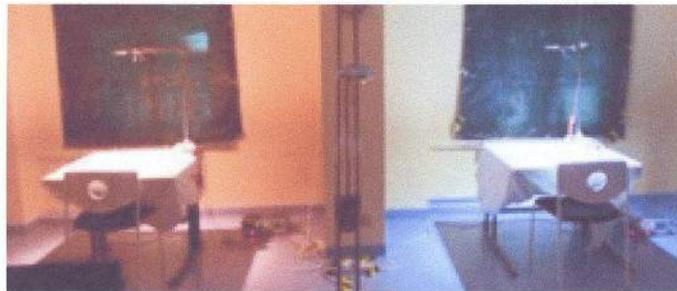


Abschlussbericht zum Projekt:

Biologische Wirkung der LED-Schreibtischleuchte LUCTRA (Firma DURABLE Hunke & Jochheim GmbH & Co. KG) am Beispiel der abendlichen Melatonin-Suppression

Versuchszeitraum: 01. Juli bis 15. September 2014



Projektleiter: PD Dr. Dieter Kunz
Intellux GmbH
c/o St. Hedwig-Krankenhaus
Große Hamburger Str. 5 – 11
10115 Berlin
Tel.: 030 2311-2900
Fax: 030 2311-2913
E-Mail: dieter.kunz@intellux-berlin.de

Inhaltsverzeichnis

1. Aufgabenstellung, Ziel und Voraussetzungen des Projektes (3)

1.1 Aufgabenstellung und Ziel (3)

1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde (3)

1.3 Wissenschaftlicher Stand, an den angeknüpft wurde (4)

2. Durchführung des Projekts (7)

2.1 Planung (7)

2.2 Ablauf des Projektes (7)

2.2.1 Rekrutierung der Probanden (7)

2.2.2 Studienprotokoll (8)

2.2.3 Die Beleuchtungsbedingungen (9)

3. Ergebnisse (13)

3.1 Die Beleuchtung (13)

3.2 Melatonin-Konzentrationen im Speichel (15)

3.3 Visueller Komfort (19)

4. Zusammenfassung der Ergebnisse und Zielüberprüfung (23)

5. Referenzen (25)

6. Anhang (27)

1. Aufgabenstellung, Ziel und Voraussetzungen des Projektes

1.1. Aufgabenstellung und Ziel

Die Aufgabe dieses Projekts der Intellux GmbH war es, die biologische Wirksamkeit einer neuartigen LED Schreibtischleuchte der Firma DURABLE Hunke & Jochheim GmbH & Co. KG (58636 Iserlohn) experimentell mit Versuchspersonen in einer Studie zu testen. Diese neuartige LED-Schreibtischleuchte wird unter dem Markennamen LUCTRA vermarktet. Die hier vorliegende Studie bezieht sich dabei insbesondere auf das Modell LUCTRA TABLE PRO. Des Weiteren sollte eine Bewertung der Ergebnisse unter Heranziehen der firmeneigenen Datenbank vollzogen werden. Drittens sollte dieser Bericht auch eine theoretische Abschätzung der Ergebnisse für andere Entfernungen der Leuchte vom Tisch und andere (Tisch-) Oberflächen beinhalten.

Die Intellux GmbH hatte sich zum Ziel gesetzt, die biologische Wirksamkeit der LED Schreibtischleuchte in einer 30-minütigen Lichtexposition am Abend zu testen. Primäre Messvariable hierbei sollte die Melatonin-Konzentration im Speichel vor, während und nach Lichtexposition sein.

1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Wenige Arbeitsgruppen haben den Einfluss von unterschiedlichen elektrischen Beleuchtungssituationen auf biologische Wirksamkeit hin systematisch untersucht. Entsprechende Ergebnisse sind aber notwendig, um Standards, Normen oder auch nur verlässliche Planungshinweise zu geben.

Unsere Arbeitsgruppe hat sich in den letzten sieben Jahren auf Anwendungsforschung auf dem Gebiet Licht & Gesundheit spezialisiert, und mehrere öffentlich und industriell geförderte Projekte eingeworben. Im durch das BMBF geförderten Projekt Plasmalampen für Circadiane Rhythmen – PLACAR (FKZ: 13 N 8973) haben wir zum einen eine standardisierte Untersuchungssituation definiert sowie ein Untersuchungsparadigma entwickelt, das unter fast naturalistischen Bedingungen eine Vergleichbarkeit unterschiedlicher Beleuchtungsszenarien in Bezug auf die Melatonin-Suppression beschreibt. Die Datenbank wurde seither systematisch erweitert und stellt mit über 30 unterschiedlichen Beleuchtungsszenarien heute die größte ihrer Art weltweit dar. Sie scheint geeignet, Grundlage einer allgemeinen Charakterisierung von Beleuchtungssystemen zu sein, parallel zu Normen und Standards bezüglich Beleuchtungsstärke und Lichtfarbe. Die im beauftragten Projekt durchgeführten Untersuchungen können mit den vorhandenen Daten verglichen und bewertet werden.

Die Arbeitsgruppe hat sich national und international eine herausragende Stellung auf dem Gebiet Licht & Gesundheit erarbeitet. Herr PD Dr. Kunz als Projektleiter ist Psychiater und seit 20 Jahren in der Klinischen Schlafforschung und Klinischen Chronobiologie tätig. Er hat in Bezug auf das für die Lichtwirkung elementare Hormon Melatonin eine Reihe originärer Forschungsergebnisse mitgeteilt [1-6]. Ausdruck seiner Reputation auf dem Gebiet Licht & Gesundheit sind: Mitglied im FNL 27 beim DIN (Wirkung des Lichts auf den Menschen); einziger Mediziner im Wissenschaftlichen Ausschuss der Deutschen Lichttechnischen Gesellschaft (TWA in LiTG), zuständig für den Bereich melanopische Lichtwirkung; Berater der Europäischen Kommission bei der Erstellung des Berichts: Health Effects of Artificial Light [10].

Erste Experimente zur Machbarkeit der abendlichen Melatonin-Suppression mit verschiedenen elektrischen Beleuchtungen wurden von der Arbeitsgruppe bereits ab 2006 durchgeführt. Hierbei wurden wichtige Erkenntnisse gewonnen, die zum Erstellen des Studiendesigns wesentlich beigetragen haben. Im Februar 2007 wurde die erste reale Untersuchung an Probanden mit dem neu erstellten Untersuchungsparadigma durchgeführt. Das erstellte Untersuchungsparadigma erwies sich bei den Folgeexperimenten als praktikabel.

Wichtigste Untersuchung war die Messung von Melatonin im Speichel zur Verifizierung der Melatonin-Suppression unter Licht. Diese Untersuchung wird im Wesentlichen in Europa von drei Instituten angeboten. Auf Empfehlung anderer europäischer Labore entschieden wir uns für eine Firma, die diese Messungen für uns durchführen sollte. In zwei aufeinander folgenden Experimenten, in denen unterschiedliche Analysemethoden angewendet wurden, zeigten sich jeweils inkonsistente Befunde. Ab dem dritten Experiment wurden die entsprechenden Untersuchungen von der Firma IBL International in Hamburg durchgeführt. Diese Zusammenarbeit verlief reibungslos, die Ergebnisse waren konsistent und verlässlich.

Die Firma Intellux GmbH wurde 2013 von Herrn Dr. Kunz gegründet mit dem Ziel, die Erforschung von biologischen Lichtwirkungen auch kommerziell voranzutreiben und zur Entwicklung intelligenter, biologisch optimierter Beleuchtungssysteme beizutragen.

Seit Herbst 2014 ist die Firma Intellux Teil des vom BMBF geförderten Verbundprojekts OLIVE¹: Optimierte Lichtsysteme zur Verbesserung von Leistungsfähigkeit und Gesundheit (FKZ: 13 N 13162), in dem es zusammen mit anderen Industriepartnern um die biologische Wirkungseffizienz sowie der Optimierung von verschiedenen Beleuchtungssystemen beim Menschen geht.

1.3. Wissenschaftlicher Stand, an den angeknüpft wurde

Die Erdrotation bedingt zwei der verlässlichsten, vorhersehbar wiederkehrenden Veränderungen der Natur, die Einfluss auf den Menschen nehmen: der tägliche Wechsel von Hell/Dunkel sowie die 24-Stunden-Variation der Umgebungstemperatur. Jedes Lebewesen auf der Erde hat sich im Laufe der Evolution an diese Veränderungen angepasst, der Mensch offenbar besonders gut. Licht ist der stärkste „Zeitgeber“ dieser Synchronisation. Das Ergebnis ist ein System an inneren Uhren, das sämtliche 24-Stunden-Variationen des Körpers moduliert oder treibt: Organaktivität, Hormonsekretion, Reaktionen auf Medikamente bis hin zur Genexpression. Diese circadianen Rhythmen sind auf einander abgestimmt, sodass sie, einem mathematischen Chaos gleich, einen überaus regelhaften Ablauf und damit die Funktionsfähigkeit von Körper und Psyche gewährleisten [7].

Das circadiane System besteht aus einer Vielzahl von Uhren. In jeder einzelnen Zelle des Körpers ist die individuelle 24-Stunden-Information enthalten [8]. Die Zellen müssen miteinander synchronisiert werden, um aufeinander abgestimmt zum jeweiligen Zeitpunkt das Richtige zu tun. Diese Abstimmung der peripheren Uhren erfolgt über eine Hauptuhr, die im Nucleus suprachiasmaticus (SCN) des Hypothalamus angesiedelt ist. Diese Hauptuhr wird täglich über Zeitgeber mit der äußeren Umgebung synchronisiert. Von überragender Bedeutung sind hier die Zeitgeber Licht und Dunkelheit [9].

Die Erfindung künstlichen Lichts gibt dem Menschen die Möglichkeit, Zeitpunkt und Länge von Tag und Nacht selbst zu bestimmen. Tier- und humanexperimentelle Arbeiten zeigen, dass diese biologischen Wirkungen von Licht im Ausmaß erheblich sind. Diese Erkenntnisse erzeugen eine völlig neue Sichtweise, da deutlich wird, dass zusätzlich zur Sehaufgabe Leistungsfähigkeit und Gesundheit positiv wie negativ durch künstliche Beleuchtung beeinflusst wird [13].

Dies ermöglicht einerseits Rund-um-die-Uhr-Unternehmungen wie Schichtarbeit. Auf der anderen Seite bedingt die tägliche Veränderung von Länge und Zeitpunkt des Tages eine externe Desynchronisation des äußeren Hell/Dunkel- gegenüber dem inneren 24-Stunden-Rhythmus. Arbeits- und Ausbildungsplätze in der industrialisierten Welt sind wesentlich mit künstlicher Beleuchtung ausgestattet. Die Normen und Standards für künstliche Beleuchtungen orientieren sich an den arbeitsbedingten Sehaufgaben, im Gesundheitswesen auch an Annehmlichkeit und Wohlbefinden (DIN EN 12464-1 und DIN 5035).

Die Entdeckung von intrinsisch lichtempfindlichen, retinalen Ganglienzellen, dem Photopigment Melanopsin und die Beschreibung seines Aktionsspektrums am Anfang dieses Jahrhunderts hat eine stürmische Entwicklung initiiert, mit einer Flut an Grundlagenkenntnissen zu den über das Auge vermittelten, nicht-visuellen, biologischen Wirkungen von Licht [11,12]. Das Photopigment Melanopsin auf der Netzhaut übermittelt die Informationen über Intensität und spektrale Verteilung des Lichts an Nervenbahnen, die zum SCN führen. Melanopsin reagiert besonders empfindlich auf Licht im blauen Spektrum mit einer maximalen Sensitivität bei einer Wellenlänge von ca. 480 nm. Mehrere Arbeitsgruppen beschrieben Aktionsspektren, die genauere Information darüber liefern, ab welcher Lichtintensität und bei welcher Wellenlänge monochromatisches Licht die intensivste Wirkung auf das circadiane System entfaltet [11,12].

Erste Anwendungsbeobachtungen scheinen die Grundlagenexperimente zu bestätigen. Allerdings deutet sich auch an, dass Licht und Dunkelheit – zum jeweils „falschen“ Zeitpunkt – negative Effekte bewirken können. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) stuft Nachtschichtarbeit als „wahrscheinlich karzinogen“ ein und benennt als wesentlich ursächlichen Teilaspekt die Unterdrückung von Melatonin durch Licht [14]. Die Europäische Kommission (Scientific Committee on emerging and newly identified health risks –SCENIHR) beschreibt potentielle Gesundheitsgefährdung durch künstliches Licht in den Abend- und Nachtstunden. Somit kommt der Aufklärung der Zusammenhänge sowie der Umsetzung von Gegenmaßnahmen eine besondere Bedeutung zu.

Die bisherigen humanexperimentellen Arbeiten weltweit haben zumeist Wirkungen von monochromatischem Licht, oft bei pharmakologisch dilatierten Pupillen, in streng kontrollierten experimentellen Settings nachgewiesen. Eine Übertragung dieser Ergebnisse auf polychromatisches Licht, wie man es im natürlichen Licht und in der Innenraumbeleuchtung vorfindet, ist hochkomplex und beim bisherigen Forschungsstand noch nicht zu leisten. So sind die Effekte von Licht auf die Physiologie des Menschen abhängig von äußeren (Beleuchtungsstärke, Photonendichte, Beleuchtungsdauer, spektrale Zusammensetzung, Beleuchtungszeitpunkt u. a.) wie von inneren Faktoren (Alter, Gesundheitszustand, Sensitivität der Netzhaut, Medikamenteneinnahme, individuelle Phasenlänge zum äußeren Hell-Dunkel- Rhythmus u. a.). Polychromatisches Licht bereits geringer Intensität am Abend beeinträchtigt Hormonsekretion, Gehirn- und Genaktivität [15]. Dem Mondlicht ähnliche Beleuchtungsstärken und Veränderung der Tageslänge über wenige Wochen während der Nacht induzieren in tagaktiven Mäusen strukturelle und Verhaltensveränderungen, die denen

von Depressionsmodellen ähneln [16,17]. Eigene – bisher unveröffentlichte – Daten zeigen, dass gesunde Probanden zumindest in einer städtischen Umgebung einer Beleuchtung ausgesetzt sind, die ca. einem Promille der natürlichen Tagesbeleuchtung entspricht. Es stellt sich die Frage, ob Licht am Abend und in der Nacht bzw. Dunkelheit am Tage zu einer internen Desynchronisation beiträgt. Bei Bestätigung dieser Hypothesen ergäben sich viele Perspektiven in Bezug auf Lern- und Leistungsfähigkeit von Schülern sowie Reduktion von Stress und Überforderung am Arbeitsplatz. Auch erhalten die genannten lichtempfindlichen retinalen Ganglienzellen ihre Information nicht nur aus ihrer intrinsischen Photosensibilität heraus, sondern werden durch vorgeschaltete Rezeptoren, den aus dem visuellen System bekannten Zapfen und Stäbchen, in ihrer Reagibilität je nach Zeitpunkt, Lichtintensität und einer Vielzahl anderer Faktoren moduliert.

2. Durchführung des Projekts

2.1 Planung

Die Planung des Projekts erfolgte in Zusammenhang mit den beteiligten Mitarbeitern von Herrn PD Dr. Kunz, welche entweder ebenfalls Mitarbeiter (siehe Anhang) der Firma Intellux sind oder aber der Arbeitsgruppe 'Schlafforschung und Klinische Chronobiologie' (Universitätsmedizin Charité) angehören, welche ebenfalls von Herrn Dr. Kunz geleitet wird. Die Experimente wurden vom 01. Juli bis zum 15. September 2014 durchgeführt.

Die Planung der Studie erforderte die folgenden Schritte:

- Studiendesign
- Eingabe an die Ethische Kommission der Universitätsmedizin der Charité
- Vermessung und Bereitstellung der Schreibtischleuchten
- Testen der Leuchten und Definition der Sollwerte
- Rekrutierung der Probanden
- Durchführung der Studie
- Analyse der Ergebnisse

2.2 Ablauf des Projektes

Der geplante Ablauf war, die Schreibtischleuchten in einem humanexperimentellen Experiment im Sommer 2014 mit Testmustern der Leuchte zu testen und erste Auswertungen bis Ende Oktober 2014 verfügbar zu machen. Dabei wurde ein bereits erprobtes Studiendesign (siehe oben) angewendet. Die gewählte Vorgehensweise wird in den folgenden Abschnitten detailliert dargelegt werden. Der Durchführung der Studie wurde vor Beginn derselben von der Ethikkommission der Charité – Universitätsmedizin Berlin zugestimmt.

2.2.1 Rekrutierung der Probanden

Die Probanden wurden mittels Aushängen (Flyer) an Berliner Hochschulen (FU, Humboldt Universität, TU) rekrutiert. Sie bekamen verschiedene Fragebögen zugeschickt und kamen vor der Studie einmal in die Klinik für Schlaf- & Chronomedizin (St. Hedwig-Krankenhaus) für eine körperliche Untersuchung und ein Gespräch mit einem Vertreter des Studienteams. Bei dieser Gelegenheit wurde das Protokoll nochmals erklärt und die Probanden erteilten ihre schriftliche Einwilligung zur Teilnahme an der Studie. Es wurden 16 Probanden* (8 F, 8 M): Durchschnittsalter: 24.4 ± 1.8 Jahre (zwischen 21 und 27 Jahren) in die Studie eingeschlossen. Alle Probanden waren gesund (Eingangsuntersuchung), und gaben an, keine Medikamente oder Drogen einzunehmen. Keiner der Probanden war ein extremer Morgen- oder Abendtyp. Letzteres wurde im Morningness-Eveningness Fragebogen von Horne & Ostberg (HO) sowie dem Munich Chronotype Questionnaire (MCTQ) bestimmt (HO: 53.1 ± 7.3 ; MCTQ: $4:20 \pm 54$ Min; Mittelwerte \pm Standardabweichungen). Der Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI), welcher ein Instrument zum Ausschluss von schlafbedingten Erkrankungen ist und unter 5 liegen sollte, ergab einen durchschnittlichen Wert von 3.2 (Standardabweichung ± 0.9). Die habituelle Bettgehzeit lag im Mittel bei 23:34 Uhr (Standardabweichung: 0:46 Minuten).

*die männliche Form „Proband“ wird in diesem Bericht gleichbedeutend auch für Frauen benützt

2.2.2 Studienprotokoll

Entrainmentphase zu Hause:

Eine Woche vor der Studie mussten die Probanden regelmäßige Bett- und Aufstehzeiten einhalten und dies in einem Schlaftagebuch aufschreiben. Außerdem bekamen die Probanden bei ihrer ersten Visite in der Klinik für Schlaf- & Chronomedizin einen Aktivitätsmonitor (Motion Watch 8; Camntech; Cambridge; England) ausgehändigt und wurden instruiert, diesen für die Dauer der Studie kontinuierlich am Handgelenk zu tragen. Die aufgezeichneten Aktivitätsdaten sowie das Schlaftagebuch dienten zur Kontrolle des regelmäßigen Schlaf-Wachzyklus.

Studie an der Klinik für Schlaf- & Chronomedizin:

Die Studie wurde in einem eigens vom St. Hedwig-Krankenhaus zur Verfügung gestellten großen Raum durchgeführt, in welchem maximal 6 Probanden gleichzeitig getestet werden konnten. Die Fenster wurden abgedunkelt, so dass kein natürliches Licht einfallen konnte. Die Testplätze waren in einem Abstand von 1–2 m zueinander angeordnet, aber räumlich nicht gegeneinander abgeschirmt. Deshalb trugen die Probanden im Dämmerlicht zusätzlich stark getönte Brillen, um die Einflüsse der Nachbarsplätze zu minimieren, falls die Lichtexpositionen zu unterschiedlichen Zeiten stattfanden. Da die Studie im Sommer durchgeführt wurde, sorgte ein mobiles Klimagerät für konstante Temperaturen unter 25° Celsius. Die Probanden kamen an insgesamt fünf Abenden (in einem Abstand von mindestens vier Tagen) ins Labor. Die Studie begann 6 Stunden vor der individuellen Bettgezeit. Die Probanden verbrachten die ersten 5 Stunden vor der Lichtexposition und 30 Min nach der Lichtexposition in stark gedimmter Beleuchtung (Dim Light; DL; < 6 lx) und saßen während dieser Zeit an einem Einzeltisch. Sie durften diesen lediglich für kurze Toilettenbesuche verlassen, und mussten hierfür eine stark getönte Schweißbrille tragen. Während des ersten Teils in DL mussten die Probanden regelmäßig (alle 10–60 Minuten) insgesamt 11 Speichelproben abgeben. Dafür benutzten sie eine Art Watterolle (Salivetten), welche für maximal drei Minuten im Munde belassen wurde. Die Probanden füllten außerdem während der Lichtexposition einen Fragebogen zur Erfassung des visuellen Komforts aus. Eine Stunde vor der habituellen Bettgezeit wurden die Probanden für eine halbe Stunde (30 Minuten) einer von insgesamt fünf Beleuchtungsbedingungen ausgesetzt. Ein Testmuster der LUCTRA Schreibtischleuchte ist in Abbildung 1 dargestellt.

Während der gesamten Studie war mindestens ein(e) Vertreter/in des Studienteams anwesend, welche(r) die korrekte Durchführung des Protokolls garantierte. Die Probanden wurden in Gruppen von 3–6 Personen pro Abend getestet. Zwischen den einzelnen Aufgaben (nicht aber während der Lichtexposition) durften die Probanden sich untereinander oder mit einem Studienvertreter unterhalten. In regelmäßigen Abständen (aber nicht länger als 20 Min vor der nächsten Speichelprobe) wurden den Probanden leichte Snacks (Sandwich, Joghurt, Früchte, Müsliriegel) angeboten und sie durften Wasser trinken.

2.2.3 Die Beleuchtungsbedingungen

Die vorliegende Studie wurde mit seriennahen Testmustern der Schreibtischleuchte Modell LUCTRA TABLE PRO durchgeführt.

Die im Rahmen der Studie verwendeten LUCTRA-Testmuster entsprechen in Bezug auf (1) die Geometrie des Leuchtenkopfs, (2) die verwendeten LED sowie die Helligkeits- und Farbortbinnings, (3) die Bestromung, (4) den verwendeten Reflektor, (5) der Streuscheibe und damit aller für die Lichterzeugung und den Lichtverteilung maßgeblichen Teile den Leuchten der Serienfertigung. Neutral vermessene lichttechnische Daten (Messlabor: DIAL Lüdenscheid) und die Qualitätsbestimmung der LED lagen bei Studienbeginn vor, wurden durch Intellux validiert und können auf Anfrage bei DURABLE eingesehen werden.

Abweichungen zwischen LUCTRA-Testmustern und den Leuchten der Serienfertigung bestehen lediglich im Fertigungsverfahren des konstruktiven Aufbau des Gehäuses und des Leuchtenkopfs und haben damit keinen Einfluss auf die Lichtausbeute und Lichtqualität.

Abbildung 1:

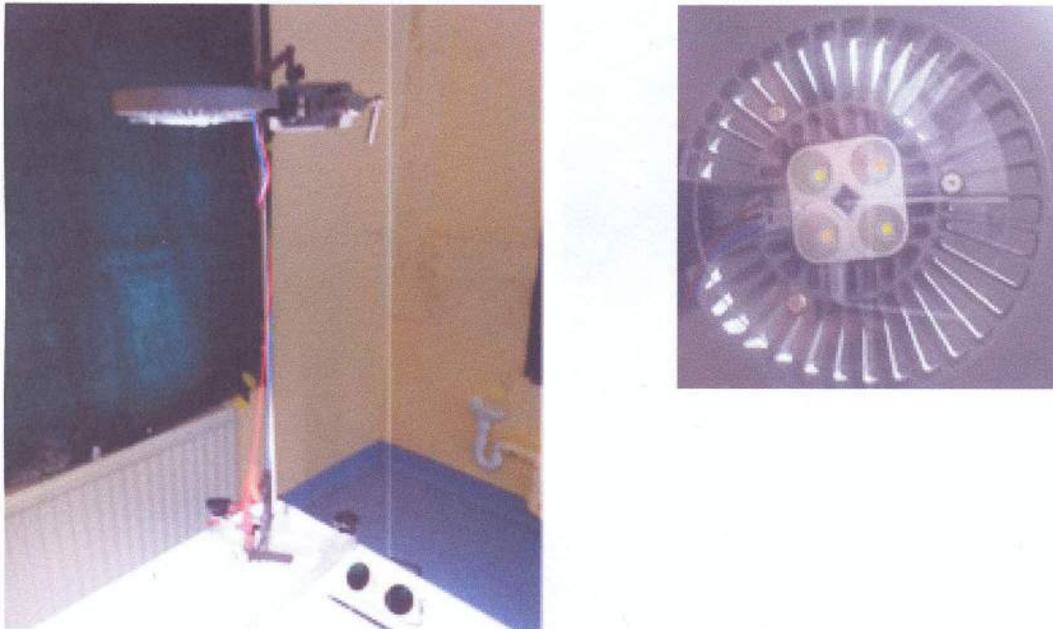


Abbildung 1: Testmuster der Schreibtischleuchte LUCTRA (linke Seite) und der Leuchtenkopf von unten (rechte Seite). Gut sichtbar ist die Anordnung der warm-weißen (orange) und kalt-weißen (gelben) LEDs.

Die 5 Beleuchtungsbedingungen umfassten (siehe auch Abbildungen 2 und 3 sowie die Tabelle 1):

- Dim Light (DL; $< 6 \text{ lx}$): polychromatisch weiße schwache indirekte Beleuchtung (Stehleuchte in der Mitte des Raumes)
- Starke Referenzbeleuchtung: helle polychromatisch weiße LED Beleuchtung („Bright Light“; BL; indirekte Beleuchtung mittels LED Strahler von oben; ca. 1 m oberhalb des Tisches; Farbtemperatur: 5500 K)
- Kalt-weiße Schreibtischleuchte (LUCTRA TABLE PRO, DURABLE; Farbtemperatur: 6000 K)
- Warm-weiße Schreibtischleuchte (LUCTRA TABLE PRO, DURABLE; Farbtemperatur: 2700 K)
- Gemischt warm-kaltweiße Schreibtischleuchte (LUCTRA TABLE PRO, DURABLE; Farbtemperatur: 3800 K)

Abbildung 2:

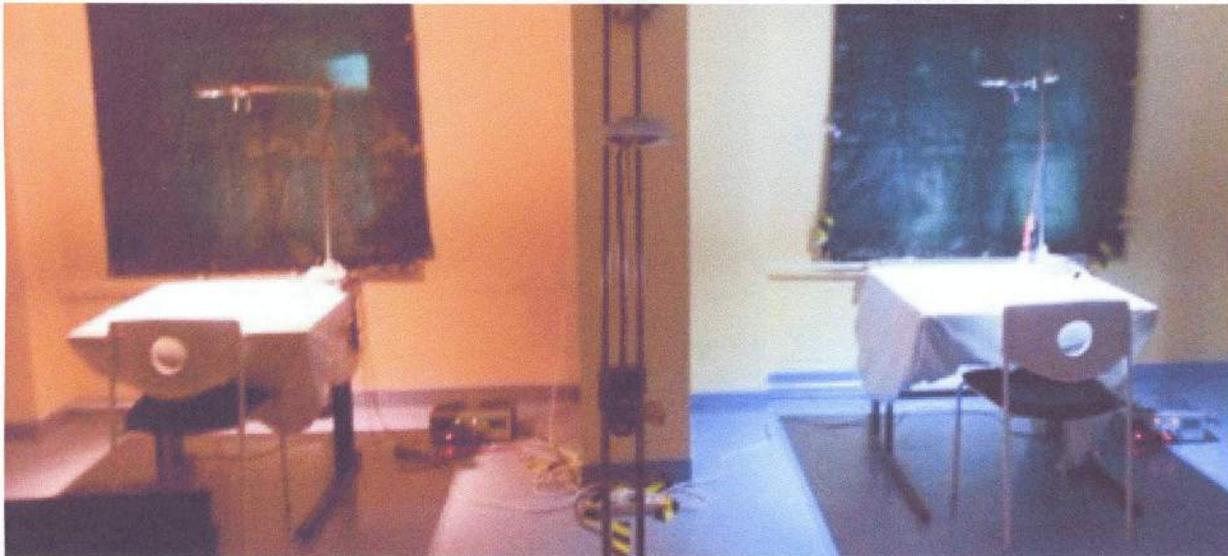


Abbildung 2 zeigt exemplarisch das Beispiel einer Beleuchtungssituation für die warm-weiße LUCTRA TABLE PRO Schreibtischleuchte (linke Seite) und rechts diejenige der kalt-weißen LUCTRA TABLE PRO Schreibtischleuchte so wie dies während der Studie getestet wurde.

Abbildung 3:

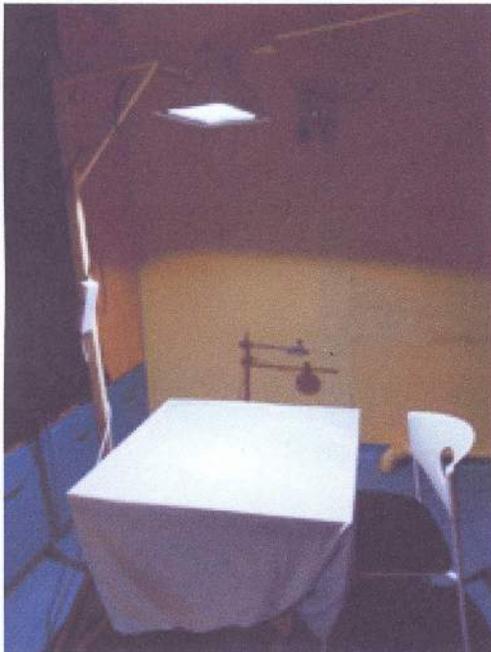


Abbildung 3 zeigt die Beleuchtungssituation für die bright light (BL) Referenzbeleuchtung mittels LED Strahler über dem Schreibtisch.

Alle Probanden bekamen am ersten Abend die DL Beleuchtung, alle anderen Beleuchtungs-Bedingungen wurden pro Gruppe à 4–6 Personen randomisiert.

Die Leuchten wurden vor der Studie lichttechnisch vermessen (siehe Anhang 2 für eine Tabelle der Bestromungs-Einstellungen der einzelnen Test-Plätze). Die maximal mögliche Bestromung der warm-weißen LUCTRA-Testmusterleuchte ergab eine Beleuchtungsstärke von durchschnittlich 115 lux. Daher wurden die beiden anderen Beleuchtungssituationen ebenfalls auf diese Beleuchtungsstärke eingestellt, um einen Vergleich der biologischen Wirkung zu erhalten, welcher allein auf die Farbtemperatur der Leuchten und nicht auf die unterschiedlichen Beleuchtungsstärken zurückzuführen ist. Es ist anzufügen, dass durchaus höhere Beleuchtungsstärken für die gemischte und insbesondere für die kalt-weiße Beleuchtungssituation möglich sind.

Es wurde darauf geachtet, dass der Leuchtkopf stets 70 cm von der Tischoberfläche entfernt senkrecht in Richtung Mitte des Tisches gerichtet war (Abbildung 1). Während der halbstündigen Lichtexposition wurden die Probanden instruiert, auf die Mitte des Tisches zu schauen (Abbildung 4). Die Probanden führten verschiedene visuelle Aufgaben durch und füllten auch einen Fragebogen für die subjektive Beurteilung der jeweiligen Beleuchtungssituation aus. Eine halbe Stunde nach Ende der Lichtexposition durften die Probanden nach Hause gehen.

Die Abbildung 4 zeigt die exemplarische Beleuchtungssituation für einen sitzenden Probanden. Der Leuchtkopf war in 70 cm Höhe festgemacht und die Leuchte zeigte in die Mitte des Tisches (50 x 50 cm) und war 50 cm von der Wand entfernt. Der Tisch wurde mit einer weißen Decke bedeckt. Es wurde eine Tischoberfläche gewählt, welche die Beleuchtung minimal reflektiert und gleichzeitig möglichst wenig Licht absorbiert.

Die Probanden saßen am Tisch mit beiden Vorderarmen auf dem Tisch und wurden instruiert, auf die Mitte des Tisches zu schauen, sofern sie keine (auf Papier) zu absolvieren hatten. Falls am Nachbarplatz die visuellen Aufgaben Beleuchtung früher angestellt werden musste (gemäß der individuellen habituellen Bettzeiten), wurden die Probanden, welche noch in DL saßen, gebeten, während dieser Zeit stark getönte Schweißbrillen anzuziehen.

Abbildung 4

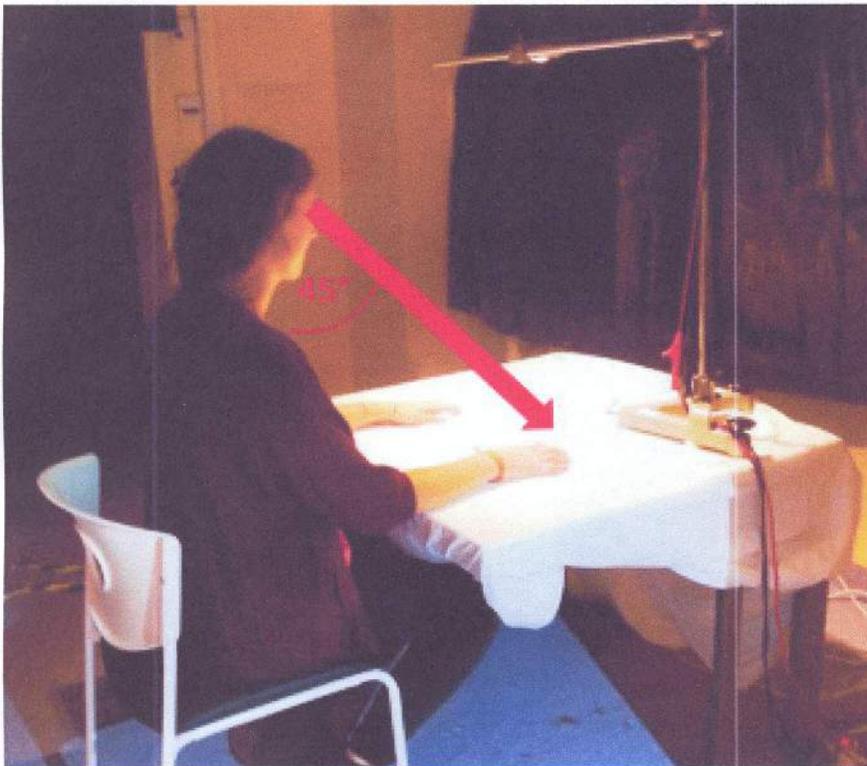


Abbildung 4: Exemplarische Position eines Probanden am Tisch unter der warm-weißen DURABLE Schreibtischleuchte (Situation mit Studenteammitarbeiterin nachgestellt). Der rote Pfeil gibt die gewünschte Blickrichtung an. Darauf wurde während der Lichtexposition geachtet.

3. Ergebnisse

3.1 Die Beleuchtung

Die Einstellungen der drei LUCTRA-Testmuster wurden so gewählt, dass alle drei Leuchtenköpfe gleiche photopische Werte hatten. Diese lagen im Mittel bei 115 Lux auf einer vertikalen Fläche auf Augenhöhe eines Probanden in einer 45° Richtung zum Tisch (siehe Abbildung 4). Zur Einstellung und Überprüfung dieser Werte wurde der Spektroradiometerkopf in einer 45° Richtung an einem Holzstab befestigt und vor jeder Studiensession wurden die Werte überprüft.

Die Abbildung 5a zeigt exemplarisch die spektrale Verteilung der drei LED Leuchtenköpfe und Abbildung 5b zeigt die spektrale Verteilung aller getesteten Beleuchtungen inklusive heller LED Referenzleuchte (=bright light; BL) und außer DL. Die Abbildung 5c zeigt die gewichteten Beleuchtungsstärken für jedes der einzelnen Photopigmente für die kalt-weiße und die warm-weiße Beleuchtung (siehe auch Tabelle 1). Die Abbildung 5c gibt die gewichteten Beleuchtungsstärken der einzelnen Photopigmente wieder (siehe auch Tabelle 1).

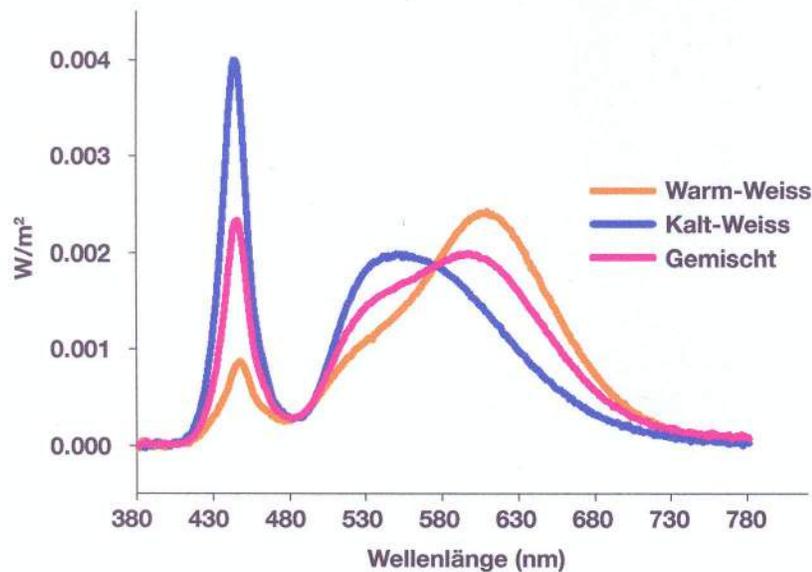


Abbildung 5a
Messung auf Augenhöhe
(in Richtung Tischplatte, 45°)

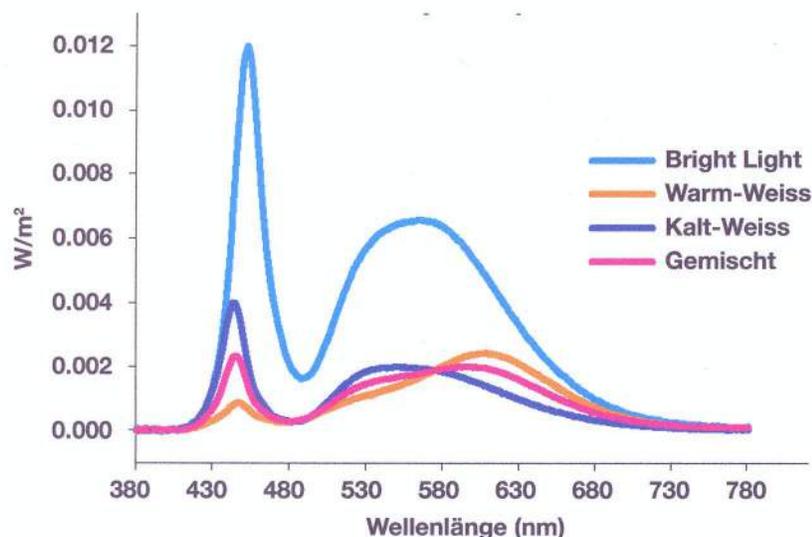


Abbildung 5b

Abbildungen 5a und b: Die beiden Abbildungen zeigen die spektrale Verteilung in W/m^2 für die 4 von 5 Beleuchtungsszenarios im Bereich zwischen 380 und 780 nm.

Abbildung 5c

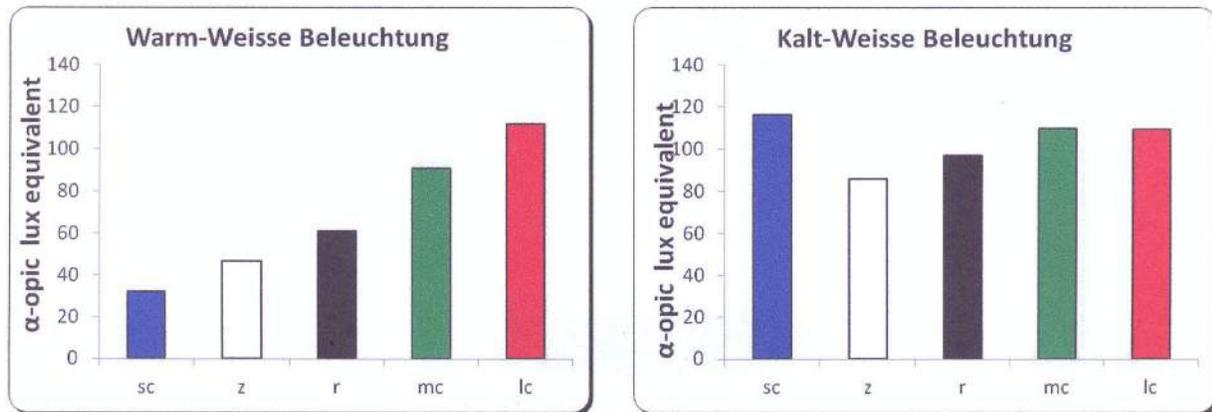


Abbildung 5c zeigt die Balkendiagramme der gewichteten Beleuchtungsstärke für die warm-weiße und die kalt-weiße Beleuchtungssituation der LUCRA-Testleuchten. sc=S-Zapfen; z=melanopsin; r=Stäbchen; mc=M-Zapfen; lc=L-Zapfen. (Quelle: Irradiance Tool; Lucas et al. 2014 [20]).

Tabelle 1

			warm-weiss	kalt weiss	gemischt	bright light
Name	Empfindlichkeit	I_{max}	α-opic lux	α-opic lux	α-opic lux	α-opic lux
Cyanopic	S-Zapfen	419.0	31.98	116.04	71.01	364.58
Melanopic	Melanopsin	480.0	46.81	85.67	65.87	319.40
Rhodopic	Stäbchen	496.3	61.08	97.07	78.69	343.69
Chloropic	M-Zapfen	530.8	90.98	109.38	100.13	375.10
Erythropic	L-Zapfen	558.4	111.60	109.07	110.92	370.68
Photopic lux	–	–	113.00	115.70	114.70	389.10

Tabelle 1: Zeigt die gewichtete (=effektive) Beleuchtungsstärke (angegeben in α-opic lux; siehe [20]) für die verschiedenen Photopigmente unter den 3 verschiedenen Beleuchtungssituationen der LUCRA-Testleuchten und der BL Bedingung.

3.2 Melatonin-Konzentrationen im Speichel

Die Proben wurden in den vorgesehenen Abständen entnommen, d.h. stündlich bis 10 Min vor Lichtexposition, danach alle 10 Min bis kurz vor Studienende (total 11 Speichelproben). Unter DL wurden leicht andere Speichelsammelzeiten gewählt. Um einen Vergleich mit den anderen Beleuchtungsbedingungen zu erlauben, wurden die Konzentrationen der DL Bedingung mittels linearer Interpolation für die anderen Zeiten berechnet. Nach Entnahme wurden die einzelnen Proben in den Kühlschrank gestellt und am Ende der jeweiligen Sitzung bei -20°C eingefroren. Sämtliche Proben wurden am Ende der Studie in gefrorenem Zustand an ein externes Labor verschickt (IBL in Hamburg). Für den direkten Radio-Immuno-Assay (RIA) wurde ein laboreigener Antikörper (polyklonaler Kaninchen Antikörper) mit einer Empfindlichkeitsgrenze von 0.3 pg/ml verwendet. Die Variations-Koeffizienten als Maß für die Messgenauigkeit wurden aus Kontrollen berechnet, welche das Labor mitgeliefert hatte. Der intra-assay Koeffizient war zwischen $8.2\text{--}12.5\%$ für tiefe und $7.0\text{--}10.4\%$ für hohe Konzentrationen. Der inter-assay Koeffizient betrug 10.9% für tiefe bzw. 9.0% für hohe Konzentrationen.

Bei sieben Messungen war nicht genügend Speichel auf der Salivette; und bei einem Messwert, der mehr als doppelt so hoch wie derjenige vorher und nachher war, wurde linear interpoliert. Die Melatonin-Konzentrationen wurden als absolute Mittelwerte (pg/ml) für alle Probanden und pro Beleuchtungsbedingung dargestellt. Für die Berechnung der Melatonin-Suppression wurden alle Werte während (und nach) der Lichtexposition als Quotient zur Melatonin-Konzentration unmittelbar vor der Lichtexposition dargestellt. Bei fünf Profilen erfolgte der Anstieg nicht bzw. nicht vor der Lichtexposition, bzw. konnte nicht eindeutig festgestellt werden. Diese Sitzungen (von zwei Probanden) wurden nicht in die Analyse eingeschlossen. Die Abbildung 6 zeigt ein Beispiel eines Melatonin Profils von einem Probanden über alle fünf Beleuchtungsbedingungen. Das Profil zeigt, dass die absolute Melatonin Konzentration bei diesem Probanden in dim light, d.h. noch vor der Lichtexposition (ungefähr vier Stunden vor der habituellen Bettgezeit) anzusteigen beginnt. Dies ist ein zu erwartender normaler Verlauf des abendlichen Konzentrationsanstiegs eines Probanden mit einem regelmäßigen Schlaf-Wach Rhythmus (d.h. der Proband ist ‚entrained‘). Durch die unterschiedlichen 30-minütigen Beleuchtungsbedingungen wird die Melatonin Konzentration mehr oder weniger unterdrückt.

Abbildung 6:

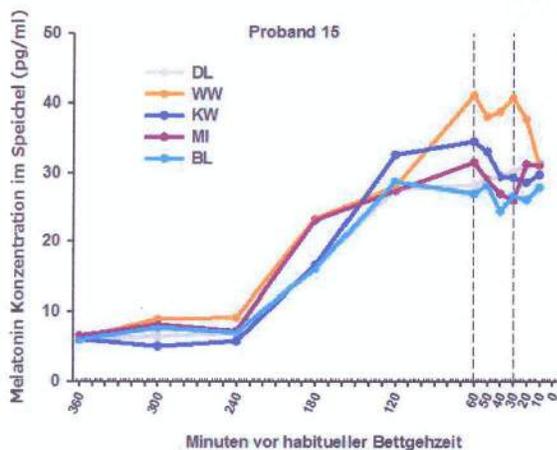


Abbildung 6: Exemplarisches Beispiel der Speichelkonzentrationen von Melatonin (pg/ml) im Verlaufe der 5 Studiensessions eines Probanden (#15). DL=Dim Light; WW=warm-weiß; KW=Kalt-weiß; MI=gemischt; BL=Bright Light.

Die Melatonin-Suppressionsunterschiede zwischen den Beleuchtungsbedingungen wurden normalisiert (z-Transformation) und mittels gemischtem linearen Regressionsmodell mit der Statistiksoftware SAS (Version 9.3; Statsoft) berechnet und die p-Werte der post-hoc Berechnungen für wiederholte Messungen angepasst (Tukey-Kramer Test). Als fester Effekt wurde die Beleuchtungsbedingung genommen (Haupteffekt der Beleuchtungsbedingungen 1-5). Die Zeitpunkte während der Licht-Exposition wurden gemittelt und der Faktor ‚Proband‘ wurde als zufälliger Effekt im Modell berücksichtigt. Die Freiheitsgrade wurden nach der Kenward-Rogers Methode angepasst.

Die absoluten Melatonin-Konzentrationen sind in Abbildung 7 relativ zur habitueller Bettgezeit dargestellt. Es zeigte sich bereits visuell, dass ein regelrechter Anstieg der abendlichen Melatonin-Sekretion unter DL bei allen Bedingungen stattfand und die darauf folgende Lichtexposition zu unterschiedlichen Suppressionen geführt hatte.

Abbildung 7:

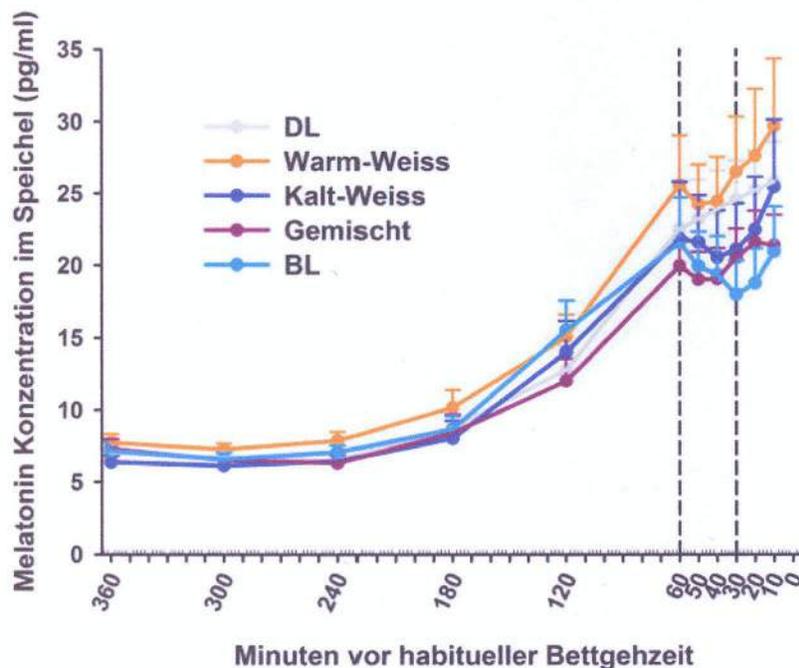


Abbildung 7: Die Melatonin-Konzentrationen im Speichel sind dargestellt als Mittelwerte pro Beleuchtungsbedingung. Den 5 Beleuchtungsbedingungen entsprechen die folgenden Farben: dim light (DL; graue Symbole); warm-weiss (orange Symbole); kalt- weiss (blaue Symbole); gemischt (dunkelrote Symbole), bright light (BL; türkis Symbole). N=16 plus Standardfehler. Die beiden gestrichelten senkrechten Linien zeigen das Intervall der experimentellen Lichtexposition.

Um die Melatonin-Suppression unabhängig von der absoluten Ausgangskonzentration vor der Lichtexposition (welche nicht signifikant unterschiedlich war; $p=0.1$) zwischen den Beleuchtungsbedingungen zu vergleichen, wurden die gemittelten Werte während der Lichtexposition normiert (z-transformiert) und die vorher beschriebene Analyse durchgeführt (Abbildung 8). Für den Faktor Beleuchtungsbedingung ergab sich ein signifikanter Effekt ($F_{4,70}=5.78$; $p=0.0004$). Die statistischen post-hoc Tests zeigten, dass die gemischte sowie die BL Bedingung im Vergleich mit DL und der warm-weißen Beleuchtung eine signifikante Melatonin-Suppression bewirkten ($p<0.05$; Tabelle 2a). Für die Unterschiede zwischen der warm-weißen und der kalt-weißen Beleuchtung ergab sich ein Trend ($p=0.08$; Tabelle 2a). Wenn die DL Kontrollbeleuchtung im Regressions-Modell weggelassen wurde, ergab sich im Vergleich mit der warm-weißen Beleuchtung eine signifikante Melatonin-Suppression mit allen drei Blaulicht-reicheren Beleuchtungen, welche bis kurz vor die Bettgezeit anhielt ($p<0.009$; Tabelle 2b).

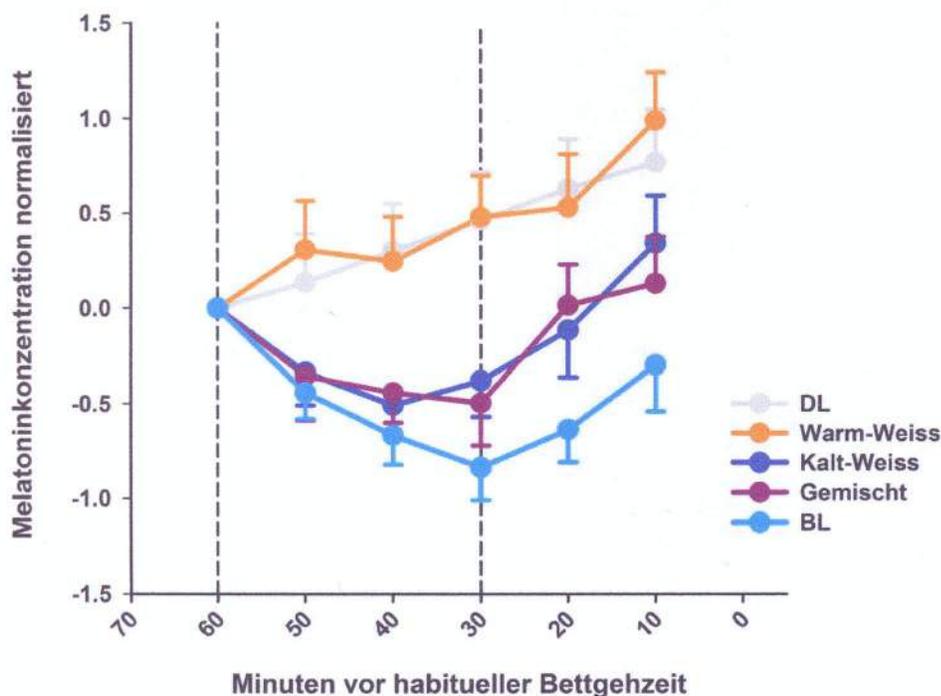


Abbildung 8

Abbildung 8: Die Mittelwerte pro Beleuchtungsbedingung der normalisierten Melatonin-Konzentrationen seit Beginn Lichtexposition (=0). Die einzelnen Beleuchtungsbedingungen waren: dim light (DL; graue Symbole); warm-weiß (orange Symbole); kalt-weiß (blaue Symbole); gemischt (dunkelrote Symbole), bright light (BL; türkis Symbole). $N=16$ plus oder minus Standardfehler. Die gestrichelten senkrechten Linien zeigen das Intervall der experimentellen Lichtexposition.

Tabelle2a

Differenzen Kleinste-Quadrate-Mittelwerte

Effekt der	Bedingung	Bedingung	Schätzwert	SF	DF	t-Wert	Adj P
Beleuchtung	DL	Warm-weiss	-0.05378	0.2861	70	-0.19	0.9997
Beleuchtung	DL	Kalt-Weiss	0.7139	0.2913	70	2.45	0.1141
Beleuchtung	DL	Gemischt	0.8174	0.2913	70	2.81	0.0492
Beleuchtung	DL	BL	1.0006	0.2814	70	3.56	0.0059
Beleuchtung	Warm-weiss	Kalt-Weiss	0.7677	0.2958	70	2.6	0.0822
Beleuchtung	Warm-weiss	Gemischt	0.8712	0.2958	70	2.95	0.0344
Beleuchtung	Warm-weiss	BL	1.0544	0.2861	70	3.69	0.004
Beleuchtung	Kalt-Weiss	Gemischt	0.1035	0.3008	70	0.34	0.9969
Beleuchtung	Kalt-Weiss	BL	0.2867	0.2913	70	0.98	0.8615
Beleuchtung	Gemischt	BL	0.1832	0.2913	70	0.63	0.9699

Tabelle: 2b

Differenzen Kleinste-Quadrate-Mittelwerte

Effekt der	Bedingung	Bedingung	Schätzwert	SF	DF	t-Wert	Adj P
Beleuchtung	Warm-weiss	Kalt-Weiss	0.9034	0.2735	55	3.3	0.0089
Beleuchtung	Warm-weiss	Gemischt	1.0516	0.2735	55	3.85	0.0017
Beleuchtung	Warm-weiss	BL	1.2021	0.2645	55	4.55	0.0002
Beleuchtung	Kalt-Weiss	Gemischt	0.1482	0.2781	55	0.53	0.9507
Beleuchtung	Kalt-Weiss	BL	0.2987	0.2693	55	1.11	0.6855
Beleuchtung	Gemischt	BL	0.1505	0.2693	55	0.56	0.9438

Tabelle 2a-b: Die beiden Tabellen zeigen die post-hoc Tests der gemischten linearen Regression. Die signifikanten Unterschiede sind fettgedruckt dargestellt (n=16). SF=Standardfehler; DF=degrees of freedom, adj. p=adjusted p-value.

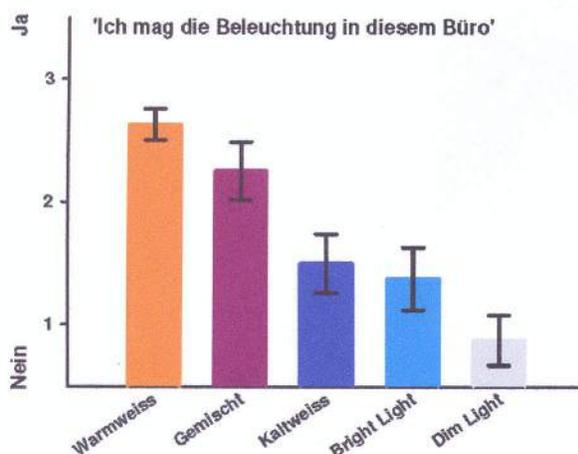
3.3 Visueller Komfort

Einmal in der Hälfte der 30-minütigen Lichtexposition mussten die Probanden ihre subjektive Beurteilung der jeweiligen Beleuchtung abgeben. Für die Erfragung des visuellen Komforts wurde die deutsche Version des Office Lighting Survey (OLS; [19]) benutzt. Das Instrument umfasst insgesamt 16 Fragen, bei welchen es um die subjektive Einschätzung von elektrischer Beleuchtung in Büroräumen geht. Wir berichten hier die Ergebnisse von insgesamt 6 Items. Die Einschätzung konnte durch Ankreuzen beantwortet werden wie z.B.:...‘Ich mag die Beleuchtung in diesem Büro‘....Antwort: Ja (1), eher ja (2), eher nein (3), nein (4). Die nicht normalverteilten Ergebnisse wurden pro Item und Beleuchtungsbedingung mit einem Wilcoxon-Matched Pair-Test mit den anderen Beleuchtungsbedingungen verglichen. Zur graphischen Darstellung wurden die Mittelwerte wenn nötig pro Item als: $y = 1$ minus Wert dargestellt, um immer die gleiche Richtung für positive Effekte zu haben. Bei den hier vorgestellten Ergebnissen (Items 1, 3, 4, 11, 15, 16) mussten die folgenden Einschätzungen getroffen werden:

- Ich mag das Licht in diesem Büro (Abbildung 9)
- Das Licht in diesem Büro erscheint mir zu hell (Abbildung 10a)
- Das Licht in diesem Büro erscheint mir zu dunkel (Abbildung 10b)
- Die Farbe meiner Haut erscheint in diesem Licht unnatürlich (Abbildung 11)
- Wenn ich die Situation der Beleuchtung mit einem anderen Büro, in dem ich zuvor gearbeitet habe, vergleiche, würde ich sagen, dass die Lichtsituation ist hier ... (Abbildung 12)
- Im Rahmen eines Arbeitstages, könnte ich mir vorstellen, in dieser Beleuchtungssituation zu arbeiten für ...Stunden. (Abbildung 13)

Die Probanden mochten insgesamt die DL Beleuchtung am wenigsten und bevorzugten die warm-weiße und die gemischte Beleuchtung gegenüber der kalt-weißen und der BL Bedingung ($p < 0.05$; Abbildung 9). Zwischen der warm-weißen und der gemischten Beleuchtung ergab sich kein signifikanter Unterschied ($p = 0.17$).

Abbildung 9:



Die Probanden fanden die DL Bedingung zu dunkel, die warm-weiße Beleuchtung hingegen weder zu hell noch zu dunkel. Die kalt-weiße und die BL Bedingung wurden als signifikant zu hell eingestuft (im Vergleich mit der warm-weißen Beleuchtung). Die gemischte Beleuchtung wurde als heller als die warm-weiße, aber weniger hell als die BL Bedingung eingestuft ($p < 0.05$; Abbildung 10 a-b).

Abbildung 10a-b:

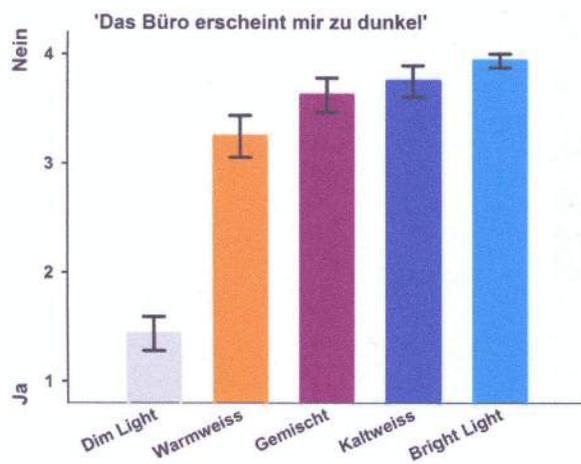
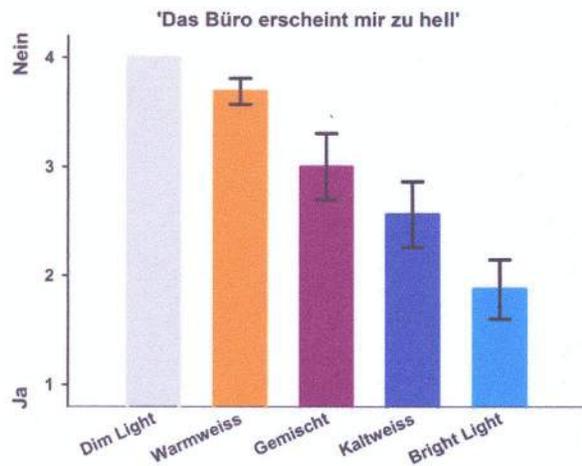


Abbildung 11:

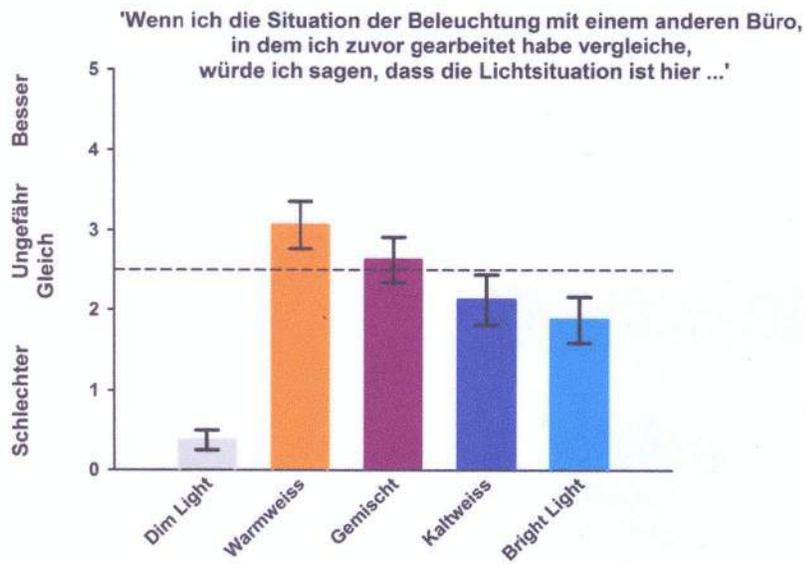


Abbildung 12:

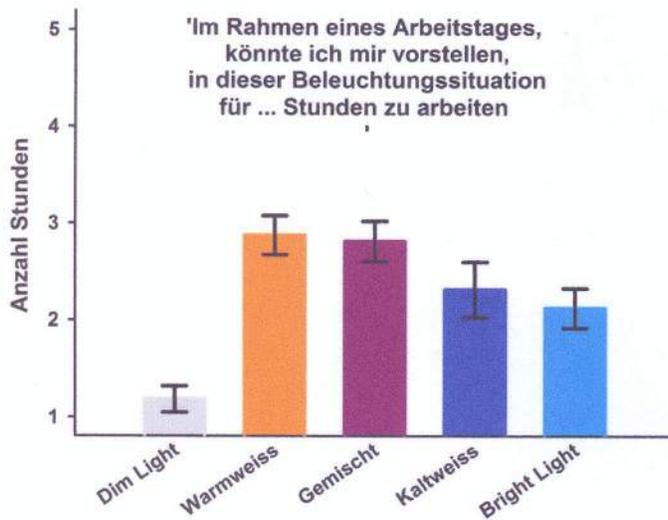


Abbildung 13:

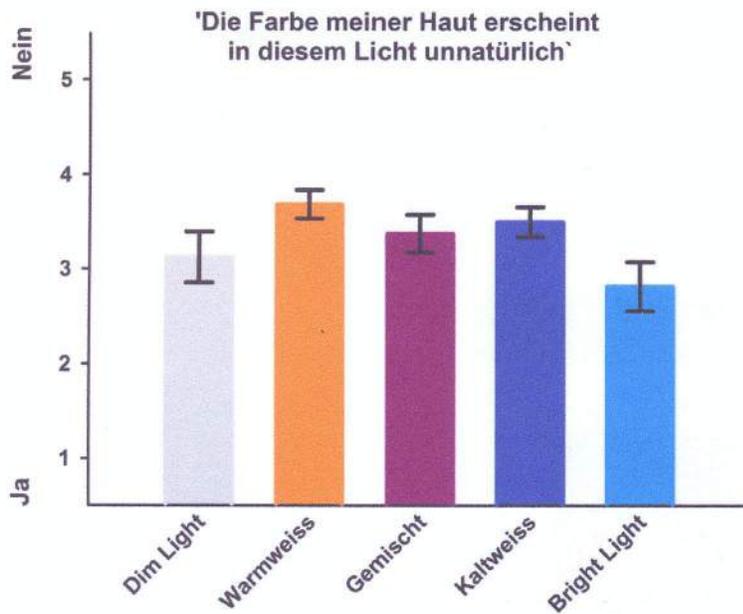


Abbildung 9-13: Mittelwerte des jeweiligen Items in der Farbe der jeweiligen subjektiven Einschätzung der Beleuchtungsbedingung: DL (grau); warm-weiß (orange); gemischt (dunkelrot); kalt-weiß (blau); BL (türkis). $N=16$; \pm Standardfehler.

Die Probanden gaben an, dass sie im Vergleich mit einem Büro, welches sie sonst benützen, alle Beleuchtungsbedingungen besser fanden als DL, und die warm-weiße und gemischte Beleuchtungssituation besser fanden als BL ($p < 0.05$; Abbildung 11). Im Rahmen eines normalen Arbeitstages konnten sich die Probanden vorstellen, signifikant weniger lang in DL als in allen anderen Beleuchtungssituationen zu arbeiten, aber auch signifikant länger in warm-weißer als in BL (Abbildung 12). Die Probanden konnten sich gleichermaßen vorstellen, signifikant länger unter der gemischten Beleuchtung als unter kalt-weißer Beleuchtung oder BL zu arbeiten. Die Farbe der Haut erschien den Probanden eher unnatürlich unter BL als in warm-weißer Beleuchtung (Abbildung 13).

4. Zusammenfassung der Ergebnisse und Zielüberprüfung

Die Ergebnisse dieses Projekts haben gezeigt, dass die drei von der Firma DURABLE zur Verfügung gestellten LUCTRA-Testmuster der LED Schreibtischleuchte LUCTRA eine unterschiedliche biologische Wirksamkeit bezüglich der Melatonin-Suppression am Abend bewirkten. Es ergab sich eine signifikante Melatonin-Suppression der gemischten LED Beleuchtung, und bei Weglassen der DL Bedingung auch der kalt-weißen LED Beleuchtung, im Vergleich mit der warm-weißen Beleuchtung. Die subjektive Beurteilung der Schreibtischleuchte durch die Probanden war dahingehend, dass die warm-weiße und teilweise auch die gemischte LED Beleuchtung in dieser Beleuchtungssituation am Abend meistens favorisiert wurde gegenüber den beiden Referenzbeleuchtungen (DL, BL) und auch gegenüber der kalt-weißen LED Beleuchtung.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Ziele des durchgeführten Projektes erreicht wurden. Künftige, teilweise noch ausstehende Analysen werden zusammen mit den gewonnenen Erkenntnissen aus diesem Projekt in zukünftigen Projekten berücksichtigt werden, mit dem Ziel, eine optimale, individuell zugeschnittene Beleuchtung für unterschiedliche Tages- und Jahreszeiten zu erreichen, auch unter Berücksichtigung individueller Merkmale wie z.B. des Geschlechts und des jeweiligen Chronotyps.

Die kalt-weiße und die gemischte Beleuchtung am Abend

Im Vergleich mit Ergebnissen aus unserer Datenbank können wir sagen, dass die Ergebnisse der Melatonin-Suppression der gemischten und der kalt-weißen LED vergleichbar sind mit einer kürzlich durchgeführten Studie, in der eine hellere (ca. 500 Lux) blau-angereicherte polychromatische Beleuchtung (via Deckenleuchte) zum Einsatz kam. So unterdrückte auch diese Beleuchtung den abendlichen Anstieg der Melatonin Sekretion im Speichel im Vergleich. Obwohl wir bei den LUCTRA-Testmustern eine relativ tiefe Beleuchtungsstärke gewählt hatten, konnte eine signifikante Melatonin Suppression der gemischten Beleuchtung und im Trend mit der kalt-weißen Beleuchtung im Vergleich mit Dämmerlicht gezeigt werden. Es ist davon auszugehen, dass mit einer anderen, beispielsweise höher reflektierenden Tischoberfläche diese Effekte noch größer wären.

Ein interessantes Ergebnis ist sicherlich die Tatsache, dass die gemischte Beleuchtung, welche ebenfalls eine signifikante Melatonin Unterdrückung im Vergleich mit der warm-weißen Beleuchtung gezeigt hatte, als etwa gleich angenehm wie diese eingeschätzt wurde.

Die warm-weiße Beleuchtung am Abend

Die Ergebnisse der warm-weißen Beleuchtung, welche keine signifikante Melatonin-Suppression im Vergleich mit DL zeigten, sind ebenfalls vergleichbar mit Ergebnissen unserer Datenbank. Es wurde mit Leuchten verglichen, bei welchen im Gegensatz zu den LUCTRA Testmustern der LED Schreibtischleuchte der Blauanteil gänzlich unterdrückt wurde. Die Präferenz der Probanden galt klar der warm-weißen. Gleichzeitig wurde die warm-weiße Beleuchtung als signifikant angenehmer empfunden in der Einschätzung des visuellen Komforts im Vergleich mit der kalt-weißen Beleuchtung. Die visuellen Fähigkeiten wurden mit keiner der drei LUCTRA Testmusterleuchten unterschiedlich beeinträchtigt. Es ist dabei festzustellen, dass die klaren Präferenzen der Probanden im Hinblick auf die Farbtemperatur

mit den Ergebnissen anderer Studien vergleichbar sind, obwohl Geschlechtsunterschiede ebenfalls noch zu berücksichtigen wären. Unter dem Gesichtspunkt der Chronobiologie erscheinen diese Präferenzen wenig erstaunlich, zumal am Abend unter normalen Umständen (und evolutionsbiologisch betrachtet) eine warm-weiße Beleuchtung ‚physiologischer‘ ist als eine helle kalt-weiße Beleuchtung, welche das Melatonin unterdrückt.

Die Tischoberflächen

Zur Thematik der Oberflächen können keine abschließenden Aussagen gemacht werden, da die hier verwendete Oberfläche sicherlich einen Spezialfall (d.h. Vermeidung der Reflektion, um die Wirkung des Lichts isoliert zu betrachten) darstellt. Weitere Oberflächen müssten sicher zusätzlich getestet werden. In Büros wird außerdem meistens mit einem Laptop oder einem fest installierten Computer gearbeitet. Diese Situation erfordert ebenfalls spezifische Anpassungen seitens der Beleuchtung, welche in dieser Studie nicht getestet werden konnten.

Die Abwägung des Einsatzes der verschiedenen Leuchten

Das vorliegende Projekt hat die biologische Wirksamkeit der drei Schreibtischleuchten von DURABLE zu einem bestimmten Zeitpunkt für eine Dauer von 30 Minuten am Abend getestet. Es zeigte sich mit der warm-weißen LED Beleuchtung eine sehr hohe Akzeptanz seitens der Nutzer. Diese Leuchte könnte durchaus für eher entspannende Arbeiten am Abend empfohlen werden, ohne dass der abendliche Anstieg des Melatonins gestört würde und somit auch das Einschlafen keine Probleme darstellen sollte. Eine weitere Möglichkeit stellt die dynamische Einstellung der Leuchten dar. Man könnte sich vorstellen, dass eine hellere, mit einer höheren Farbtemperatur versehene Schreibtischleuchte tagsüber eine aktivierende Wirkung hat. Am Abend könnten dann sowohl Lichtfarbe wie auch die Helligkeit reduziert werden.

An einer solchen Leuchte wird zurzeit von der Firma DURABLE gearbeitet und es könnten sich interessante Aspekte bezüglich eines solchen dynamischen Einsatzes in Hinblick auf biologische Wirkungen ergeben.

Limitationen bezüglich der allgemeingültigen Aussagen

Ob die getesteten Schreibtischleuchten auch tagsüber als alleinige elektrische Beleuchtungsquelle (insbesondere bei Fehlen von Tageslicht) empfohlen werden sollen, müsste zumindest bei der hier gewählten Beleuchtungsstärke als kritisch erachtet werden. Des Weiteren könnte sich eine kalt-weiße oder gemischte Beleuchtung, welche vor dem Schlafengehen am Abend benützt wird, negativ auf die Schlafqualität auswirken.

5. Referenzen

1. Kunz D, Bes F (1999). Melatonin as a therapy in RBD patients: An open-labelled pilot-study on the possible influence of melatonin on REM-sleep regulation. *Movement Disorders* 14: 507-511.
2. Kunz D, Schmitz S, Mahlberg R, Mohr A, Stöter C, Wolf KJ, Herrmann WM (1999). A new concept for melatonin deficit: On pineal calcification and melatonin excretion. *Neuropsychopharmacology* 21:765-772.
3. Kunz D, Mahlberg R, Müller C, Tilmann A, Bes F (2004). Melatonin in patients with reduced REM sleep duration: Two randomized controlled trials. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* 89:128-34.
4. Mahlberg R, Tilmann A, Salewski L, Kunz D (2006). Normative data on the daily profile of urinary 6-sulfatoxymelatonin in healthy subjects between the ages 20 and 84. *Psychoneuroendocrinology* 31: 634-41.
5. Mahlberg R, Kienast T, Haedel S, Heidenreich JO, Schmitz S, Kunz D (2009). Degree of pineal calcification is associated with polysomnographic sleep variables in primary insomnia patients. *Sleep Medicine* 10:439-44.
6. Kunz D, Mahlberg R (2010). A two-part, double-blind, placebo-controlled clinical trial of exogenous melatonin in REM-sleep behavior disorder. *Journal of Sleep Research* 19:591-6.
7. Pittendrigh CS (1993) Temporal organization: reflections of a Darwinian clock- watcher. *Annual Review of Physiology* 55: 16-54.
8. Spörl F, Korge S, Jürchott K, Wunderskirchner M, Schellenberg K, Heins S, Specht A, Stoll C, Klemz R, Maier B, Wenck H, Schrader A, Kunz D, Blatt T, and Kramer A (2012). Krüppel-like factor 9 is a circadian transcription factor in human epidermis that controls proliferation of keratinocytes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 27:10903-8.
9. Wehr TA (1997). Melatonin and seasonal rhythms. *Journal of Biological Rhythms*. 12:518-527.
10. European Committee: Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks – SCENIHR: Health effects of artificial lights. (2012).
11. Brainard GC, Hanifin JP, Greeson JM, et al. (2001). Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor. *Journal of Neuroscience* 21: 6405-6412.
12. Thapan K, Arendt J, Skene DJ (2001). An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans. *Journal of Physiology* 535:261-267.
13. Holzman DC (2010) What's in a color? The Unique Human Health Effects of Blue Light. *Environmental Health Perspective* 18:A22–A27.
14. Straif K, Baan R, Grosse Y et al. (2007). Carcinogenicity of shift-work, painting, and fire-fighting. *Lancet Oncology* 8:1065 - 1066.

15. Wahnschaffe A, Haedel S, Rodenbeck A, Stoll C, Rudolph H, Kozakov R, Schoepp H, Kunz D (2013). Out of the Lab into the Bathroom: Evening Short-Term Exposure to Conventional Light Suppresses Melatonin and Increases Alertness Perception. *International Journal of Molecular Sciences* 14:2573-89.
16. Le Gates TA, Altimus CM, Wang H, Lee HK, Yang S, Zhao H, Kirkwood A, Weber ET, Hattar S (2012). Aberrant light directly impairs mood and learning through melanopsin-expressing neurons. *Nature* 491:594-598.
17. Bedrosian TA, Weil ZM, Nelson RJ (2013). Chronic dim light at night provokes reversible depression-like phenotype: possible role for TNF. *Molecular Psychiatry* 18(8): 930-936.
18. Altimus CM, Guler AD, Alam NM, et al. (2010). Rod photoreceptors drive circadian photoentrainment across a wide range of light intensities. *Nature Neuroscience* 13:1107-1112.
19. Eklund N & Boyce P (1996). The development of a reliable, valid and simple office lighting survey. *LEUKOS - Journal of the Illuminating Engineering Society* 25:25-40.
20. Lucas RJ, Peirson SN, Berson DM, Brown TM, Cooper HM, Czeisler CA, Figueiro MG, Gamlin PD, Lockley SW, O'Hagan JB, Price LL, Provencio I, Skene DJ, Brainard GC (2014). Measuring and using light in the melanopsin age. *Trends in Neurosciences* 37(1): 1-9. (Irradiance Tool: Supplemental Material; online version doi:10.1016/j.tins.2013.10.004).

6. Anhang

Anhang 1:

Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter:

Dr. Mirjam Münch (Leitung Licht und Gesundheit)

Herr Jan de Zeeuw (Doktorand)

Herr Johannes Regente (Arzt, Doktorand)

Herr Dr. Erik Bes (Leitung Elektrophysiologie)

Herr Sven Hädel (Medizin-Informatiker)

Frau Dr. C. Nowozin (Psychologin)

Frau Stephanie Schreyer (Studentin)

Herr Stefan Appelhoff (Student)

Frau Christina Nowarra (Studentin)

Anhang 2:

Die Bestromungseinstellungen der Leuchten an 4–5 verschiedenen Plätzen

Warm-weiss und Kalt-weiss getrennt

Platz 1		Platz 2		Platz 3		Platz 4		Platz 5	
KW (Kanal A)	WW (Kanal B)								
0.67	0.85	0.65	0.81	0.66	0.91	0.7	0.9	0.73	0.89

Beide Kanäle aktiv

Platz 1		Platz 2		Platz 3		Platz 4	
KW (Kanal A)	WW (Kanal B)						
0.27	0.4	0.32	0.41	0.28	0.39	0.35	0.39