

KOMFORTGEWINN FÜR PASSAGIERE AUF LANGSTRECKENFLÜGEN DURCH DEN EINSATZ CHRONOBIOLOGISCH ANGEPASSTER LED-KABINENBELEUCHTUNG

A. Leder, J. Krajewski, S. Schnieder

Bergische Universität Wuppertal, Gaußstraße 20 – 42119 Wuppertal, Deutschland

Zusammenfassung

Neben Sitzen, Kabinenklima, Vibrationen und äußeren Turbulenz-Einflüssen auf den Flug spielt insbesondere das Licht in der Flugzeugkabine eine wichtige Rolle im Zusammenhang mit dem Komfortempfinden auf Langstreckenflügen. Die Vermutung ist, dass der Einsatz aktivierender Beleuchtungssysteme auf LED-Basis (Lichtemittierende Diode) Erholungs- und Komfortwerte für Passagiere (PAX) auf Langstreckenflügen verbessern kann. Warmes weißes Licht ist bspw. der Behaglichkeit und Entspannung (Stichwort: Well-Being) dienlich. Kaltes weißes Licht mit einem hohen Blauanteil wirkt aktivierend und kann den PAX vor der Landung durch die Unterdrückung der Ausschüttung des Schlafhormons Melatonin aktivieren.

Eine zu diesem Zweck initiierte Validierungsstudie vergleicht die Nutzung aktuell verwendeter Kabinenbeleuchtung mit LED-Technik mit einer größeren Lichtvarianz. Im Rahmen sechs realitätsnah simulierter Langstreckenflüge werden von 32 Probanden (Within-Subject-Design; 21.00 – 07.00 Uhr) Variablen zur Beurteilung der Beanspruchung und Befindlichkeit multimodal erfasst. So kommen neben Selbst- und Fremdratings psychoneuroendokrinologische Messgrößen (Salivamelatonin) und physiologische Parameter (Herzratenvariabilität) zur Anwendung.

1. EINLEITUNG

Zunehmender Wettbewerbsdruck im Langstreckenflugverkehr führt dazu, dass Fluggesellschaften neben verbesserten Sicherheitskonzepten und dem kosteneffizienten Betrieb ihrer Flotten vor allem das Wohlbefinden und den Komfort der Passagiere im Blick haben, um Kunden nicht nur durch Sicherheit und Vielfliegerprogramme an sich zu binden.¹

Die Wahrscheinlichkeit, nach einem Langstreckenflug das Ziel erholt und aktiviert zu erreichen, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Neben Kabinenklima und -druck,² Speisen & Getränken,³ Alkoholgenuß an Bord,⁴ Flugangst,⁵ kosmischer Strahlung,⁶ Sitzen, Mitreisenden, Luftqualität,⁷ Vibrationen, Geräuschen,⁸ äußeren Turbulenzeinflüssen und, bei Flügen in andere Zeitzonen, dem Jetlag⁹ spielt die Beleuchtung in der Flugzeugkabine eine wichtige Rolle im Zusammenhang mit dem Komfortempfinden des Passagiers.¹⁰

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Untersuchung eines möglichen Nutzens, der in der Grundlagenforschung vor gut 10 Jahren entdeckten chronobiologischen Wirksamkeit von Licht, für die Luftfahrtbranche.

Aus den noch recht neuen Erkenntnissen ergibt sich die

Hypothese, dass der Einsatz aktivierender Beleuchtungssysteme auf LED-Basis (Lichtemittierende Diode) Erholungs- und Komfortwerte für Passagiere (PAX) auf Langstreckenflügen verbessern kann.¹¹ Warmes weißes Licht ist bspw. Behaglichkeit und Entspannung (Stichwort: Well-Being) dienlich, regt die Produktion des Schlafhormons Melatonin an und könnte somit den Verlauf eines Fluges für den PAX durch einen besseren Schlaf entspannter und erholsamer machen. Kaltes weißes Licht (hoher Blauanteil) wirkt aktivierend und lässt den PAX durch die Unterdrückung der Ausschüttung von Melatonin¹² (Melatoninsuppression) das Ziel aktivierter erreichen.

2. TECHNISCHE HINTERGRÜNDE

2.1. Licht und Beleuchtung

Licht ist der vom menschlichen Auge wahrnehmbare Teil elektromagnetischer Strahlung im Bereich von ca. 380 – 780 nm (Lichtspektrum) der Hell- und Farbempfindungen hervorruft. Innerhalb des Sichtbereiches werden unterschiedliche Wellenlängen als Farben wahrgenommen.¹³

Die Beleuchtungsstärke gibt an wie viel Licht, bzw. Lichtstrom, von einer Lichtquelle auf eine bestimmte Fläche fällt. Wenn der Lichtstrom von einem Lumen einen Quadratmeter Fläche gleichmäßig ausleuchtet beträgt die Beleuchtungsstärke ein Lux, sie ist also der Quotient aus

¹ Vgl. {Baumann 2009} | {Leszczynska 2011} | {Quehl 2001}

² Vgl. {Marggraf-Micheel 2012} | {World Health Organization 2010}

³ Vgl. {Cruz 2003} | {Jones 2003}

⁴ Vgl. {Dawood 2003}

⁵ Vgl. {Foreman 2003}

⁶ Vgl. {World Health Organization 2010}

⁷ Vgl. {Seabridge 2010} | {Nagda 2000}

⁸ Vgl. {Quehl 2001} | {Vertamatti 2012} | {Basner 2010}

⁹ Vgl. {Graeber 1986} | {Waterhouse 2003}

¹⁰ Vgl. {Konieczny 2001}

¹¹ Vgl. {God 2010}

¹² Vgl. {Cajochen 2004}

¹³ Vgl. {Goldstein 2001} | {Baer 2006}

Lichtstrom und Größe der beleuchteten Fläche (*Lichtstrom / Fläche*).¹⁴

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes dienen das Lichtspektrum und die Beleuchtungsintensität (Lux) dazu einen dynamischen chronobiologisch wirksamen Verlauf der Beleuchtung zu erzeugen. Die dynamische Beleuchtung orientiert sich an der Natur und versucht, deren Rhythmus durch moderne Technik mit Kunstlicht zu adaptieren und den Tagesrhythmus in den Innenraum zu transportieren. In Räumen können Lichteinstellungen mittels LED-Technik immer näher an die natürliche Lichtdynamik vorgenommen und chronobiologisch wirksame Beleuchtungsabläufe generiert werden.¹⁵ Im Gegensatz zur Natur läuft die Dynamik nicht eigenständig ab, sie wird vielmehr von entsprechend programmierten Steuerungssystemen überwacht.¹⁶

2.2. LED in der Flugzeugkabine

Einfache LED-Applikationen werden in der zivilen Luftfahrt seit geraumer Zeit bspw. für ‚No smoking‘ and ‚Fasten seatbelt‘ Zeichen verwendet. Die Fortschritte bei der Entwicklung von LED sowie ihre Vorteile in Bezug auf Energieeffizienz und Wartungsaufwand haben die Flugzeughersteller dazu bewegt die Technik darüber hinausgehend zunächst für Leseleuchten und dann mehr und mehr auch für die allgemeine Kabinenbeleuchtung zu verwenden.¹⁷

Hierbei gehen die Anwendungen über das reine Ziel Licht zum Sehen zu verwenden hinaus. Inzwischen sorgt sogenanntes Mood-Lighting für eine Wohlfühlumgebung an Bord.¹⁸

Der nächste Schritt ist nun das Fliegen durch chronobiologisch wirksame Systeme noch angenehmer zu machen.

3. PSYCHOPHYSIOLOGISCHE HINTERGRÜNDE

3.1. Chronobiologie / Circadianes System

Die Chronobiologie (griechisch: Chronos = Zeit; bios = Leben) als Fachgebiet der Biologie beschäftigt sich mit allen im Organismus rhythmisch ablaufenden Prozessen. Im Rahmen der Forschung geht es in erster Linie um vom Gehirn kontrollierte chronobiologische Prozesse im menschlichen Körper, welche die innere Uhr und damit Schlaf- sowie Wachphasen, Blutdruck, Herzfrequenz und den Gemütszustand (Mood) steuern. Sämtliche Zellen und Organe haben einen eigenen Rhythmus; dieser orientiert sich vor allem an Tag und Nacht.¹⁹

Melatonin ist ein Hormon, welches im menschlichen Tag- und Nacht-Rhythmus eine wichtige Rolle spielt. Es lässt den Körper ermüden und signalisiert ihm, dass er Schlaf benötigt.²⁰ Dabei werden die Aktivität des Menschen sowie allgemeine Körperfunktionen reduziert was für den notwendigen Schlaf sorgt. Neben dem Absenken der Körpertemperatur werden Stoffwechselläufe

verlangsamt. Die Melatoninproduktion setzt bei Dunkelheit (Dimlight Melatonin Onset – DMO)²¹ ein und macht den Menschen müde. Melatonin ist daher gemeinhin auch als Schlafhormon bekannt.

Der Einfluss von Licht auf die Produktion des Hormons Melatonin ist seit 2001 bekannt.²² Über die Retina (Netzhaut) wird Licht vom Auge empfangen. Ein neu entdeckter dritter Rezeptor, der aus über die Netzhaut verteilten melanopsinhaltigen Sinneszellen (Ganglienzellen) besteht, nimmt Einfluss auf die Produktion des Schlafhormons Melatonin. Dabei ist die Ausprägung der Melatoninsuppression von der Wellenlänge des Lichts abhängig.²³

Die circadiane Wirksamkeit des Lichts erreicht Ihren Höhepunkt, im Gegensatz zur visuellen spektralen Empfindlichkeit beim Tagessehen ($V(\lambda)$, $\lambda_{max}=555nm$), Dämmerungssehen (λ_{max} zwischen den Peak-Wellenlängen für Tages- und Nachtsehen) und Nachtsehen ($V'(\lambda)$, $\lambda_{max}=508nm$), am blauen Ende des Lichtspektrums.²⁴ (BILD. 1: Aktionsspektrum Melatoninsuppression). Entsprechend aktueller Forschungsergebnisse liegt der Peak bei gut 460-480nm ($C(\lambda)$, $\lambda_{max}=480nm$).²⁵

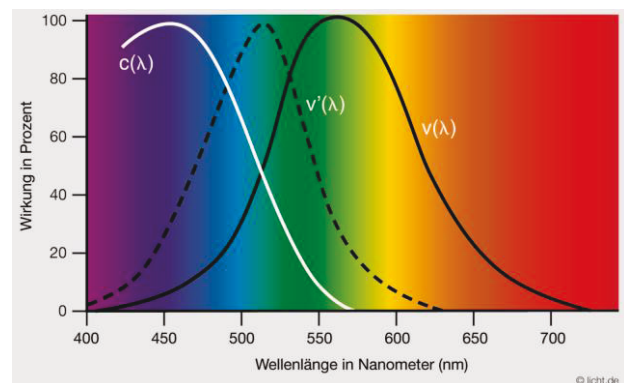


BILD 1. Aktionsspektrum Melatoninsuppression²⁶

3.2. Wirkung von Licht

Für diese Arbeit sind vor allem die durch Beleuchtungsintensitäten, sowie Dauer, Zeitpunkte und Wellenlängen der Bestrahlung durch Licht resultierenden Auswirkungen auf die circadiane Rhythmik, Leistungsfähigkeit, Erholung und Gesundheit des Menschen von Interesse.²⁷

Blaues Licht im kurzwelligen Bereich ist schon bei geringer Beleuchtungsintensität biologisch wirksam. Es sorgt für das Einsetzen der Melatoninsuppression und die Aktivierung des Menschen. Rotes langwelliges Licht nimmt hingegen keinen unmittelbaren Einfluss auf die Melatoninproduktion, so dass das Schlafhormon ungestört produziert werden kann.²⁸ Der richtige Zeitpunkt der Bestrahlung spielt bei diesen Wirkungen eine wichtige Rolle. Am Morgen ist blaues Licht ein wichtiger Zeitgeber

¹⁴ Vgl. {Baer 2006}

¹⁵ Vgl. {Pepler 2012}

¹⁶ Vgl. {Baer 2006}

¹⁷ Vgl. {Narendran 2005}

¹⁸ Vgl. {Leszczynska 2011}

¹⁹ Vgl. {Kunz 2006} | {Pittendrigh 1993}

²⁰ Vgl. {Trepel 1999}

²¹ Vgl. {Burgess 2005}

²² Vgl. {Brainard 2001} | {Thapan 2001}

²³ Vgl. {Thapan 2001}

²⁴ Vgl. {Danilenko 2011} | {Lockley 2003} | {Thapan 2001}; {Brainard 2001}

²⁵ Vgl. {Teikari 2006}

²⁶ Grafik: licht.de

²⁷ Vgl. {Cajochen 2007} | {Teikari 2006}

²⁸ Vgl. {Berson 2003} | {Brainard 2001} | {Cajochen 2005} | {Baer 2006} | {Apfelstedt-Sylla 2003} | {Trepel 1999}

und sinnvoller Unterstützer für die innere Uhr, am Abend behindert es allerdings die Ausschüttung des Schlafhormons Melatonin.²⁹

„Light exerts powerful non-visual effects on a wide range of biological functions and behavior. In humans, light is intuitively linked with an alert or wakeful state.“³⁰

Nicht-Visuelle Effekte von Licht beeinflussen demnach entsprechend der bisherigen Forschungsergebnisse die Melatoninproduktion, Schlafqualität, Energetische Aktiviertheit, Entspannung und das Wohlbefinden.

3.3. Komfortbezogene Parameter

Während einer Flugreise wird Komfort als Stimulus für die allgemeine Zufriedenheit und das subjektive Wohlbefinden des Passagiers verstanden. Die Dienstleistung Flugreise ist in diesem Zusammenhang mit ihren Produktelementen der Auslöser für Komfort und Komfortempfinden.³¹

„Komfort stellt ein subjektiv wirkendes und empfundenes Konstrukt dar. Es bietet die Möglichkeit der Operationalisierung und Bewertung. Es ist das Ergebnis der Wahrnehmung (...) und des Vergleichs mit (...) eigenen Vorstellungen und Erwartungen. Komfort unterstützt Wohlbefinden und Zufriedenheit, unterliegt einer ständigen Entwicklung.“³²

Mittlerweile ist die Kabinenbeleuchtung in Verkehrsflugzeugen ein wichtiger Prädiktor für das persönliche Wohlbefinden des PAX. Mithilfe von Lichtsimulationen versucht man aus dem Alltag bekannte Szenarien nachzubilden und Reaktionen auf das Komfortempfinden der PAX zu messen.³³ Dabei wird immer wieder festgestellt, dass neben Lichtintensität, Licht- und Umgebungsfarbe sowie der Farbtemperatur und dem Lichtspektrum vor allem Kontrast, Beleuchtungsintensität, Schattenbildung, Lichtspektrum, räumliche Verteilung und die Farbwiedergabe Faktoren sind die, Diskomfort verursachen können.³⁴

Zukünftig sollen Komfortempfinden und Wohlbefinden von Passagieren mithilfe chronobiologisch angepasster Beleuchtung gesteigert werden. Diese Optimierung kann anhand subjektiv-psychologischer und objektiv-physiologischer Faktoren erfasst werden, da solche das individuelle Komforterleben bestimmen und messbar sind.³⁵

Im Rahmen der dieser Studie zugrunde liegenden Flugtests werden Entspannung, Schlaf, Stress sowie Wohlbefinden erfasst und bewertet. Diese Parameter werden im Folgenden erläutert.

Komfort wird häufig mit dem Begriff Entspannung verbunden. Entspannung definiert Birbaumer im Dorsch als kurzfristigen (phasischen) oder länger anhaltenden (tonischen) Zustand reduzierter metabolischer, zentralnervöser und bewusster Aktivität.³⁶ Entspannung beschreibt das Gegenteil von Spannung / Anspannung.

Bewert- und vergleichbar wird Entspannung u.a. anhand ‚Energetischer Aktiviertheit‘ (EA) und ‚Wahrgenommener Anspannung‘ (WA). Eine allgemeingültige Definition des Begriffs ‚energetische Aktiviertheit‘ (EA) – ‚high activation‘ steht bislang zwar nicht zur Verfügung. Allerdings lassen sich mithilfe der Bestimmung energetischer Aktiviertheit über die Entspannung durch die Pole Wachheit und Müdigkeit Rückschlüsse auf das Komfortempfinden ziehen.³⁷

Mit Licht lässt sich demnach nachweisbar Einfluss auf die energetische Aktiviertheit und die wahrgenommene Anspannung und damit auf das Level der Entspannung nehmen.³⁸

Für die Erhaltung der körperlichen wie geistigen Leistungsfähigkeit und des Wohlbefindens ist Schlaf von hinreichender Länge existenziell von Bedeutung.³⁹ Aufgrund der Bedeutung von Licht für den circadianen Rhythmus nehmen Tageslicht und Kunstlicht erheblichen Einfluss auf den Schlaf. Der Körper ist darauf ausgelegt in Dunkelheit zur Ruhe zu kommen und zu schlafen.

Stress ist zudem ein Indikator für das Komfortempfinden. Der Zustand körperlichen, geistigen und sozialen Wohlbefindens wird durch Gesundheit impliziert. Eine Belastung die als Stress empfunden wird, wirkt der Gesundheit und somit dem Wohlbefinden entgegen.⁴⁰

Ein zentrales Anliegen des Menschen ist das Streben nach Glück und Wohlbefinden. Das Wohlbefinden von Passagieren hängt von den Erfahrungen mit dem Produkt zusammen. Diese sind allgemein jedoch sehr unterschiedlich. Auf Flügen kommt zumeist eine sehr heterogene Gruppe von Menschen zusammen. Darunter sind Passagiere die das erste Mal fliegen ebenso wie Frequent-Traveller, die sich mit unterschiedlichen Dienstleistungsqualitäten, d.h. der gesamten Betreuung rund um die Dienstleistung Flugreise, vorwiegend komfortrelevanten Ausstattungs- und Servicebestandteilen, meist sehr gut auskennen. Bisherige Studien haben ergeben, dass sich Flüge überwiegend negativ auf das Wohlbefinden von Passagieren auswirken. Gerade deshalb versucht man mit vielen Mitteln einen Status zu erreichen in dem sich möglichst alle Passagiere an Bord gleichermaßen wohlfühlen.⁴¹

Das Ziel auf Langstreckenflügen einen Komfortgewinn durch den Einsatz chronobiologisch angepasster Beleuchtung zu erreichen hängt also maßgeblich davon ab, ob die Passagiere entspannt sind, gut schlafen können, wenig Stress ausgesetzt sind und sich wohlfühlen.

4. EXPERIMENT - LANGSTRECKENFLUGSIMULATION

Das Ziel dieser Studie ist es den Komfort von Passagieren auf Langstreckenflügen durch den Einsatz chronobiologisch angepasster Kabinenbeleuchtung auf LED-Basis zu steigern. Eine psychophysiologische

²⁹ Vgl. {Cajochen 2005}

³⁰ {Cajochen 2007}

³¹ Vgl. {Konieczny 2001}

³² Ebd.

³³ Ebd.

³⁴ Vgl. {Vertamatti 2012} | {Cajochen 2007}

³⁵ Vgl. {Quehl 2001}

³⁶ Vgl. {Thayer 1989} | {Häcker 2004}

³⁷ Vgl. {Wieland 2004}

³⁸ Vgl. {Cajochen 2007} | {Cajochen 2005} | {Lockley 2006} | {Badia 1990}

³⁹ Vgl. {Vejvoda 2000} | {Guilleminault 1983} | {Partinen 1983} | {Bailey 2001} | {Mallis 2009} | {Niederl 2007} | {Chellappa 2011} | {Kunz 2006} | {Benington 2003}

⁴⁰ Vgl. {Konieczny 17.10.2001}

⁴¹ Vgl. {Foreman 2003} | {Konieczny 2001} | {Dawood 2003}

Untersuchung von Probanden, die auf simulierten Langstreckenflügen chronobiologisch angepasster Beleuchtung ausgesetzt sind, soll Aufschluss über deren Entspannung, Schlafverhalten, Stress und Wohlbefinden geben.

Zu diesem Zweck wird mit einem Flugzeugkabinen-Mockup ein Umfeld geschaffen, welches eine realitätsnahe Simulation von Nachtlangstreckenflügen zulässt. Insgesamt sechs Flugsimulationen (Within-Subject-Design; N=32, 21.00 – 07.00 Uhr, 3 Flüge je Proband) bilden die Grundlage für die Tests.

Eine Untersuchung des Jet Lag-Effekts ist an dieser Stelle nicht vorgesehen. Die Testflüge dieser Studie finden daher in der gleichen Zeitzone statt und sollen zunächst Erkenntnisse über die psycho-physiologische Wirkung von Licht auf Nachtlangstreckenflügen im Allgemeinen liefern.

4.1. Hypothesen

Das Komfortempfinden der Passagiere unterliegt während der Dauer eines Langstreckenfluges zu verschiedenen Zeitpunkten unterschiedlichen Anforderungen. Daher bedarf es zur Überprüfung der Grundannahme, dass der Einsatz chronobiologisch angepasster LED-Kabinenbeleuchtung einen Komfortgewinn für Passagiere auf Langstreckenflügen nach sich zieht, der Untersuchung des empfundenen Komforts über den gesamten Flugverlauf und einer gewissen Zeitspanne danach. Die Segmentierung der Testflüge (21:00 – 07:00 Uhr) in verschiedene Flugphasen scheint daher zweckmäßig. Diese bietet die Möglichkeit den jeweiligen Flugphasen entsprechende, Hypothesen aufzustellen.

Aufgrund der zeitlichen Abläufe an Bord; Start / Service / vorgesehene Nachtruhe / Vorbereitung der Landung; ist der Flug üblicherweise schon mehr oder weniger klar in drei Phasen unterteilt: 1. Start bis Nachtruhe inkl. Dinner, 2. Nachtruhe, 3. Nachtruhe bis Landung inkl. Snack. Um den Komfort von Passagieren auf Langstreckenflügen mittels angepasster Beleuchtung zu steigern, bedarf es der grundlegenden Überlegung wann welche Beleuchtungsszenarien erforderlich sind. Entsprechend der eingangs dargelegten chronobiologischen Erkenntnisse ließe sich der Komfort durch einen dynamischen Beleuchtungsverlauf während des Langstreckenfluges steigern.

In Flugphase 1 (Wach- / Einschlafphase) sind die Passagiere dazu einer Beleuchtung mit abnehmender Intensität und Verschiebung des Spektrums zu einem höheren Rotanteil auszusetzen, um sie zu deaktivieren, entspannen und besser in den Schlaf zu bringen als bei herkömmlicher Beleuchtung. Während der Flugphase 2 (Schlafphase) wird die Kabine mit der gesetzlich vorgeschriebenen Mindestbeleuchtung illuminiert. Aufgrund der zuvor angenommenen besseren Deaktivierung wird für die Schlafphase ein ruhigerer und intensiverer Schlaf erwartet. In Flugphase 3 (Aufwachphase) fährt die Beleuchtung langsam zunächst noch mit einem hohen Rotanteil hoch und wechselt das Spektrum von Rot nach Blau. In dieser Phase wird ein entspannteres Erwachen der Passagiere und größeres Wohlbefinden erwartet. Während der Flugphase 4 (Wachphase) steigt die Beleuchtungsintensität über das sonst übliche Maß hinaus bei gleichzeitiger weiterer Erhöhung des Blauanteils zu einem kaltweißen Licht. In

dieser Phase wird eine höhere Aktivierung und Wachheit erwartet, welche auch nach dem Flug erhalten bleiben soll. Zu einem Zeitpunkt zwei Stunden nach dem Flug (Flugphase 5) werden dementsprechend ebenfalls höhere Aktiviertheit und höheres Wohlbefinden erwartet.

Die folgenden Annahmen beziehen sich sämtlich auf die Flüge der Variante (chronobiologisch angepasste Kabinenbeleuchtung) im Vergleich zur Referenz (Standardbeleuchtung).

4.1.1. Flugphase 1 – Wach- / Einschlafphase

Entsprechend der eingangs erläuterten Einstellungen der Beleuchtung, steigender Rotanteil bei gleichzeitig sinkender Intensität, wird erwartet, dass der dim light melatonin onset (DLMO)⁴² bei den Flügen der Variante (chronobiologisch angepasste Beleuchtung) höher ausfällt als bei der Referenz (Standardbeleuchtung). Je geringer die Beleuchtungsintensität und je höher der Rotanteil im Licht, desto geringer ist die Aktiviertheit, desto höher das Wohlbefinden und desto geringer der Stress der Probanden. Die Beleuchtungseinstellungen erzeugen ein warmweißes Licht welches der Behaglichkeit und Entspannung dienlich ist und die Passagiere entspannt.⁴³

H1.1 Selbstreport - Wohlfühlen: V>R
H1.2 Gestresstheit: V<R
H1.3 Melatonin: V>R

4.1.2. Flugphase 2 – Schlafphase

Der hohe Rotanteil und die verringerte Beleuchtungsintensität zu Beginn des Fluges unterstützen die Ausschüttung des Schlafhormons Melatonin, weshalb die Müdigkeit zu Beginn des Fluges schneller ansteigt. In der darauffolgenden Schlafphase (Flugphase 2) schlafen die Probanden besser. Die Schlafqualität wird in dem Experiment anhand der Herzratenvariabilität (HRV) ermittelt. (Diese Ergebnisse sind nicht Bestandteil dieses Papers.)

4.1.3. Flugphase 3 – Aufwach- / Wachphase

Nach der Schlafphase werden die Passagiere mit einer langsam einsetzenden Beleuchtung geweckt, deren Spektrum zunächst einen hohen Rotanteil hat welcher in einen hohen Blauanteil übergeht. In dieser dritten Flugphase sind die Passagiere noch weniger aktiviert, insgesamt entspannter, sie fühlen sich wohler und sind weniger gestresst als auf Flügen mit der herkömmlichen Beleuchtung (R).

H3.1 Selbstreport - Wohlfühlen: V>R
H3.2 Gestresstheit: V<R
H3.3 Melatonin: V>R

4.1.4. Flugphase 4 – Wachphase bis Landung

In der letzten Phase vor der Landung sind die Passagiere einer Beleuchtung hoher Intensität mit überwiegend blauer Wellenlänge ausgesetzt, die die Melatoninsuppression unterstützen soll wodurch sie in der letzten Flugphase aktivierter sind und das Flugzeug aktivierter verlassen.

H4.1 Selbstreport - Wohlfühlen: V>R
H4.2 Gestresstheit: V<R
H4.3 Melatonin: V<R

⁴² Vgl. {Burgess 2005}

⁴³ Vgl. {Hahn 2011} | {Chellappa 2011} | {Teikari 2006} | {Cajochen 2005} | {Brainard 2001}

4.1.5. Flugphase 5 – nach Flug

Passagiere kommen nach Langstreckenflügen, auf denen Sie chronobiologisch angepasster Beleuchtung ausgesetzt waren, am Ziel aktivierter, weniger gestresst und mit einem höheren Wohlbefinden an, als solche, die mit herkömmlicher Beleuchtung unterwegs waren. Dies hängt vor allem mit der erwarteten stärkeren Melatoninsuppression zusammen. Die entsprechenden Hypothesen für die Phase nach dem Flug, hier Einzelmessung zwei Stunden nach der Landung (09:00 Uhr), lauten wie folgt:

- H5.1 Selbstreport - Wohlfühlen: V>R
- H5.2 Gestresstheit: V<R
- H5.3 Melatonin: V>R

4.2. Simulationsflüge

Die für die Versuche erforderliche realitätsnahe Testumgebung bildet ein Flugzeugkabinenmockup (BILD 2: Diehl Aerospace ANGEL-Mockup – Grundriss), welches für die Tests mit LED-Prototypen von Osram ausgestattet wird.

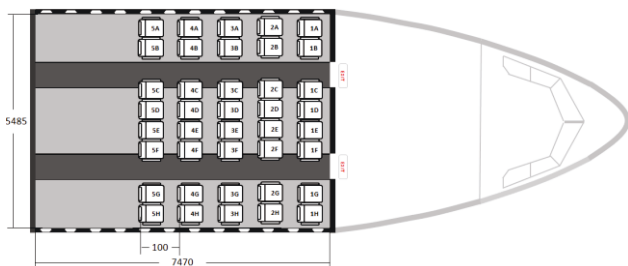


BILD 2. Diehl-Aerospace ANGEL-Mockup – Grundriss

Die Dauer eines Simulationsfluges beträgt 10 Stunden mit Start um 21:00 Uhr (MEZ – alle folgenden Zeitpunkte entsprechen ebenfalls der MEZ) und Landung um 07:00 Uhr in der gleichen Zeitzone. Von 19:30 – 20:00 Uhr checken die Probanden am Testgelände ein, das Boarding beginnt um 20:30 Uhr und der Flug startet um 21:00 Uhr.

Zwecks Vergleichbarkeit der Testflüge sind die äußeren Rahmenbedingungen aller Flüge identisch.

An Bord befindet sich neben den Probanden eine Flugbegleiterin, die den für einen Langstreckenflug üblichen Service leistet. Vor dem Start erhalten die Passagiere die üblichen Sicherheitseinweisungen in die Nutzung der Gurte, Schwimmwesten und Sauerstoffmasken sowie allgemeine Informationen zum Flugverlauf. Der zeitliche Ablauf an Bord (Bild 3: Zeitlicher Ablauf Testflug) orientiert sich an den Vorgaben für ähnliche Flüge von Lufthansa, Airberlin und Japan Airlines. Jeweils um 21:45 Uhr wird ein LSG-Skychef-Business-Class-Dinner serviert. Während des gesamten Fluges haben die Passagiere die Möglichkeit nichtalkoholische Getränke zu konsumieren. Auf den Ausschank koffeinhaltiger Getränke wird nicht verzichtet, um den Einfluss auf das übliche Konsumverhalten der Probanden so gering wie möglich zu halten. Der Verzehr entsprechender Getränke wird protokolliert.

Gegen 22:30 Uhr wird das Geschirr des Abendessens abgeräumt, von 23:00 – 05:30 Uhr ist die Kabine zur Nachruhe bis auf die gesetzlich vorgegebene

Mindestbeleuchtung abgedunkelt. Die Probanden haben in dieser Zeit die Möglichkeit zu schlafen, es erfolgt kein aktiver Service.⁴⁴

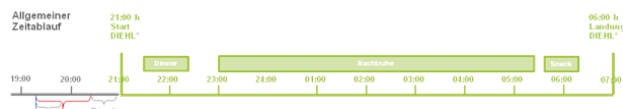


BILD 3. Zeitlicher Ablauf Testflug

Nach der Schlafphase wird um 06:00 Uhr ein kleines Frühstück (Snack) serviert bevor um 06:15 Uhr die Landung vorbereitet wird, der „Sinkflug“ beginnt und um 07:00 Uhr die Landung erfolgt.

4.3. Beleuchtungsszenarien

Zur Anwendung kommen eine herkömmliche Bordbeleuchtung (Referenz) sowie die chronobiologisch angepasste Illuminierung.

4.3.1. Referenz (Standardbeleuchtung)

Die Definition der ‚Airbus-Standardkabine‘ für die Beleuchtung der Kabine wird als Grundfarbton im Rahmen festgelegt. Diese Einstellung entspricht während der Testphase gleichzeitig der Boardingbeleuchtung beider Szenarien sowie den Licht-Ein-Einstellungen der Referenz (R). Als Referenzbeleuchtung wird der Standardverlauf für die Beleuchtung eines Nachtlangstreckenfluges auf Basis von Leuchtstoffröhren gewählt.

Die Referenzbeleuchtung besteht insgesamt aus zwei Beleuchtungseinstellungen (R1 und R2), die während des Fluges entsprechend des Flugverlaufs wechseln (BILD 4 + 5: Beleuchtungseinstellungen Referenz). Die Einstellung R1 entspricht mit min. 129,6lx auf Höhe der Armlehne und 82,77lx auf dem Boden im Gang der üblichen Helligkeit in der Passagierkabine auf Langstreckenflügen (min. 100lx / min. 80lx).⁴⁵ R1 wird beim Boarding, nach dem Start (Wachphase / Einschlafphase – Phase 1) bis zur Nacht (Schlafphase – Phase 2), nach der Nacht (Aufwachphase – Phase 3 / Wachphase – Phase 4) bis zur Landung und nach der Landung beim Deboarding verwendet.

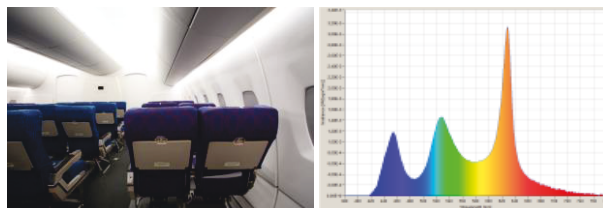


BILD 4. Referenz: Standardkabinenbeleuchtung
Beleuchtungsstärke Referenzplatz: 72,7lx
Lichtspektrum: 581,3nm

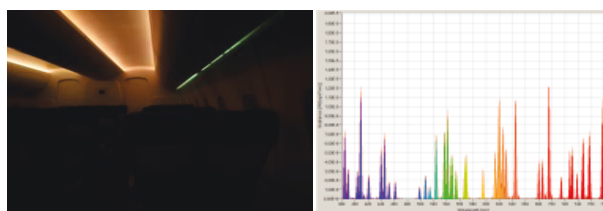


BILD 5. Referenz: Mindestbeleuchtung
0,09lx | 578,2nm

⁴⁴ Vgl. {airberlin 2010} | {Japan Airlines 2011} | {Leder 2011} | {Jones 2003}
⁴⁵ Vgl. {Toeppel 2011}

Der Zeitablauf der Testflüge gibt drei Zeiträume für die Abdunkelung der Kabine bis auf die vorgeschriebene Notbeleuchtung (R2) vor. Die Beleuchtung wird zur Schlafphase (Phase 2) heruntergefahren sowie aus Sicherheitsgründen einige Minuten rund um den Start, damit sich die Augen für einen möglichen Incident schon im Vorfeld an Dunkelheit gewöhnen. Vor der Landung und bis zum Erreichen des Vorfelds wird die Kabine ebenfalls abgedunkelt.⁴⁶ Die Einstellungen folgen den Vorgaben an die gesetzlich vorgeschriebene Mindestbeleuchtung (0,1lx).⁴⁷

Die Messungen der Beleuchtungswerte erfolgen jeweils an verschiedenen Referenzplätzen auf Augenhöhe in Blickrichtung. Exemplarisch werden die Daten für den Referenzplatz 5G angegeben.

4.3.2. Variante (Chronobiologisch angepasste Beleuchtung)

Die zu testende Beleuchtungsvariante (V) stellt den Kern der Studie dar. Anhand der Variante soll im Vergleich zur Standardbeleuchtung untersucht werden, welchen Einfluss veränderte Beleuchtungseinstellungen auf die Passagiere haben.

Die Definition der „Standardkabine“ für die Variante orientiert sich an den eingangs im Theorieteil erläuterten Erkenntnissen der Chronobiologie und den aufgestellten Hypothesen. Lichtintensität und -farbe werden in Abhängigkeit vom zeitlichen Flugverlauf gesteuert. Für das Boarding und den Start werden zunächst dieselben Beleuchtungseinstellungen (R1 | R2) wie bei den Referenzflügen gewählt, um zu Beginn aller Flüge die gleiche Ausgangssituation zu schaffen. Die Einstellungen in den übrigen Dunkelphasen, in denen lediglich die gesetzlich vorgeschriebene Grundbeleuchtung verwendet wird (Schlafphase und Landung), sind ebenfalls mit der Referenz identisch.

In Pretests wird der Grundfarbton für die Beleuchtung der Kabine nach dem Start bestimmt mit dem die chronobiologische Steuerung der Beleuchtung beginnt.

Die Beleuchtungsintensität ist zu diesem Zeitpunkt (Beginn Flugphase 1) bereits geringer als auf den Referenzflügen. Bis zur Flugphase 2 (Schlafphase) wird der Rotanteil im Licht sukzessive gesteigert und die Beleuchtungsintensität soweit reduziert, dass die Kabine während der Nachtruhe lediglich entsprechend der gesetzlichen Vorschriften (0,1lx) illuminiert ist. Am Morgen wird die Beleuchtungsstärke langsam gesteigert wobei gleichzeitig ein Wechsel von einem hohen Rotanteil im Licht zu einem hohen Blauanteil erfolgt. Während der Schlussphase des Fluges und beim Deboarding wird die Kabine mit einer höheren Lux-Zahl und einem höheren Blauanteil als bisher üblich beleuchtet.

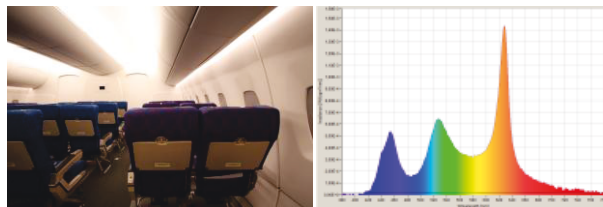


BILD 6. BELEUCHUNGSSZENE V_{t_2} - Flugphase 1 (Wach- / Einschlafphase) 50,5lx | 583,2nm

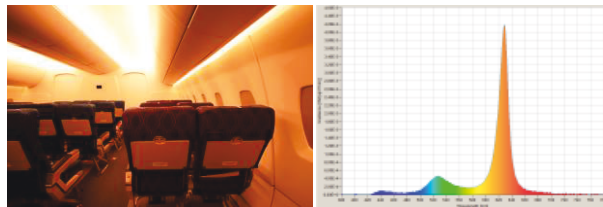


BILD 7. BELEUCHUNGSSZENE V_{t_4} - Flugphase 1 (Wach- / Einschlafphase) 38,0lx | 597,0nm

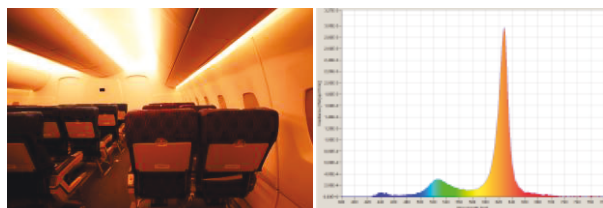


BILD 8. BELEUCHUNGSSZENE V_{t_6} - Flugphase 1 (Wach- / Einschlafphase) 26,1lx | 597,1nm

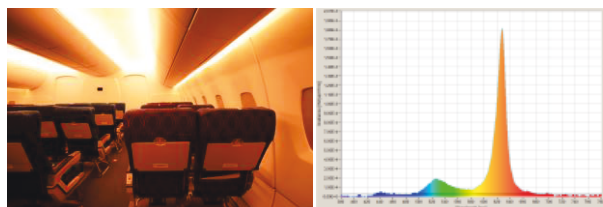


BILD 9. BELEUCHUNGSSZENE V_{t_8} - Flugphase 1 (Wach- / Einschlafphase) 15,5lx | 597,6nm

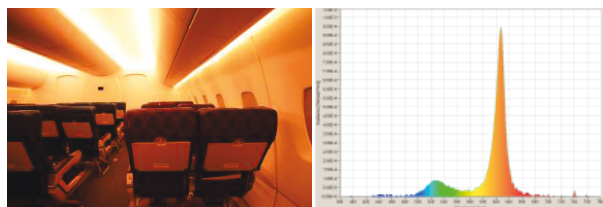


BILD 10. BELEUCHUNGSSZENE $V_{t_{10}}$ - Flugphase 1 (Wach- / Einschlafphase) 8,3lx | 597,2nm

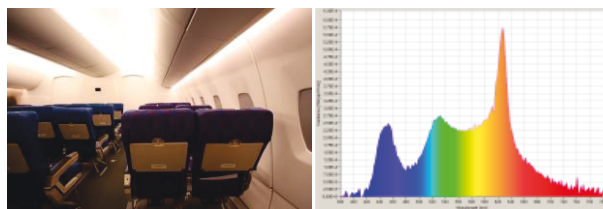


BILD 11. BELEUCHUNGSSZENE $V_{t_{54}}$ - Flugphase 3 (Aufwachphase) 17,2lx | 583,4nm

⁴⁶ Vgl. {Toeppel 2011} | {Leder 2011} | {Klinke 2001}

⁴⁷ Vgl. {European Aviation Safety Agency 2007}

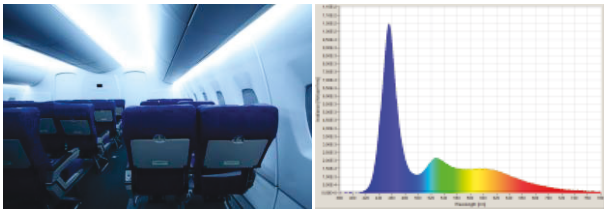


BILD 12. BELEUCHTUNGSSZENE V_{t56} - Flugphase 3 (Aufwachphase) 40,7lx | 467,7nm

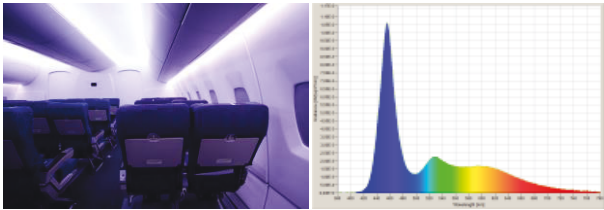


BILD 13. BELEUCHTUNGSSZENE V_{t58} - Flugphase 4 (Wachphase) 134lx | 467,1nm

Die folgende Skizze (Bild 14: Beleuchtungseinstellungen über den Flugverlauf) stellt in einer Gegenüberstellung grafisch den zeitlichen Beleuchtungsverlauf sowohl in der Referenz als auch der Variante (Interference) dar.

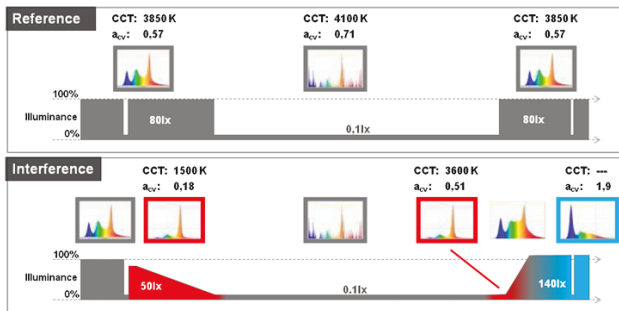


BILD 14. Beleuchtungseinstellungen über den Flugverlauf

4.4. Experimentelles Prozedere

Die Tests wurden mit 32 weder rauchenden noch farbenblinden durchschnittlich sportlichen Probanden (16w | 16m) die zudem keinerlei Schlafstörungen haben und einem durchschnittlichen Chronotypen entsprechen mit einem Durchschnittsalter von 23,44 Jahren (20 – 30 Jahre, 3,8 SD) durchgeführt.

Für die Versuchsreihe wurde ein Within-Subject Design gewählt bei dem die 32 Probanden auf zwei Gruppen á 16 Personen, Vergleichsgruppen A und B, aufgeteilt werden. In sechs aufeinanderfolgenden Nächten (23.-29. August 2011) fanden die insgesamt sechs Simulationsflüge statt, wobei die Vergleichsgruppen im Wechsel je drei Testflüge absolvierten (Bild 15: Testablauf).

Für die Auswertung der Versuchsreihe sind jeweils der zweite und dritte Flug relevant. Um Gewöhnungseffekte auszuschließen flogen beide Gruppen die Beleuchtungsvarianten in umgekehrter Reihenfolge. Die gesammelten Daten wurden über die jeweilige Variante aggregiert und ausgewertet.

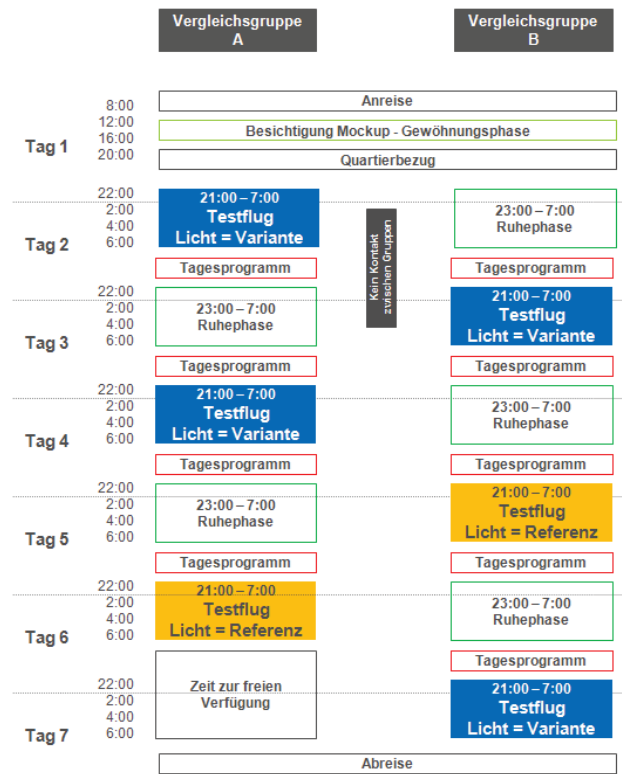


BILD 15. Testablauf

Die Probanden müssen während der Testflüge in der ersten Wachphase bis 22:30 Uhr und in der zweiten Wachphase ab 05:50 Uhr jeweils alle zehn Minuten einen Kurzfragebogen ausfüllen in dem unter anderem das Wohlbefinden bzw. Unwohlsein und Gestresstheit mithilfe von Zerssen Befindlichkeitsskalen (Bf-S) erfasst werden.⁴⁸ (21:10 – 22:30 = 9 Werte / 05:50 – 07:10 = 9 Werte / 09:00 = 1 Wert). Zur Bestimmung des Schlafhormons Melatonin geben die Probanden in den gleichen Zeiträumen alle zwanzig Minuten eine Speichelprobe ab (Je fünf Proben vor und nach der Nachtruhe / eine Probe zwei Stunden nach dem Flug um 09:00 Uhr).

5. ERGEBNISSE

Die schwarzen Graphen stellen die Werte der Referenzflüge dar, die roten die der Flüge mit chronobiologisch angepasster Beleuchtung.

5.1. Selbstreports

In der ersten Flugphase bis zur Nachtruhe (hier an der Lücke zwischen den Messungen zu erkennen) zeigt sich, dass sich die Passagiere auf den Flügen der Variante (roter Graph) weniger unwohl fühlen. Sehr deutlich zeigen sich die Unterschiede in der dritten Flugphase in der die Probanden mit der neuen Beleuchtung nach der Nachtruhe sanft geweckt werden. Auch in der letzten Phase des Fluges fühlen sich die Probanden weitaus wohler als mit der herkömmlichen Beleuchtung.

⁴⁸ {Zerssen von 2011} | {Cours 2004} | {Därr 2005}



BILD 16. Selbstreport: Unwohlsein

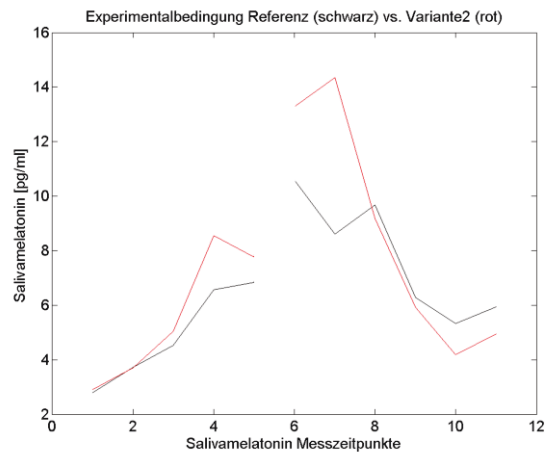


BILD 18. Salivamelatonin [pg/ml]

Die Ergebnisse der Abfrage von Gestresstheit zeigen in der ersten Flugphase einen ähnlichen Verlauf bei beiden Varianten wobei die Flüge mit der Beleuchtungsvariante insgesamt weniger stressig empfunden werden. In den Flugphasen 3 und 4 nach der Nachtruhe sind die Probanden deutlich weniger gestresst als auf herkömmlichen Flügen.

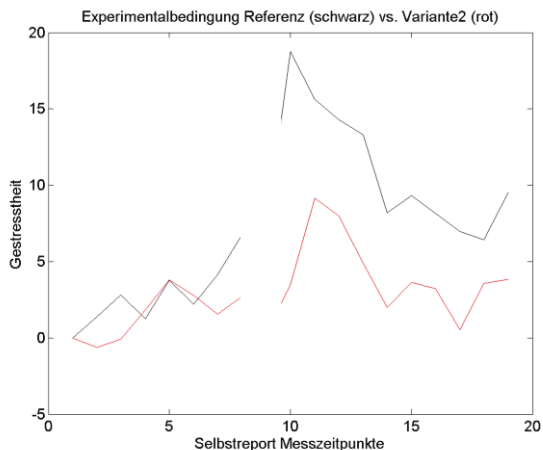


BILD 17. Selbstreport: Gestresstheit

5.2. Speichelproben

In der ersten Flugphase bis zur Nachtruhe zeigen die Ergebnisse der Melatoninmessung bei der Variante einen deutlich höheren Anstieg als bei der Referenz. Sehr gut ist in der dritten Flugphase eine große Differenz zwischen Referenz und Variante sowie zum Beginn der vierten Flugphase die stärkere Melatoninsuppression zu erkennen. Nach dem Flug (9:00 Uhr – Messung 11) zeigt sich bei der Variante ein geringerer Melatoninwert als bei der Referenz.

6. DISKUSSION

Die Ergebnisse zeigen, dass die Grundannahme, dass es durch den Einsatz chronobiologisch angepasster LED-Kabinenbeleuchtung einen Komfortgewinn für Passagiere auf Langstreckenflügen gibt, erfüllt ist.

Die Hypothesen sind überwiegend signifikant bestätigt und in keinem Fall signifikant gegenläufig.

H1.1 Selbstreport - Wohlfühlen:	V>R	nicht bestätigt
H1.2 Gestresstheit:	V<R	bestät. n.s.
H1.3 Melatonin:	V>R	signifikant
H3.1 Selbstreport - Wohlfühlen:	V>R	signifikant
H3.2 Gestresstheit:	V<R	signifikant
H3.3 Melatonin:	V>R	signifikant
H4.1 Selbstreport - Wohlfühlen:	V>R	signifikant
H4.2 Gestresstheit:	V<R	signifikant
H4.3 Melatonin:	V<R	bestät. n.s.
H5.1 Selbstreport - Wohlfühlen:	V>R	signifikant
H5.2 Gestresstheit:	V<R	signifikant
H5.3 Melatonin:	V>R	signifikant

Die Erwartungen an den Einsatz chronobiologisch angepasster Beleuchtung auf Langstreckenflügen wurden erfüllt. So sind Passagiere in der ersten Phase eines Nachtlangstreckenfluges bei einer Beleuchtung mit einer geringeren Lichtintensität und einem höheren Rotanteil als üblich entspannter. In der letzten Flugphase werden sie durch einen hohen Blauanteil im Licht und eine höhere Beleuchtungsintensität aktivierter und sind weniger gestresst als bei dem Flug mit herkömmlicher Beleuchtung.

7. AUSBLICK

Es gibt eine Reihe weiterer zu untersuchender Aspekte, u.a. wäre ein nächster Forschungsschritt die Untersuchung der Wirksamkeit der Beleuchtungsvariante auf Flügen durch verschiedene Zeitzonen und die damit einhergehende mögliche Verringerung negativer Auswirkungen des Jet-Lag.

Die Nutzung der Beleuchtungsvariante stößt allerdings bereits da an ihre Grenzen wo Passagiere an Bord sind, die aus verschiedenen Gründen keine Anpassung an neue Zeitzonen wünschen. Dies kann vor allem der Fall sein, in dem der PAX nur für einen sehr kurzen Zeitraum,

bspw. für ein halbtägiges Geschäftsmeeting, in eine andere Zeitzone fliegt und der circadiane Rhythmus entsprechend der lokalen Zeit am Ausgangsort der Reise beibehalten werden soll. Andere Passagiere könnten gesundheitsbedingte Problem durch die Einflussnahme der Beleuchtung auf den Körper befürchten.

Mit dieser ersten Untersuchung des Einsatzes chronobiologisch wirksamer Beleuchtung an Bord von Langstreckenflugzeugen wurde der Grundstein für weitere Forschungen im Zusammenhang mit der Verwendung von LED-Technik, die über Mood-Lighting hinaus geht, gelegt.

DANK

Besonderer Dank gilt den Projektpartnern: Airbus Operations GmbH, Diehl Aerospace GmbH, Osram AG, Fraunhofer Institut für Bauphysik Holzkirchen sowie Prof. Schierz (TU-Ilmenau), den Probanden, Versuchsleitern, und Mitarbeitern des Diehl-Standortes Donaustraße 120.

Weiterer Dank gebührt den Sponsoren: LSG Sky Chefs, Dortmund Airport, Frankfurter Allgemeine Zeitung, Verlagsgruppe Handelsblatt, Klambt Verlag, Condé Nast Verlag, movisens, Schiller-Medizintechnik, Medizinisches Versorgungszentrum Dr. Eberhard und Partner, Optik Claßen, Architekt J. Leder, Lorenz Bahlsen und redull.

LITERATUR

- airberlin group. 2010. *Ansagen Handout*. Berlin.
- airberlin group. 2010. *Langstrecken Servicekonzept. Economy Class*. Berlin.
- Apfelstedt-Sylla, E., G. Becker, D. Besch, U. Ernemann, K. Gardill, J. Gawlowski, E. Grote, V. Herzau, H. Jägle, G. Kommerell, H. Krastel, B. Leo-Kottler, B. Lorenz, T. Nägele, S. Pitz, J. Schiller, S. Trauzettel-Klosinski, H. Wiethölter, B. Wilhelm, and J. Zihl. 2003. *Praktische Neuroophthalmologie*, 1st edn. Heidelberg: Kaden. 20ff
- Badia, P., J. Culpepper, B. Myers, M. Boecker, and J. Harsh. 1990. Psychophysiological and behavioral effects of bright and dim light. *Sleep Research* 19:387–390.
- Baer, R., Billy Helmut, Ulrich Carraro, Martin Eckert, Dietrich Gall, and Reinhard Schnor. 2006. *Beleuchtungstechnik - Grundlagen*, 3rd edn. Berlin: huss. 23ff
- Bailey, S.L, and M.M Heitkemper. 2001. Circadian rhythmicity of cortisol and body temperature: Morningness-eveningness effects. *Chronobiology International* 18:249–261.
- Baumann, I.. 2009. Psychophysikalische Untersuchungen des wahrgenommenen Komforts in Flugzeugkabinen. Dissertation, Carl von Ossietzky Universität, Oldenburg. Accessed 16 November 2012, 2
- Benington, J. H., and Marcos G. F.. 2003. Cellular and molecular connections between sleep and synaptic plasticity. *Progress in Neurobiology* 69:71–101.
- Berson, D. M. 2003. Strange vision: ganglion cells as circadian photoreceptors. *Trends in Neurosciences* 26:314–320.
- Brainard, G. C. 2001. Action Spectrum for Melatonin Regulation in Humans: Evidence for a Novel Circadian Photoreceptor. *The Journal of Neuroscience* 21:6405–6412.
- Burgess, H.. 2005. The dim light melatonin onset following fixed and free sleep schedules. *Journal of Sleep Research* 14:229–237.
- Cajochen, C., C. Jud, M. Münch, S. Kobiakka, A. Wirz-Justice, and U. Albrecht. 2006. Evening exposure to blue light stimulates the expression of the clock gene PER2 in humans. *European Journal of Neuroscience* 23:1082–1086.
- Cajochen, C. 2007. Alerting effects of light. *Sleep Medicine Reviews* 11:453–464.
- Cajochen, C. 2008. Interhemispheric EEG asymmetries during unilateral bright-light exposure and subsequent sleep in humans. *AJP: Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* 294:R1053–R1060.
- Cajochen, C., M. Münch, S. Kobiakka, K. Kräuchi, R. Steiner, P. Oelhafen, S. Orgül, and A. Wirz-Justice. 2005. High Sensitivity of Human Melatonin, Alertness, Thermoregulation, and Heart Rate to Short Wavelength Light. *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* 90:1311–1316.
- Chellappa, S. L.. 2011. Non-Visual Effects of Light on Melatonin, Alertness and Cognitive Performance: Can Blue-Enriched Light Keep Us Alert? *PLoS ONE* 6:e16429.
- Chellappa, S. L., Sylvia Frey, Vera Knoblauch, and Christian Cajochen. 2011. Cortical activation patterns herald successful dream recall after NREM and REM sleep. *Biological Psychology* 87:251–256.
- Cours, N.. 2004. Wahrnehmungspsychologische Evaluation eines dreidimensionalen Visualisierungssystems. Dissertation, Universität Kassel, Kassel. Accessed 4 December 2012.
- Cruz, A., and L. Papadopoulos. 2003. The Evolution of the Airline Industry and Impact on Passenger Behaviour. In *Passenger behaviour*, ed. Robert Bor, 32–44, 1st edn. Aldershot: Ashgate Publishing Ltd. 36
- Därr, J. J.. 2005 Vergleich der visuellen Wahrnehmung von realen und virtuellen Umgebungen am Beispiel einer Flugzeugkabine, Göttingen.
- Dawood, R. 2003. Physiology of Flying: Effects and Consequences of the Cabin Environment. In *Passenger behaviour*, ed. Robert Bor, 223–231, 1st edn. Aldershot: Ashgate Publishing Ltd.
- European Aviation Safety Agency. 2007. *Certification Specifications for Large Aeroplaens - CS-25*.
- Foreman, E. 2003. Just Plane Scared? An Overview of Fear of Flying. In *Passenger behaviour*, ed. Robert Bor, 45–59, 1st edn. Aldershot: Ashgate Publishing Ltd.
- God, R., and C. Kurz. 2010. Die Flugzeugkabine - Wohin geht die Reise? *Ingenieurspiegel* 3:4–5.
- Goldstein, E. Bruce. 2001. *Wahrnehmungspsychologie*. Heidelberg: Spektrum - Akademischer Verlag. 155ff
- Graeber, C.. 1986. *Crew Factors in Flight Operations. Sleep and Wakefulness in International Aircrews*. NASA Technical Memorandum, vol. 88231. Moffert Field California.
- Graeber, C.. 1986. International Aircrew Sleep and Wakefulness after multiple Time Zone Flights: A Cooperative Study. *Aviation, Space and Environmental Medicine*:B3-B9.
- Guilleminault, C., and E. Lugaresi (eds.). 1983. *Sleep/Wake Disorders: Natural History, Epidemiology, and Long-Term Evolution*. New York: Raven Press.
- Häcker, H., K.-H Stapf, and F. Dorsch. 2004. *Dorsch - Psychologisches Wörterbuch. 15000 Stichwörter, 800 Testnachweise*, 14th edn. Bern: Huber.
- Hahn, E., Franzis Preckel, and Frank M. Spinath. 2011. Das Eule-Lerche-Prinzip: Der Zusammenhang von Chronotyp, Persönlichkeit, Intelligenz und akademischer Leistung. *reportpsychologie* 36:411–421.
- Japan Airlines. 2011. *Public Announcements. JAPAN AIRLINES*.
- Jones, P., and M. Lumbers. 2003. Appetite and In-Flight Catering. In *Passenger behaviour*, ed. Robert Bor, 261–275, 1st edn. Aldershot: Ashgate Publishing Ltd. 261
- Konieczny, G.. 2001. Die Messung und Steigerung der Qualität von Dienstleistungen in der Flugzeugkabine: Ein Beitrag zur

- kundenorientierten Flugzeugentwicklung. Dissertation, Technische Universität Berlin. 16f / 71
- Kunz, D.. 2006. Melatonin und Schlaf-Wach Regulation. Habilitationsschrift, Medizinische Fakultät der Charité - Universitätsmedizin Berlin, Berlin. Accessed 19 October 2012.
- Leder, A. 2011. Ablauf von Langstreckenflügen. Lufthansa CPT B747-400 (rtd.). Graz.
- Leder, A. 2011. Langstreckenflug: Bordservice & Beleuchtung. Frankfurt am Main.
- Leszczynska, K. 2010. New Technologies in Aircraft Cabin Lighting: What is the impact of mood lighting passengers' satisfaction on board an aircraft. Masterarbeit, Bartlett School of Graduated Studies, London.
- Lockley, S., G. C. Brainard, and C. Czeisler. 2003. High Sensitivity of the Human Circadian Melatonin Rhythm to Resetting by Short Wavelength Light. *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism - Boston (Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism)* 88:4502.
- Lockley, S.W., E.E Evans, F.A.J.L Scheer, G.C Brainard, C.A Czeisler, and D. Aeschbach. 2006. Short-wavelength sensitivity for the direct effects of light on alertness, vigilance, and the waking electroencephalogram in humans. *Sleep Medicine Reviews* 29:161–168.
- Mallis, M.. 2009. *Fatigue Countermeasures in Aviation. The Position of the Aerospace Medical Association.* Airlines Medical Directors Association Meeting, Los Angeles, 2 May 2009. Accessed 21 October 2012.
- Marggraf-Micheel, C., J. Winzen, and F. Albers. 2012. Wohlfühlklima in der Flugzeugkabine. *Ingenieurspiegel* 5:68–69.
- Narendran, N.. 2005. *LED Reading Light Study.* SAE Subcommittee A-20 A/C - Interior and Crew Rest Lighting, Troy - NY, 28 April 2005.
- Niederl, T.. 2007. *Untersuchungen zu kumulativen psychischen und physiologischen Effekten des fliegenden Personals auf der Kurzstrecke. Am Beispiel des Flugbetriebes der Boeing 737 Flotte der Deutschen Lufthansa AG.* Köln. 70
- Partinen, M., J. Kaprio, M. Koskenvuo, and H. Langinvainio. 1983. Sleeping habits, sleep quality and use of sleeping pills: A population study of 31.140 adults in Finland. In *Sleep/Wake Disorders: Natural History, Epidemiology, and Long-Term Evolution*, ed. C. Guilleminault and E. Lugaresi. New York: Raven Press.
- Pepler, W. 2012. Messung der natürlichen Beleuchtung im Freien und im Büro. In *Siebentes Symposium Licht und Gesundheit: 15. und 16. März 2012 ; eine Sondertagung der TU Berlin*, 276–279.
- Pittendrigh, C. S. 1993. Reflections of a Darwinian Clock-Watcher. *Annual Review Physiology*:17–54.
- Quehl, J. 2001. Comfort studies on aircraft interior sound and vibration. Dissertation, Universität Oldenburg, Oldenburg.
- Seabridge, A. G., and Shirley Morgan. 2010. *Air travel and health.* Chichester: Wiley. 28
- Teikari, P.. 2006. Biological effects of light. Masterarbeit, University of Technology, Helsinki. Accessed 19 October 2012. 59
- Thapan, K., J. Arendt, and D. J. Skene. 2001. An action spectrum for melatonin suppression: Evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans. *Journal of Physiology* 15:261–267.
- Thayer, R.E. 1989. *The biopsychology of mood and arousal.* New York: Oxford Univ. Press.
- Toeppel, M. 2011. Helligkeit in der Passagierkabine. E-Mail. Hamburg.
- Trepel, M.. 1999. *Neuroanatomie. Struktur und Funktion*, 2nd edn. München: Urban & Fischer. 176f / 264f
- Vejvoda, M.. 2000. *Untersuchungen zur Beanspruchung des Kabinenpersonals auf transmeridianen Strecken.* Köln.
- Vertamatti, E., and Jurandir Itizo Yanagihara. 2012. Determination of lighting comfort in an aircraft cabin. In *3rd International Conference on Engineering*, vol. 2012, ed. Graduate School in Engineering. Rio de Janeiro, Brasilien.
- Waterhouse, J., T. Reilley, and B. Edwards. 2003. Long-haul Flights, Travel Fatigue and Jet Lag. In *Passenger behaviour*, ed. Robert Bor, 246–260, 1st edn. Aldershot: Ashgate Publishing Ltd.
- Wieland, R. 2004. Arbeitsgestaltung, Selbstregulationskompetenz und berufliche Kompetenzentwicklung. In *Individuelle Steuerung beruflicher Entwicklung: Kernkompetenzen in der modernen Arbeitswelt*, ed. B.S Wiese, 170–197. Frankfurt am Main: Campus.
- World Health Organization (ed.). 2010. *International Travel and Health.* 2010. Genf: WHO Press.
- Zerssen von, D., and F. Petermann. 2011. Bf-SR: Die Befindlichkeits-Skala – Revidierte Fassung. Göttingen: Hogrefe.