson, Peter; Ostergaard, Jens; Georg, Birgitte; Heegaard, Steffen; Larsen, Philip Just; Fahrenkrug, Jan (2004): Melanopsin is expressed in PACAP-containing retinal ganglion cells of the human retinohypothalamic tract. In: *Investigative ophthalmology & visual science* 45 (11), S. 4202–4209. DOI: 10.1167/iovs.04-0313.

Hebert, Paulette; Clare, Greg; Jayadas, Aditya; Balasubramanian, Mahendran (2018): Tunable White Light System for Mission-Critical Control Room and Anti-Fatigue Room for Shift Workers: A Case Study. In: *IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)*, S. 25–28. DOI: 10.1109/APPEEC.2018.8566631.

Higuchi, Shigekazu; Fukuda, Tomomi; Kozaki, Tomoaki; Takahashi, Masaya; Miura, Nobuhiko (2011): Effectiveness of a red-visor cap for preventing light-induced melatonin suppression during simulated night work. In: *Journal of physiological anthropology* 30 (6), S. 251–258. DOI: 10.2114/jpa2.30.251.

- Hirschwald, Barbara; Nold, Annette; Bochmann, Frank; Heitmann, Thomas; Sun, Yi (2020): Chronotyp, Arbeitszeit und Arbeitssicherheit. In: *Zbl Arbeitsmed* 70 (5), S. 207–214. DOI: 10.1007/s40664-020-00397-4.
- Hittle, Beverly M.; Gillespie, Gordon L. (2018): Identifying shift worker chronotype: implications for health. In: *Industrial health* 56 (6), S. 512–523. DOI: 10.2486/indhealth.2018-0018.
- Hommel, Vanja; Giménez, Marina C. (2015): A revision of existing Karolinska Sleepiness Scale responses to light: A melanopic perspective. In: *Chronobiology international* 32 (6), S. 750–756. DOI: 10.3109/07420528.2015.1043012.
- Huang, Li-Bi; Tsai, Mei-Chu; Chen, Ching-Yen; Hsu, Shih-Chieh (2013): The effectiveness of light/dark exposure to treat insomnia in female nurses undertaking shift work during the evening/night shift. In: *Journal of clinical sleep medicine : JCSM : official publication of the American Academy of Sleep Medicine* 9 (7), S. 641–646. DOI: 10.5664/jcsm.2824.
- Hubbard, Jeffrey; Ruppert, Elisabeth; Gropp, Claire-Marie; Bourgin, Patrice (2013): Non-circadian direct effects of light on sleep and alertness: lessons from transgenic mouse models. In: *Sleep medicine reviews* 17 (6), S. 445–452. DOI: 10.1016/j.smrv.2012.12.004.
- Jensen, Hanne Irene; Markvart, Jakob; Holst, René; Thomsen, Tina Damgaard; Larsen, Jette West; Eg, Dorthe Maria; Nielsen, Lisa Seest (2016a): Shift work and quality of sleep: effect of working in designed dynamic light. In: *International archives of occupational and environmental health* 89 (1), S. 49–61. DOI: 10.1007/s00420-015-1051-0.
- Jensen, Marie Aarrebo; Garde, Anne Helene; Kristiansen, Jesper; Nabe-Nielsen, Kirsten; Hansen, Åse Marie (2016b): The effect of the number of consecutive night shifts on diurnal rhythms in cortisol, melatonin and heart rate variability (HRV): a systematic review of field studies. In: *International archives of occupational and environmental health* 89 (4), S. 531–545. DOI: 10.1007/s00420-015-1093-3.
- JOHNS, Murray W. (2010): A new perspective on sleepiness. In: *Sleep and Biological Rhythms* 8 (3), S. 170–179. DOI: 10.1111/j.1479-8425.2010.00450.x.
- Kakooei, Hossein; Ardakani, Zahra Zamanian; Ayattollahi, Mohammad Taghi; Karimian, Mortaza; Saraji, Gebraeil Nasl; Owji, Ali Akbar (2010): The effect of bright light on physiological circadian rhythms and subjective alertness of shift work nurses in Iran. In: *International journal of occupational safety and ergonomics : JOSE* 16 (4), S. 477–485. DOI: 10.1080/10803548.2010.11076860.
- Kantermann, Thomas; JUDA, Myriam; Vetter, Céline; Roenneberg, Till (2010): Shift-work research: Where do we stand, where should we go? In: *Sleep and Biological Rhythms* 8 (2), S. 95–105. DOI: 10.1111/j.1479-8425.2010.00432.x.
- Kantermann, Thomas; Wehrens, Sophie M. T.; Ulhôa, Melissa A.; Moreno, Claudia; Skene, Debra J. (2012): Noisy and individual, but doable: shift-work research in humans. In: *Progress in brain research* 199, S. 399–411. DOI: 10.1016/B978-0-444-59427-3.00022-8.
- Kantermann, Thomas; Schierz, Christoph; Harth, Volker (2018): Gesicherte arbeitsschutzrelevante Erkenntnisse über die nichtvisuelle Wirkung von Licht auf den Menschen, KAN-Literaturstudie 2018
- Karchani, Mohsen; Kakooei, Hossein; YAZDI, Zohre; ZARE, Mohsen (2011): Do bright-light shock exposures during breaks reduce subjective sleepiness in night workers? In: *Sleep and Biological Rhythms* 9 (2), S. 95–102. DOI: 10.1111/j.1479-8425.2011.00490.x.
- Kazemi, Reza; Hemmatjo, Rasoul; Mokarami, Hamidreza; Hamidreza, Mokarami (2018): The effect of a blue enriched white light on salivary antioxidant capacity and melatonin among night shift workers: a field study. In: *Annals of occupational and environmental medicine* 30, S. 61. DOI: 10.1186/s40557-018-0275-3.
- Khammar, Alireza; Moghimian, Maryam; Ebrahimi, Mohammad; Abbasi, Milad; Baneshi, Mohammad; Yari, Ahmad et al. (2017): Effects of bright light shock on sleepiness and adaptation among night workers of a hospital in Iran. In: *Annals of Tropical Medicine and Public Health* 10 (3), S. 595–599. DOI: 10.4103/ATMPH.ATMPH_108_17.
- Kraneburg, Anja; Franke, Steffen; Methling, Ralf; Griefahn, Barbara (2017): Effect of color temperature on melatonin production for illumination of working environments. In: *Applied ergonomics* 58, S. 446–453. DOI: 10.1016/j.apergo.2016.08.006.

- Kretschmer, V.; Griefahn, B.; Schmidt, K-H (2011): Bright light and night work: effects on selective and divided attention in elderly persons. In: *Lighting Research & Technology* 43 (4), S. 473–486. DOI: 10.1177/1477153511405808.
- Kretschmer, V.; Schmidt, K-H; Griefahn, B. (2012): Bright light effects on working memory, sustained attention and concentration of elderly night shift workers. In: *Lighting Research & Technology* 44 (3), S. 316–333. DOI: 10.1177/1477153511418769.
- Kretschmer, Veronika; Schmidt, Klaus-Helmut; Griefahn, Barbara (2013): Bright-light effects on cognitive performance in elderly persons working simulated night shifts: psychological well-being as a mediator? In: *International archives of occupational and environmental health* 86 (8), S. 901–914. DOI: 10.1007/s00420-012-0826-9.
- Lee, Sang-il; Kinoshita, Saki; Noguchi, Anna; Eto, Taisuke; Ohashi, Michihiro; Nishimura, Yuki et al. (2020): Melatonin suppression during a simulated night shift in medium intensity light is increased by 10-minute breaks in dim light and decreased by 10-minute breaks in bright light. In: *Chronobiology international* 37 (6), S. 897–909. DOI: 10.1080/07420528.2020.1752704.
- LeGates, Tara A.; Fernandez, Diego C.; Hattar, Samer (2014): Light as a central modulator of circadian rhythms, sleep and affect. In: *Nature reviews. Neuroscience* 15 (7), S. 443–454. DOI: 10.1038/nrn3743.
- Leppämäki, Sami; Partonen, Timo; Piironen, Pauliina; Haukka, Jari; Lönnqvist, Jouko (2003): Timed bright-light exposure and complaints related to shift work among women. In: *Scandinavian journal of work, environment & health* 29 (1), S. 22–26. DOI: 10.5271/sjweh.700.
- Lockley, Steven W.; Evans, Erin E.; Scheer, Frank A. J. L.; Brainard, George C.; Czeisler, Charles A.; Aeschbach, Daniel (2006): Short-wavelength sensitivity for the direct effects of light on alertness, vigilance, and the waking electroencephalogram in humans. In: *Sleep* 29 (2), S. 161–168.
- Lok, Renske; Smolders, Karin C. H. J.; Beersma, Domien G. M.; Kort, Yvonne A. W. de (2018): Light, Alertness, and Alerting Effects of White Light: A Literature Overview. In: *Journal of biological rhythms* 33 (6), S. 589–601. DOI: 10.1177/0748730418796443.
- Lowden, Arne; Åkerstedt, Torbjörn (2012): Assessment of a new dynamic light regimen in a nuclear power control room without windows on quickly rotating shiftworkers--effects on health, wakefulness, and circadian alignment: a pilot study. In: *Chronobiology international* 29 (5), S. 641–649. DOI: 10.3109/07420528.2012.675850.
- Lowden, Arne; Öztürk, Gülcin; Reynolds, Amy; Bjorvatn, Bjørn (2019): Working Time Society consensus statements: Evidence based interventions using light to improve circadian adaptation to working hours. In: *Industrial health* 57 (2), S. 213–227. DOI: 10.2486/indhealth.SW-9.
- Maghsoudipour, Maryam; Hosseinzadeh, Samaneh; Parkhoo, Mohammad; Ansari, Mohammad; Karbasi, Ashkan (2019): 0642 The Effect of Bright Light on Temperature, Sleepiness, and Salivary Melatonin in Shift Work Nurses. In: *Sleep* 42 (Supplement_1), A255-A257. DOI: 10.1093/sleep/zsz067.640.
- Motamedzadeh, Majid; Golmohammadi, Rostam; Kazemi, Reza; Heidarimoghadam, Rashid (2017): The effect of blue-enriched white light on cognitive performances and sleepiness of night-shift workers: A field study. In: *Physiology & behavior* 177, S. 208–214. DOI: 10.1016/j.physbeh.2017.05.008.
- Mrdalj J, Sunde E, Pedersen T, Thun E, Gronli J, Harris A, Bjorvatn B, Waage S, Pallesen S (2018): Effects of bright light on sleepiness and cognitive performance during simulated night shift work. In: *Journal of sleep research, Abstracts of the 24th Congress of the European Sleep Research Society, 25-28 September 2018, Basel, Switzerland* 27 Suppl 1, e12751. DOI: 10.1111/jsr.12751.
- Nagashima, Shunsuke; Osawa, Madoka; Matsuyama, Hiroto; Ohoka, Wataru; Ahn, Aemi; Wakamura, Tomoko (2018): Bright-light exposure during daytime sleeping affects nocturnal melatonin secretion after simulated night work. In: *Chronobiology international* 35 (2), S. 229–239. DOI: 10.1080/07420528.2017.1394321.
- Neil-Sztramko, Sarah E.; Pahwa, Manisha; Demers, Paul A.; Gotay, Carolyn C. (2014): Health-related interventions among night shift workers: a critical review of the literature. In: *Scandinavian journal of work, environment & health* 40 (6), S. 543–556. DOI: 10.5271/sjweh.3445.
- Olson, Jay A.; Artenie, Despina Z.; Cyr, Mariève; Raz, Amir; Lee, Virginia (2020): Developing a light-based intervention to reduce fatigue and improve sleep in rapidly rotating shift workers. In: *Chronobiology international* 37 (4), S. 573–591. DOI: 10.1080/07420528.2019.1698591.

- Pallesen, Ståle; Bjorvatn, Bjørn; Magerøy, Nils; Saksvik, Ingvild Berg; Waage, Siri; Moen, Bente Elisabeth (2010): Measures to counteract the negative effects of night work. In: *Scandinavian journal of work, environment & health* 36 (2), S. 109–120. DOI: 10.5271/sjweh.2886.
- Papamichael, Christiana; Skene, Debra J.; Revell, Victoria L. (2012): Human nonvisual responses to simultaneous presentation of blue and red monochromatic light. In: *J Biol Rhythms* 27 (1), S. 70–78. DOI: 10.1177/0748730411431447.
- Papantoniou, Kyriaki; Pozo, Oscar J.; Espinosa, Ana; Marcos, Josep; Castaño-Vinyals, Gemma; Basagaña, Xavier et al. (2014): Circadian variation of melatonin, light exposure, and diurnal preference in day and night shift workers of both sexes. In: *Cancer epidemiology, biomarkers & prevention : a publication of the American Association for Cancer Research, cosponsored by the American Society of Preventive Oncology* 23 (7), S. 1176–1186. DOI: 10.1158/1055-9965.EPI-13-1271.
- Pedersen, T. T.; Mrdalj, J.; Pallensen, S.; Sunde, E.; Thun, E.; Henriksen, T. E. G. et al. (2018): Bright Light Exposure during Simulated Night Shift Work – Impact on Daytime Sleep. In: *Chronobiology: Society for Light Treatment and Biological Rhythms, 30th Annual Meeting, Groningen (The Netherlands), June 21–24, 2018, Bd. 76 (76), S. 1–46.*
- Phipps-Nelson, Jo; Redman, Jennifer R.; Schlangen, Luc J. M.; Rajaratnam, Shantha M. W. (2009): Blue light exposure reduces objective measures of sleepiness during prolonged nighttime performance testing. In: *Chronobiology international* 26 (5), S. 891–912. DOI: 10.1080/07420520903044364.
- Plitnick, B.; Figueiro, M. G.; Wood, B.; Rea, M. S. (2010): The effects of red and blue light on alertness and mood at night. In: *Lighting Research & Technology* 42 (4), S. 449–458. DOI: 10.1177/1477153509360887.
- Rahman, Shadab A.; Flynn-Evans, Erin E.; Aeschbach, Daniel; Brainard, George C.; Czeisler, Charles A.; Lockley, Steven W. (2014): Diurnal spectral sensitivity of the acute alerting effects of light. In: *Sleep* 37 (2), S. 271–281. DOI: 10.5665/sleep.3396.
- Rahman, Shadab A.; Marcu, Shai; Shapiro, Colin M.; Brown, Theodore J.; Casper, Robert F. (2011): Spectral modulation attenuates molecular, endocrine, and neurobehavioral disruption induced by nocturnal light exposure. In: *American journal of physiology. Endocrinology and metabolism* 300 (3), E518-27. DOI: 10.1152/ajpendo.00597.2010.
- Rahman, Shadab A.; Shapiro, Colin M.; Wang, Flora; Ainlay, Hailey; Kazmi, Syeda; Brown, Theodore J.; Casper, Robert F. (2013): Effects of filtering visual short wavelengths during nocturnal shiftwork on sleep and performance. In: *Chronobiology international* 30 (8), S. 951–962. DOI: 10.3109/07420528.2013.789894.
- Rahman, Shadab A.; Wright, Kenneth P.; Lockley, Steven W.; Czeisler, Charles A.; Gronfier, Claude (2019): Characterizing the temporal Dynamics of Melatonin and Cortisol Changes in Response to Nocturnal Light Exposure. In: *Scientific reports* 9 (1), S. 19720. DOI: 10.1038/s41598-019-54806-7.
- Regente, J.; Zeeuw, J. de; Bes, F.; Nowozin, C.; Appelhoff, S.; Wahnschaffe, A. et al. (2017): Can short-wavelength depleted bright light during single simulated night shifts prevent circadian phase shifts? In: *Applied ergonomics* 61, S. 22–30. DOI: 10.1016/j.apergo.2016.12.014.
- Richter, Kneginja; Acker, Jens; Kamcev, Nikola; Bajraktarov, Stojan; Piehl, Anja; Niklewski, Guenter (2011): Recommendations for the prevention of breast cancer in shift workers. In: *The EPMA journal* 2 (4), S. 351–356. DOI: 10.1007/s13167-011-0126-6.
- Rodenbeck, A.; Neuwirth, M.; Özgüc, R.; Wiater, A. (2019): Feldstudie zu verschiedenen Lichtsituationen mit steuerbarem Blauanteil bei industrieller Spätschicht. In: *Somnologie* 23 (4), S. 240–246. DOI: 10.1007/s11818-019-00229-5.
- Rodríguez-Morilla, Beatriz; Madrid, Juan A.; Molina, Enrique; Correa, Angel (2017): Blue-Enriched White Light Enhances Physiological Arousal But Not Behavioral Performance during Simulated Driving at Early Night. In: *Frontiers in psychology* 8, S. 997. DOI: 10.3389/fpsyg.2017.00997.
- Sadeghniaat-Haghighi, Khosro; Yazdi, Zohreh; Jahanihashemi, Hassan; Aminian, Omid (2011): The effect of bright light on sleepiness among rapid-rotating 12-hour shift workers. In: *Scandinavian journal of work, environment & health* 37 (1), S. 77–79. DOI: 10.5271/sjweh.3086.
- Sahin, Levent; Figueiro, Mariana G. (2013): Alerting effects of short-wavelength (blue) and long-wavelength (red) lights in the afternoon. In: *Physiology & behavior* 116-117, S. 1–7. DOI: 10.1016/j.physbeh.2013.03.014.

- Sasseville, Alexandre; Benhaberou-Brun, Dalila; Fontaine, Charlotte; Charon, Marie-Claude; Hébert, Marc (2009): Wearing blue-blockers in the morning could improve sleep of workers on a permanent night schedule: a pilot study. In: *Chronobiology international* 26 (5), S. 913–925. DOI: 10.1080/07420520903044398.
- Sasseville, Alexandre; Hébert, Marc (2010): Using blue-green light at night and blue-blockers during the day to improve adaptation to night work: a pilot study. In: *Progress in neuro-psychopharmacology & biological psychiatry* 34 (7), S. 1236–1242. DOI: 10.1016/j.pnpbp.2010.06.027.
- Sasseville, Alexandre; Martin, Jeanne Sophie; Houle, Jérôme; Hébert, Marc (2015): Investigating the contribution of short wavelengths in the alerting effect of bright light. In: *Physiology & behavior* 151, S. 81–87. DOI: 10.1016/j.physbeh.2015.06.028.
- Slanger, Tracy E.; Gross, J. Valérie; Pinger, Andreas; Morfeld, Peter; Bellinger, Miriam; Duhme, Anna-Lena et al. (2016): Person-directed, non-pharmacological interventions for sleepiness at work and sleep disturbances caused by shift work. In: *The Cochrane database of systematic reviews* (8), CD010641. DOI: 10.1002/14651858.CD010641.pub2.
- Sletten, Tracey L.; Ftouni, Suzanne; Nicholas, Christian L.; Magee, Michelle; Grunstein, Ronald R.; Ferguson, Sally et al. (2017): Randomised controlled trial of the efficacy of a blue-enriched light intervention to improve alertness and performance in night shift workers. In: *Occupational and environmental medicine* 74 (11), S. 792–801. DOI: 10.1136/oemed-2016-103818.
- Smith, Mark R.; Cullinan, Erin E.; Eastman, Charmane I. (2008a): Shaping the light/dark pattern for circadian adaptation to night shift work. In: *Physiology & behavior* 95 (3), S. 449–456. DOI: 10.1016/j.physbeh.2008.07.012.
- Smith, Mark R.; Eastman, Charmane I. (2008b): Night shift performance is improved by a compromise circadian phase position: study 3. Circadian phase after 7 night shifts with an intervening weekend off. In: *Sleep* 31 (12), S. 1639–1645. DOI: 10.1093/sleep/31.12.1639.
- Smith, Mark R.; Fogg, Louis F.; Eastman, Charmane I. (2009a): Practical interventions to promote circadian adaptation to permanent night shift work: study 4. In: *Journal of biological rhythms* 24 (2), S. 161–172. DOI: 10.1177/0748730409332068.
- Smith, Mark R.; Fogg, Louis F.; Eastman, Charmane I. (2009b): A compromise circadian phase position for permanent night work improves mood, fatigue, and performance. In: *Sleep* 32 (11), S. 1481–1489. DOI: 10.1093/sleep/32.11.1481.
- Smith, Mark R.; Eastman, Charmane I. (2009c): Phase delaying the human circadian clock with blue-enriched polychromatic light. In: *Chronobiology international* 26 (4), S. 709–725. DOI: 10.1080/07420520902927742.
- Smith, Mark R.; Revell, Victoria L.; Eastman, Charmane I. (2009d): Phase advancing the human circadian clock with blue-enriched polychromatic light. In: *Sleep medicine* 10 (3), S. 287–294. DOI: 10.1016/j.sleep.2008.05.005.
- Smith, Mark R.; Eastman, Charmane I. (2012): Shift work: health, performance and safety problems, traditional countermeasures, and innovative management strategies to reduce circadian misalignment. In: *Nature and science of sleep* 4, S. 111–132. DOI: 10.2147/NSS.S10372.
- Smolders, K. C. H. J.; Kort, Y. A. W. de; Cluitmans, P. J. M. (2012): A higher illuminance induces alertness even during office hours: findings on subjective measures, task performance and heart rate measures. In: *Physiology & behavior* 107 (1), S. 7–16. DOI: 10.1016/j.physbeh.2012.04.028.
- Souman, Jan L.; Tinga, Angelica M.; Te Pas, Susan F.; van Ee, Raymond; Vlaskamp, Björn N. S. (2018): Acute alerting effects of light: A systematic literature review. In: *Behavioural brain research* 337, S. 228–239. DOI: 10.1016/j.bbr.2017.09.016.
- Stone, Julia E.; Sletten, Tracey L.; Magee, Michelle; Ganesan, Saranea; Mulhall, Megan D.; Collins, Allison et al. (2018): Temporal dynamics of circadian phase shifting response to consecutive night shifts in healthcare workers: role of light-dark exposure. In: *The Journal of physiology* 596 (12), S. 2381–2395. DOI: 10.1113/JP275589.
- Sunde, Erlend; Pedersen, Torhild; Mrdalj, Jelena; Thun, Eirunn; Grønli, Janne; Harris, Anette et al. (2020a): Blue-Enriched White Light Improves Performance but Not Subjective Alertness and Circadian

- Adaptation During Three Consecutive Simulated Night Shifts. In: *Frontiers in psychology* 11, S. 2172. DOI: 10.3389/fpsyg.2020.02172.
- Sunde, Erlend; Mrdalj, Jelena; Pedersen, Torhild; Thun, Eirunn; Bjorvatn, Bjørn; Grønli, Janne et al. (2020b): Role of nocturnal light intensity on adaptation to three consecutive night shifts: a counterbalanced crossover study. In: *Occupational and environmental medicine* 77 (4), S. 249–255. DOI: 10.1136/oemed-2019-106049.
- Tähkämö, Leena; Partonen, Timo; Pesonen, Anu-Katriina (2019): Systematic review of light exposure impact on human circadian rhythm. In: *Chronobiology international* 36 (2), S. 151–170. DOI: 10.1080/07420528.2018.1527773.
- Tanaka, Katsutoshi; Takahashi, Masaya; Tanaka, Mika; Takanao, Tomoki; Nishinoue, Nao; Kaku, Akiko et al. (2011): Brief morning exposure to bright light improves subjective symptoms and performance in nurses with rapidly rotating shifts. In: *Journal of occupational health* 53 (4), S. 258–266. DOI: 10.1539/joh.110118.
- Thorne, Helen; Hampton, Shelagh; Morgan, Linda; Skene, Debra J.; Arendt, Josephine (2010): Returning from night shift to day life: Beneficial effects of light on sleep. In: *Sleep and Biological Rhythms* 8 (3), S. 212–221. DOI: 10.1111/j.1479-8425.2010.00451.x.
- Touitou, Yvan; Reinberg, Alain; Touitou, David (2017): Association between light at night, melatonin secretion, sleep deprivation, and the internal clock: Health impacts and mechanisms of circadian disruption. In: *Life sciences* 173, S. 94–106. DOI: 10.1016/j.lfs.2017.02.008.
- Vandahl, C.; Bieske, K.; Neuhäuser, S.; Schierz: (2009): Optimale Beleuchtung bei Schichtarbeit (Literaturstudie) TU Ilmenau, *DGUV-Projekt FF-FP 0285*
- van de Werken, Maan; Giménez, Marina C.; Vries, Bonnie de; Beersma, Domien G. M.; Gordijn, Marijke C. M. (2013): Short-wavelength attenuated polychromatic white light during work at night: limited melatonin suppression without substantial decline of alertness. In: *Chronobiology international* 30 (7), S. 843–854. DOI: 10.3109/07420528.2013.773440.
- Vetter, Céline; Fischer, Dorothee; Matera, Joana L.; Roenneberg, Till (2015): Aligning work and circadian time in shift workers improves sleep and reduces circadian disruption. In: *Current biology : CB* 25 (7), S. 907–911. DOI: 10.1016/j.cub.2015.01.064.
- Wei, Tao; Li, Cancan; Heng, Yuanyuan; Gao, Xiang; Zhang, Guimei; Wang, Huachen et al. (2020): Association between night-shift work and level of melatonin: systematic review and meta-analysis. In: *Sleep medicine* 75, S. 502–509. DOI: 10.1016/j.sleep.2020.09.018.
- Weisgerber, Denise M.; Nikol, Maria; Mistlberger, Ralph E. (2017): Driving home from the night shift: a bright light intervention study. In: *Sleep medicine* 30, S. 171–179. DOI: 10.1016/j.sleep.2016.09.010.
- Wickwire, Emerson M.; Geiger-Brown, Jeanne; Scharf, Steven M.; Drake, Christopher L. (2017): Shift Work and Shift Work Sleep Disorder: Clinical and Organizational Perspectives. In: *Chest* 151 (5), S. 1156–1172. DOI: 10.1016/j.chest.2016.12.007.
- Wright, Kenneth P.; Bogan, Richard K.; Wyatt, James K. (2013): Shift work and the assessment and management of shift work disorder (SWD). In: *Sleep medicine reviews* 17 (1), S. 41–54. DOI: 10.1016/j.smrv.2012.02.002.
- Xu, Qunyan; Lang, Cathryne P. (2018): Revisiting the alerting effect of light: A systematic review. In: *Sleep medicine reviews* 41, S. 39–49. DOI: 10.1016/j.smrv.2017.12.001.
- Yuan, Xia; Zhu, Chenjing; Wang, Manni; Mo, Fei; Du, Wei; Ma, Xuelei (2018): Night Shift Work Increases the Risks of Multiple Primary Cancers in Women: A Systematic Review and Meta-analysis of 61 Articles. In: *Cancer epidemiology, biomarkers & prevention : a publication of the American Association for Cancer Research, cosponsored by the American Society of Preventive Oncology* 27 (1), S. 25–40. DOI: 10.1158/1055-9965.EPI-17-0221.
- Zamanian, Z.; Kakoei, H.; Ayattollahi, S. M. T.; Dehghani, M. (2010): Effect of bright light on shift work nurses in hospitals. In: *Pakistan journal of biological sciences : PJBS* 13 (9), S. 431–436. DOI: 10.3923/pjbs.2010.431.436.
- Zeitler, J. M.; Dijk, D. J.; Kronauer, R.; Brown, E.; Czeisler, C. (2000): Sensitivity of the human circadian pacemaker to nocturnal light: melatonin phase resetting and suppression. In: *The Journal of physiology* 526 Pt 3, S. 695–702. DOI: 10.1111/j.1469-7793.2000.00695.x.