



Optimale Beleuchtung bei Schichtarbeit (Literaturstudie)

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

Diese Forschungsarbeit wurde mit Mitteln der Deutschen Gesetzlichen
Unfallversicherung unterstützt.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Ilmenau, Mai 2009

Kurzfassung

An die Unfallversicherungsträger wird immer wieder die Frage gestellt, wie Unternehmen in ihren Produktionsgebäuden die Beleuchtungssituation für Schichtarbeiter optimieren können. Diese Frage ergibt sich auch aus dem Hintergrund neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse bezüglich der aktivierenden Wirkung von Licht und seiner Wirkung auf die innere Uhr des Menschen. Durch die Literaturrecherche wurden sowohl gesicherte wissenschaftliche Erkenntnisse als auch Wissensdefizite im Hinblick auf optimale Beleuchtung bei Nacht- und Schichtarbeit in einem Bericht zusammengestellt.

Licht beeinflusst den Menschen auf zwei Wegen: über die visuelle und die nichtvisuelle (biologische) Nervenbahn. An Arbeitsplätzen spielen sowohl die visuellen als auch die biologischen Lichtwirkungen eine wichtige Rolle. In den derzeit angewendeten Normen und Richtlinien zur Beleuchtung wird in erster Linie auf die visuellen Lichtwirkungen eingegangen. Die Festlegungen sind so getroffen, dass über die gesamte Arbeitszeit eine ausreichende Sehleistung erreicht wird.

Biologische Lichtwirkungen sind kaum berücksichtigt, obwohl diese grundsätzlich seit längerem bekannt sind. In den letzten Jahren sind viele neue Erkenntnisse dazugekommen, was dazu führte, dass auch in der Beleuchtungstechnik darüber zunehmend diskutiert wird. Einige Anwendungen zielen bereits darauf ab, obwohl noch viele Fragen offen sind.

Licht ist prinzipiell in der Lage, die innere Uhr des Menschen zu beeinflussen. Dazu gibt es eine umfangreiche Zahl von Labor- und Feldstudien, die alle zum Ziel haben, den Körper auf den geänderten Schlaf-Wach-Rhythmus in der Nachtschicht umzustellen. Das führt zu mehr Wachheit in der Nacht und zu verbessertem Schlaf. Diese Umstellung ist unter sorgfältiger Einstellung der Parameter möglich, jedoch nur sinnvoll, wenn über einen längeren Zeitraum in der Nachtschicht verblieben werden soll. Für kurze Wechsel muss der alte Rhythmus beibehalten werden. Studien, die verwertbare Aussagen dazu liefern, konnten nicht gefunden werden. Im Rahmen der Auswertung wurden jedoch einige Anforderungen abgeleitet.

Weiterhin kann der Wachheitsgrad durch Licht erhöht werden. Das gibt die Möglichkeit, bei kritischen oder gefährlichen Arbeitssituationen das Leistungstief während der Nachtschicht teilweise zu kompensieren. Langzeitfolgen dauernder Aktivierung außerhalb des natürlichen Rhythmus sind jedoch zu vermuten. Weiterhin werden die gesundheitlichen Auswirkungen der Schichtarbeit dargestellt. Die Ergebnisse können als Grundlage für erste Empfehlungen der Unfallversicherungsträger dienen. Sie müssen noch in der Praxis überprüft werden.

Inhalt

1	Themenstellung	3
2	Allgemeines	4
2.1	Licht zum Sehen	4
2.2	Wirkung des Lichtes auf den circadianen Rhythmus	5
2.2.1	Normale Rhythmik.....	5
2.2.2	Desynchronisation durch Schichtarbeit	7
2.3	Aktivierung durch Licht.....	8
2.4	Gesundheitsrisiken	9
3	Licht bei Schichtarbeit	11
3.1	Verschiebung der circadianen Rhythmik.....	11
3.1.1	Timing	11
3.1.2	Beleuchtungsstärke.....	15
3.1.3	Lichtspektrum	17
3.1.4	Räumliche Verteilung, Größe	18
3.1.5	Kontinuierliche vs. intermittierende Beleuchtung.....	19
3.1.6	Weitere Einflussmöglichkeiten	19
3.1.7	Schlussfolgerungen für die Praxis	20
3.2	Vermeidung unerwünschter Verschiebung	21
3.3	Aktivierung und Steigerung des Wachheitsgrades.....	22
4	Zusammenfassung und Ausblick	24
4.1	Verschieben der circadianen Rhythmik.....	24
4.2	Aktivierung und Vermeidung der Rhythmusverschiebung.....	25
4.3	Studienbedarf aus Sicht der Beleuchtungstechnik.....	25
5	Übersicht über Studien	27
6	Literaturverzeichnis	51

1 Themenstellung

An die Unfallversicherungsträger wird immer wieder die Frage gestellt, wie Unternehmen in ihren Produktionsgebäuden die Beleuchtungssituation für Schichtarbeiter optimieren können. Diese Frage ergibt sich auch aus dem Hintergrund neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse bezüglich der aktivierenden Wirkung von Licht und seiner Wirkung auf die innere Uhr des Menschen. Der Einsatz neuer Beleuchtungskonzepte aber auch die Auswirkungen bisheriger Beleuchtungsanlagen auf die Schichtarbeiter soll daher mit einem wissenschaftlichen Projekt „Optimale Beleuchtung bei Schichtarbeit“ begleitet werden. Als erster Schritt wurde zur Vorbereitung dieses Projekts eine ausführliche Literaturrecherche durchgeführt.

In der vorliegenden Literaturrecherche werden sowohl gesicherte wissenschaftliche Erkenntnisse als auch Wissensdefizite im Hinblick auf optimale Beleuchtung bei Schichtarbeit dargestellt. Die aufbereiteten Informationen stammen aus vier verschiedenen Wissensbereichen:

- Wissenschaftliche Erkenntnisse zur Wirkung von Licht auf die innere Uhr und die Aktiviertheit
- Wissenschaftliche Studien über die Lichthanforderungen bei Schicht- und Nachtarbeit (Laborstudien)
- Erfahrungsstudien zum gezielten Einsatz von Licht bei realer Schicht- und Nachtarbeit (Feldstudien)
- Auswirkungen von Licht bei Schicht- und Nachtarbeit auf die Gesundheit

Die Recherche erfolgte in internationalen Fachzeitschriften der letzten 10 Jahre, vereinzelt sind auch wichtige ältere Veröffentlichungen mit eingeflossen. Sie hat zwei Ziele: Einerseits dient sie als Vorbereitung für ein größeres Forschungsprojekt und andererseits soll sie die Grundlage für Empfehlungen der Unfallversicherungsträger (UVT) bzw. ihrer Institute bilden, welche derzeit noch nicht über Spezialkenntnisse sowie Instrumente und Methoden zur Beurteilung der Beleuchtung bzw. zur Ableitung von Optimierungskonzepten nach neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen verfügen.

2 Allgemeines

Licht beeinflusst den Menschen auf zwei Wegen: über die visuelle und die nichtvisuelle (biologische) Nervenbahn. An Arbeitsplätzen spielen sowohl die visuellen als auch die biologischen Lichtwirkungen eine wichtige Rolle.

Die visuelle Lichtwirkungen dienen in erster Linie dem Sehen. Anforderungen an die Beleuchtung, die dem optimalen Sehen dienen, sind in den Normen und Richtlinien für Arbeitsplatzbeleuchtung umfangreich vorhanden.

In den letzten Jahren werden in zunehmendem Maß auch in der Lichttechnik die biologischen Lichtwirkungen diskutiert. Diese werden über spezielle Sinneszellen im Auge, allerdings nicht durch den für das Sehen verantwortlichen spezifischen neuronalen Pfad übertragen. So erlangt die in den 50er Jahren entdeckte energetische (auch „retino-hypothalamische“) Sehbahn derzeit erneut die Aufmerksamkeit von Lichtplanern und Arbeitswissenschaftlern. Es zeigte sich, dass unspezifische Lichtwirkungen wichtige biologische Vorgänge im Menschen vermitteln. Derzeitige Normen und Richtlinien enthalten Anforderungen, die den biologischen Wirkungen dienen, nur sehr unzureichend.

2.1 Licht zum Sehen

In den derzeit angewendeten Normen und Richtlinien zur Beleuchtung wird in erster Linie auf die visuellen Lichtwirkungen eingegangen. Die Festlegungen sind so getroffen, dass über die gesamte Arbeitszeit eine ausreichende Sehleistung erreicht wird. Diese trägt natürlich auch zur allgemeinen Leistungsfähigkeit bei, ist davon jedoch meist nicht klar trennbar.

Leistungssteigerungen an Arbeitsplätzen durch Erhöhung der Beleuchtungsstärke sind vielseitig untersucht worden. Ebenso sind Auswirkungen anderer Güteermale der Beleuchtung (Blendung, Leuchtdichteverteilung) auf die Sehleistung bzw. allgemeine Leistungsfähigkeit untersucht. Die Ergebnisse finden sich unter Berücksichtigung eines Praxisfaktors durch entsprechende Festlegungen in den heutigen Normen wieder.

Bei der Beleuchtung von Schichtarbeit sind zunächst natürlich die geltenden Normen einzuhalten. Diese enthalten allerdings keine Angaben, die die Besonderheit der Schichtarbeit berücksichtigen. Auch die o. g. Studien berücksichtigen diesen Sonderfall nicht.

2.2 Wirkung des Lichtes auf den circadianen Rhythmus

2.2.1 Normale Rhythmik

Die Körperfunktionen des Menschen unterliegen einer circadianen (tagesperiodischen) Rhythmik. 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 [Dijk1995b]. Dieser Rhythmus äußert sich in Veränderungen der Körperkerntemperatur, des Melatonin- und des Cortisol-Spiegels. Außerdem wird damit eine Vielzahl weiterer Körperfunktionen beeinflusst.

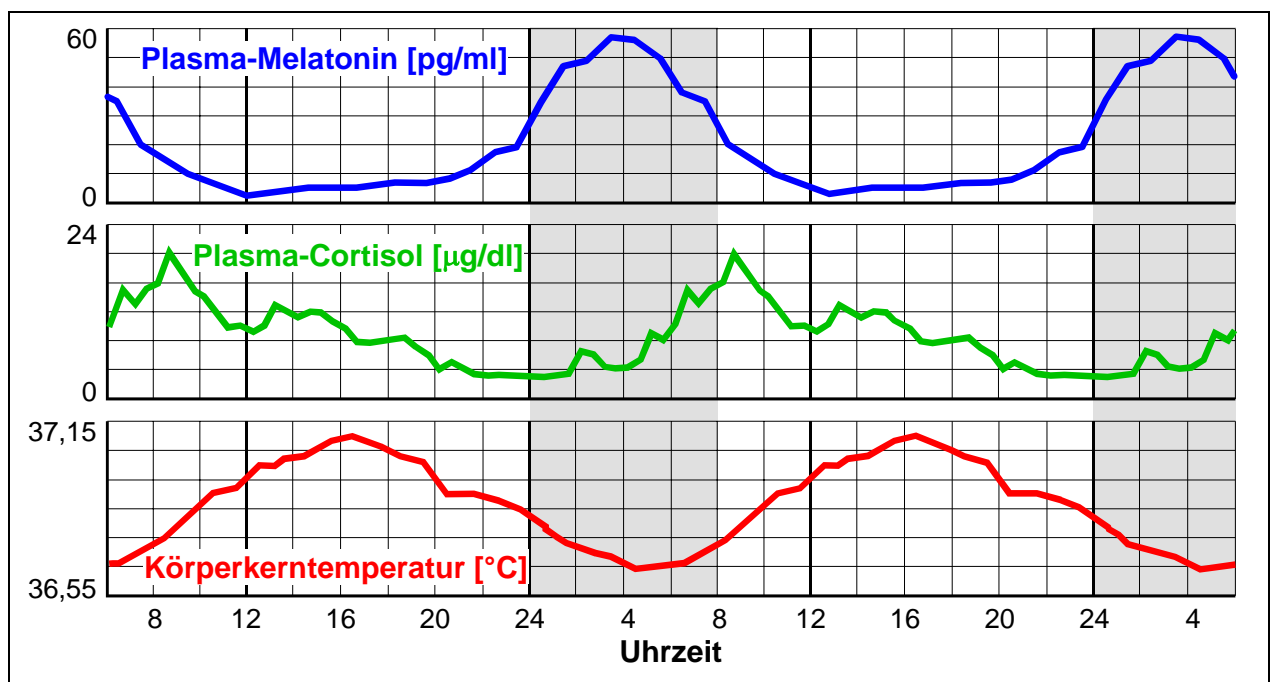


Bild 1:
Circadiane Rhythmik von Cortisol, Melatonin und Körperkerntemperatur (nach [Hofstra2008]).

Sehr gut erkennbar ist der Schlaf-Wach-Rhythmus des Menschen. Das Minimum der Körperkerntemperatur ist etwa 1 bis 2 Stunden vor dem Erwachen erreicht. Das Maximum der Melatoninsekretion liegt in der Mitte der Schlafphase, 2 bis 3 Stunden vor dem Minimum der Körperkerntemperatur (Bild 1). Der Beginn des Melatoninanstieges, die maximale Melatoninsekretion oder das Minimum der Körperkerntemperatur werden zur Bestimmung der individuellen Phasenlage verwendet.

Die Phasenlage und der Verlauf der Rhythmik sind individuell unterschiedlich. Daraus ergeben sich die so genannten Chronotypen. Bei Morgentypen beginnt der Melatoninanstoß früher als bei Abendtypen.

Die Schlafregulation hängt vom circadianen Rhythmus (circadiane Komponente, C) und dem Schlafhomöostaten (homöostatische Komponente, S) ab. Der homöostatische Schlafdruck baut sich während der Wachphase auf und während des Schlafes ab. Er ist um so größer, je länger man wach ist. Im einfachsten Fall kann man dafür lineare Verläufe annehmen [Horowitz2002]. Aufgrund der Schlafdruckerhöhung nimmt homöostatische Wachheitskomponente über den Tag ab (Bild 2). Die circadiane Wachheitskomponente steigt nach dem Erwachen an und sinkt nach 10 bis 12 Stunden wieder ab.

In erster Näherung sind beide Komponenten additiv. Das sorgt dafür, dass der Mensch über den gesamten Tag wach sein kann und anschließend eine zusammenhängende Schlafphase hat (Bild 2) [Folkard1999] [Borbely1989] [Horowitz2002] [Kunz2006]. Diese Summenkurve der Wachheit ist nicht mit der tageszeitabhängigen Kurve der Leistungsbereitschaft zu verwechseln. Weitergehende Modelle nähern sich letzterer und berücksichtigen z. B. auch noch die nachwirkende Schläfrigkeit nach dem Aufwachen [Achermann1994] oder das Leistungstief nach dem Mittag [Kunz2006].

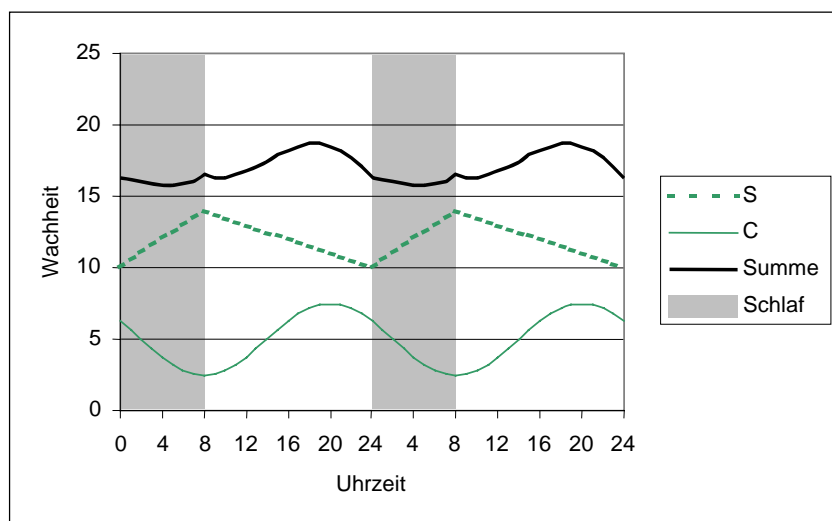


Bild 2:
Homöostatische (S) und circadiane (C) Wachheitskomponente.

Die Summe stellt die Wachheit dar. Diese ist in der Nacht am niedrigsten und ermöglicht damit eine Schlafphase von 8 Stunden (nach [Folkard1999] [Borbely1989] [Horowitz2002])

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 Tageslichts, weitere sind u. a. das soziale Umfeld, Temperaturschwankungen im Tagesverlauf und die Nahrungsaufnahme.

Die Informationen über das Licht gelangen über spezielle Fotorezeptoren im Auge zum inneren, endogenen Schrittmacher. Dadurch wird die Melatoninsynthese unterdrückt. Melatonin wird über den Blutkreislauf in alle Körperzellen transportiert und liefert damit die Information, die zu deren Synchronisation notwendig ist [Dijk1995b]. Wenn die Phasenlage der inneren Uhr nicht mit der Hell-Dunkelphase des Tageslichtes übereinstimmt

(z. B. nach Flügen über Zeitzonen), erfolgt die Synchronisation ebenfalls über diesen Wirkmechanismus.

Bei der Synchronisation durch Licht ist der Zeitpunkt der Lichteinwirkung entscheidend. Licht in der Abendzeit verlängert den Rhythmus und verzögert ihn dadurch, da dem Körper signalisiert wird, dass noch Tag ist. Entsprechend verkürzt Licht am frühen Morgen den Rhythmus. Licht in der Mittagszeit hat nur einen geringen phasenverändernden Einfluss. Weiterhin spielen die Lichtmenge, die Wellenlänge sowie die zeitliche und räumliche Verteilung des Lichtes eine Rolle (Kapitel 3.1).

2.2.2 Desynchronisation durch Schichtarbeit

Die genannten Regulierungsmechanismen bewirken, dass der Mensch am Tag leistungsfähig ist und in der Nacht schlafen kann. Schichtarbeit erfordert jedoch Wachheit (Vigilanz) 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 Vigilanz am geringsten. Dadurch steigt auch das Risiko für Fehlhandlungen und Arbeitsunfälle.

Der Zeitpunkt des Leistungsminimums ist bei den verschiedenen Chronotypen unterschiedlich, was großen Einfluss auf die Verträglichkeit verschiedener Arbeitsschichten hat. Abendtypen haben in der Nachtschicht weniger Probleme, da ihr Leistungstief später einsetzt [Burgess2002] [Boivin2005]. Dagegen haben sie Probleme in der Frühschicht und können auch ohne Schichtarbeit im Laufe der Arbeitswoche ein Schlafdefizit aufbauen, das erst am Wochenende z. T. abgebaut wird. Frühtypen dagegen kommen mit Frühschichten besser klar, haben in der Nachtschicht dafür größere Probleme.

Während der Nachtschicht versucht sich der Körper auf den neuen Rhythmus einzustellen. Dies kann für die einzelnen Rhythmen (Melatonin, Cortisol, Körperkerntemperatur) unterschiedlich lange dauern [Scott2001]. Deshalb kommt es dabei fast immer zu Problemen. Die im Bild 2 dargestellten Verläufe können sich dabei gegeneinander verschieben, was Einfluss auf Einschlafzeitpunkt und Schlafdauer hat. Es kann beispielsweise dazu kommen, dass der Schlafdruck bereits sehr hoch (die homöostatische Wachheitskomponente damit niedrig) ist, eine hohe circadiane Wachheitskomponente ein Einschlafen aber verhindert oder die Schlafdauer stark verkürzt. Die Folge sind immer Schlafprobleme und Schlafdefizite, die sich im Laufe der gearbeiteten Schichten summieren.

In Bild 3 ist die homöostatische Komponente infolge der Nachtschicht verschoben, d. h. die Schlaf- und Wachzeiten haben sich geändert. Die circadiane Komponente ist zu-

nächst unverändert. Die Wachheit, dargestellt als Summe der beiden Komponenten, steigt in der Schlafphase schnell an. Die Person ist dadurch nicht in der Lage, 8 Stunden am Stück zu schlafen. Die Schlafphase ist deutlich verkürzt.

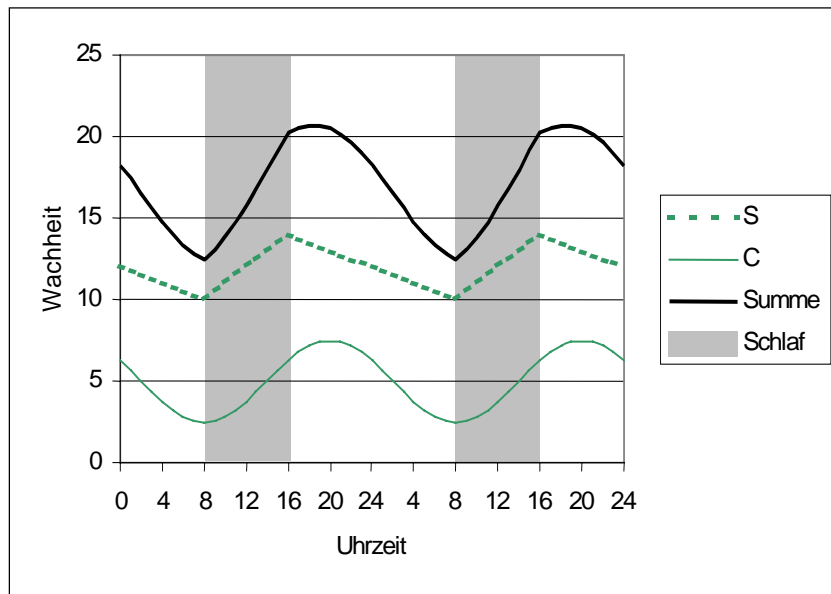


Bild 3:
Homöostatische (S) und circadiane (C) Wachheitskomponente. Die Summe stellt die Wachheit dar.

Die homöostatische Komponente ist infolge der Nachtschicht verschoben, die circadiane nicht. Die Wachheit steigt in der Schlafphase schnell an.

(nach [Folkard1999]
[Borbely1989] [Horowitz2002])

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 im hellen Raum). Eine vollständige Anpassung kann daher in den seltensten Fällen erreicht werden. Selbst dann nicht, wenn in Dauer-Nachtschicht gearbeitet wird, da in den freien Tagen tagorientiert gelebt wird.

Folgen einer unzureichenden Anpassung sind 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.

2.3 Aktivierung durch Licht

Mit Licht kann der Wachheitsgrad erhöht werden. Ab etwa 100 lx Beleuchtungsstärke am Auge sinkt die subjektive Ermüdung bzw. steigt die subjektive Munterkeit. Solche

aktivierende Lichtwirkungen konnten auch objektiv an physiologischen Größen nachgewiesen werden. Tagsüber, in Fensternähe wird dieser Wert im Büro normalerweise überschritten. Nachts bei Schichtarbeit kann es je nach Abstrahlcharakteristik der Leuchten und je nach Helligkeit der Umgebung sein, dass zu wenig Licht ins Auge gelangt. Dies ist besonders bei Werkhallen mit tiefstrahlenden Leuchten und dunkler Umgebung zu erwarten. Dort werden beispielsweise bei 200 lx horizontaler Beleuchtungsstärke nur 40 bis 70 lx am Auge erreicht. Mit der in den Regelwerken üblicherweise angegebenen horizontalen Beleuchtungsstärken kann die biologische Lichtwirkung einer Beleuchtungsanlage nicht ausreichend beschrieben werden. Neben der Angabe der Beleuchtungsstärke am Auge ist auch die Lichtverteilung im Gesichtsfeld ausschlaggebend (Kapitel 3.1.4)

2.4 Gesundheitsrisiken

Die Belastung des Schichtarbeiters entsteht durch die Verschiebung der circadianen Rhythmen (Dissonanzen), was Einfluss auf fast alle Körperfunktionen hat. Schichtarbeit birgt zahlreiche Gesundheitsrisiken, wie für Herz-Kreislaufkrankungen, Stoffwechselerkrankungen und Magen-Darm-Beschwerden [Beermann2008] [Boivin2005] [Griefahn2003a]. Ein unmittelbarer Zusammenhang zur Beleuchtung am Arbeitsplatz ist aber nicht nachgewiesen. Allerdings betreffen die Beschwerden circadian gesteuerte Funktionen, so dass die Veränderung der circadianen Phasenlage durch die Schichtarbeit als Ursache infrage kommt.

Nachtschichtarbeit ist fast immer mit Müdigkeit am Arbeitsplatz, Befindlichkeitsstörungen und Schlafstörungen verbunden. Der Tag-Schlaf erfolgt immer unter ungünstigen Bedingungen (Geräusche, Helligkeit, Wärmebelastung). Selbst unter optimalen Bedingungen führt jedoch die Desynchronisation der circadianen Rhythmen zu Einschlafproblemen und Schlafverkürzungen und daraus folgend zu Schlafdefiziten. Wenn der Rhythmus nicht auf Schlaf eingestellt ist, bedarf es eines hohen Schlafdrucks, um einschlafen zu können (Kapitel 2.2.2). Schlafstörungen und Schlafdefizite treten bei Personen mit verschiedenen individuellen Phasenlagen (Morgentypen, Abendtypen) unterschiedlich stark in Erscheinung. Frühtypen können nicht „nachschlafen“, Spättypen nicht „vorschlafen“ [Griefahn2002]. Bei Frühtypen entsteht daher in Nachtschichten ein stärkeres Schlafdefizit, bei Spättypen in der Frühschicht. Durch Schichtarbeit verursachte Schlafstörungen wirken sich negativ auf die Gesundheit der Beschäftigten aus und die Leistungsfähigkeit und das Wohlbefinden werden beeinträchtigt. Eine durchwachte Nacht lässt sich durch ausreichend Schlaf in der Folgenacht kompensieren. Daraus ergibt sich die Folgerung, dass maximal 2 - 3 Nachtschichten hintereinander erfolgen sollen, damit sich kein zu großes Defizit aufbaut. Nach [Pilcher2000] kommt es bei schnell

rotierenden Schichtsystemen zu einer deutlicheren Schlafverkürzung als bei permanenten Schichtsystemen. Ursache hierfür ist die kaum vorhandene Synchronisation der circadianen Rhythmen. Eine ausführliche Zusammenfassung zu Schlafstörungen findet sich in [Sack2007].

Im Oktober 2007 hat die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC), eine Einrichtung der Weltgesundheitsorganisation, Schichtarbeit mit Nachtarbeit als wahrscheinlich krebserregend eingestuft. Mehrere Studien [Schernhammer2004] [Erren2003] [Erren2008] [Megdal2005] [Pauley2004] [Stevens2006] weisen darauf hin, dass Licht eine mögliche Ursache sein kann, da Licht bei Nacht die Produktion des Hormons Melatonin hemmt, welches nachweislich Regenerations- und Reparaturvorgänge einleitet. Weiterhin schützt Melatonin die Zellen vor Schäden durch freie Radikale. Der ursächliche Zusammenhang ist jedoch nicht erwiesen, da unklar ist, ob das Licht, das fehlende Melatonin oder die Schichtarbeit die Ursache darstellt.

3 Licht bei Schichtarbeit

Licht kann positive Effekte auf die Schichtarbeit haben. Es liefert die nötigen Impulse, die eine Umstellung der circadianen Rhythmen auf den neuen Tag-Nacht-Rhythmus veranlassen. Allerdings müssen die positiven Effekte einer Rhythmusverschiebung sorgfältig gegen die negativen Effekte abgewogen werden. Weiterhin kann Licht zu mehr Wachheit während der Nachtschicht und zu besserem Schlaf am Tag nach der Schicht führen.

Fast alle recherchierten Studien befassen sich mit der Verschiebung des circadianen Rhythmus. Nur eine Studie hatte zum Ziel, den Rhythmus nicht zu verschieben.

Oftmals ist es aus Gründen der Schichtplanung (kurze Wechsel) nicht sinnvoll, den Rhythmus zu verschieben. Dann sollte Licht dazu beitragen, möglichst wenig vom gewohnten Rhythmus abzuweichen und trotzdem während der Nachtschicht ausreichend leistungsfähig zu sein. Auch wäre eine Teilverschiebung denkbar, so dass das nächtliche Tief hinter das Schichtende verschoben wird. Dazu konnten keine Studien gefunden werden. Aus den vielen Studien zur Rhythmusverschiebung lassen sich allerdings Bedingungen dafür ableiten.

3.1 Verschiebung der circadianen Rhythmik

Licht, zum richtigen Zeitpunkt geeignet eingesetzt, ist in der Lage, den circadianen Rhythmus in der Zeit zu verschieben (Phasenverschiebung). Licht in der Abendzeit verzögert den Rhythmus, da dem Körper signalisiert wird, dass noch Tag ist. Entsprechend verkürzt Licht am frühen Morgen den Rhythmus. Aus diesen Erkenntnissen entwickelte sich die Idee, die innere Uhr von Nachtarbeitern mit Licht an ihre Schichtzeiten anzupassen, d. h., das nächtliche Tief der circadianen Wachheit in die Morgenstunden nach der Schicht zu verschieben. Zu dieser Thematik gibt es eine große Anzahl von Studien, die zumeist im Labor in simulierter Schichtarbeit durchgeführt wurden. Ausführliche Übersichten hierzu finden sich in [Boivin2005] [Burgess2002] [Sack2007] [Revell2005] [Duffy2005] [Folkard2008].

3.1.1 Timing

Die Verschiebbarkeit der circadianen Phase hängt entscheidend vom Zeitpunkt der Lichteinwirkung ab. Die Richtung und die Größe der Phasenverschiebung ist in Bild 4 dargestellt. Die Kurve ist unter dem Namen Phase-Response-Kurve PRC bekannt [Burgess2002] [Revell2005]. Danach ist die Empfindlichkeit für eine Phasenverschiebung über den Tag nicht gleich verteilt. Licht in den späten Abendstunden wirkt beispielswei-

se sehr stark phasenverlängernd. Nach er dargestellten Kurve ist Licht in der Mittagszeit wirkungslos. Es gibt jedoch auch Untersuchungen [Jewett1997] [Khalsa2003], die zeigen, dass Licht auch am Tag phasenverschiebend wirken kann.

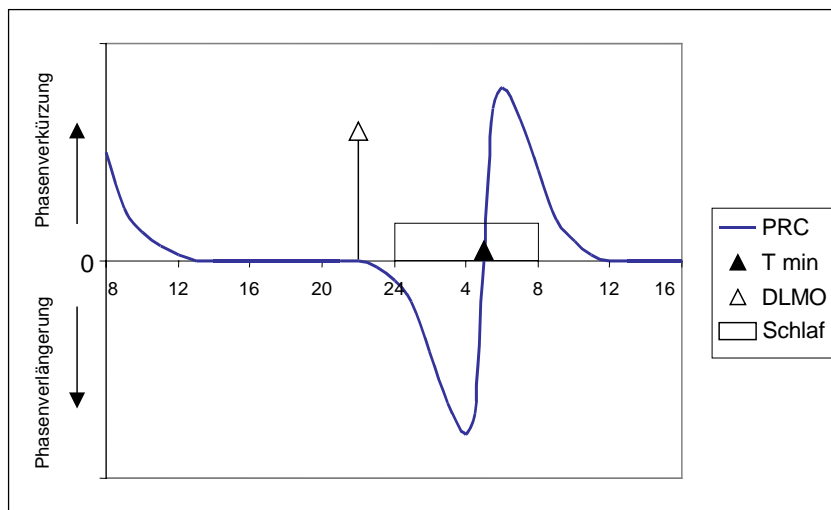


Bild 4:
PRC (Phase-Response-Curve)
[Burgess2002]

T min: Minimum der
Körpertemperatur

DLMO (Dark Light Melatonin
Onset): Beginn der
Melatoninausschüttung (ohne
Lichteinwirkung)

Die zu erwartende Phasenverschiebung ist von der Beleuchtungsstärke, der Dauer und dem Zeitpunkt der Einwirkung abhängig. Insbesondere ist die individuelle Phasenlage zu berücksichtigen. Üblich ist es, das Minimum der Körpertemperatur oder den Beginn der Melatoninausschüttung zu bestimmen (Bild 4) und die Zeiten der Lichtgaben darauf abzustimmen.

Die Studien zeigen, dass unter sorgfältig eingestellten Bedingungen eine Phasenverschiebung von 1-3 Stunden pro Nacht möglich ist [Lee2006] [Eastman1992] [Eastman1999]. Daraus lässt sich schließen, dass eine Phasenverschiebung nur sinnvoll ist, wenn längere Zeit in der Nachtschicht verblieben werden soll.

Die Angaben zur notwendigen Lichtmenge und deren Zeitverlauf liegen bei den recherchierten Untersuchungen sehr weit auseinander. In den Studien finden die „Lichtbehandlungen“ von 3 bis 6 Stunden vor dem Zeitpunkt des Minimums der Körpertemperatur statt [Dawson1995] [Horowitz2001] [Czeisler1990] [Dawson1991] [Eastman1992] [Martin1998] [Michell1997] [Eastman1994] [Baehr1999] [Campbell1995c] [Crowley2003] [Kelly1997]. Eine Zusammenfassung findet sich in [Boivin2005]. Nach [Eastman1995b] besteht kein signifikanter Unterschied in der Phasenverschiebung zwischen einer Beleuchtung von 3 h gegenüber 6 h (jeweils 5000 lx).

Der Umschlag von Phasenverzögerung in Phasenverkürzung in der PRC findet in einem sehr engen Zeitbereich statt. Das kann dazu führen, dass zu einem bestimmten Zeitraum in der Nachtschicht die einzelnen Mitarbeiter unterschiedlich beeinflusst werden. Je genauer das Timing der Beleuchtung auf die individuelle Phasenlage abge-

stimmt ist, desto größer ist die erreichbare Phasenverschiebung [Mitchell1997] [Crowley2003]. Optimal wäre deshalb, den Startpunkt individuell festzulegen. Da dies in der Praxis kaum möglich ist, wird eine möglichst früh in der Nachtschicht beginnende Lichtbehandlung empfohlen [Boivin2005].

Zu beachten ist auch, dass mit Verschiebung der circadianen Rhythmik sich die PRC ebenfalls mit verschiebt. Gezielte Lichtapplikationen müssen deshalb täglich nach hinten (bzw. vorn) verschoben werden, sich quasi mit der Anpassung mitbewegen, sonst wird die Wirkung täglich kleiner [Burgess2002] [Lee2006].

Aus der Kurve (Bild 4) ist auch ersichtlich, dass zu lange Lichtapplikationen dazu führen können, dass sowohl phasenverlängernde als auch phasenverkürzende Bereiche der PRC abgedeckt werden. In dem Fall tritt keine oder nur eine geringe Phasenveränderung auf [Koller1994], jedoch verkleinert sich die Amplitude der circadianen Rhythmik [Jewett1991] [Jewett1994].

Selbst unter optimalen Bedingungen wird selten eine vollständige Anpassung erreicht [Griefahn2003a] [Griefahn2005] [Griefahn2006]. Bei einer vollständigen Anpassung liegen das Minimum der Körperkerntemperatur und das Maximum der Melatoninsynthese in der Schlafperiode. Die vollständige Anpassung wird meist durch verschiedene äußere Einflüsse verhindert. So lebt der Nachtschichtarbeiter in den freien Tagen wieder tagorientiert.

Ebenso kann Licht zur falschen Zeit die Anpassung behindern. Helles Licht in den frühen Morgenstunden, wie z. B. Tageslicht auf dem Nachhauseweg, wirken sich ungünstig aus [Sack2007] [Burgess2002]. Es würde die Phase wieder verkürzen, die Licht in den späten Abendstunden zunächst verlängert hat. Das Tageslicht auf dem Nachhauseweg kann durch dunkle Sonnenbrillen auf ein Minimum reduziert werden [Eastman1994] [Revell2005] [Boivin2005] [Crowley2003] [Smith2008] [Burgess2002] [Lee2006] [Yoon2001]. Je kürzer die Lichteinwirkung auf dem Nachhauseweg, desto besser die Anpassung [Dumont2001].

Studien mit simulierter Schichtarbeit zeigen, dass Personen, deren Rhythmus dem neuen Schlaf-Wach-Rhythmus ganz oder auch nur teilweise angepasst ist, wacher sind und eine höhere Leistungsfähigkeit haben [Dawson1991] [Crowley2004] [Smith2008]. Ebenso wird die Schlafdauer und -qualität des Tagschlafes erhöht [Dawson1995] [Ross1995] [Czeisler1990] [Daeson1991] [Baehr1999] [Kelly1997] [Lowden2004] [Eastmann1994] [Eastmann1995b] [Sharkey2002] und die Stimmung verbessert [Crowley2004].

Die nur teilweise Anpassung an den neuen Rhythmus wird in [Burgess2002] [Crowley2004] und [Lee2006] als sinnvoller Kompromiss zwischen Nachtarbeit und Freizeit angesehen. Tagorientierte Freizeitaktivitäten im sozialen Umfeld sind damit besser möglich. Ebenso ist die „Rückanpassung“ an Tagschichten damit leichter. Nach [Martin1998] führen große Phasenverschiebungen zu Schlafproblemen an freien Tagen. Für die Rückstellung auf Tagschichten kann Licht in den Morgenstunden bewusst genutzt werden [Deacon1996b].

Studien mit älteren Personen [Campbell1995c] [Dijk1999] [Burgess2002] [Crowley2004] zeigen, dass diese mehr Schwierigkeiten beim Schlafen außerhalb des Rhythmus haben. Nach [Monk2005] nimmt mit zunehmendem Alter die Amplitude des circadianen Rhythmus ab, die Periodendauer verkürzt sich und die Anpassfähigkeit verschlechtert sich damit. Nach [Kripke2007] gibt es keinen Unterschied in der Fähigkeit zur Rhythmusverschiebung zwischen jungen und alten Probanden. Da die älteren Menschen jedoch eine etwas kürzere Phase haben als die jüngeren, ergibt sich dadurch der Bedarf eines anderen Timings. Den beiden letzt genannten Aussagen entgegen steht das Ergebnis einer Studie von [Czeisler1999], in der kein Unterschied in der Phasenlänge zwischen älteren und jüngeren Probanden gefunden wurde.

Nach [Crowley2004] ziehen ältere Menschen weniger Nutzen aus einer teilweisen Anpassung als jüngere. Das könnte mit der altersbedingten Transmissionsverminderung der Augenlinse zusammenhängen. [Leppämiki2003] konnte Alterseffekte ab 50 Jahre feststellen.

Einige Feldstudien haben gezeigt, dass die Erkenntnisse der Laboruntersuchungen in der Praxis durchaus erreichbar sind. Auch hier zeigt sich, dass eine vollständige Rhythmusanpassung nur sehr selten und nur unter optimalen Bedingungen erreichbar ist [Dumont2001] [Boivin2002]. In [James2004] wurde vollständige Anpassung von Krankenschwestern nach 12 Schichten mit je 6 Stunden Licht von 2000 lx erreicht. Die Testpersonen trugen danach dunkle Brillen und schliefen in abgedunkelten Räumen. In [Dumont2001] erreichten von 30 permanent Nachtschicht arbeitenden Krankenschwestern nur 6 eine Anpassung. Bei 22 Probanden wurde keine Phasenanpassung festgestellt.

Wichtig bei einer Umsetzung in die Praxis ist die aktive Teilnahme der Probanden. Studien, wo dies nicht der Fall war, zeigten keine befriedigenden Ergebnisse. In [Budnik1995] entzogen sich die Mitarbeiter dem Licht, weil sie sich gestört fühlten. Gute Ergebnisse erbrachten dagegen Studien auf Ölplattformen [Bjorvatn1999] [Bjorvatn2006a] [Bjorvatn2006b], in der Antarktis [Midwinter1991] [Ross1995] und bei der NASA [Ste-

ward1995]. Hier sind die Rahmenbedingungen außerhalb der Schichtarbeit sehr gut beeinflussbar.

Nach [Leppämiki2003] gibt es keine jahreszeitlichen Unterschiede in der Phasenverschiebbarkeit.

3.1.2 Beleuchtungsstärke

Die Angaben zur Beleuchtungsstärke, mit der Rhythmusverschiebungen möglich sind, sind in der Literatur sehr unterschiedlich. Unterschiedlich und nicht immer eindeutig sind auch die Messorte der Beleuchtungsstärke, beispielsweise am Auge oder auf der Nutzebene. Weitere wichtige Parameter, wie Größe und Position der Leuchte fehlen nahezu immer. Die lichttechnischen Gegebenheiten sind dadurch nicht reproduzierbar.

Mehrheitlich sind die verwendeten Beleuchtungsstärken deutlich höher als heutzutage am Arbeitsplatz üblich und vorgeschrieben. Sie liegen im Bereich zwischen 5000 und 12000 lx [Horowitz2001] [Burgess2002] [Czeisler1990] [Dawsson1991] [Eastman1992] [Martin1998] [Michell1997] [Eastman1995b] [Eastman1994] [Baehr1999] [Dijk1995a]. Eine Zusammenfassung findet sich in [Boivin2005]. Nach [Mitchell1997] steigt die Anzahl der Personen, die sich vollständig an den neuen Rhythmus anpassen mit der Beleuchtungsstärke.

Einige Studien zeigen, dass bereits ab 100 lx eine Phasenverschiebung eintritt. Nach [Zeitzer2000] [Zeitzer2005] ist diese dann etwa 50% von der maximal möglichen. 90% werden mit etwa 500 lx Hornhautbeleuchtungsstärke erreicht (Bild 5). Der Zusammenhang zwischen Wirkung und Beleuchtungsstärke ist nicht linear. Beleuchtungsstärken über 600 lx zeigen keine deutlich größeren Wirkungen [McIntyre89] [Zeitzer2000].

Nach [Boivin1996] [Boivin1998] ist eine Phasenverschiebung auch bei normaler Raumbeleuchtung (ca. 180 lx) möglich. In einer Untersuchung zum Jet Lag [Boivin2002b] wurden Verschiebungen mit Raumlicht von 379 lx erreicht.

In [Gaddy1993] erfolgte eine nachweisbare Melatoninunterdrückung ab 100 lx am Auge. Die Untersuchung erfolgte mit weißem Licht, das gleichmäßig über das gesamte Gesichtsfeld dargeboten wurde. Nach [Zeitzer1997] wurden ab 12 lx (weißes Licht, Wandleuchten mit Leuchtstofflampen) Phasenverschiebungen im Rhythmus von Melatonin und Körperkerntemperatur erreicht. Bei [Wright2001] konnte mit 1,5 lx der circadiane Rhythmus auf 24 h stabilisiert werden, allerdings nicht auf kürzere oder längere Phasen. Nach [Smith2004] reichten 200 lx Beleuchtungsstärke zur Melatoninunterdrückung aus. In [Rudolph2008] werden mit 130-500 lx am Auge in den Abendstunden signifikan-

te Melatoninunterdrückungen erreicht. Diese Untersuchung erfolgte unter naturalistischen Bedingungen.

Zu beachten ist, dass der Ort, für den die Beleuchtungsstärke dokumentiert wurde, sowohl das Auge (vertikale Beleuchtungsstärke) als eine Nutzebene (horizontale Beleuchtungsstärke) im Raum sein kann.

Nach neueren Erkenntnissen (Kapitel 3.1.4) ist es auch wichtig, anzugeben, wie groß die leuchtende Fläche ist, die die Beleuchtungsstärke am Auge verursacht. Grund ist die unterschiedliche Empfindlichkeit verschiedener Netzhautbereiche. In [McIntyre89] beispielsweise wurden die unterschiedlichen Beleuchtungsstärken durch Abstandsänderung zur Leuchte realisiert. Das führt zur Beleuchtung verschiedener Netzhautbereiche, die unterschiedlich empfindlich sind.

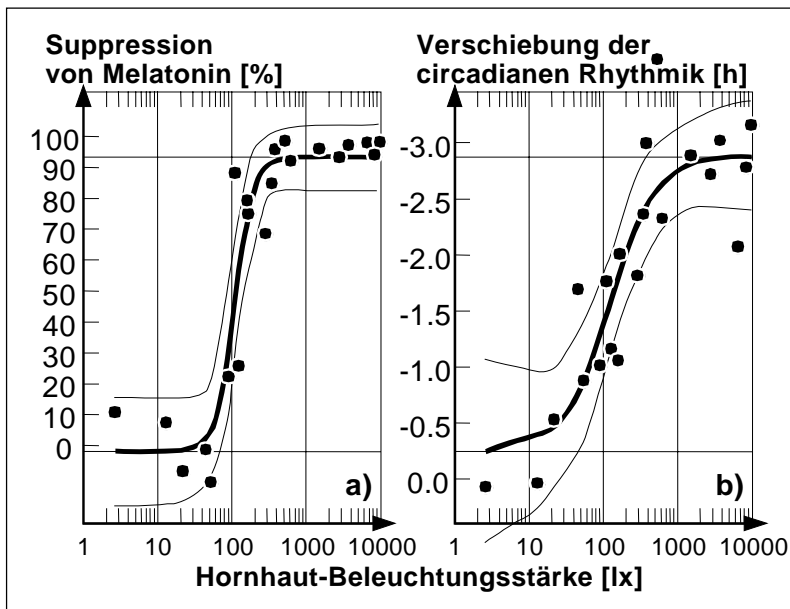


Bild 5: Melatoninuntersrückung und Verschiebung der circadianen Rhythmik in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke [Zeitzer2000].

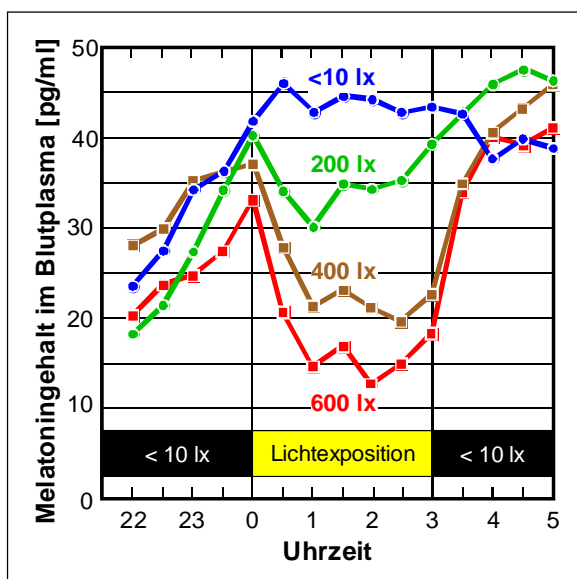


Bild 6: Melatoningehalt im Blutserum bei verschiedenen Beleuchtungsstärken, nach [McIntyre89]. Die unterschiedlichen Beleuchtungsstärken am Auge wurden durch Abstandsänderung realisiert. Das führt zur Beleuchtung verschiedener Netzhautbereiche, die unterschiedlich empfindlich sind.

3.1.3 Lichtspektrum

Die spektrale Empfindlichkeit des nichtvisuellen (biologischen) Systems weicht von der des visuellen Systems ab. Bisher ist nur die spektrale Empfindlichkeit für die Unterdrückung der nächtlichen Melatoninproduktion durch Lichteinwirkungen bekannt. In [Brainard2001] und [Thapan2001] wurde die Empfindlichkeit (Bild 7) für schmalbandige Spektren ermittelt. Das Maximum liegt etwa bei 455 nm (blauer Bereich). Die in Bild 7 enthaltene Kurve nach [Gall2002] ist die zurzeit in Deutschland verwendete Wirkungskurve $c(\lambda)$. Diese Wirkungskurve ist derzeit für die neue DIN V 5031-100 vorgesehen.

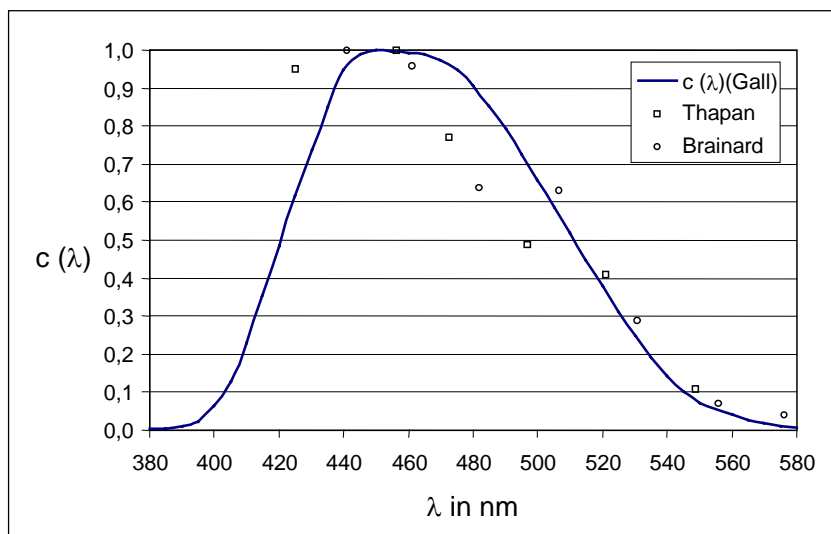


Bild 7:
Wirkungskurve der nächtlichen Melatoninunterdrückung für monochromatisches Licht (nach [Brainard2001] und [Thapan2001], $c(\lambda)$ -Kurve nach [Gall2002]).

Licht im blauen Spektralbereich ist demnach wirkungsvoller als Licht anderer Wellenlängenbereiche und demzufolge auch effektiver als weißes Licht gleicher Beleuchtungsstärke [Duffy2005] [Revell2005] [Revell2006].

Wirkungskurven für andere Mechanismen (Cortisolproduktion, Phasenverschiebung) sind bisher nicht bekannt. Auch die zur Zeit verwendete Kurve $c(\lambda)$ wird noch kontrovers diskutiert. Studien mit breitbandigem Licht erbrachten mögliche zusätzliche Einflüsse durch Rezeptoren mit anderen spektralen Empfindlichkeiten [Figueiro2004] [Kozakov2008]. Nach [Figueiro2005] kann sich die Kurve im Laufe der Nacht ändern.

In einer Untersuchung [Cajochen2005a] wurde die Wellenlängenabhängigkeit von Melatoninunterdrückung, subjektiver Schläfrigkeit, Körperkerntemperatur, Herzrate bei monochromatischen Beleuchtungsstärken von 5 lx (460nm) und 68,1 lx (550nm) ermittelt, mit dem Resultat, dass nur 460 nm wirksam waren. In [Lockley2003] erbrachten die 460 nm eine signifikant größere Phasenverschiebung.

3.1.4 Räumliche Verteilung, Größe

Neuere Studien kamen zu dem Schluss, dass die verschiedenen Netzhautbereiche des menschlichen Auges unterschiedlich empfindlich auf Lichteinwirkungen reagieren. Aus einer Untersuchung [Glickmann2003] lässt sich schließen, dass Licht von oben effektiver auf die Melatoninunterdrückung wirkt, als Licht von unten (Bild 8). Ähnliche Ergebnisse sind auch in [Lasko1999] veröffentlicht.

Nach [Rüger2005b] ist die Beleuchtung von nasaler Seite effektiver als von der Schläfenseite (Bild 9). Dieser Effekt ist weniger wichtig, da er beim zweiäugigen Sehen kompensiert wird. Für Melatonin-Suppression sind zwei Augen wirksamer als eines allein [Wang1999].

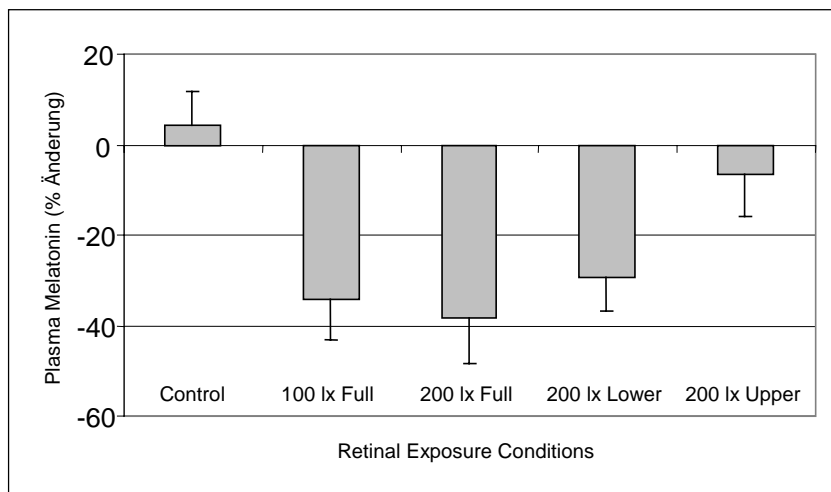


Bild 8:
Melatoninunterdrückung in
Abhängigkeit der Flächengröße
[Glickmann2003].
Full: ganze Netzhaut
Lower: unterer Netzhautbereich
Upper: oberer Netzhautbereich

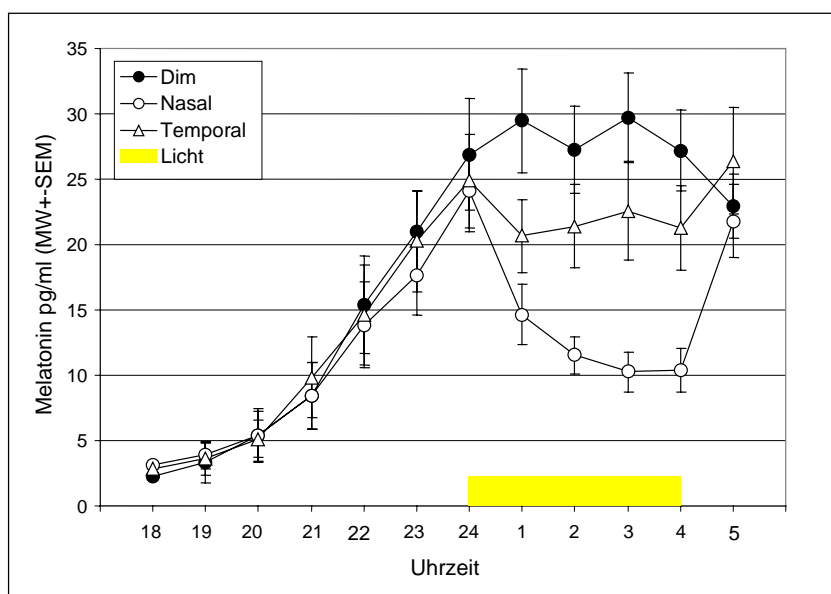


Bild 9:
Melatoninunterdrückung in
Abhängigkeit vom
Netzhautbereich [Rüger2005b].

Dim: keine Beleuchtung
Nasal: nasale Seite
Temporal: Schläfenseite

3.1.5 Kontinuierliche vs. intermittierende Beleuchtung

Einige Studien vergleichen eine zeitlich kontinuierliche Beleuchtung mit einer Beleuchtung, bei der nur in mehr oder weniger kurzen Abschnitten mit hellem Licht beleuchtet wurde [Gronfier2004] [Boivin2005] [Burgess2003] [Baehr1999] [Rimmer2000]. Alle diese Studien verwendeten sehr hohe Beleuchtungsstärken, so dass davon ausgegangen werden kann, dass bereits ein Sättigungseffekt eingetreten ist. 10 bis 15 Minuten helles Licht, unterbrochen von 30 bis 80 Minuten bewirken praktisch den gleichen Effekt, wie kontinuierliche Beleuchtung mit gleich hoher Beleuchtungsstärke (Bild 10). Eine Zusammenfassung und Modellbildung findet sich in [Kronauer1999].

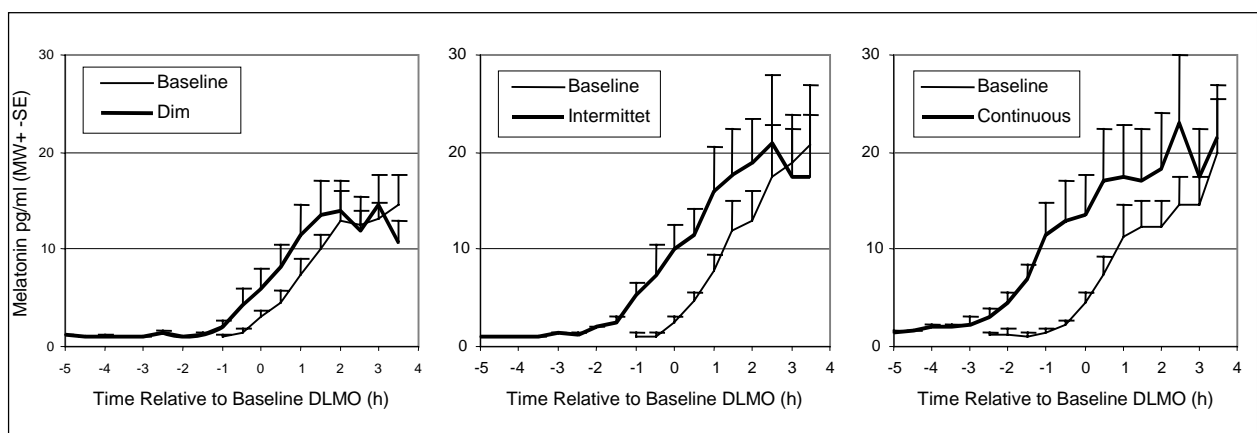


Bild 10:

Phasenverkürzung mit jeweils 3,5 h Licht am Morgen; Dim: <60 lx, Intermittent: ca. 6000 lx / 60 lx im Wechsel je 0,5 h, Continuous: ca. 6000 lx (jeweils mit Leuchtstofflampen 4100 K), es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen intermittierender und kontinuierlicher Beleuchtung [Burgess2003] (DLMO (Dark Light Melatonin Onset) Beginn der Melatoninausschüttung ohne Lichteinwirkung).

An Arbeitsplätzen, an denen nicht über den gesamten Zeitraum ausreichend hell beleuchtet werden kann, ist die intermittierende Beleuchtung eine gute Alternative. Man könnte beispielsweise die Pausenräume entsprechend beleuchten und durch Gestaltung der Pausenzeiten dafür sorgen, dass die Arbeitnehmer ausreichend Licht bekommen.

3.1.6 Weitere Einflussmöglichkeiten

Neben Licht gibt es auch weitere Einflussgrößen, die hier nicht diskutiert werden sollen. Sie wurden zum Teil in Kombination mit Licht untersucht.

- Melatoningaben [Burgess2002] [Revell2003] [Revell2006] [Arendt1997] [Arendt2005] [Arendt2006] [Bjorvatn2007] [Crowley2003] [Deveson1993] [Deacon1996b] [Dawson1995] [Wirz-Justice2004] [Sharkey2001] [Sharkey2002]

- Nickerchen [Leger2008] [Takeyama2004] [Sallinen1998]
- Bewegung [Barger2004] [Eastman1995c] [Baehr1999]
- Koffein [Babkoff2002]
- Lautstärke [Juslen2007]
- Elektromagnetische Felder [Kelly1997]

3.1.7 Schlussfolgerungen für die Praxis

Eine gezielte Umstellung der circadianen Rhythmik auf den neuen Schlaf-Wach-Rhythmus bei Nachtschichtarbeit kann durch die Beleuchtung allein nicht realisiert werden. Eine Realisierung erfordert hohen organisatorischen Aufwand, der auch von den Mitarbeitern aktiv mit getragen werden muss. Ohne deren Motivation und eigene Aktivitäten bis in den Freizeitbereich hinein ist keine Anpassung möglich.

Rhythmusverschiebungen stellen einen Eingriff in den Organismus dar, der auf jeden Fall von medizinischer Kompetenz (betriebsärztliche Betreuung) begleitet werden muss. Dabei sind positive Effekte auf Leistungsbereitschaft und Tagschlaf zu erwarten. Mögliche negative Langzeiteffekte sind bisher nicht untersucht.

Aufgrund der Dauer der Anpassung ist es nicht sinnvoll bei kurzen Schichtwechseln umzustellen. Bei längeren Nachtschichtphasen erfordert eine Rhythmusverschiebung folgende Bedingungen:

- Am Anfang der Nachtschicht sollten Lichtgabe mit hohem Blauanteil erfolgen. Über die Höhe der Beleuchtungsstärke am Auge ist aus der Literatur kein zuverlässiger Wert abzuleiten. Vermutlich wirken auch schon übliche und normgerechte Raumbelichtungen geringfügig phasenverschiebend, wenn sie ausreichend große helle Flächen bieten.
- Höhere Beleuchtungsstärken haben eine größere Wirkung. Bei der Installation großer Lichtleistungen ist auf Blendungsvermeidung zu achten.
- Es muss sichergestellt sein, dass die Lichtgabe vor dem Minimum der Körperkern-temperatur erfolgt. Dieses verschiebt sich im Laufe der Nächte zeitlich immer mehr zum Morgen hin.
- Die Lichtgabe kann auch in kurzen Abschnitten (10 bis 15 Minuten helles Licht, nach Literatur 6000 lx in der Nutzebene) z. B. im Pausenraum, unterbrochen von 30 bis 80 min stattfinden.

- Die Leuchten sollten großflächig und so angeordnet sein, dass sie vom Arbeitnehmer gut gesehen werden können. Licht von oben ist wirkungsvoller als von unten.
- Gegen Ende der Schicht ist der Lichtniveau zu senken und der Blauanteil zu vermeiden. Dies kann auch mit entsprechenden Brillen erreicht werden.
- Auch nach der Schicht ist die Lichteinwirkung gering zu halten (dunkle Brillen auf dem Nachhauseweg, Verdunklung der Schlafräume).
- Der Arbeitnehmer sollte sich nach Möglichkeit schon an den Tagen vor der Schicht abends im Licht aufhalten, ebenso an freien Tagen zwischen den Nachtschichten.
- Zwischen dem Arbeitsende und dem Schlafengehen darf nur wenig Zeit vergehen.
- Eine Gefahr besteht darin, dass sich das Wachheitsminimum auf die Zeit unmittelbar nach Schichtende verschiebt. Auf der Fahrt nach Hause kann dann Sekundenschlaf auftreten.

3.2 Vermeidung unerwünschter Verschiebung

Es wurde nur eine Studie gefunden, die sich mit der Beleuchtung bei Schichtarbeit unter dem Gesichtspunkt der Vermeidung von Phasenverschiebungen beschäftigt. Aus den für die Verschiebung notwendigen Voraussetzungen lassen sich jedoch einige Anforderungen ableiten.

In [Kayumov2005] wird gezeigt, dass Brillen, die den Blauanteil (<530nm) des Lichtes verringern, während der Nachtschicht dazu führen, dass der Melatoninanstieg genauso stattfindet, wie unter gedimmtem Licht. Eine Phasenverschiebung findet nicht statt. Bei Leistungsfähigkeit, subjektiver Munterkeit und Wachheit zeigten sich keine subjektiven Unterschiede zur Gruppe ohne Brillen. Das Ergebnis entspricht nicht den Erwartungen, die sich aus vielen anderen Untersuchungen ableiten lassen. Nach [Rüger2005a] beispielsweise ist die Müdigkeit unter rotem Licht höher als unter blauem Licht gleicher Beleuchtungsstärke.

Prinzipiell ist es nicht möglich, Arbeitsplätze ausreichend zu beleuchten, ohne den circadianen Rhythmus der Arbeitnehmer zu beeinflussen. Nach der Phase-Response-Curve (Kapitel 3.1.1) wirkt Licht in den Abendstunden phasenverlängernd, Licht in den frühen Morgenstunden phasenverkürzend. Bei Licht über den gesamten Zeitraum kompensieren sich beide Effekte [Koller1994]. Dabei verkleinert sich jedoch die Amplitude der circadianen Rhythmik [Jewett1991] [Jewett1994], was einen im Mittel reduzierten Melatonin-Level zur Folge hat. Auch kann der Wach-Schlaf-Rhythmus gestört werden (kurzes Einnicken am Tag, kein Durchschlafen in der Nacht). Man beobachtet diesen

Effekt auch bei Bewohnern von Altenheimen, bei denen die Amplitude durch zu wenig Licht reduziert ist. Die Langzeitwirkungen dieses Effektes lassen sich aus heutiger Sicht nur schwer abschätzen..

Beleuchtung von Schichtarbeit bei minimaler Phasenverschiebung könnte folgendermaßen gestaltet sein:

- Eine schnelle Rotation der Schichten verhindert bzw. reduziert eine Phasenverschiebung.
- Ein hohes Lichtlevel über den gesamten Schichtzeit würde nach Phase-Response-Curve eine Phasenverschiebung vermeiden oder zumindest gering halten, da sich phasenverkürzende und phasenverlängernde Bereiche kompensieren können. Das kann jedoch zur Amplitudenreduktion führen und scheint für die Daueranwendung ungeeignet.
- Daraus abgeleitet kann derzeit nur empfohlen werden, den Lichtlevel nur soweit zu erhöhen, wie es für die Realisierung der Sehaufgabe notwendig ist. Der Blauanteil sollte dabei gering gehalten werden.
- Blaues Licht am Morgen, Tageslicht auf dem Nachhauseweg und ein Aufenthalt im Freien nach der Schlafphase stärkt den eingestellten Rhythmus und vermindert die Amplitudenreduktion. Allerdings ist dabei mit größeren Schlafstörungen zu rechnen. Bei kurzen Schichtwechseln kann dieser Kompromiss jedoch eingegangen werden.

3.3 Aktivierung und Steigerung des Wachheitsgrades

Mit Licht kann der Wachheitsgrad erhöht werden. Damit bietet sich die Möglichkeit, Schichtarbeiter dann mit Licht zu unterstützen, wenn keine Anpassung des circadianen Rhythmus vorgesehen ist. Ab etwa 100 lx Beleuchtungsstärke am Auge sinkt die subjektive Ermüdung bzw. steigt die subjektive Munterkeit. Solche aktivierende Lichtwirkungen konnten auch objektiv an physiologischen Größen nachgewiesen werden (Bild 11). Nach [Cajochen2000] ist der größtmögliche Effekt bei etwa 300 lx am Auge erreichbar.

Licht hat somit unabhängig von einer Verschiebung der inneren Uhr das Potenzial, in den kritischen Nachtstunden zu aktivieren und damit das Unfallrisiko zu vermindern und die Leistungsfähigkeit zu steigern. Allerdings ist es in einer Studie schwierig, mögliche Lichtwirkungen von ebenfalls veränderten Faktoren der Motivation zu trennen.

Laborstudien [Boivin2005] [Daurat2000] [Cajochen2005a] [Lowden2004] [Campbell-1990] [Eastman2006] [Czeisler1990] lassen jedoch den Schluss zu, dass sich mit inten-

sivem Licht nicht nur die Sehleistung erhöht, sondern generell die Arbeitsleistung verbessert. Dies äußert sich etwa in einer Abnahme gemachter Fehler sowie in einer Zunahme der Mengenleistung oder der Merkfähigkeit. Nach [Rüger2005a] ist die Müdigkeit unter rotem Licht höher als unter blauem Licht gleicher Beleuchtungsstärke. Eine ausführliche Zusammenfassung findet sich in [Cajochen2007].

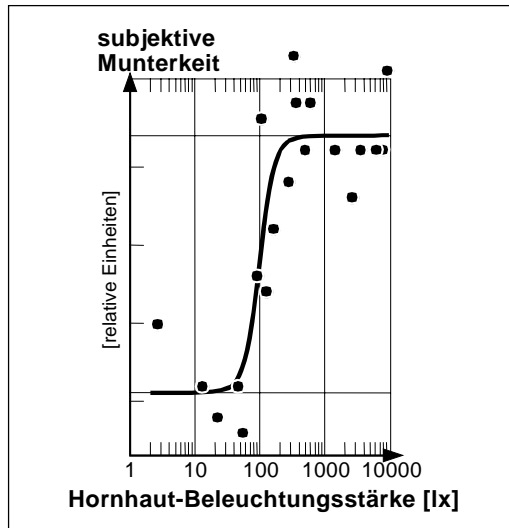


Bild 11: Subjektive Munterkeit in Abhängigkeit von der Hornhautbeleuchtungsstärke [Cajochen2000].

Schlussfolgerungen für die Praxis:

- Insbesondere zum Wachheitstiefpunkt bis gegen Ende der Schicht kann Licht mit hohem Blauanteil zur Aktivierung führen. Dazu sollten mindestens 300 lx am Auge realisiert werden.
- Dies ist vor allem dann sinnvoll, wenn kritische bzw. risikoreiche Tätigkeiten ausgeführt werden.
- Bei Daueranwendungen dagegen ist zu befürchten, dass die Person überhaupt kein Wachheitstief mehr hat und damit womöglich auf Dauer Schaden nimmt. Da Langzeitfolgen dauernder Aktivierung außerhalb des natürlichen Rhythmus bisher nicht untersucht sind, sollten hohe Beleuchtungsstärken in der Nacht ohne die Absicht einer Phasenverschiebung nur zeitweise für kritische oder gefährliche Arbeitssituationen vorgesehen werden.

4 Zusammenfassung und Ausblick

4.1 Verschieben der circadianen Rhythmik

Die Anpassung circadianer Rhythmen an den neuen 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 aktivierender ist und effektiver auf die Melatoninunterdrückung und Phasenverschiebung wirkt als Licht anderer Wellenlängen.

Vorteile:

Zahlreiche Studien zeigen, dass Personen, deren Rhythmus dem neuen Schlaf-Wach-Rhythmus ganz oder auch nur 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 Arbeitnehmer in der Freizeit wirkt der Phasenverschiebung entgegen.

Nicht sorgfältig geplante Lichtgaben, beispielsweise zum falschen Zeitpunkt, können den Rhythmus ganz zum Erliegen bringen. 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 muss auf jeden Fall von medizinischer Kompetenz begleitet werden. Eine Realisierung erfordert hohen organisatorischen Aufwand, der auch von den Mitarbeitern aktiv mit getragen werden muss.

4.2 Aktivierung und Vermeidung der Rhythmusverschiebung

Es wurde nur eine Studie gefunden, die sich mit der Beleuchtung bei Schichtarbeit unter dem Gesichtspunkt der Vermeidung von Phasenverschiebungen beschäftigt. Aus den o. g. Ergebnissen lässt sich jedoch sicher schließen, dass bei kurzen Schichtwechseln eine Vermeidung der Rhythmusverschiebung angestrebt werden sollte.

Vorteile:

Wenn keine Anpassung des circadianen Rhythmus vorgesehen ist, kann mit Licht der Wachheitsgrad erhöht werden. Dies ist vor allem zum Zeitpunkt des Wachheits- und Leistungstiefs sinnvoll, wenn kritische bzw. risikoreiche Tätigkeiten ausgeführt werden.

Nachteile:

Prinzipiell ist es nicht möglich, Arbeitsplätze ausreichend zu beleuchten, ohne den circadianen Rhythmus der Arbeitnehmer zu beeinflussen. Die Beibehaltung des gewohnten Rhythmus kann nach derzeitigen Erkenntnissen nur durch möglichst geringe Beleuchtungsniveaus mit wenig Blauanteil erreicht werden.

Dauernde Aktivierung zum Zeitpunkt des Wachheits- und Leistungstiefs könnte zu gesundheitlichen Problemen führen.

Weiterhin führt fehlende Rhythmusanpassung im Allgemeinen zu mehr Schlafproblemen als sie bei teilweiser oder vollständiger Anpassung auftreten.

Schlussfolgerungen:

Die Beleuchtung muss darauf optimiert werden, den Rhythmus nur wenig zu beeinflussen. Aus den Studien zur Rhythmusverschiebung lassen sich nur einige Parameter ableiten, die die Verschiebung möglichst klein halten. Es besteht umfangreicher Forschungsbedarf.

4.3 Studienbedarf aus Sicht der Beleuchtungstechnik

Die Recherche zeigt, dass mit einer gezielt geplanten Beleuchtung Lichteffekte für die Schichtarbeiter erreicht werden können. Für die Anpassung an länger währende Nachschichten liegen umfangreiche Erkenntnisse vor. Aus diesen wurden im Umkehrschluss Folgerungen für die Beleuchtung bei schnell rotierenden Schichtsystemen gezogen. Bei nur wenigen Nachschichten in Folge soll erreicht werden, dass die Mitarbeiter ihren Rhythmus nicht anpassen. Die Richtigkeit und Anwendbarkeit dieser Schlussfolgerungen müssen noch durch Forschungsprojekte bestätigt werden. Hier besteht daher Forschungsbedarf.

Folgende Fragen sind offen:

1. Welche Auswirkungen hat eine gezielte Aktivierung durch Licht auf die Leistungsfähigkeit in der Schicht und auf den Schlaf danach? Welches ist das richtige Maß an Aktivierung?
2. Jede Aktivierung mit Licht hat das Potenzial, auch die innere Uhr zu verschieben und in der Amplitude zu vermindern. Wie kann dies durch entsprechende Lichtgestaltung minimiert werden?
3. Welche spektrale Zusammensetzung des Lichtes und welche örtliche und zeitliche Verteilung ist dafür notwendig?
4. Sind die aus den Studien zur Phasenverschiebung abgeleiteten Schlussfolgerungen, die eine Verschiebung vermeiden sollen, richtig?
5. Wie muss das zusätzliche Licht verteilt sein, so dass es nicht zu Störungen durch Blendung und Reflexionen beim Arbeitsablauf kommt?
6. Welche Lichtmengen gelangen in Abhängigkeit von der Tätigkeit am Arbeitsplatz ins Auge? Dazu wurden mobile, aufzeichnende Geräte gebaut, die in einem Projekt zum Einsatz gelangen können.
7. Wie ist die realisierte Lichtsituation einfach erfassbar und reproduzierbar? Bisher werden Beleuchtungsstärken an einzelnen Punkten gemessen. Da jedoch die örtliche Verteilung der Leuchtdichten u. a. auch relevant ist, reicht diese Methodik nicht aus. Zusätzlich muss die spektrale Zusammensetzung bzw. der Blauanteil erfasst werden.

5 Übersicht über Studien

In der Übersicht werden die Parameter der Studien und die wichtigsten Ergebnisse zusammengefasst und folgendermaßen gekennzeichnet:

- Parameter
- Ergebnisse

Fast alle Studien haben gemeinsam, dass sie die Wirkung von hellem Licht (Bright Light, BL) unterschiedlicher Beleuchtungsstärke gegenüber keinem oder wenig Licht (Dim Light, DL) untersuchen. Der Messort der Beleuchtungsstärke (falls angegeben) und weitere Parameter sind bei den einzelnen Studien vermerkt.

Im Allgemeinen werden die Probanden hinsichtlich Ihrer individuellen circadianen Phasenlage untersucht. Dabei wird der Rhythmus ohne Lichteinwirkung untersucht (Constant Routine, CR, die Versuchspersonen verbringen einige Tage ohne äußere Zeitgeber, d. h. bewegungslos, konstante Beleuchtungsstärke, kontinuierliche Nahrungsaufnahme). Die Ergebnisse dienen u. a. der Festlegung individueller Zeitpunkte für die Beleuchtung oder werden als Referenz (s. g. Baseline) verwendet.

[Babkoff2002] Single-dose bright light and/or caffeine effect on nocturnal performance

- 11 Testpersonen
- Kombination helles Licht (BL, 3000 lx) und Koffein und Placebo
- großflächige Wandleuchte, Leuchtstofflampen
- Reaktionszeitmessungen (DL 20 - 50 lx signifikant schlechter als alle anderen Kombinationen von BL)
- Melatoninunterdrückung um 42 bis 47 % durch helles Licht
- weniger Unterdrückung durch Koffein

[Baehr1999] Intermittent bright light and exercise to entrain human circadian rhythms to night work

- 17 Frauen, 16 Männer (Durchschnittsalter $23,8 \pm 4,6$ Jahre)
- Probanden ohne Schlafstörungen und medizinische/psychologische Probleme, keine Einnahme von Medikamenten, Gespräche und Fragebögen vor Versuchsantritt

- Dauer: 7 Tage zur Gewinnung der Baseline, gefolgt von 8 Tagen Nachtschicht
 - Lichtgestaltung: In den ersten 3 Nachtschichten wurden für die ersten 6 h Beleuchtungsstärken je 60 min von 5000 lx / 40 min und 500 lx / 20 min erreicht.
 - Kombination mit körperlicher Betätigung
 - Beleuchtungsstärkeangabe auf Flächen
 - Die folgenden 5 Nachtschichten wurden zu Hause durchgeführt (Forderung > 500 lx)
 - Brillen mit ~7 % Transmissionsgrad für den Aufenthalt im Freien
 - Lampen: Lichtboxen ca. 1,3 m Entfernung vom Probanden, 8 x 122 cm Leuchtstofflampen (kalt weiß) und eine Apollo Light System Lichtbox
 - Helllichtgruppen (94 %) haben größere Phasenverschiebung von $7,8 \pm 2,0$ h gegenüber $5,3 \pm 3,0$ h für die DL-Gruppen. Laut Aussage reicht die Verschiebung für eine Anpassung an die Nachtschicht
-

[Bjorvatn2007] Randomized placebo-controlled field study of the effects of bright light and melatonin in adaptation to night work

- Probanden: 107 Probanden zu Beginn 17 Probanden beendeten die Studie, eine Frau und 16 Männer Fragebögen, Actiwatch (Schlafmuster)
 - Ort: Ölplattform mit 12 h Schichten
 - Melatoningaben (3 mg) eine Stunde vor dem Schlafen an den ersten 4 Tagen einer Woche
 - Individuelle Lichtaussetzung errechnet aus Probandendaten
 - Licht: Lichtbox ML-10000 (MiljøLys AS, Åsgårdstrand Norwegen), 10000 lx ca.50 cm vom Auge für 30 min
 - Verminderung der Schläfrigkeit mit Melatonin, bessere Ergebnisse bei der Tagsschicht
-

[Bjorvatn1999] Bright light treatment used for adaptation to night work and re-adaptation back to day life. A field study at an oil platform in the North Sea

- Probanden: 7 Personen nahmen an der Studie teil, Schlaf-Wach-Tagebuch
 - Ort: Ölplattform in der Nordsee
 - Lichtaussetzungen an ersten 4 Nachtschichten und ersten 4 Tagen zu Hause, Lichtbox ML-10000 (MiljøLys AS, Åsgårdstrand Norwegen), 10000 lx ca. 50 cm vom Auge für 30 min
 - Erleichterte Wiederaanpassung an den Tagesrhythmus, schnellere Anpassung
-

[Boivin1996] Dose-response relationship for resetting of human circadian clock by night

[Boivin1998] Resetting of circadian melatonin and cortisol rhythms in humans by ordinary room light

- 8 Männer (24,5 SD ± 2,2 Jahre)
 - Constant Routine
 - 5h 180 lx
 - DL: 10 bis 15 lx
 - 23 Männer (23,6 SD ± 3,55 Jahre)
 - je 5 Stunden 0,03 lx, 1260 lx oder 9500 lx
 - Messung der Phase der Körperkerntemperatur
 - Verschiebung auch bei normaler Raumbelichtung möglich
-

[Boivin2002] Circadian Adaptation to Night-Shift Work by Judicious Light and Darkness Exposure

- Probanden: 6 Männer und 9 Frauen, langjährige Nachtschicht Erfahrung
 - Krankenhausmitarbeiter mittels Auswahlverfahren ausgesucht, Beginn nach 10 Tagen Urlaub mit Kontrolle durch Actiwatch
 - Licht: 3243 ± 928 Lux für 6 h von 8 h, Lichtbox Sunbox, Sunsquare und SunRayII Spektrum der Sonne nachempfunden
 - Messung: 60 min. Speichel-Melatoninkonzentration, Temperatur (Handgelenk)
 - Melatoninverschiebung von 11,31 ± 1,31 h gegenüber der Kontrollgruppe von 5,08 ± 2,32 h, gute Anpassung nach dem Urlaub an die Nachtschicht
-

[Boivin2005] Light Treatment and Circadian Adaptation to Shift Work

- Zusammenfassung (Review), Hinweis auf große Phasenverschiebungen bei hohen Beleuchtungsstärken von bis zu 12000 lx
 - Verweis auf ältere Quellen
 - Licht mit der Wellenlänge von 459 nm hat die größte Wirkung auf die Melatoninunterdrückung
-

[Bougrine1998] Days off and bright light: Effects on adaptation to night work

- Probanden: 12 junge männliche Studenten, Typbestimmung, Einteilung in 2 Gruppen mit 2 verschiedenen Schichtsystemen
 - Ort: Labor (außer an freien Tagen)
 - in den ersten 3 Nachtschicht wurde von 2:00 - 5:00 Uhr eine Beleuchtungsstärke von 2500 - 3000 lx dargeboten
 - Melatoninmessung über den Urin der Probanden, Leistungstest
 - unterschiedliche Auswirkung der beiden Schichtsysteme
 - vollständige Anpassung bei: 6 Tage Schicht - 2 Tage frei
 - kaum Anpassung bei: 3 Tage Schicht - 1 Tag frei
 - völlige Anpassung der Abendtypen an die Nachtschicht, bei den anderen Typen wurde nur eine Teilanpassung bzw. keine Anpassung festgestellt
-

[Budnick1995] An Evaluation of Scheduled Bright Light and Darkness on Rotating Shiftworkers: Trial and Limitations

- Probanden: 29 Probanden, 25 Probanden stellten die Baseline dar, 13 Probanden je nach Tätigkeit mit 4000 - 8000 lx Beleuchtungsstärke ausgesetzt
 - Studiendurchführung im Herbst/Winter
 - Melatoninkonzentration im Urin, längerer Schlaf nach der Nachtschicht zu Hause
 - positive Effekte: höhere wahrgenommene Aufmerksamkeit, bessere Stimmung, verbesserter Schlaf, vergrößerte wahrgenommene Produktivität, besseres Fahren (nach der Nachtschicht)
 - negative Effekte: Blendung durch helles Licht, Schlafstörungen, Hitze, Kopfschmerzen, schlechteres Fahren
-

[Cajochen2000] Dose-response relationship for light intensity and ocular and electroencephalographic correlates of human alertness

- 1 Frau und 22 Männer (Durchschnittsalter 27,8 Jahre \pm SD 8,91)
- Fragebogen, Fitness, Schlafgewohnheit: 2 Wochen vor Beginn feste Zeiten
- Kontrolluhr, Rhythmus abhängig von der Temperatur bewertet, Baseline an den ersten 3 Tagen bei < 150 lx während der Wachphase und ca. 0 lx während der Schlafphase
- bis 9100 lx nach 8 h Schlaf - für 6,5 h mittig 3,5 h vor dem Minimum der Körpertemperatur -> 15 min ohne Licht
- Blutproben alle 30 min. Vergleich 106 lx und 9100 lx

- Unterschied in der Melatonin-Unterdrückung, sofort nach der Lichtaussetzung wurde eine Erhöhung der Wachsamkeit festgestellt, 2h nach der Lichtaussetzung gab es keinen Unterschied mehr
-

[Cajochen2005a] High Sensitivity of Human Melatonin, Alertness, Thermoregulation, and Heart Rate to Short Wavelength Light

- 10 Männer (21 - 29 Jahre)
 - 2 h Beleuchtungsstärken 5 lx (460 nm) und 68,1 lx (550 nm) jeweils monochromatisch
 - Melatoninunterdrückung, Verringerung der subjektiven Schläfrigkeit, Erhöhung der Körperkerntemperatur und der Herzrate tritt signifikant nur bei 460 nm auf
 - vergleichbare Ergebnisse in [Lockley2003]
-

[Campbell1990] Enhancement of Nighttime Alertness and Performance With Bright Ambient Light

- 15 Frauen und 10 Männer (Durchschnittsalter 22 Jahre \pm SD 2,6)
 - Laborbedingungen Schlaf/Wach-Muster
 - nach Anpassungsnacht erste Leistungstests (nach genau 8h Schlaf), Nikotin- und Koffeinverbot
 - 1. Nacht Anpassung
 - 2. Nacht Aufgabe unter 10 - 20 lx Beleuchtungsstärke
 - 3. - 4. Nacht 3 Gruppen unter Beleuchtungsniveau 10 - 20 lx, 100 lx und 1000 lx
 - Wachsamkeitstest (EEG kontrolliert) alle 2 h für 20 min
 - Leistungstest jede Stunde der Schicht
 - bedeutsam verbesserte Leistungsfähigkeit und Wachsamkeit mit hellem Licht
-

[Campbell1995c] Effects of Timed Bright-Light Exposure on Shift-Work Adaptation in Middle-Aged Subjects

- 7 Frauen und 19 Männer (Durchschnittsalter 49,1 Jahre \pm SD 6,4)
- Keine Schichtarbeit seit mind. 1 Jahr, medizinische und physische Prüfung
- 2 Eingewöhnungs- und Baseline-Nächte, danach Montagebandaufgabe
- Leistungstests vor dem PC etwa 1 m von der Lichtquelle entfernt, aktive Gruppe 1 lx für 4 h eine Beleuchtungsstärke von $>$ 4000 lx dann für die restlichen 4 h $<$ 100 lx folgende Nachtschichten mit 1000 lx für die Dauer der Verschiebung
- Licht: 12 Lichtboxen (Apollo Bright Lite III, Orem, Utah)

- Unterschied in der Phasenverschiebung der Gruppen
 - behandelte Gruppe hat in den 3 Nachtschichten eine höhere Nettoverschiebung
-

[Crowley2003] Combinations of Bright Light, Scheduled Dark, Sunglasses, and Melatonin to Facilitate Circadian Entrainment to Night Shift Work

- 35 Frauen und 32 Männer (Durchschnittsalter 23,9 Jahre \pm SD 6,2)
 - Fragebogen (Schlaf/Gesundheit), letzten 3 Monate keine Nachtschicht oder Zeit-zonenwechsel, Kontrolluhr + Photosensor, 7 Tage, 6 Gruppen (normale Sonnen-brille, dunkle Sonnenbrille, helles Licht, Melatonin), Studie im Sommer
 - Speicheltest alle 30min
 - Licht: 3 Lichtboxen (kühle weiße Leuchtstofflampen - Apollo Light Systems Inc, Orem, UT), Lichtimpulse von 40 min von 5000 lx gefolgt von 20 min Raumlicht mit < 500 lx während der ersten 6h
 - Helles Licht hat größten Einfluss zusammen mit Melatonin und Brille
-

[Crowley2004] Complete or Partial Circadian Re-entrainment Improves Performance, Alertness and Mood During Night-Shift Work

- 35 Frauen und 32 Männer (Durchschnittsalter 23,9 Jahre \pm SD 6,2)
 - Sommer, Kontrolluhr + Photosensor, Speichelproben alle 30 min, viele Konsumpro- dukte verboten
 - Leistungs-, Wachheits- und Stimmungsbewertungen 3mal bei 25 lx Beleuch- tungsstärke am PC für 20 - 25 min
 - Test bei der Nachtschicht zur Bewertung der Leistung 25 lx, 150 lx (Raumlicht), 500 lx und 2500 lx (20 min Impulse), teilweise Brillen
 - erkennbare Verbesserung der Leistung, Wachheit und Stimmung bei den Proban- den, die teilweise oder vollständig umgestellt (phasenverschoben) waren
-

[Czeisler1990] Exposure to bright light and darkness to treat physiologic maladapta- tion to night work

- Probanden 8 Männer 22 - 29 Jahre alt
- eine Woche Baseline mit Messung von Temperatur und Aktivität
- zweite Woche Schlaf am Tag zu Hause, Nachtschicht im Labor von 0:00 - 8:00 Uhr
- Lichtbehandlung 7000 - 12000 lx (Beleuchtungsstärke am Auge)
- Beleuchtungsstärke wurde innerhalb 15 min langsam hochgefahren
- Tagschlaf in abgedunkelten Räumen von 9 - 17:00 Uhr

- Verschiebung des Minimums der Körpertemperatur auf 14:53 Uhr \pm 0:32
 - vollständige Anpassung erreicht
 - Kontrollgruppe: 150 lx, keine Vorgaben für Tagschlaf, Verschiebung auf 3:31 Uhr \pm 0:56
-

[Daurat2000] Bright Light during Nighttime: Effects on the Circadian Regulation of Alertness and Performance

- Probanden: 16 Probanden
 - 2 Experimente:
 - Experiment A1 - A2: Effekte von hellem Licht während der Nacht (Wachheit, Stimmung, Leistung), Gruppe erhielt einmal 12 h (20:00 – 08:00) Lichtimpulse (ca. 2000 lx) danach (ca. 50 lx), Harnmelatonin
 - Experiment B: Gruppe erhielt eine Lichtbehandlung von 2 x 4h (20:00 – 00:00, 04:00 – 08:00), zusätzliche Blutsammlung alle 2 h, Melatoninmessung
 - Durchführung im Herbst/Winter
 - unter hellem Licht fühlten sich die Probanden angespannt, unruhig und mehr müde
 - helles Licht ruft eine Melatoninunterdrückung hervor
 - Keine Nachtschichtsimulation, da Probanden nach der Nacht wach bleiben mussten
-

[Daurat1993] Bright Light Affects Alertness and Performance Rhythms During a 24-h Constant Routine

- 8 männliche Probanden (Durchschnittsalter 22,25 \pm 1,26 Jahre)
 - Tests und Fragebogen, Schlaftagebuch
 - Winter, Labor
 - Licht: 2 spezielle Deckenlichter (Photoresearch Litemate 3, model 504, Khomorgen Corp., Dunbanks, CA, Leuchtstofflampen: 8 x 150cm, 2 x 120cm, 2 x 60 cm und 8 Glühlampen), Entfernung Kopf-Decke betrug 110 cm,
 - 1. Gruppe (BL) 2000 - 2500 lx am Auge über 24 Stunden
 - 2. Gruppe (DL) < 300 lx am Auge über 24 Stunden
 - Unterschiede in den Gruppen festgestellt
 - helles Licht verbessert die Wachheit, 4 der Probanden hatten eine Verschiebung der Schlafenszeit von 2 – 3 h, fühlten sich weniger effizient
 - Wird den Probanden dauernd helles Licht angeboten, so hat das nur nachts einen Einfluss auf die Wachheit
-

[Dawson1991] Timed Exposure to Bright light improves sleep and Alertness during simulated night shifts

- 13 Probanden, (davon 7 in der Kontrollgruppe)
 - ein Tag BL, 3 simulierte Nachtschichten
 - 4 h (0:00 - 4:00 Uhr) 6000 lx BL in der ersten Nachtschicht, ansonsten und in Kontrollgruppe DL < 200 lx
 - nach der 3. Schicht Verschiebung des Temperaturverlaufs um 5 - 6 h, (Kontrollgruppe (2 – 3 h)
 - höhere Wachheit, bessere Schlafqualität als bei Kontrollgruppe
-

[Deacon1996] Adapting to Phase Shifts, II. Effects of Melatonin and Conflicting Light Treatment

- Probanden: 8 Probanden 4 Frauen und 4 Männer, im Alter von 22 - 26 Jahren, keine Medikamente und Nikotin
 - Untersuchung fand in den Wintermonaten statt
 - Beleuchtungsstärke von ca. 1200 lx – 2000 lx (True-Lite, Duro-Test Corporation, Fairfield, NJ, obtained through Full Spectrum Lighting, High Wycombe, Bucks, UK)
 - 9 h Lichtbehandlung gefolgt von 8 h Finsternis
 - bei Behandlung mit hellem Licht und Melatonin (5 mg) erfolgt ein schnelleres Anpassen des Rhythmus, Verbesserung des Schlafes und dessen Qualität
-

[Dollins1993] Effects of Illumination on Human Nocturnal Serum Melatonin Levels and Performance

- 24 männliche Probanden (Durchschnittsalter 23 Jahre ± SEM 1,16)
 - Prüfung und Kontrolle vor Studienantritt, Nachtschicht mit fast stündlicher Blutentnahme
 - Beleuchtete Arbeitsplätze mit je 300 lx, 1500 lx oder 3000 lx am Auge
 - Leistungstests
 - Licht: Lichtvorrichtung (Spectrum Industries, East Woodstock, CT) mit Philips FB40/CW/3
 - Beleuchtungsstärken von 1500 lx und 3000 lx rufen eine Melatoninunterdrückung hervor
 - Leistungsänderung wurde nicht beobachtet
-

[Duffy1996] Phase-shifting human circadian rhythms: influence of sleep timing, social contact and light exposure

- 32 männliche Probanden (Durchschnittsalter 21,7 Jahre \pm SD 0,7)
 - medizinische Untersuchungen, 3 Wochen vor Beginn keine Genussmittel (Koffein, Nikotin, Alkohol und Rauschgift), Melatoninmessung im Urin, Schlafstagebuch, Sonnenbrillen
 - Kontrolluhr, Einteilung in 4 Gruppen, Temperaturmessung
 - Dauer: 15 Tage, 3 Baseline-Tage, 8 h Schlaf, im Labor isoliert (keine Uhr, Radio...)
 - 5 h Lichtdauer mit einer Beleuchtungsstärke von 7000 – 13000 lx am Auge, sonst 10 – 15 lx bzw. für 8 h 0 lx
 - Gruppe 1+2: Lichtimpuls mittig zum Phasenmittelpunkt, Gruppe 3+4: so gelegt um einen gleichen Umfang von Phasen-Fortschritt und Verzögerungsverschiebung zu erzeugen
 - Licht: abgependelte Leuchtstofflampen (North American Philips Lighting Corp., Bloomfield, NJ, USA)
 - Phasenverschiebung in jeweilige Richtung deutlich zu erkennen
-

[Dumont2001] Profile of 24-h light exposure and circadian phase of melatonin secretion in night workers

- 27 Frauen 3 Männer (Durchschnittsalter 36 Jahre \pm SD 0,8)
 - Feldstudie mit Nachtschwestern
 - permanente Nachtschicht
 - 3 - 9 Nachtschichten
 - Messung der Beleuchtungsstärke am Handgelenk, normale Raumbelichtung (30 - 300 lx)
 - bei 5 Personen: Phasenverlängerung
 - 22 Personen waren „Non-Shifters“
 - 3 Personen verkürzten ihre Phase, 2 davon ohne wirkliche Anpassung
 - Phasenverlängerungen traten bei den Personen ein, die in dunklen Räumen schliefen.
-

[Eastman1992] High-intensity light for circadian adaptation to 12-h shift of sleep schedule

- 24 Männer (Durchschnittsalter 26 Jahre \pm SD 4,7)
- 10 Tage Baseline, eine 12-h-Tag-Schicht

- Tage 11 - 20: 8 Stunden simulierte Schichtarbeit
 - Beginn der Nachtschicht 6 Stunden nach Erwachen
 - Schlafbeginn 2 Stunden nach Schichtende
 - 4 Tage 6h und danach 3 h 5000 lx (am Auge) in der Schicht, dunkle Schlafräume
 - in einer zweiten Gruppe wurde der Zeitpunkt der Beleuchtung täglich um 1 Stunde nach hinten verschoben
 - bei Tageslicht wurden Sonnenbrillen mit 1% Transmission getragen
 - Verschiebung um etwa 2 h pro Tag, komplette Anpassung nach 8 Tagen
 - Lichtgaben vor dem Minimum der Körpertemperatur führten zu Verlängerungen des Rhythmus, Licht nach dem Minimum verkürzten den Rhythmus
-

[Eastman1994] Dark goggles and bright Light improve circadian rhythm adaptation to night-shift work

- 31 Männer, 19 Frauen (Median 24 Jahre, Bereich 19 - 38 Jahre)
 - 10 Tage Baseline
 - 8 Tage simulierte Schichtarbeit
 - Temperaturmessung
 - 4 Gruppen: 5000 lx am Auge, <500 lx kombiniert mit/ohne Brillenbenutzung [Eastman1992]
 - <500 lx und keine Brillen: kaum Rhythmusverschiebung
5000 lx mit Brille: größte Verschiebung um 2 h pro Schicht (Verkürzung oder Verlängerung [Eastman1994])
5000 lx, keine Brille: es traten nur Phasenverkürzungen auf
-

[Eastman1995b] Circadian Rhythm Adaptation to Simulated Night Shift Work: Effect of Nocturnal Bright-Light Duration

- 25 Männer, 21 Frauen (Median 24 Jahre, Bereich 18 - 44 Jahre)
- 3 Gruppen: 6, 3 und 0 Stunden einer BL
- 10 Baseline-Tage, 8 Nachtschichten
- Schlaf um 12 h vom Tagschlaf verschoben, Studie über Anpassung an diese Verschiebung
- Licht: Lichtkästen (SunBox Company, Gaithersburg, MD, Sonnenspektrum nachempfunden)
- Beleuchtungsstärke ca. 5000 lx am Auge, spezielle Bereiche (Schreibtisch, Couch,...), sonst < 500 lx
- mind. 5 min der 2 h vor dem Schlafen einmal nach Draußen gehen

- Temperaturmessung, Schlaf/Wachzeitenkontrolle, Stimmungstests
 - keine Melatoninmessung
 - mehr Schlaf, weniger Erschöpfung, mehr Energie, weniger Stimmungsschwankungen bei 3 und 6 h BL
 - es gibt Probanden die eine > 8 h Temperaturphasenverschiebung haben, gegenüber Personen die < 4 h Verschiebungen haben, kaum Unterschied zwischen 3 h und 6 h BL
-

[Gaddy1993] Pupil Size Regulation of Threshold of Light-Induced Melatonin Suppression

- 8 Männer, 11 Frauen (im Mittel 24 Jahre)
 - 1,5 h: 50, 100 und 200 lx, Kontrollnacht ohne Licht
 - weißes Licht über das gesamte Gesichtsfeld
 - medikamentös geweitete Pupillen im Vergleich zu unbehandelter Pupille
 - Melatoninunterdrückung signifikant gegenüber Kontrollnacht ab 100 lx
-

[Griefahn2005] Nachtarbeit - lichtinduzierte Beschleunigung der Anpassung

- 16 bzw. 24 Männer (20 - 35 Jahre)
 - 150 lx (16 P) gegenüber 4 h 1500 lx (24 P), 3 Nächte jeweils 1 h später
 - vollständige Melatoninunterdrückung, Cortisolkonzentration unbeeinflusst
 - 150 lx: 2,6 h Phasenverschiebung
 - 1500 lx: 5,2 h, geringere Dissoziation der Rhythmen, keine vollständige Anpassung
 - Anpassung erst nach 4 Nächten, daher nur für Langzeit-Schichtsysteme geeignet
-

[Griefahn2006a] Shifts of the hormonal rhythms of melatonin and cortisol after a 4 h bright-light pulse in different diurnal types

[Griefahn2006b] Einfluss einmaliger Lichtapplikation auf die zircadiane Rhythmik

[Griefahn2006c] Verschiebung der Melatonin- und Cortisolprofile durch einmalige Applikationen hellen Lichts

- Probanden: 141 junge Männer (Fragebogen), Alter: 18 - 34 Jahre, 47 Männer zur Bestimmung des Melatonin-Profiles (18:00 – 09:00, 30 lx), 32 Probanden für Studie ausgewählt
- Licht: Tageslicht Osram Leuchtstofflampe 12-950

- 1. Nacht, 4 h 1500 lx auf allen sichtbaren Flächen
 - 2. Nacht Melatonin-ON 108 min verschoben, Cortisol-OFF 47 min, Cortisol-ON 110 min, d. h. Cortisolruhephase verlängert sich
 - bei Morgentypen geringere Verschiebung von Melatonin-ON und Verkürzung der Cortisolruhephase, Cortisolproduktion erhöht
 - Erhöhter Cortisolspiegel kann zu Herz-Kreislauf-Erkrankungen führen
 - Morgentypen bleiben mutmaßlich selbst bei individuell terminierter Lichtbehandlung bezüglich der Anpassung an Nachtarbeit benachteiligt
-

[Griefahn2008] Lichtinduzierte Verschiebung des zircadianen Systems

- Fortsetzung von (Griefahn2006a-c)
 - 28 Männer (18 - 33 Jahre)
 - 1. Woche: 3 Spätschichten 3 Nachtschichten
 - 2. Woche: 3 Spätschichten 3 Nachtschichten
 - 2500 bis 3000 lx
 - Verschiebung der Cortisolproduktion unabhängig vom Chronotyp
 - Cortisolruhephase verlängert
-

[Gronfier2004] Efficacy of a single sequence of intermittent bright light pulses for delaying circadian phase in humans

- 15 Männer, 6 Frauen (24,3 Jahre \pm SD 3,9)
 - Vergleich. Kontinuierlich 6,5 h 9500 lx, intermittierend 15 min 9500 lx + 60 min 1lx, kontinuierlich 1 lx, am Auge)
 - 4100 K Leuchtstofflampen, Deckenleuchten
 - Phasenverschiebung (Melatonin und Körperkerntemperatur) bei kontinuierlichen 9500 lx und intermittierendem Licht, keine signifikanten Unterschiede
-

[Horowitz2001] Efficacy of bright light and sleep/darkness scheduling in alleviating circadian maladaptation to night work

- 27 Männer und 27 Frauen, (Durchschnittsalter 26,99 Jahre \pm SD 6,22)
- umfassende klinische Einschätzung, Schlaftagebuch, keine Genussmittel für 3 Wochen vor der Studie
- Tagschicht Tag 1 - 4 mit Tests für 4 h (07:00 - 11:00), Kontrolluhr, Tag 5 DL (ca. 8 lx), Speichelproben pro Stunde, 8 h Nachtschicht ab 23:00, Temperaturmessung,

- Licht: an Decke montierte Leuchtstofflampen
 - 2500 lx im Blickbereich für die ersten 6 h, danach für 2 h 150 lx
 - Schutzbrillen für die Heimreise, gruppenabhängig: abgedunkelter Raum zum Schlafen, feste Schlafenszeiten von 08:00 - 16:00, Einteilung in 4 Gruppen (Licht/feste Schlafzeit, kein Licht/feste Schlafzeit, Licht/keine feste Schlafzeit, kein Licht/keine feste Schlafzeit)
 - größte Anpassung bei der Kombination Licht und feste Schlafzeit, mit fester Schlafzeit wurde eine höhere Wachheit/Aufmerksamkeit erreicht
-

[Iwata1997] Effects of bright artificial light on subjective mood of shift work nurses

- 10 Krankenschwestern (Durchschnittsalter 29,5 Jahre, Bereich 24 - 40)
 - mehr als 3000 lx (horizontal in Augenhöhe), 30 min , ansonsten 250 lx Raumbeleuchtung
 - im Vergleich nur 250 lx Raumbeleuchtung
 - signifikante Verbesserung von Vitalität, Eifer und Appetit in der Nachtschicht, nicht jedoch in der Spätschicht
-

[James2004] Controlled Exposure to Light and Darkness Realigns the Salivary Cortisol Rhythm in Night Shift Workers

- Probanden: 11 Krankenschwestern/Pfleger, 6 Männer ($40,7 \pm SD 8,4$ Jahre) und 5 Frauen ($36,9 \pm SD 9,7$ Jahre) in Vollnachtschicht mind. 8 Tage, 6 Probanden in Behandlungsgruppe
 - Vor Studienbeginn medizinische und psychologische Untersuchung, Einschränkungen bei Genussmitteln, Kontrolluhr, Schutzbrille für den Weg nach Hause und Morgens
 - Licht: verschiedene abgependelte kühlweiße Leuchtstofflampen mit vollem Spektrum (4100 K, TL80 F32T8/TL841 from Philips, USA, and Octron 800, F032/841 from Sylvania, USA)
 - mittlere Beleuchtungsstärke im Blickfeld $2590 \text{ lx} \pm SD 1317 \text{ lx}$, Umgebung ca. 100 lx
 - stündliche Speichelproben
 - Verschiebung deutlich zu erkennen max. $11,04 \pm 1,16$ h gegenüber der Kontrollgruppe von $3,03 \pm 2,07$ h
-

[James2007] Circadian Rhythms of Melatonin, Cortisol, and Clock Gene Expression During Simulated Night Shift Work

- 4 Männer und 1 Frau, (Durchschnittsalter 24,9 Jahre \pm SD 4,8), gute Gesundheit, keine Schlafprobleme
 - Studie im Sommer
 - 2 Wochen vor Beginn feste Schlafzeiten, Studiendauer 12 Tage, 9 Tage Nachtschichtsimulation, Kontrolluhr, Blutproben alle 2h
 - Licht: Leuchtstofflampen (4100 K Philips, Somerset, NJ, USA, and Sylvania, Danvers, MA, USA), Wellenlänge > 400 nm bis 700 nm
 - Tag 1: 144 lx \pm SD 62 lx
 - Tag 2: 6 lx \pm SD 3 lx, BL 6036 lx \pm SD 728 lx im Blickfeld
 - Nachtschichtbeleuchtung mittels Sunsquare 23" \times 24", 5000 K, Sunbox Company, Gaithersburg, MD, USA
 - max. Beleuchtungsstärke ca.10000 lx, zu Hause 1213 \pm 555 lx
 - Mittelpunkt der Melatoninproduktion 3.3 \pm 0.2 und 3.2 \pm 0.3 Stunden vor Ende der Schlaf/Dunkel Periode, Studie hat die bekannten Ergebnisse bei einem Eingreifen in den Schlaf-Wach-Rhythmus bestätigt
-

[Jewett1991] Light-induced suppression of endogenous circadian amplitude in humans

[Jewett1994] Phase-Amplitude Resetting of the Human Circadian Pacemaker via Light: A Further Analysis

- 14 Männer (Durchschnittsalter 22,3 Jahre \pm SEM 0,8)
 - 30 - 50 h CR
 - Messung von Körperkerntemperatur und Cortisol
 - Lichtgaben 8 bis 9 h oder 2 x 5 bis 6 h
 - Schlaf (<0,02 lx; 8h), Raumlicht(< 150 lx; 11,5 h), BL (7000 bis 12000 lx; 5 h).
 - Reduzierung der Amplitude der circadianen Rhythmik
-

[Juslen2007] Appreciation of localised task lighting in shift work - A field study in the food industry

- Feldversuch in der Lebensmittelindustrie
- 6 bis 8 Männer, mittleres Alter 40 Jahre
- alte Beleuchtung 4000 K, 400 lx in der Nutzebene

- neue zusätzliche Beleuchtung direkt über den Arbeitsplätzen, Erhöhung auf 1150 bis 2000 lx in der Nutzebene
 - Vergleich beider Beleuchtungsvarianten
 - Messung von Chronotyp, Produktivität, subjektive Munterkeit, Schlafqualität, Abwesenheit, KSS (Karolinska Sleeping Scale)
 - neue Beleuchtung wurde sehr gut akzeptiert, subjektive Müdigkeit sinkt
 - 3% höhere Produktivität (signifikant)
 - Karolinska Sleeping Scale erbrachte keine signifikanten Änderungen
-

[Kayumov2005] Blocking Low-Wavelength Light Prevents Nocturnal Melatonin Suppression with No Adverse Effect on Performance during Simulated Shift Work

- 42 Probanden, vor Beginn beurteilt (Schlafstörungen, Typbestimmung, ...)
 - 19 Probanden ausgewählt, 11 Männer und 8 Frauen (Durchschnittsalter 24,7 Jahre \pm 4,6)
 - Schlaftagebücher, Speichelproben
 - 13 Speichelproben pro Nacht, Zimmer mit 800 lx beleuchtet, Schutzbrille (nur Wellenlängen > 530 nm), 12 h wach von 20:00 – 08:00
 - Mit Schutzbrille ein ähnliches Melatonin Profil im Vergleich zu gedämpften Licht, keine Verschiebung vorhanden, helles Licht hat Unterdrückung der Melatoninproduktion zur Folge
 - Bei Leistungsfähigkeit, subjektiver Munterkeit und Wachheit zeigten sich keine subjektiven Unterschiede zur Gruppe ohne Brillen
-

[Kelly1997] Bright light and LEET effects on circadian rhythms, sleep and cognitive performance

- Probanden in 4 Gruppen (N = 10, 12, 12, 11) ohne großen Altersunterschied, keine Genussmittel, stündliche Urinproben
 - Leistungstest nach Baseline-Nacht, erst 9 h Tagschicht
 - Nachtschicht im Labor mit 5 Leistungstests, Nachtschicht von 18:00 – 03:00
 - Licht: Lichtkästen über dem PC (Leistungstest) abhängig von der Gruppe mit hellem weißen oder dunklem roten Licht, 3500 – 4300 lx (Lichtkästen + Oberlicht) oder 200 bis 300 lx für DL, Laborbeleuchtung < 550 lx auf Augenhöhe
 - Helles Licht bringt höhere Leistung, schnellere Phasenverschiebung und verbesserten Schlaf
-

[Khalsa2003] A phase response curve to single bright light pulses in human subjects

- 16 Männer und 7 Frauen (Durchschnittsalter $27,16 \pm SD 7,46$ Jahre)
 - medizinische und psychiatrische Voruntersuchung, Urin und Blutprüfung, keine Nacharbeit (3 Jahre), keine Zeitzone-reisen (3 Monate)
 - Kontrolluhr, Speichel alle 30 min., keine Sucht- und Genussmittel und Medikamente
 - 3 Tage Baseline Raumbelichtung < 150 lx (im Blickfeld)
 - Lichtbehandlung: Fixpunkt in Nähe der Decke 3 min. Beleuchtungsstärke bis ~ 10000 lx, für 3 min. weiter fixieren, 6 min. freier Blick im Raum, während des 6 min. freien Blick Beleuchtungsstärkeintervall von ~ 5000 bis 9000 lx, für 6,7 h, Speichelproben
 - Phasenverschiebung festgestellt
-

[Koller1994] Different Patterns of Light Exposure in Relation to Melatonin and Cortisol Rhythms and Sleep of Night Workers

- 14 Personen (Wachpersonal), 25 - 50 Jahre alt
 - 5 Nachtschichten von 18:00 - 6:00 Uhr
 - Messung der Beleuchtungsstärke am Auge
 - 9 Non-Shifter: gleiche Beleuchtungsstärke (1500 lx) über die ganze Nacht
 - 5 Shifter: weniger Beleuchtungsstärke in der Nacht und in den Morgenstunden
 - je mehr Licht am Morgen, desto weniger Phasenverlängerung
 - besser Phasen-anpassung bei weniger Licht in den Morgenstunden
-

[Kripke2007] Circadian phase response curves to light in older and young women and men

- 50 junge (18 - 31 Jahre) und 56 ältere (59 - 75 Jahre) Versuchspersonen
 - 3000 lx in horizontaler Blickrichtung (3 h an 3 Tagen)
 - kein Unterschied in der Fähigkeit zur Rhythmusverschiebung zwischen jungen und alten Probanden
 - kein Unterschied in der Fähigkeit zur Rhythmusverschiebung zwischen Frauen und Männern
 - ältere Menschen haben eine etwas kürzere Phase (1,8 h), dadurch Bedarf eines anderen Timings
-

[Lasko1999] Melatonin suppression by illumination of upper and lower visual fields

- 6 Männer, 6 Frauen (24 bis 38 Jahre, Durchschnitt 28 Jahre)
 - 6 Wochen Baseline zu Hause mit Schlaf von 23:00 bis 7:00 Uhr
 - im Labor von 23:00 bis 2:00 Uhr Videos ansehen (5 lx am Auge)
 - Lichtbehandlung von 0:00 bis 2:00 Uhr
 - Leuchte 30 x 60 cm 23° über/unter dem Fernsehgerät, dritte Nacht ohne Beleuchtung
 - Kaltweiße Leuchtstofflampen, 500 lx am Auge
 - 500 lx im oberen Bereich verursachen signifikante Melatoninunterdrückung
 - 500 lx im unteren Bereich nicht signifikant
-

[Lee2006] A compromise phase position for permanent night shift workers: Circadian phase after two night shifts with scheduled sleep and light/dark exposure

- Experimentalgruppe: 5 Männer, 6 Frauen (24,5 Jahre \pm SD 3,3)
 - Kontrollgruppe 6 Männer, 6 Frauen (29,8 Jahre \pm SD 8,9)
 - 2 Nachtschichten
 - 5 min 3500 lx in Blickrichtung, in jeder Stunde der Nachtschicht, dazwischen < 50 lx
 - Schlafplan
 - Kontrollgruppe < 50 lx, kein Schlafplan
 - Brillen, die den Blauanteil reduzieren auf dem Nachhauseweg
 - Phasenverschiebung nach 2 Nachtschichten ca. 3h (Körperkerntemperatur)
 - Kontrollgruppe 0,5 h
 - Licht: Lichtkästen (SunBox Company, Gaithersburg, MD, Sunray Lamps) 5000 K
-

[Lockley2003] High Sensitivity of the Human Circadian Melatonin Rhythm to Resetting by Short Wavelength Light

- 8 Frauen und 8 Männer (Durchschnittsalter 23,3 Jahre \pm SD 2,4)
- Studienbedingungen wie [Zeitler2000]
- 9 Tage isoliert und Baseline der Phase aufgenommen, 2 Behandlungstage mit monochromatischem Licht, Blutplasma alle 30 min, alle 20 min bei Lichtbehandlung, Speichelproben stündlich, monochromatisches Licht (460 nm oder 550 nm ± 10 nm)
- Licht: Bogenlampe 1200 W- 6,5 h Lichtaussetzung
- 460 nm gleicher Photonendichte hatte eine Phasenverschiebung von $2,98 \pm 0,5$ h im Gegensatz zu 550nm wurde nur eine Verschiebung von $1,67 \pm 0,73$ h festgestellt

- Größere Melatoninunterdrückung (460nm) von $87,7 \pm 11,0 \%$ ($n = 7$); $39,1 \pm 34,1 \%$ ($n = 8$) bei 550 nm
-

[Lowden2004] Suppression of sleepiness and melatonin by bright light exposure during breaks in night work

- Probanden: 18 Probanden in Firma (Durchschnittsalter 36,2 Jahre \pm 3,0)
 - arbeiteten seit 8,4 Jahren \pm 1,7 in der Firma, seit 5,4 Jahren Nachtschicht
 - Dauer 4 Wochen
 - Nachtschichtdauer 6,5 h, erste Schicht der Woche 8,75 h
 - 2 Gruppen helles Licht und normales Licht, Frühling
 - Kontrolluhr, Schlaf/Wachtagebuch
 - Licht: Leuchtstofflampen an der Decke (350 cd/m²), 5000 K (TL-D 90, 58W/950, 26 mm \varnothing x 1500 mm; PhilipsTM, Eindhoven, Niederlande), Pausenraum mit 2500 lx Beleuchtungsstärke in Augenhöhe einer sitzender Person, oder normales Licht im Pausenraum mit 300 lx
 - Speichelproben alle 2 h an einem Donnerstag vor der Nachtarbeit, Montag und Donnerstag in der ersten und vierten Woche der Nachtarbeit und Montag und Donnerstag der Wiederanpassungswoche
 - Verminderung der Schläfrigkeit, 20 min. längerer Schlaf, Schlafqualität keine Unterschiede, Melatoninunterdrückung
-

[Martin1998] Medium-intensity Light Produces Circadian Rhythm Adaptation to Simulated Night-shift Work

- 9 Frauen und 26 Männer (Durchschnittsalter 26,3 Jahre \pm SD 6,2)
 - ohne Schlaf-, medizinische oder psychische Probleme, keine Medikamente
 - Fragebögen, 3 Intensitätsstufen des Lichtes ($n = 12, 13, 10$), Kontrollmessung, Kontrolluhr
 - 7 Tage Baseline, 6 Tage Nachtschicht, Schlaf zu Hause (verdunkelt) 8 h vorgeschriebener Schlaf
 - Licht: Lichtkästen (Apollo Light Systems, 4 U-förmige Leuchtstofflampen, kalt weiß), für hohe Intensität Oberdecke (8 x 122cm Leuchtstofflampen kalt weiß) für zu Hause 2 - 3 SunRay Lichtboxen mit 4 Leuchtstofflampen
 - Temperaturrehythmus-Phasenverschiebung größer zu DL, kaum Unterschied zwischen mittel und hoher Intensität
-

[McIntyre1989] Quantal melatonin suppression by exposure to low intensity light in man

- 4 Männer und 2 Frauen (32,3 Jahre \pm 6,2 Jahre)
 - von 0:00 Uhr bis 3:00 Uhr Beleuchtung
 - Beleuchtungsstärken <10 lx, 200 lx, 400 lx, 600 lx
 - Melatoninmessung im Blut
 - Beleuchtung mit Leuchtstofflampen (Vita-Lite, Interlight Australia)
 - Veränderung der Beleuchtungsstärke durch Abstandsänderung zwischen Person und Leuchte. Das führt dazu, dass jeweils unterschiedlichen Netzhautbereiche beleuchtet wurden. Nach neueren Erkenntnissen ist das jedoch ein wichtiger Parameter [Glickmann2003] [Rüger2005b]
 - bei 200 lx und 400 lx ist eine Melatoninunterdrückung signifikant nachgewiesen. Die Unterdrückung wird bereits in der ersten Stunde der Beleuchtung erreicht, danach findet keine weitere Unterdrückung statt.
-

[Mitchell1997] Conflicting Bright Light Exposure during Night Shifts Impedes Circadian Adaptation

- 16 Frauen und 16 Männer (Durchschnittsalter 24,7 Jahre \pm SD 4,6)
 - Fragebögen, keine Medikamente, Temperaturmessung
 - 7 Tage Baseline, 8 Tage Nachtschicht, schlafen im verdunkelten Zimmer zu Hause
 - 3 h BL mit ca. 5000 lx auf Augenhöhe, Innenraumbeleuchtung < 500 lx
 - Zeitpunkt der Beleuchtung bewegte sich mit der Anpassung mit
 - Licht: Lichtkästen analog [Martin1998]
 - Dauer von Januar bis September (im Sommer klimatisiertes Schlafzimmer)
 - zeitlich angepasstes Licht (BL) von 3 h kann eine Anpassung an die Nachtschicht erzeugen
 - Phasenverschiebung von ca. 6 h festgestellt
-

[Münch2006] Wavelength-dependent effects of evening light exposure on sleep architecture and sleep EEG power density in men

- 8 männliche Probanden(Durchschnittsalter 24,6 Jahre \pm SD 3,0)
- Fragebögen
- Vor Studienbeginn kaum Alkohol und Koffein, 8 h Schlaf einhalten, Schlaftagebuch
- Kontrolluhr, 6,5 h vor der Schlafenszeit ins Labor gebeten, 3 Lichtsituationen Blau (460nm), Grün (550nm), kein Licht (0 lx) für 2 h, danach weitere 1,75 h bei 2 lx

- Licht: Xenon Lampe (Thermo Oriel, Spectra Physics, Stratford, CT)
 - Temperaturmessung
 - keine Untersuchung auf Phasenverschiebung, blaues Licht verkürzt die Schlafdauer (Ursache könnte eine Phasenverschiebung sein)
-

[Revell2006] Advancing Human Circadian Rhythms with Afternoon Melatonin and Morning Intermittent Bright Light

- 19 Frauen und 25 Männer (Durchschnittsalter 27,1 Jahre \pm SD 5,6), Nichtraucher, wenig Koffein, ohne medizinische oder psychische Probleme, keine Schlafprobleme
 - 3 Behandlungsgruppen +Melatonin 0; 0,5 und 3 mg, unterschiedliche Zeiten für Melatonineinnahme, Speichelproben alle 30min., 5 Fragebögen pro Tag
 - 8 Tage Baseline, 8h vorgeschriebener Schlaf, ab Tag 11 folgen 3 Behandlungstage
 - Licht: Lichtkasten mit 4 Leuchtstofflampen (PL-L 40W/41/RS/IS, 4100 K; Philips, Eindhoven), 40 cm vor dem Probanden, mittlere Beleuchtungsstärke 4949 ± 770 lx
 - Erkennbare Phasenverschiebung mit Hilfe von Melatonin 3 mg am deutlichsten, es wird jedoch nur die 0,5 mg Dosis empfohlen, da sich die Ergebnisse ähneln (weniger Nebenwirkungen)
-

[Rimmer2000] Dynamic resetting of the human circadian pacemaker by intermittent bright light

- 16 Männer (Durchschnittsalter 24 Jahre \pm SD 2,1)
 - intermittierendes Licht: 25 min (44 min DL) vs. 90 min (19,7 min DL) (31%, 63% der Dosis kontinuierlicher 5h Beleuchtung) in den frühen Morgenstunden
 - 9500 lx/15lx
 - kein Unterschied zu kontinuierlicher Beleuchtung
 - mit 31% der Dosis wurden 70 % der Phasenverschiebung kontinuierlicher Beleuchtung erreicht, mit 63% der Dosis wurden 90% der Phasenverschiebung erreicht
-

[Ross1995] Night-Shift Work in Antarctica: Sleep Characteristics and Bright Light Treatment

- 14 junge Männer, im Alter von 21-35 Jahren, Schlaf-, Stimmungs- und Tätigkeitstagebuch, keine Alkohol oder Medikamente, keine Schlafstörungen, Urinprobe, Blutproben
- von Ende März bis Mitte September (Antarktische Winter)
- Dauer: 5 Wochen (eine Nachtschichtwoche)

- 2 Lichtgruppen: 2500 – 3000 lx volles Spektrum weißes Licht, < 500 lx rotes Licht für 2 h nach der Nachtschichtwoche
 - keine relevanten Erkenntnisse gewonnen, keine Zusammenhänge herzustellen, Verminderung der Schlaflatenz in der Nachtschichtwoche
-

[Rudolph2008] Verbundforschungsprojekt PLACAR (Plasmalampen für circadiane Rhythmen)

- 6 Männer und 3 Frauen (22 - 33 Jahre)
 - 6 Abende: 1 Baseline, 5 verschiedene realistische Lichtsituationen 130 - 500 lx am Auge, 30 Minuten
 - Situation 2000 K (ohne Blauanteil): keine Melatoninunterdrückung
 - 500 lx, 4000 K 36 % Melatoninunterdrückung
 - erhöhte subjektive Wachheit bei allen Situationen mit Blauanteil
-

[Rüger2005a] Lighting up the human circadian clock. Dissertation Universität Groningen (Kapitel "Blue Light suppresses human sleepiness")

- 40 Versuchspersonen (Studenten)
 - Vergleich Leuchtstofflampen mit rotem (Philips TLD36W/54) und blauem Licht (Philips TLD36W/18)
 - 100 lx auf der Tischfläche in Richtung Lichtquelle
 - Lichtgaben von 18:00 bis 2:00 Uhr
 - Müdigkeitsmessungen von 20:00 Uhr bis 2:00 Uhr
 - Müdigkeit unter dem roten Licht ist um ein 1,4faches höher als unter blauem Licht
-

[Rüger2005a] Lighting up the human circadian clock. Dissertation Universität Groningen (z. T. auch in [Rüger2006])

- 12 Männer für Nachtexperiment (23,1 Jahre \pm SD 1,5)
 - 12 Männer für Tagexperiment (21,8 Jahre \pm SD 1,9)
 - Beleuchtung 12:00 - 16:00 Uhr oder 0:00 - 4:00 Uhr
 - Beleuchtungsstärken am Auge <10 lx oder 5000 lx
 - Reduzierung der Müdigkeit unter BL sowohl am Tag als auch in der Nacht
 - Kürzere Reaktionszeiten unter BL, besonders in der Nacht
-

[Rüger2005b] Nasal versus temporal illumination of the human retina: effects on core body temperature, melatonin, and circadian phase. (auch in [Rüger2005a])

- 7 Frauen, 5 Männer (21 Jahre \pm SD 2,2 Jahre)
 - 3 Lichtsituationen: 10 lx ganze Retina, 100 lx nasale Seite der Retina, 100 lx temporale (gegenüber nasal) Seite
 - LL PLL55W (Philips) in Lichtboxen
 - 4 h Licht zum Zeitpunkt, an dem maximale Phasenverschiebung erwartet wurde
 - medikamentös erweiterte Pupillen
 - DL: Phasenverschiebung um 38 min
 - nasale Beleuchtung: unmittelbare Melatoninsuppression, kein Einfluss auf subjektive Munterkeit und Körperkerntemperatur, Phasenverschiebung um 78 min
 - temporale Beleuchtung: keine Phasenverschiebung von Melatoninrhythmus und Körperkerntemperatur
-

[Santhi2008] The Impact of Sleep Timing and Bright Light Exposure on Attentional Impairment during Night Work

- 14 Frauen und 21 Männer (Durchschnittsalter 28,4 Jahre \pm 4,8)
 - medizinische und psychische Untersuchung, Blut und Urintests, Kontrolluhr, stündliche Speichelproben, Temperaturmessung
 - 4 Tagschichten und 3 Nachtschichten, nur Arbeiten und Schlafen im Labor, 2 Lichtbedingungen 1. ~600 lx gemessen horizontal auf 137 cm Höhe oder 2. ~2500 lx ebenda gemessen, allgemeine Raumbelichtung ~150 lx
 - Licht: Leuchtstofflampen, Temperatur 4110 K (Model Nummer: F96T12/41U/HO/EW, 95 W; F32T8/ADV841/A, 32 W; and F25T8/TL841, 25 W; Philips Lighting, Amsterdam)
 - Phasenverzögerung bei 2500 lx am größten (Morgenschlaf ca. 2,1 h; Abendschlaf ca. 5 h)
 - Leistung nach 2 - 3 Nachtschichten auf Tagesniveau
-

[Smith2008] Shaping the light/dark pattern for circadian adaptation to night shift work

- 40 Probanden wobei 32 Studie beendeten (Durchschnittsalter etwa 24 Jahre, je nach Gruppe)

- medizinische, psychische Untersuchungen, ohne Schlafstörung, Fragebögen, keine Zeitzonenreisen, keine Nachtschichten
 - Sonnenbrillen unterschiedlicher Stärke, während der Baseline fester 8 h Schlaf, 3 Nachtschichten (Studientag 23 - 25)
 - verdunkeltes Schlafzimmer, Einhalten einer festgelegten Schlafzeit von 8 h
 - Kontrolluhr, Speichelprobe alle 30 min.
 - Kontrollgruppe bei < 50 lx,
 - experimentelle Gruppe 1: 5 Lichtimpulse von 15 min.
 - experimentelle Gruppe 2: 1 Lichtimpuls mehr für 20min.
 - Leuchtstofflampen mit 5095 K erzeugen eine Beleuchtungsstärke von ca. 4100 lx
 - experimentelle Gruppen unterscheiden sich nicht signifikant, 4h Verzögerung gegenüber 1 h der Baseline-Kontrollgruppe
-

[Wright2001] Intrinsic near-24-h pacemaker period determines limits of circadian entrainment to a weak synchronizer in humans

- 12 Männer und 3 Frauen (20 bis 44 Jahre)
 - 3 Wochen Baseline mit festen Schlaf- und Wachzeiten (8 h / 16 h) zu Hause
 - 3 bis 6 Tage Baseline mit festen Schlaf- und Wachzeiten (8 h / 16 h) im Labor 110 lx bis 1500 lx
 - 40 h Constant Routine
 - mehrere Wochen Phasensynchronisation mit 1,5 lx auf 23,5 h, 24 h und 24,6 h
 - nur eine Phasensynchronisation auf 24 h erreichbar
-

[Zeitzer2000] Sensitivity of the human circadian pacemaker to nocturnal light: melatonin phase resetting and suppression

- 23 Probanden (Durchschnittsalter 27,8 Jahre ± SD 8,91)
 - 3 Tage Baseline, frei von zeitlichen Signalen, Temperaturmessung, 8 h Schlaf
 - 3,5 h vor dem Temperaturminimum 6,5 h Lichtgabe an 9 Tagen
 - Licht: kaltweiße Leuchtstofflampen (North American Philips Lighting, Bloomfield, NJ, USA), UV Strahlung gefiltert
 - Beleuchtungsstärken: Baseline < 150 lx, Nacht < 0,03 lx, Kontrollgruppe 100 lx, BL 9000 lx, Angabe der Beleuchtungsstärke am Auge
 - Lichtgaben vor Minimum der Körperkerntemperatur
 - alle 30 min. Blutprobe
 - völlige Plasma Melatoninunterdrückung bei BL gegenüber der dunklen Bedingung
-

[Zeitzer2005] Temporal dynamics of late-night photic stimulation of the human circadian timing system

- 48 Männer (Durchschnittsalter 23 Jahre \pm SD 3,4)
- 2 Wochen normaler Schlaf-Wach-Rhythmus, überprüft mit Actigraph und Schlaftagebuch
- 3 Tage Baseline, normaler Tag-Nacht-Rhythmus (< 105 lx am Tag, $< 0,03$ lx in der Nacht)
- 4.-5. Tag Constant Routine
- BL (Dauer 5 h) Beginn nach Minimum der Körperkerntemperatur: 12 lx, 180 lx, 600 lx, 1260 lx, 9500 lx, Vergleichswert 0,03 lx
- Messung der Körperkerntemperatur, Melatoninmessung im Blut
- Phasenverkürzung bereits bei 100 lx Raumbeleuchtung, doppelter Effekt bei 10facher Beleuchtungsstärke

6 Literaturverzeichnis

Achermann, P., Borbély, A.A. (1994): Simulation of daytime vigilance by the additive interaction of a homeostatic and a circadian process. *Biol. Cybern.* Vol. 71, Nr. 2, S. 115-121.

Ahsberg, E., Kecklund, G.; Akerstedt T., Gamberale, F. (2000): Shiftwork and different dimensions of fatigue. *Journal of Industrial Ergonomics* 26 (2000) S. 457-465.

Arendt, J., Skene, D.J., Middleton, B., Lockley, S.W., Deacon, S. (1997): Efficacy of melatonin treatment in jetlag, shift work, and blindness. *J Biol Rhythms.* Vol. 12, Nr. 6, S.604-617.

Arendt, J. (2005): Melatonin: Characteristics, Concerns, and Prospects. *J of Biol Rhythms*, Vol. 20, Nr. 4, S. 291-303.

Arendt, J. (2006): Melatonin and Human Rhythms. *Chronobiology International*, 23 (1&2), S. 21-37.

Babkoff, H., French, J., Whitmore, J., Sutherlin, R. (2002): Single-dose bright light and/or caffeine effect on nocturnal performance. *Aviation Space and Environmental Medicine*, Vol. 73 Nr. 4 S. 341-350.

Baehr, E.K., Fogg, L.F., Eastman, C.I. (1999): Intermittent bright light and exercise to entrain human circadian rhythms to night work. *American Journal of Physiology-Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, Vol. 277 Nr. 6 S. R1598-R1604.

Barger L.K., Wright K.P., Hughes R.J., Czeisler C.A. (2004): Daily exercise facilitates phase delays of circadian melatonin rhythm in very dim light. *American Journal of Physiology-Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, Vol. 286 Nr. 6 S. R1077-R1084.

Beermann, B. (2005): Leitfaden zur Einführung und Gestaltung von Nacht- und Schichtarbeit. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.

Beermann, B. (2008): Nacht- und Schichtarbeit - ein Problem der Vergangenheit? Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.

Bjorvatn, B., Kecklund, G., Akerstedt, T. (1999): Bright light treatment used for adaptation to night work and re-adaptation back to day life. A field study at an oil platform in the North Sea. *Journal of Sleep Research*, Vol. 8 Nr. 2 S.105-112.

Bjorvatn, B., Stangenes, K., Oyane, N., Forberg, K., Lowden, A., Holsten, F., Akerstedt, T. (2006a): Subjective and objective measures of adaptation and readaptation to night work on an oil rig in the North Sea. *Sleep*, Vol. 29 Nr. 6 S. 821-829.

Bjorvatn B., Stangenes K., Oyane N., Forberg K., Lowden A., Akerstedt T., Holsten F. (2006b): Effects of bright light and melatonin on adaptation to night work. A randomized placebo-controlled field study at an oil rig in the North Sea. *Sleep*, V29 P184.

Bjorvatn, B., Stangenes, K., Oyane, N., Forberg, K., Lowden, A., Holsten, F., Akerstedt, T. (2007): Randomized placebo-controlled field study of the effects of bright light and melatonin in adaptation to night work. *Scandinavian Journal of Work Environment & Health*, Vol. 33 Nr. 3 S. 204-214.

BKK Bundesverband (2006): *Besser Leben mit Schichtarbeit, Praxishilfe*

Boivin, D.B., Duffy, J.F., Kronauer, R.E., Czeisler, C.A. (1996): Dose-response relationship for resetting of human circadian clock by night. *Nature* Vol. 379, S. 540-542.

Boivin, D.B., Czeisler, C.A. (1996): Resetting of circadian melatonin and cortisol rhythms in humans by ordinary room light. *Neuroreport* Vol. 9, S. 779-782.

Boivin, D.B., James, F.O. (2002a): Circadian adaptation to night-shift work by judicious light and darkness exposure. *Journal of Biological Rhythms*, Vol. 17 Nr. 6 S. 556-567.

Boivin, D.B., James, F.O. (2002b): Phase-dependent effect of room light exposure in a 5-h advance of the sleep-wake cycle: Implications for jet lag. *Journal of Biological Rhythms*, Vol. 17 Nr. 3 S. 266-276.

Boivin, D.B., James, F.O. (2005): Light treatment and circadian adaptation to shift work. *Industrial Health*, Vol. 43 Nr. 1 S. 34-48.

Borbely, A. A., Achermann, P., Trachsel, L. and Tobler, I. (1989): Sleep initiation and initial sleep intensity: interaction of homeostatic and circadian mechanisms. *J. Biol. Rhythms* Vol. 4 Nr. 2 S. 149-160.

Boulos, Z., Campbell, S.S., Lewy, A.J., Terman, M., Dijk, D.J., Eastman, C.I. (1995): Light treatment for sleep disorders: consensus report. VII. Jet lag. *J Biol Rhythms* Vol. 10 Nr. 2 S.167-176.

Bougrine, S., Mollard, R., Ignazi, G., Coblentz, A. (1998): Days off and bright light: Effects on adaptation to night work. *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 21 S. 187-198.

- Brainard, G.C., Rollag, M.D., Hanifin, J.P. (1997): Photic regulation of melatonin in humans: ocular and neural signal transduction. *J Biol Rhythms* Vol 12 Nr. 6 S. 537-546.
- Brainard, G. C.; Hanifin, J. P.; Greeson, J. M.; Byrne, B.; Glickman, G.; Gerner, E.; Rollag, M. D. (2001): Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor, *J. Neurosci.* Vol. 21 S. 6405-6412.
- Budnick, L.D., Lerman, S.E., Nicolich, M.J. (1995): An Evaluation of Scheduled Bright Light and Darkness on Rotating Shiftworkers - Trial and Limitations. *American Journal of Industrial Medicine*, Vol. 27 Nr. 6 S. 771-782.
- Burgess, H.J., Sharkey, K.M., Eastman, C.I. (2002): Bright light, dark and melatonin can promote circadian adaptation in night shift workers. *Sleep Medicine Reviews*, Vol. 6 Nr. 5 S. 407-420.
- Burgess, H. J.; Crowley, S. J.; Gazda, C. J.; Fogg, L. F.; Eastman, C. I. (2003): Preflight Adjustment to Eastward Travel: 3 Days of Advancing Sleep with and without Morning Bright Light, *Journal of Biological Rhythms*, Vol. 18 Nr. 4 S. 318-328.
- Cajochen, C., Zeitzer, J. M., Czeisler, C. A., & Dijk, D.-J. (2000). Dose-response relationship for light intensity and ocular and electroencephalographic correlates of human alertness. *Behavioural Brain Research* 115 (1), S. 75-83.
- Cajochen, C., Münch, M., Koblalka, S., Kräuchi, K., Steiner, R., Oelhafen, P., Orgül, S., Wirz-Justice, A. (2005a): High Sensitivity of Human Melatonin, Alertness, Thermoregulation, and Heart Rate to Short Wavelength Light. *J of Clinical Endocrinology & Metabolism* Vol. 90, No. 3 S. 1311-1316
- Cajochen, C. (2005b): Schlafstörungen bei Schichtarbeit und Jetlag und die Rolle der inneren Uhr. *Praxis* 94 S. 1479-1483.
- Cajochen, C. (2007): Alerting effects of light. *Sleep Medicine Reviews*, Vol. 11 Nr. 6 S. 453-464.
- Campbell, S. S., Dawson, D. (1990): Enhancement of Nighttime Alertness and Performance With Bright Ambient Light. *Physiology & Behavior* , 48 (2), S. 317-320.
- Campbell, S.S., Eastman, C.I., Terman, M., Lewy, A.J., Boulos, Z., Dijk, D.J. (1995a): Light treatment for sleep disorders: Consensus report .I. Chronology of Seminal Studies in Humans. *Journal of Biological Rhythms*, Vol. 10 Nr. 2 S. 105-109.

Campbell, S.S., Dijk, D.J., Boulos, Z., Eastman, C.I., Lewy, A.J., Terman, M. (1995b): Light treatment for sleep disorders: Consensus report .III. Alerting and activating effects. *Journal of Biological Rhythms*, Vol. 10 Nr. 2 S. 129-132.

Campbell, S.S. (1995c): Effects of Timed Bright-Light Exposure on Shift-Work Adaptation in Middle-Aged Subjects. *Sleep*, Vol. 18 Nr. 6 S.408-416.

CIE 158 (2004): Ocular Lighting Effects an Human Physiology and Behaviour. CIE Technical Report

Costa, G., Ghirlanda, G., Monors, D. S. Waterhouse, J. (1993): Effect of bright light on tolerance to night shift. *Scand. J Work Environ Health*, Vol. 19 S. 414-420.

Crowley, S.J., Lee, C., Tseng, C.Y., Fogg, L.F., Eastman, C.I. (2003): Combinations of bright light, scheduled dark, sunglasses, and melatonin to facilitate circadian entrainment to night shift work. *Journal of Biological Rhythms*, Vol. 18 Nr. 6 S. 513-523.

Crowley, S.J., Lee, C., Tseng C.Y., Fogg L.F., Eastman C.I. (2004): Complete or partial circadian re-entrainment improves performance, alertness, and mood during night-shift work. *Sleep*, Vol. 27 Nr. 6 S. 1077-1087.

Crowley, S.J., Acebo, C., Fallone, G., Carskadon, M.A. (2006): Estimating dim light melatonin onset (DLMO) phase in adolescents using summer or school-year sleep/wake schedules. *Sleep*, Vol. 29 Nr. 12 S. 1632-1641.

Czeisler, C.A., Johnson, M.P., Duffy, J.F., Brown, E.N., Ronda, J.M., Kronauer, R.E. (1990): Exposure to Bright Light and Darkness to Treat Physiologic Maladaptation to Night Work. *New England Journal of Medicine*, Vol. 322 Nr. 18 S. 1253-1259.

Czeisler, C.A., Dijk, D.J. (1995): Use of bright light to treat maladaptation to night shift work and circadian rhythm sleep disorders. *Journal of Sleep Research*, Vol. 4 S. 70-73.

Czeisler, C.A., Duffy, J.F., Shanahan, T.L., Brown, E.N., Mitchell, J.F., Rimmer, D.W., Ronda, J.M., Silva, E.J., Allan, J.S., Emens, J.S., Dijk, D.J., Kronauer, R.E. (1999): Stability, precision, and near 24-hour period of the human circadian pacemaker. *Science* Vol 284 S. :2177-2181.

Daurat, A., Aguirre,A., Foret, J., Gonnet, P., Keromes, A., Benoit, O. (1993): Bright light affects alertness and performance rhythms during a 24-h constant routine. *Physiology & Behavior* Vol. 53 S. 929-936.

Daurat, A., Foret, J., Benoit, O., Mauco, G. (2000): Bright light during nighttime: Effects on the circadian regulation of alertness and performance. *Biological Signals and Receptors*, Vol. 9 Nr. 6 S. 309-318.

Davis, S., Mirick, D.K., Stevens, R.G. (2001): Night shift work, light at night, and risk of breast cancer. *Journal of the National Cancer Institute*, Vol. 93 Nr. 20 S. 1557-1562.

Davis, S., Mirick, D., Stevens, R. (2002): Re: Night shift work, light at night, and risk of breast cancer - Responses. *Journal of the National Cancer Institute*, Vol. 94 Nr. 7 S. 533-533.

Davis S., Mirick D.K. (2006): Circadian disruption, shift work and the risk of cancer: A summary of the evidence and studies in Seattle. *Cancer Causes & Control*, Vol. 17 Nr. 4 S. 539-545.

Dawson, D., Campbell, S.S. (1991) Timed exposure to bright light improves sleep and alertness during simulated night shifts *Sleep* Vol. 14 Nr. 6 S. 511-516.

Dawson, D., Encel, N., Lushington, K. (1995): Improving Adaptation to Simulated Night-Shift - Timed Exposure to Bright Light Versus Daytime Melatonin Administration. *Sleep*, Vol. 18 Nr. 1 S. 11-21.

Deacon S., Arendt J. (1996): Adapting to phase shifts .I. An experimental model for jet lag and shift work. *Physiology & Behavior*, Vol. 59 Nr. 4-5 S. 665-673.

Deacon S., Arendt J. (1996): Adapting to phase shifts .II. Effects of melatonin and conflicting light treatment. *Physiology & Behavior*, Vol. 59 Nr. 4-5 S. 675-682.

DGAUM (2007): Nacht- und Schichtarbeit Leitlinien. Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e. V. http://www-dgaum.med.uni-rostock.de/leitlinien/nacht_schicht.htm

Deveson, S., Deacon, S., Arendt, J., Totterdell, P., English, J. (1993): Simulation of Circadian-Rhythm Disturbance Associated with Jet-Lag and Shift Work Using Moderately Bright Light. *Melatonin and the Pineal Gland - from Basic Science to Clinical Application*, Vol. 1017 S.229-231.

Dijk, D.J., Boulos Z., Eastman C.I., Lewy A.J., Campbell S.S., Terman M. (1995a): Light treatment for sleep disorders: Consensus report II Basic properties of circadian physiology and sleep regulation. *Journal of Biological Rhythms*, Vol. 10 Nr. 2 S. 113-125.

- Dijk, D.J., Czeisler, C.A. (1995b): Contribution of the circadian pacemaker and the Sleep Homeostat to Sleep Propensity, Sleep Structure, Electroencephalographic Slow Waves, and Sleep Spindle Activity in Humans. *The Journal of Neuroscience*, Vol. 15 Nr. 5 S. 3526-3538
- Dijk, D.J., Duffy, J.F., Riel, E., Shanahan, T.L., Czeisler, C.A. (1999): Ageing and the circadian and homeostatic regulation of human sleep during forced desynchrony of rest, melatonin and temperature rhythms. *Journal of Physiology*, Vol. 516 Nr. 2 S. 611—627
- Dollins, A. B., Lynch, H. J., Wurtman, R. J., Deng, M. H., & Liederman, H. R. (1993). Effects of Illumination on Human Nocturnal Serum Melatonin Levels and Performance. *Physiology & Behavior*, Vol. 53 Nr. 1, S. 153-160.
- Duffy J.E., Kronauer, R.E., Czeisler, C.A: (1996): Phase-shifting human circadian rhythms: influence of sleep timing, social contact and light exposure. *Journal of Physiology* , Vol. 495 Nr. 1, S. 289-297.
- Duffy, J.E., Wright, K.P. (2005) Entrainment of the human circadian system by light. *J Biol Rhythms*, Vol. 20 S. 326-338.
- Dumont, M. (1998): Light Exposure and Melatonin Secretion in Shiftworkers. In: Jung, E.G., Holick, M.F.: *Biologic Effects of Light*, Springer Verlag 2007
- Dumont, M., Benhaberou-Brun D., Paquet J. (2001): Profile of 24-h light exposure and circadian phase of melatonin secretion in night workers. *Journal of Biological Rhythms*, Vol. 16 Nr. 5 S. 502-511.
- Eastman, C.I. (1990): Circadian-Rhythms and Bright Light - Recommendations for Shift Work. *Work and Stress*, Vol. 4 Nr. 3 S. 245-260.
- Eastman, C.I. (1991): Squashing Versus Nudging Circadian-Rhythms with Artificial Bright Light - Solutions for Shift Work. *Perspectives in Biology and Medicine*, Vol. 34 Nr. 2 S. 181-195.
- Eastman, C.I. (1992): High-Intensity Light for Circadian Adaptation to a 12-H Shift of the Sleep Schedule. *American Journal of Physiology*, Vol. 263 Nr. 2 S. R428-R436.
- Eastman, C.I., Stewart K.T., Mahoney M.P., Liu L.W., Fogg L.F. (1994): Dark Goggles and Bright Light Improve Circadian-Rhythm Adaptation to Night-Shift Work. *Sleep*, Vol. 17 Nr. 6 S. 535-543.

- Eastman, C.I., Boulos, Z., Terman, M., Campbell, S.S., Dijk, D.J., Lewy, A.J. (1995a): Light treatment for sleep disorders: Consensus report .VI. Shift work. *Journal of Biological Rhythms*, Vol. 10 Nr. 2 S. 157-164.
- Eastman, C.I., Liu, L.W., Fogg, L.F. (1995b): Circadian-Rhythm Adaptation to Simulated Night-Shift Work - Effect of Nocturnal Bright-Light Duration. *Sleep*, Vol. 18 Nr. 6 S. 399-407.
- Eastman, C.I., Hoese, E.K., Youngstedt, S.D., Liu, L.W. (1995c): Phase-Shifting Human Circadian-Rhythms with Exercise During the Night-Shift. *Physiology & Behavior*, V58 N6 P1287-1291.
- Eastman, C.I., Martin, S.K. (1999): How to use light and dark to produce circadian adaptation to night shift work. *Annals of Medicine*, Vol. 31 Nr. 2 S. 87-98.
- Eastman C.I., Martin S.K., Hebert M. (2000): Failure of extraocular light to facilitate circadian rhythm reentrainment in humans. *Chronobiology International*, V17 N6 P807-826.
- Erren, T.C., Reiter, R.J., Piekarski, C. (2003): Light, timing of biological rhythms, and chronodisruption in man. *Naturwissenschaften*, Vol. 90 Nr. 11 S. 485-494.
- Erren, T.C., Reiter, R.J., Piekarski, C. (2008): Chronodisruption and melatonin: the need for sensible exposure metrics in epidemiological studies. *Journal of Pineal Research*, Vol. 45 Nr. 3 S. 335-336.
- Figueiro, M. G.; Bullough, J. D.; Parsons, R. H.; Rea, M.S. (2004): Preliminary evidence for spectral opponency in the suppression of melatonin by light in humans, *Neuroreport* Vol. 5 S. 313-316.
- Figueiro, M. G.; Bullough, J. D.; Parsons, R. H.; Rea, M.S. (2005): Preliminary evidence for a change in spectral sensitivity of the circadian system at night. *Journal of circadian Rhythms* 2005, 3:14
- Folkard, S., Akerstedt, T., Macdonald, I., Tucker, P., Spencer, M.B. (1999): Beyond the three-process model of alertness: Estimating phase, time on shift, and successive night effects. *Journal of Biological Rhythms*, Vol. 14 Nr. 6 S. 577-587.
- Folkard, S. (2008): Do permanent night workers show circadian adjustment? A review based on the endogenous melatonin rhythm. *Chronobiology International*, Vol. 25 Nr. 2-3 S. 215-224.

Gaddy, J.R., Rollag, M.D., Brainard, G.C. (1993): Pupil Size Regulation of Threshold of Light-Induced Melatonin Suppression. *J. clin. Endocrin. Metab* Vol 77, S. 1398-1401.

Gall, D., Lapuente, V. (2002): Beleuchtungsrelevante Aspekte bei der Auswahl eines förderlichen Lampenspektrum. *Licht*, Vol. 54 Nr. 7/8 S. 860-871

Glickman G., Levin R., Brainard G.C. (2002): Ocular input for human melatonin regulation: Relevance to breast cancer. *Neuroendocrinology Letters*, Vol. 23 S. 17-22.

Glickman, G.; Hanifin, J. P.; Rollag, M. D.; Wang, J.; Cooper, H.; Brainard, G. C. (2003): Inferior Retinal Light Exposure Is More Effective than Superior Retinal Exposure in Suppressing Melatonin in Humans, *Journal of Biological Rhythms*, Vol. 18 Nr. 1, S. 71-79

Griefahn, B., Römer, H.C., Künemund, C., Gerngroß, H. (2002): Individuelle zircadiane Phasenlage, Schichtarbeit und Melatoninsynthese. 48. Arbeitswissenschaftlicher Kongress Linz 2002, S. 225-228.

Griefahn, B. (2003a): Nachtarbeit - Licht und Melatonin. *Verh. Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin* S. 763-770.

Griefahn, B. (2003b): Perspektiven zur Gestaltung von Nachtarbeit durch Licht und Melatonin. *Arbeitsmedizin Sozialmedizin Umweltmedizin* Band 38, Heft 12, S. 617-621.

Griefahn, B., Robens, S. (2005): Nachtarbeit - lichtinduzierte Beschleunigung der Anpassung. *Arbeitsmedizin Sozialmedizin Umweltmedizin* Band 40, Heft 3, S. 122, V10.

Griefahn, B., Künemund, C., & Robens, S. (2006a). Shifts of the hormonal rhythms of melatonin and cortisol after a 4 h bright-light pulse in different diurnal types. *Chronobiology international* , 23 (3), S. 659-673.

Griefahn, B. (2006b): Einfluss einmaliger Lichtapplikation auf die zircadiane Rhythmik, 42. Frühjahrskongress der GfA, S. 575-580.

Griefahn, B. (2006c): Verschiebung der Melatonin- und Cortisolprofile durch einmalige Applikationen hellen Lichts. *Fachzeitschrift für das arbeitsmed. Personal*, Band 30, Heft 3, S. 78-82

Griefahn, B. (2007): Schlaf, Schläfrigkeit, Chronobiologie. *Arbeitsmedizin Sozialmedizin Umweltmedizin* Band 42, Heft 3, S. 103, V12.

Griefahn, B. (2008): Lichtinduzierte Verschiebung des zircadianen Systems. *Arbeitsmedizin Sozialmedizin Umweltmedizin* Band 43, Heft 3, S. 149, P11.

Gronfier, C., Wright, K.P., Kronauer, R.E., Jewett, M.E., Czeisler, C.A. (2004): Efficacy of a single sequence of intermittent bright light pulses for delaying circadian phase in humans. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, Vol. 287 Nr. 1 S. E174-E181.

Haus, E., Smolensky, M. (2006): Biological clocks and shiftwork: circadian dysregulation and potential long-term effects. *Cancer Causes Control*. Vol. 17 S. 489-500.

Hoffmann, G., Gufler, V., Griesmacher, A., Bartenbach, C., Canazei, M, Staggl, S. Schobersberger, W. (2008): Effects of variable lighting intensities and colour temperatures on sulphatoxymelatonin and subjective mood in an experimental office work place. *Applied Ergonomics*. Vol. 39 Nr. 6 S. 719-728.

Hofstra., W.A., de Weerd, Al W. (2008): How to assess circadian rhythm in humans: A review of literature. *Epilepsy & Behavior* Vol. 13 Nr. 3 S. 438–444.

Horowitz, T.S., Cade, B.E., Wolfe, J.M., Czeisler, C.A. (2001): Efficacy of bright light and sleep/darkness scheduling in alleviating circadian maladaptation to night work. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, Vol. 281 Nr. 2 S. E384-E391.

Horowitz, T.S., Tanigawa, T. (2002): Circadian-based new technologies for night workers. *Industrial Health*, Vol. 40 Nr. 3 S. 223-236.

IARC (2007): IARC Monographs: <http://www.iarc.fr/en/Media-Centre/IARC-Press-Releases/Communiqués-recents/IARC-Monographs-Programme-finds-cancer-hazards-associated-with-shiftwork-painting-and-firefighting>

Iwata, N., Ichii, S., Egashira, K. (1997): Effects of bright artificial light on subjective mood of shift work nurses. *Industrial Health*, Vol. 35 Nr. 1 S. 41-47.

James, F.O., Walker, C.D., Boivin, D.B. (2004): Controlled exposure to light and darkness realigns the salivary cortisol rhythm in night shift workers. *Chronobiology International*, Vol. 21 Nr. 6 S. 961-972.

James, F.O., Cermakian, N., Boivin, D.B. (2007): Circadian rhythms of melatonin, cortisol, and clock gene expression during simulated night shift work. *Sleep*, Vol. 30 Nr. 11 S. 1427-1436.

Jewett, M.E., Kronauer, R.E., Czeisler, C.A. (1991): Light-induced suppression of endogenous circadian amplitude in humans, *Nature* Vol. 350 Nr. 7 S. 59-62.

- Jewett, M.E., Kronauer, R.E., Czeisler, C.A. (1994): Phase-Amplitude Resetting of the Human Circadian Pacemaker via Light: A Further Analysis, *J. of Biology* Vol. 9 Nr. 3-4 S. 295-314.
- Jewett, M.E., Rimmer, D.W., Duffy, J.F., Klermann, E.B., Kronauer, R.E., Czeisler, C.A. (1997): Human Circadian Pacemaker is Sensitive to Light throughout subjective Day without evidence of Transients, *Am. J. Physiol.* Vol. 273 (Regulatory Integrating Comp. Physiol. 42 S. R1800-R1809.
- Juslen, H.T., Tenner, A. (2005): Mechanisms involved in enhancing human performance by changing the lighting in the industrial workplace. *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 35 S. 843-855.
- Juslen, H.T., Verbossen, J., Wouters, M. (2007): Appreciation of localised task lighting in shift work - A field study in the food industry. *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 37 Nr. 5 S. 433-443.
- Kayumov, L., Casper, R.F., Hawa, R.J., Perelman, B., Chung, S.A., Sokalsky, S., Shapiro, C.M. (2005): Blocking low-wavelength light prevents nocturnal melatonin suppression with no adverse effect on performance during simulated shift work. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, Vol. 90 Nr. 5 S. 2755-2761.
- Kelly, T.L., Kripke, D.F., Hayduk, R., Ryman, D., Pasche, B., Barbault, A. (1997): Bright light and LEET effects on circadian rhythms, sleep and cognitive performance. *Stress Medicine*, Vol. 13 Nr. 4 S. 251-258.
- Klerman E.B. (2005): Clinical aspects of human circadian rhythms. *Journal of Biological Rhythms*, V20 N4 P375-386.
- Khalsa, S. B., Jewett, M. E., Cajochen, C., & Czeisler, C. A. (2003). A phase response curve to single bright light pulses in human subjects. *The Journal of Physiology* , 549 (3), S. 945-952.
- Koller, M., Harma, M., Laitinen, J.T., Kundi, M., Piegler, B., Haider, M. (1994): Different Patterns of Light Exposure in Relation to Melatonin and Cortisol Rhythms and Sleep of Night Workers. *Journal of Pineal Research*, Vol. 16 Nr. 3 S. 127-135.
- Kollig, M. (2006): Gesundheitsgerechte Gestaltung von Schichtarbeit. *Bundesarbeitsblatt* 1-2006 S. 13-22.

- Kozakov, R., Schöpp, H., Kunz, D. (2008): Spektrentailoring und Leuchtdichteverteilungen für Untersuchungen zur Melatoninunterdrückung im Verbundforschungsprojekt PLACAR. Tagungsband LICHT 2008 Ilmenau, S. 501-508.
- Kripke, D.F., Elliott, J.A., Youngstedt, S.D., Rex, K.M. (2007): Circadian phase response curves to light in older and young women and men. *Journal of Circadian Rhythms* 5:4
- Kronauer, R.E., Forger, D.B., Jewett, M.E. (1999): Quantifying Human Circadian Pacing to Brief, Extended, and Repeated Light Stimuli over the Photopic Range. *Journal of Biological Rhythms*, Vol. 14 No. 6, S. 501-515
- Kunz, D. (2006): Melatonin und Schlaf-Wach-Regulation. Habilitationsschrift Medizinische Fakultät der Charité Berlin
- Lac, G. Chamoux, A. (2004): Biological and psychological responses to two rapid shift-work schedules. *Ergonomics*, Vol. 47, Nr. 12, S. 1339-1349.
- Lasko T.A., Kripke D.F., Elliot J.A. (1999): Melatonin suppression by illumination of upper and lower visual fields. *J. Biol. Rhythms* Vol. 14 Nr. 2 S. 122-125.
- Lee, C., Smith, M.R., Eastman, C.I. (2006): A compromise phase position for permanent night shift workers: Circadian phase after two night shifts with scheduled sleep and light/dark exposure. *Chronobiology International*, Vol. 23 Nr. 4 S. 859-875.
- Leger, D., Philip, P., Jarriault, P., Matlaine, A., Choudat, D. (2008): Effects of a combination of napping and bright light pulses on shiftworkers sleepiness at the wheel: a pilot study. *J. Sleep Res.* 2008
- Leppamaki, S., Partonen, T., Piironen, P., Haukka, J., Lonnqvist, J. (2003): Timed bright-light exposure and complaints related to shift work among women. *Scandinavian Journal of Work Environment & Health*, Vol. 29 Nr. 1 S. 22-26.
- Lowden, A., Akerstedt, T., Wibom, R. (2004): Suppression of sleepiness and melatonin by bright light exposure during breaks in night work. *Journal of Sleep Research*, Vol. 13 Nr. 1 S. 37-43.
- Martin, S.K., Eastman, C.I. (1998): Medium-intensity light produces circadian rhythm adaptation to simulated night-shift work. *Sleep*, Vol. 21 Nr. 2 S. 154-165.
- McIntyre, I.M., Norman, T.R., Burrows, G.D., Armstrong, S. M. (1989): Quantal melatonin suppression by exposure to low intensity light in man. *Life Sciences* Vol. 44 Nr. 4 S. 327 - 332

Megdal, S.P., Kroenke, C.H., Laden, F., Pukkala, E., Schernhammer, E.S. (2005): Night work and breast cancer risk: A systematic review and meta-analysis. *European Journal of Cancer*, Vol. 41 Nr. 13 S. 2023-2032.

Midwinter, M.J., Arendt, J. (1991): Adaptation of the Melatonin Rhythm in Human-Subjects Following Night-Shift Work in Antarctica. *Neuroscience Letters*, Vol. 122 Nr. 2 S. 195-198.

Mitchell, P.J., Hoese, E.K., Liu, L.W., Fogg, L.F., Eastman, C.I. (1997): Conflicting bright light exposure during night shifts impedes circadian adaptation. *Journal of Biological Rhythms*, Vol. 12 Nr. 1 S. 5-15.

Monk, T.H. (2000): What can the chronobiologist do to help the shift worker? *Journal of Biological Rhythms*, Vol. 15 Nr. 2 S. 86-94.

Monk, T.H. (2005): Aging human circadian rhythms: Conventional wisdom may not always be right. *Journal of Biological Rhythms*, Vol. 20 Nr. 4 S. 366-374.

Münch, M., Kodialka, S., Steiner, R., Oelhafen, P., Wirz-Justice, A., & Cajochen, C. (2006). Wavelength-dependent effects of evening light exposure on sleep architecture and sleep EEG power density in men. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* (290), S. 1421-1428.

Pandi-Perumal, S.R., Smits, M., Spence, W., Srinivasan, V., Cardinali, D.P., Lowe, A.D., Kayumov, L. (2007): Dim light melatonin onset (DLMO): A tool for the analysis of circadian phase in human sleep and chronobiological disorders. *Progress in Neuro-Psychopharmacology & Biological Psychiatry*, Vol. 31 Nr. 1 S. 1-11.

Pauley, S.M. (2004): Lighting for the human circadian clock: recent research indicates that lighting has become a public health issue. *Medical Hypotheses*, Vol. 63 Nr. 4 S.588-596.

Pilcher, J.J., Lambert, B.J., Huffcutt, A.I. (2000): Differential Effects of Permanent and Rotating Shifts on Self-Report Sleep Length: A Meta-Analytic Review. *Sleep*, Vol. 23 Nr. 2

Popp, R.F.J. (2005): Gegenmaßnahmen bei Schläfrigkeit: Der Effekt von kurzweiligem Licht und olfaktorischer Stimulation. Dissertation Universität Regensburg

Revell, V.L., Eastman, C.I. (2005): How to trick mother nature into letting you fly around or stay up all night. *Journal of Biological Rhythms*, Vol. 20 Nr. 4 S. 353-365.

Revell, V.L., Burgess, H.J., Gazda, C.J., Smith, M.R., Fogg, L.F., Eastman, C.I. (2006): Advancing human circadian rhythms with afternoon melatonin and morning intermittent bright light. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, Vol. 91 Nr. 1 S.54-59.

Rimmer, D.W., Boivin, D.B., Shanahan, T.L., Kronauer, R.E., Duffy, J.F., Czeisler, C.A. (2000): Dynamic resetting of the human circadian pacemaker by intermittent bright light. *American Journal of Physiology-Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, Vol. 279 Nr. 5 S. R1574-R1579.

Ross, J.K., Arendt, J., Horne, J., Haston, W. (1995): Night-Shift Work in Antarctica - Sleep Characteristics and Bright Light Treatment. *Physiology & Behavior*, Vol. 57 Nr. 6 S. 1169-1174.

Rudolph, H.; Kunz, D. (2008): Verbundforschungsprojekt PLACAR (Plasmalampen für circadiane Rhythmen. Tagung LICHT 2008 Ilmenau, Tagungsband S. 494-500

Rüger, M. (2005a): Lighting up the human circadian clock. Dissertation Universität Groningen

Rüger, M.; Gordijn, M.C.M.; Beersma, D.G.M.; Vries, B.; Daan, S. (2005b): Nasal versus temporal illumination of the human retina: effects on core body temperature, melatonin, and circadian phase. *J of Biological Rhythms*, Vol. 20 Nr. 1 S. 60-70. (*auch in [Rüger2005a] enthalten*)

Rüger, M., Gordijn, M.C.M., Beersma, D.G.M., de Vries, B., Daan, S. (2006): Time-of-day-dependent effects of bright light exposure on human psychophysiology: comparison of daytime and nighttime exposure. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* Vol. 290 S. R1413-20. (*auch in [Rüger2005a] enthalten*)

Sack, R.L., Auckley, D., Auger, R.R., Carskadon, M.A., Wright, K.P., Vitiello, M.V., Zhdanova, I. (2007): Circadian rhythm sleep disorders: Part 1, basic principles, shift work and jet lag disorders. *Sleep*, Vol. 30 Nr. 11 S. 1460-1483.

Sallinen, M., Härmä, M., Akerstedt, T., Rosa, R., Lillqvist, O. (1998): Promoting Alertness with a short nap, *J. Sleep Res.* Vol. 7 S. 240-247.

Santhi, N., Duffy, J.F., Horowitz, T.S., Czeisler, C.A. (2005): Scheduling of sleep/darkness affects the circadian phase of night shift workers. *Neuroscience Letters*, Vol. 384 Nr. 3 S. 316-320.

Santhi, N., Aeschbach, D., Horowitz, T.S., Czeisler, C.A. (2008): The impact of sleep timing and bright light exposure on attentional impairment during night work. *Journal of Biological Rhythms*, Vol. 23 Nr. 4 S. 341-352.

Sasseville, A., Paquet, N., Sevigny, J., Hebert, M. (2006): Blue blocker glasses impede the capacity of bright light to suppress melatonin production. *Journal of Pineal Research*, Vol. 41 Nr. 1 S. 73-78.

Schernhammer, E., Schulmeister, K. (2004): Epidemiology of Night Work and Cancer. CIE Symposium "Light and Health" Wien, CIE x027:2004, S. 46-49

Schobersberger, W., Gufler, V., Griesmacher, A., Bartenbach, C., Canazei, M., Staggli, S., Hoffmann, G. (2007): Effect of two different lighting environments on urinary neopterin and sulphatoxymelatonin in an experimental night shift model. *Pteridines*, Vol. 18 Nr. 3 S. 69-78.

Scott, A. S. (2001): Shift work hazards. <http://www.dcmsonline.org/jax-medicine/2001journals/April2001/shiftwork.thm>

Sharkey, K.M., Fogg, L.F., Eastman, C.I. (2001): Effects of melatonin administration on daytime sleep after simulated night shift work. *Journal of Sleep Research*, Vol. 10 Nr. 3 S.181-192.

Sharkey, K.M., Eastman, C.I. (2002): Melatonin phase shifts human circadian rhythms in a placebo-controlled simulated night-work study. *American Journal of Physiology-Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, Vol. 282 Nr. 2 S.R454-R463.

Smith, K.A., Schoen, M.W., Czeisler, C.A. (2004): Adaptation of Human Pineal Melatonin Suppression by Recent Photic History. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* Vol. 89 Nr. 7 S. 3610-3614.

Smith M.R., Cullnan, E.E., Eastman C.I. (2008): Shaping the light/dark pattern for circadian adaptation to night shift work. *Physiology & Behavior* Vol. 95 S. 449-456.

Stevens, R.G. (2006): Artificial lighting in the industrialized world: Circadian disruption and breast cancer. *Cancer Causes & Control*, Vol. 17 Nr. 4 S. 501-507.

Takeyama, H., Matsumoto, S., Murata, K., Ebara, T., Kubo, T., Tachi, N. Itania, T. (2004); Effects of the length and timing of nighttime naps on task performance and physiological function, *Rev Saude Publica* Vol 38 S 32-37

Thapan, K., Arendt, J., & Skene, D. J. (2001). An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans. *Journal of Physiology*, Vol. 535 Nr. 1 S. 261-267.

Thessing, V.C., Anch, A.M., Muehlbach, M.J., Walsh, J.K., Schweitzer, P.K. (1994): 2-Hour and 4-Hour Bright-Light Exposures Differentially Effect Sleepiness and Performance the Subsequent Night. *Sleep*, Vol.17 Nr. 2 S. 140-145.

Thorne, H., Hampton, S., Morgan, L., Skene, D.J., Arendt, J. (2008): Differences in sleep, light, and circadian phase in offshore 18.00-06.00 h and 19.00-07.00 h shift workers. *Chronobiology International*, Vol. 25 Nr. 2-3 S. 225-235.

Tucker, P, Knowles, S.R. (2008): Review of studies that have used the Standard Shift-work Index: Evidence for the underlying model of shiftwork and health. *Applied Ergonomics*, Vol 39 S. 550-564.

van Bommel. W.J.M. (2006): Non-visual biological effect of lighting and the practical meaning for lighting for work. *Applied Ergonomics*, V37 N4 P461-466.

van Dongen, H.P.H., Dinges, D.F. (2000) Circadian Rhythms in Fatigue, Alertness and Performance in: Kryger, MH., Roth, T., Dement, C. (Eds.): *Principles and Practice of Sleep Medicine* (3rd ed.) S.391-399. W.B. Saunders, Philadelphia.

van Reeth, O. (1998): Sleep and Circadian Disturbances in Shift Work: Strategies for Their Management, *Hormone research* Vol 49 S. 158-162.

Wang J.Y., Hanifin J.P., Rollag M.D., Brainard G.C. (1999): Ocular regulation of the human pineal gland: The significance of total retinal exposure for melatonin suppression. *Biologic Effects of Light 1998*, Kluwer Boston, S. 367-373.

Wirz-Justice, A., Kräuchli, K., Cajochen, C., Danilenko, K.V., Renz, C., Weber, J.M. (2004): Evening melatonin and bright light administration induce additive phase shifts in dim light melatonin onset. *J. Pineal Res.* 2004 S. 192-194.

Wright, K.P., Badia, P., Myers, B.L., Plenzler, S.C. (1997): Combination of bright light and caffeine as a countermeasure for impaired alertness and performance during extended sleep deprivation. *Journal of Sleep Research*, Vol. 6 Nr. 1 S. 26-35.

Wright, K.P., Hughes, R.J., Kronauer, R.E., Dijk, D.J., Czeisler, C.A. (2001): Intrinsic near-24-h pacemaker period determines limits of circadian entrainment to a weak synchronizer in humans. *PNAS* , Vol. 98 Nr. 24 S. 14027-14032.

Yoon, I.Y., Jeong, D.U., Kwon, K.B., Kang, S.B, Song, B.G. (2001): Bright Light Exposure at Night and Light Attenuation in the Morning Improve Adaptation of Night Shift Workers. *Sleep*, Vol. 25 No. 3 S. 351-356.

Zeitler, J. M., Kronauer, R. E., Czeisler, C. A. (1997): Photopic transduction implicated in human circadian entrainment. *Neuroscience Letters* Vol 232 S. 135-138.

Zeitler, J. M., Dijk, D.-J., Kronauer, R. E., Brown, E. N., & Czeisler, C. A. (2000). Sensitivity of the human circadian pacemaker to nocturnal light: melatonin phase resetting and suppression. *Journal of Physiology* , 526 (3), S. 695-702.

Zeitler, J. M., Khalsa, S.B.S, Boivin, D.B., Duffy, J.F., Shanahan, T.L. Kronauer, R.E., Czeisler, C.A. (2005): Temporal dynamics of late-night photic stimulation of the human circadian timing system. *Am J Physiol Regulatory Integrative Comp Physiol* Vol. 289 S. 839-844.