

Bericht zum 10. DIN-Expertenforum

am 30.06.2022 in Berlin

von Prof. Dr. habil. Thomas Kantermann

im Auftrag der VBG - Hamburg

INHALTSVERZEICHNIS

WELCOME – <i>MICHAEL STEPHAN</i>	3
INTRODUCTION – <i>DIETER LANG</i>	3
PAST AND FUTURE OF LIGHT & HEALTH – <i>DEBRA SKENE (VIRTUELLE TEILNAHME)</i>	4
COMPLEXITY OF THE EYE IN NON-VISUAL EFFECTS – <i>ROBERT LUCAS (VIRTUELLE TEILNAHME)</i>	6
FROM DIN V 5031-100:2009 TO CIE S 026:2018 – <i>DIETER LANG</i>	8
WHAT DID WE ACHIEVE? IMPACT OF THE DIN-EXPERT-PANELS ON INTERNATIONAL STANDARDIZATION – <i>PETER DEHOFF</i>	10
NON-VISUAL EFFECTS OF LIGHT – A TOPIC FOR OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY – <i>CORRADO MATTIUZZO (VIRTUELLE TEILNAHME)</i>	11
IMPROVING INDOOR LIGHT CONDITIONS FOR DAYTIME WORKERS: VISIBLE AND BEYOND THE VISIBLE LIGHT SPECTRUM – <i>MARIJKE GORDIJN (VIRTUELLE TEILNAHME)</i>	12
RECOMMENDATIONS FOR HEALTHY DAYTIME, EVENING, AND NIGHT-TIME INDOOR LIGHT EXPOSURE – <i>CÉLINE VETTER (VIRTUELLE TEILNAHME)</i>	16
PUPILLOGRAPHY: A NEW TOOL TO MEASURE LIGHT EFFECTS IN HUMANS – <i>JAN DE ZEEUW</i>	18
LIVING IN BIOLOGICAL DARKNESS – <i>DIETER KUNZ</i>	19
DOSE-RESPONSE RELATIONSHIP FOR MELANOPIC-EQUIVALENT DAYLIGHT ILLUMINANCE AND POLYSOMNOGRAPHICALLY ASSESSED NIGHT-TIME SLEEP – <i>CHRISTIAN CAJOCHEN</i>	20
USE OF DAYLIGHT AND ITS CHARACTERISTICS IN LIGHTING SOLUTIONS FOR NON-VISUAL EFFECTS – <i>MARTINE KNOOP</i>	21
TIME-DEPENDANT COMPLEXITY OF NON-VISUAL RESPONSES TO LIGHT – <i>MANUEL SPITSCHAN (VIRTUELLE TEILNAHME)</i>	22
ACTIVITIES OF THE FEDERAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH IN THE FIELD OF NON- VISUAL EFFECTS OF LIGHT – <i>LJILJANA UDOVICIC</i>	24
SUMMARY OF THE EVENT – <i>KIM IHLOW / DIETER LANG</i>	25
ALLGEMEINE ANMERKUNGEN ZU DEN VORTRÄGEN – <i>THOMAS KANTERMANN</i>	26
ANHANG: PROGRAMM DES MEETINGS.....	27

Welcome – Michael Stephan

Herr Dr. Stephan begrüßt alle Anwesenden in Präsenz und virtueller Teilnahme. Er berichtet über die Historie der DIN-Expertenforen, von der Konzeption des ersten DIN-Expertenforums im Jahr 2007 als nationales Forum, hin zu dem heutigen Format eines internationalen Round-Table mit dem Ziel der Bündelung von Wissen für Forschung, Praxis, Wirtschaft und Politik. Herr Dr. Stephan hebt hervor, dass die DIN-Expertenforen zunehmend attraktiv für junge Menschen sind, was er sehr begrüßt, da junge Menschen die zukünftigen Experten sind, welche die Erkenntnisse der Foren in Anwendungen und weitere Forschungsarbeiten integrieren werden. Er wünscht allen teilnehmenden Personen einen erfolgreichen Tag.

Introduction – Dieter Lang

Herr Lang begrüßt alle Anwesenden in sowohl Präsenz (ca. 40) wie auch in virtueller Teilnahme (zu dem Zeitpunkt ca.73, später im Verlauf des Meetings ca. 84). Zum Anlass des 10-jährigen DIN-Expertenforums berichtet Herr Lang über die Gründung (im Jahr 2007) und Historie des FNL 27, welches der Ursprung der DIN-Expertenforen ist. Der FNL 27 umfasst (Stand 2022) eine Anzahl von 20 Mitgliedern aus Lichtindustrie, Forschungsinstitutionen, Lichtdesign, Arbeitsschutz und zertifizierenden Institutionen sowie 5 Gästen aus Ergonomie, Radiometrie und Tageslichtforschung. Der FNL 27 hat früh begonnen externe Expertinnen und Experten in die Arbeit einzuschließen. Neben den Expertenforen beinhaltet dies auch zum Beispiel die Vergabe von Aufträgen für Literaturstudien. Ziel des DIN und FNL 27 ist es, Standards zu den Effekten von Licht auf den Menschen in der Praxis zu etablieren.

Herr Lang betont, dass die Effekte von Licht auf den Menschen sowohl visuelle als auch nicht-visuelle Komponenten umfassen, die in der praktischen Anwendung nicht immer klar zu trennen sind. Die nicht-visuellen Effekte von Licht sollen in den Standards und Regelwerken denselben Stellenwert erlangen wie die – bisher dort dominierenden – visuellen Effekte und Energieeffizienz. Daher ist ein umfassender, holistischer Blick notwendig, der vor allem auch in den Standards und Regelwerken abgebildet werden muss.

Mit Stand 30.06.2022 gibt es 10 DIN-Expertenforen mit insgesamt 132 Präsentationen, Zusammenfassungen und Erhebungen, begleitet durch Literaturstudien, Kollaborationen und Diskussionen auch außerhalb des FNL 27. Als Meilensteine des FNL 27 führt Herr Lang die DIN/TS 5031-100 und die DIN/TS 67600 auf.

Zukünftige Ziele sind das Ausarbeiten der DIN/TS 5031-100 zu einem vollen Standard (DIN 5031-100) und das Ausarbeiten der DIN/TS 67600 zu einem vollen Standard als eigenständige DIN 67600 oder als integrierter Teil bereits existierender Standards.

Past and Future of Light & Health – Debra Skene (virtuelle Teilnahme)

Frau Professorin Skene beginnt ihren Vortrag mit einer Zusammenfassung der Prinzipien des photischen (visuellen, lichtabhängigen) Entrainments des zirkadianen Systems. Sie betont die Bedeutung von Licht für das Entrainment und benennt die grundlegenden neuronalen Strukturen, wie beispielsweise den suprachiasmatischen Nukleus (SCN) und die Glandula pinealis (Zirbeldrüse), als zentrales Organ der Melatoninsynthese. Die Zirbeldrüse ist ein Teil des zirkadianen Systems, in dem Melatonin Information vom SCN getaktet an vielfältige Körperzellen übertragen kann.

Frau Skene erläutert die Bedeutung von Licht für das Entrainment anhand von Beispielen, bei denen das Entrainment nicht oder nur unzureichend erfolgt. Dies ist beispielsweise bei blinden Personen (vor allem mit beschädigter Retina bzw. nach Augenverlust), Personen mit einer non-24h-Disorder (das Entrainment vollzieht sich bei diesen Personen nicht oder nur unzureichend, weshalb ihr zirkadianes System in einen Zustand des Freilaufs geht) oder bei Schichtarbeitern der Fall. Sie betont den Zusammenhang von Melatonin und Schlaf, die beide zeitlich rhythmisch gekoppelt sind. Sie zeigt Beispiele reduzierter Schlafqualität, Schlafdauer und Leistungsfähigkeit, wenn das natürliche Maximum der Melatoninproduktion außerhalb der Schlafphasen liegt, wenn, zum Beispiel aufgrund von Nacharbeit tagsüber und nicht nachts geschlafen werden muss. Eine Desynchronisation des zirkadianen Systems gilt es aus Gründen der Erhaltung von Gesundheit und Wohlbefinden zu vermeiden.

Frau Skene betont und zeigt an Beispielen auf, dass Lichtwirkung sowohl zu akuten Effekten führen kann (z.B. Phasenverschiebungen von z.B. Melatonin, Reset des zirkadianen Systems (Entrainment)) und auch langfristige Effekte umfasst (z.B. Unterdrückung von Melatonin, Steigerung der Wachheit, Aufmerksamkeit, Körperkerntemperatur, Herzrate, Gemütsverfassung, Kognition sowie die Konstriktion der Pupille im Auge zur reflexiven Regelung des Lichteinfalls). Akute und langfristige Lichteffekte sind physiologisch und mechanistisch nicht dasselbe und werden durch unterschiedliche Licht-Charakteristika sowie neuronale Wege realisiert. Ein detailliertes Verständnis hierzu zu erlangen ist Gegenstand aktuell laufender Forschungen.

Frau Skene führt aus, welche Rolle die Sehpigmente (in den Stäbchen und Zapfen der Netzhaut im Auge) und das um das Jahr 2000 herum identifizierte Melanopsin in 1-3% der retinalen Ganglienzellen (ipRGC = intrinsisch photosensitive retinale Ganglienzelle) für das Entrainment haben. Für das Entrainment sind sowohl die ipRGC als auch die Stäbchen und Zapfen (vor allem die s-Zapfen) relevant, somit die gesamte Retina. Zukünftige Forschung hat das Ziel herauszufinden unter welchen Lichtbedingungen für welche Effekte welche Konstellation von ipRGC, Stäbchen und Zapfen angesprochen werden muss. Prof. Skene betont, dass die Effekte von monochromatischem Licht die Effekte von polychromatischem Licht nicht voll erklären können. In diesem Kontext hebt

sie erneut hervor, dass im Gehirn unterschiedliche Pfade für visuelle und nicht-visuelle Wirkungen identifiziert wurden.

Zum Abschluss ihres Vortrages verweist Prof. Skene auf die Herausforderungen eines Praxistransfers der aktuellen Erkenntnislage. Zu diesen Herausforderungen zählt sie Wissenslücken hinsichtlich der inter-individuellen Unterschiede in der Wirkung von Licht auf den Menschen. Im Zentrum zukünftiger Forschung liegen hierzu die folgenden Faktoren: Alter, Chronotyp, Genotyp (Uhren-Gene), Lichthistorie, Jahreszeiten, Schlaf/Wach-Verhalten, Arbeitszeiten und Tageslichtexposition. Bezogen auf das Licht kommen hinzu Variationen bezüglich Intensität, spektraler Verteilung, Zeitpunkt der Lichtexposition. Die Wechselwirkung dieser Faktoren ist bisher nicht ausreichend verstanden. Frau Skene verweist abschließend auf ein Projekt der Daylight Academy (Velux Stiftung), mit dem Ziel des Aufbaus einer Datenbank für Messergebnisse aus Studien am Menschen, auf deren Basis Modelle der Vorhersage für Effekte von Licht auf den Menschen möglich sein soll. Frau Skene verweist ebenfalls auf die „luox.app“ (entwickelt von Prof. Manuel Spitschan), welche helfen soll Lichtspektren für die Praxis interpretierbar zu machen.

Aspekte des Arbeitsschutzes:

- die Bedeutung von Licht für das Entrainment
- Zusammenhang von Melatonin und Schlaf
- akute und langfristige Lichteffekte sind physiologisch und mechanistisch nicht dasselbe
- Effekte durch monochromatisches Licht unterscheiden sich von Effekten durch polychromatisches Licht
- Große Wissenslücken hinsichtlich der inter-individuellen Unterschiede in der Wirkung von Licht auf den Menschen unter natürlichen Bedingungen

Complexity of the Eye in Non-Visual Effects – Robert Lucas (virtuelle Teilnahme)

Professor Lucas beginnt seinen Vortrag mit einer Übersicht zum zirkadianen System und assoziierten Funktionen wie der Regelung von Schlaf-/Wachrhythmus, Körperkerntemperatur, Herzrate, Gemütsverfassung, Leistungsfähigkeit, Appetit und Stoffwechsel. Herr Lucas arbeitet am Tiermodell eines tagaktiven Nagetiers (*Rhabdomys pumillio*) und betont, dass seine Ausführungen sich auf eine arbeitsfähige Vereinfachung des zirkadianen Systems beziehen, die nicht die gesamte Komplexität des Systems erklären kann. Er fährt fort in seinen Ausführungen und nimmt Bezug auf den Menschen in unnatürlichen Umwelten, wie in Schicht- und Nachtarbeit sowie Arbeit tagsüber in nicht ausreichend beleuchteten Umgebungen (z.B. in fensterlosen Umgebungen).

Im Zentrum seiner Forschung steht die Frage welche Rolle eine Lichtexposition tagsüber für das zirkadiane System erfüllt. Gut verstanden sind die Mechanismen der Regulation der zirkadianen Phase von beispielsweise Melatonin. Für die Phasenlage und den täglich notwendigen Reset des SCN (damit dieser mit dem 24-h Tag synchron läuft) genügt eine regelmäßige Lichtexposition am Morgen (mit entsprechend weniger/kein Licht am Abend), nicht notwendig dafür ist allerdings eine Lichtexposition tagsüber. Die Arbeitsgruppe von Prof. Lucas forscht bezüglich der Hypothese, dass Tageslicht einen Einfluss auf die Amplitude von zirkadianen Rhythmen hat, welches wiederum essenziell für das Entrainment des zirkadianen Systems sein könnte. Sollte sich die Hypothese verifizieren lassen, dann wäre dies ein Hinweis darauf, dass Lichtexposition tagsüber gegenüber der partiellen Lichtexposition am Morgen/Abend auch Wirkungen auf das zirkadiane System hat.

Ergebnisse aus den Arbeiten von Prof. Lucas bestätigen die Hypothese und zeigen, dass helle Tage gegenüber dunklen Tagen (tierexperimentell im Labor) zu höheren Amplituden in zirkadianen Rhythmen von SCN, Leber, Lunge und Retina führen. Ebenfalls gezeigt werden konnte eine Effekt-Abhängigkeit von der Dosis, insofern dass mehr helles Licht zu höheren Amplituden führt. Diese Ergebnisse legen den Schluss nahe, dass Lichtexposition tagsüber das Antwortverhalten und die Ausprägung von zirkadianen Rhythmen modulieren kann. Dies stellt neben den bisher gut verstandenen phasenverschiebenden Wirkungen von Licht einen zusätzlichen Wirkmechanismus dar. Die Schlussfolgerung lautet, dass dunkle Tage die Aktivität des SCN reduzieren und auch die Amplitude von zirkadianen Oszillationen. Geringere Amplituden wiederum wirken sich ggf. nachteilig auf das Verhalten und multiple Systeme (Organe, Gewebe) des Körpers aus.

Aspekte des Arbeitsschutzes:

- Arbeiten in Schicht- und Nachtarbeit sowie tagsüber in nicht ausreichend beleuchteten Umgebungen ist unnatürlich
- Lichtwirkung auf zirkadiane Phase ist gut verstanden, nicht jedoch auf Amplituden
- dunkle Tage reduzieren die Aktivität des SCN und die Amplitude von zirkadianen Oszillationen (im tagaktiven Tiermodell)

Past and Future of Chronomedicine – Achim Kramer

Professor Kramer beginnt seinen Vortrag mit einer Darlegung, dass Gesundheit und zirkadianes System in Wechselwirkung miteinander stehen. Ein gestörtes zirkadianes System kann zu Störungen der Gesundheit führen und ebenso können Störungen der Gesundheit zu einer Störung des zirkadianen Systems führen. Herr Kramer führt aus, dass bestimmte Krankheiten in ihrer Symptomatik einem Tagesgang unterliegen (also mit der Tageszeit variieren; z.B. treten Herzinfarkte vermehrt morgens auf; Herzmedikamente wirken besser, wenn vor dem Schlaf eingenommen). Störungen der zirkadianen Rhythmik können unter anderem Folge sein von Lichtverschmutzung, Schichtarbeit, Jetlag, Krankenhausaufenthalt, sozialem Jetlag oder unregelmäßiger Nahrungsaufnahme. Er betont, dass die Notwendigkeit von objektiven Erhebungen dringend notwendig ist, da global die Zahl von Personen mit Störungen des zirkadianen Rhythmus zunimmt (im Vortrag illustriert an der stetigen Zunahme von Personen in Schichtarbeit).

Mit Blick auf medizinische Anwendungen mit Diagnostik, Therapie und Prävention betont Herr Kramer die Notwendigkeit für Entwicklungen von neuen Tools für Möglichkeiten zur Erfassung von Störungen des zirkadianen Systems. Vorgestellt wird ein Konzept zur zirkadianen Medizin mit den Standbeinen (i) Detektion des zirkadianen Systems (Biomarker, Wearables, Routinedaten aus der Klinik), (ii) Erforschung des zirkadianen Systems (Timing von Diagnosen und Therapy, Chronopharmakologie), (iii) Beeinflussung des zirkadianen Systems (Licht, time restricted eating (Intervallfasten), körperliche Übungen, Melatonin).

Prof. Kramer stellt einen neuen, objektiven Test vor, zur Erhebung der zirkadianen Phase eines Menschen. Dieser Test kann über eine einmalige Blutprobe oder auch eine Haarprobe (*unabhängig von der Tageszeit und Lichtexposition = großer Vorteil gegenüber Messungen von Melatonin, die Abhängig von Tageszeit und Lichtexposition sind*) erfolgen. Die Phasenbestimmungen des Tests korrelieren signifikant mit Messungen von Melatonin (DLMO, dim light melatonin onset) in denselben Personen. Die kommerzielle Abwicklung der Tests läuft über eine Ausgliederung der Charité (BodyClock).

Herr Kramer zeigt zum Ende seines Vortrages Ergebnisse eines Selbstversuches mit dem neu entwickelten Haartest. Herr Kramer hat über ein Jahr lang seine eigene zirkadiane Phase mit dem Haartest bestimmen lassen und zeigte jahreszeitliche Variation der so erhobenen Phase. Herr Kramer verdeutlicht, dass dieser neue objektive Phasenmarker mit Änderungen der Photoperiode (Jahreszeit) korreliert. Obacht jedoch bei diesen Ergebnissen, denn es handelt sich um einen Selbstversuch des Vortragenden mit einem N=1. Diese Ergebnisse verdeutlichen grundsätzlich, dass diese Methode der Phasenbestimmung funktioniert.

Herr Kramer schließt seinen Vortrag mit offenen Fragen und Herausforderungen zukünftiger Forschung und Wissenschaft. Hierzu zählt er eine fehlende einheitliche Definition und Quantifizierbarkeit von zirkadianer Disruption, also eines Weges zur Operationalisierung von Störungen der zirkadianen Rhythmik, sowie ein besseres Verständnis der Mechanismen im Wechselspiel zwischen zirkadianer Disruption und Krankheit. Ferner zählt Herr Kramer auf, dass zirkadiane Prinzipien stärker in der Ausbildung von Medizinern berücksichtigt werden müssen. Herr Kramer betont, dass Schlafmedizin nicht Chronomedizin/zirkadiane Medizin ist. Zudem plädiert er dafür, dass es von Forschungsseite eine bessere Abschätzung der Effektgrößen von medizinischen Anwendungen auf Basis zirkadianer Biologie geben muss.

Aspekte des Arbeitsschutzes:

- Gesundheit und zirkadianes System stehen in enger Wechselwirkung
- Störungen der zirkadianen Rhythmik können unter anderem Folge sein von Lichtverschmutzung, Schichtarbeit, Jetlag, Krankenhausaufenthalt, sozialem Jetlag oder unregelmäßiger Nahrungsaufnahme
- objektive Erhebungen von Störungen des zirkadianen Systems sind dringend notwendig; aktuell fehlender Konsens zur Operationalisierung von zirkadianer Disruption
- neuer objektiver Marker der zirkadianen Phase (Blutprobe oder Haarprobe) am Markt

From DIN V 5031-100:2009 to CIE S 026:2018 – Dieter Lang

Herr Lang berichtet in seinem Vortrag den Werdegang von der DIN V 5031-100:2009 zur CIE S 026:2018. Der Ursprung liegt in der Entdeckung des Phase-Antwortverhaltens von Melatonin auf unterschiedliche Lichtspektren. Die DIN V 5031-100:2009 spricht in diesem Kontext von einem biologischen Aktionsspektrum oder -faktor, bzw. von biologischen Effekten und der Fokus lag auf der Beeinflussung von Melatonin (Phase, Amplitude) durch Licht (also der Wirkung vermittelt via Melanopsin), sowie der unspezifisch aktivierenden Wirkung von Licht auf das Gehirn und der Behandlung von saisonal affektiven Störungen. Früh erkannt wurde die Notwendigkeit einer Alterskorrektur des Phase-Antwortverhaltens von Melatonin auf unterschiedliche Lichtspektren. Dies ist zum Beispiel relevant für die Beurteilung von altersabhängiger Reduktion der Transmission der Linse im Auge. So benötigen Anwendungen mit Licht in älteren Personen (Seniorenheim) andere Anforderungen als vergleichbare Anwendungen in Schulen mit jüngeren Personen. Die zwischenzeitlich erschienene DIN V 5031-100:2015 nahm neuere Erkenntnisse auf und adressierte spezifische Faktoren von Melanopsin einschließlich Tageslicht äquivalenten Verrechnungsmethoden, welche später in der DIN V 5031-100:2021 als MEDI (melanopic equivalent daylight illuminance) Einzug in die Regelwerke nimmt. Herr Lang erklärt das Konzept hinter dem Prinzip

MEDI (Anmerkung: vereinfacht gesagt ist MEDI ist ein Versuch der Normierung von Lichtwirkungen durch künstliche Beleuchtung sowie Tageslichtexposition).

Die CIE hat parallel zum DIN eigene Regelwerke publiziert und bezieht sich dort auf nicht nur das Aktionsspektrum des Melanopsin, sondern entsprechend für alle Photorezeptoren, somit auf insgesamt 5 Aktionsspektren (lang-, kurz-, mittelwellige Zapfen, Stäbchen sowie ipRGC). Das DIN konzentrierte sich weiterhin auf Melanopsin (ipRGC), da die Datenbasis hierzu solider war und nicht eindeutig geklärt war, welche Relevanz die anderen 4 Aktionsspektren haben. Man ging von einer Effektgröße von 5% für die weiteren 4 Spektren aus und sah die Dominanz vermittelt über die Verschaltung der ipRGC.

Herr Lang betont die Notwendigkeit, dass für jeglichen Praxistransfer eine detaillierte Dokumentation der Beleuchtungsverhältnisse und Technologien unabdingbar ist. Die DIN V 5031-100:2015 und CIE S 026:2018 liefern hierzu grundsätzlich übereinstimmende Anhaltspunkte für den Praxistransfer. Die darin propagierten MEDI Werte für die Praxis belaufen sich auf einen Wert von mindestens 250 MEDI tagsüber und maximal 10 MEDI nachts. MEDI ist laut Herrn Lang aktuell die beste Wahl und soll helfen die Beleuchtungsverhältnisse so zu gestalten, dass durch künstliche Beleuchtung ein möglicher Mangel an Tageslicht ausgeglichen wird. Es geht nicht darum, mit künstlicher Beleuchtung das Tageslicht zu ersetzen.

Aspekte des Arbeitsschutzes:

- Lichtwirkungen sind altersabhängig
- jeglicher Praxistransfer setzt eine detaillierte Dokumentation der Beleuchtungsverhältnisse und Technologien voraus
- MEDI ist aktuell die beste Wahl, um Beleuchtungsverhältnisse zu gestalten
- MEDI Werte für die Praxis belaufen sich auf einen Wert von mindestens 250 MEDI tagsüber und maximal 10 MEDI nachts

What did we achieve? Impact of the DIN-Expert-Panels on international standardization – Peter Dehoff

Herr Dehoff gab einen historischen Abriss zur EN 12464-1:2011 auf dem Weg zu einem Standard, mit Ziel EN 12464-1:2021. Während im Jahr 2011 der Fokus auf der visuellen Wirkung von Licht lag, wurden im Laufe der Zeit die Erkenntnisse zur nicht-visuellen Wirkung von Licht ergänzt.

Herr Dehoff betont die Wichtigkeit der Betrachtung, dass Lichtplanung / Beleuchtungsplanung mindestens die folgenden 3 Aspekte berücksichtigt: (i) Licht für Sehaufgaben, (ii) Raumlicht (Helligkeit, Variabilität) und (iii) Licht bezüglich des zirkadianen Systems. Zusätzlich wird der Einfluss von Tageslicht betont. Lichtlösungen sollten stets das Zusammenspiel von Tageslicht und künstlicher Beleuchtung berücksichtigen. Stichworte der Industrie lauten hierzu "Human Centric Lighting (HCL)" und "Integrative Lighting". HCL nimmt einen stärkeren Fokus auf die nicht-visuelle Wirkung von Licht. Hingegen umfasst "Integrative Lighting" auch visuelle Effekte sowie Aspekte der Anwendbarkeit.

Herr Dehoff nimmt kurz Bezug zu diversen Schriften und Richtlinien für die Anwendung wie Veröffentlichungen von „licht.wissen“, der LiTG, vom ZVEI, sowie der DGUV (Info 215-220). Ziel muss sein laut Herrn Dehoff ein Gesamtverständnis für die Sachverhalte zu erzeugen für sowohl die Bevölkerung wie auch Designer, Architekten und Politiker. Herr Dehoff regt an, dass zukünftige Systeme eine Rückmeldung an die Nutzer geben sollten, so dass jede Person individuell erfahren kann, welche Beleuchtungssituation aktuell vorherrscht und zu unterschiedlichen Tages- und Nachtzeiten zur Verfügung steht. Sein Appell geht an die Hersteller, dass Konsumenten nicht allein ein Produkt (Leuchte) einkaufen, sondern gleichzeitig Information benötigen zu Kontext und Anwendbarkeit des Produkts „Licht“.

Aspekte des Arbeitsschutzes:

- Lichtplanung sollte folgende Faktoren berücksichtigen: Licht für Sehaufgaben, Raumlicht (Helligkeit, Variabilität) und Licht bezüglich des zirkadianen Systems
- Lichtlösungen sollten das Zusammenspiel von Tageslicht und künstlicher Beleuchtung berücksichtigen
- zukünftige Systeme sollten eine Rückmeldung an die Nutzer geben, so dass jede Person individuell erfahren kann, welche Beleuchtungssituation aktuell vorherrscht

Non-visual effects of light – a topic for Occupational Health and Safety – Corrado Mattiuzzo
(virtuelle Teilnahme)

Herr Mattiuzzo stellt kurz die KAN - die Kommission für Arbeitsschutz und Normung - vor. Der KAN gehören unterschiedliche Interessengruppen an. Dies sind Arbeitgeber (5 Sitze), Regierung (5 Sitze), Gewerkschaften (5 Sitze), DIN (1 Sitz) und DGUV (1 Sitz).

Licht hat einen Einfluss an jedem Arbeitsplatz. Nicht-visuelle Effekte von Licht können Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz beeinflussen. Die Aufgaben der KAN umfassen das Identifizieren von wissenschaftlicher Evidenz, um diese zu nutzen für das Aufrechterhalten einer Balance zwischen Standardisierungen und Regelungen durch Gesetzes- und Sozialpartner, mit dem Fokus auf den Gesundheitsschutz von Arbeitnehmern.

Herr Mattiuzzo stellt Aktivitäten der KAN vor: (i) das KAN Positionspapier (getriggert durch die DIN SPEC (TR) 67600:2013), (ii) diverse Workshops zum Thema, (iii) den AStA, (iv) die DGUV Information 215-220 sowie (v) Forschungsprojekte der BAuA und DGUV.

Aspekte des Arbeitsschutzes:

- Licht hat einen Einfluss an jedem Arbeitsplatz
- Die Aufgaben der KAN umfassen das Identifizieren von wissenschaftlicher Evidenz, um diese zu nutzen für das Aufrechterhalten einer Balance zwischen Standardisierungen und Regelungen durch Gesetzes- und Sozialpartner, mit dem Fokus auf den Gesundheitsschutz von Arbeitnehmern.

Improving indoor light conditions for daytime workers: visible and beyond the visible light spectrum – Marijke Gordijn (virtuelle Teilnahme)

Frau Dr. Gordijn zeigt Ergebnisse von 4 Studien zu der Frage, inwieweit chronobiologisches Wissen um die Lichtplanung in die Praxis transferiert werden kann. Der Fokus der Präsentation lag auf Bürobeleuchtung (Licht tagsüber). Frau Gordijn beginnt ihren Vortrag mit einer Übersicht der direkten und indirekten neuronalen Pfade der Lichtwirkung, die über die ipRGC (intrinsisch photosensitive retinale Ganglienzellen) der Retina vermittelt sind. Direkte Lichtwirkung umfasst hier beispielsweise eine Änderung der Gemütsfassung. Indirekte Lichtwirkung umfasst beispielsweise die Moderation des Effektes der Gemütsfassung auf die Leistungsfähigkeit. Die Gemütsfassung wird ebenfalls beeinflusst durch das zirkadiane System (mit demnach natürlichen tageszeitlichen Schwankungen) und den Schlaf. Zirkadianes System und Schlaf werden via ipRGC durch die Lichtwirkung beeinflusst. Frau Gordijn gibt einen Überblick über Beleuchtungsintensitäten im Alltag, von 100.000 Lux bei direktem Sonnenschein bis zu 0.001 Lux bei Sternenlicht. Dies verdeutlicht die Leistungsfähigkeit des Gehirns diese Varianz verarbeiten zu können (*kein anderes Sinnessystem des Menschen verarbeitet eine derart große Spannweite*).

Frau Gordijn präsentiert im Folgenden Ergebnisse von 4 Studien:

Studie 1:

- Feldstudie, Büroumgebung, anfängliche Stichprobengröße N=30
- Das Studienprotokoll umfasst 2 Perioden im Cross-Over Studiendesign.
 - Stichprobengröße in Periode 1 ist N=18
 - Stichprobengröße in Periode 2 ist N=14
- Es werden 2 neue Beleuchtungen verglichen:
 - Statische Beleuchtung: ca. 270 MEDI
 - Dynamische Beleuchtung: ca. 350 MEDI
- Periode 1 ist ein Vergleich von zunächst statischer Beleuchtung und folgend dynamischer Beleuchtung in der 11. Etage eines Bürogebäudes über 4 Stunden am Morgen.
- Periode 2 ist ein Vergleich von zunächst dynamischer Beleuchtung und folgend statischer Beleuchtung in der 12. Etage eines Bürogebäudes über 4 Stunden am Morgen.
- Erhoben wurde die subjektive Arbeitsproduktivität, Bedürfnis nach Erholung, Schlafqualität, Schlafbeschwerden, Tagesmüdigkeit und Gemütsverfassung.
- Ergebnisse:
 - kein signifikanter Unterschied zwischen dynamischer und statischer Beleuchtung in den hier erhobenen Parametern.

- Statistische Signifikanz im Vergleich der neuen Beleuchtung (egal ob statisch oder dynamisch) zur Beleuchtung vor Umstellung (Baseline). Grundsätzlich hatte der Einbau einer neuen Beleuchtung positive Wirkungen auf die erhobenen Parameter.
- Gründe für die nicht-Signifikanz im Vergleich der neuen statischen und neuen dynamischen Beleuchtung ist vermutlich die geringe Fallzahl und dem geringen Unterschied zwischen 270 und 350 MEDI
- Studie hat statistisch zu wenig Power, daher ist eine Übertragbarkeit der Ergebnisse mit nicht direkt möglich.

Studie 2:

- Feldstudie, Büroumgebung, Stichprobengröße N=44
- Das Studienprotokoll umfasst 3 Wochen im Cross-Over Studiendesign.
- Es werden 2 neue Beleuchtungen verglichen:
 - Statische Beleuchtung: ca. 200 MEDI
 - Dynamische Beleuchtung: ca. 600 MEDI
- Erhoben wurden Schlafqualität, subjektive Arbeitsproduktivität, Bedürfnis nach Erholung, Gemütsverfassung und Tagesmüdigkeit
- Ergebnisse:
 - Signifikante Interaktion zwischen Beleuchtung (statisch/dynamisch) und Zeitpunkt für Schlafqualität und für die subjektive Arbeitsproduktivität, jeweils Verbesserung durch die hellere Beleuchtung nach 3 Wochen.
 - Positiver Trend für die Parameter Tagesmüdigkeit, Bedürfnis nach Erholung, Gemütsverfassung; Trend zu einer Verbesserung durch die hellere Beleuchtung nach 3 Wochen.
 - Die teilnehmenden Personen gaben zu 70% an, dass sie eine "Bright Zone" am Arbeitsplatz bevorzugen würden, eine Insel mit hellem Licht, zu der sie zu bestimmten Zeiten tagsüber gehen könnten; mehr als 50% der teilnehmenden Personen gaben an, solch eine "Bright Zone" den ganzen Tag haben zu wollen.
 - *Anmerkung: Die tatsächliche Akzeptanz einer realen "Bright Zone" wurde nicht evaluiert, dies war nur eine hypothetische Frage, die "Bright Zone" wurde nicht realisiert; zudem ist von einer ganztägigen "Bright Zone" dringend abzuraten, da diese vor allem am späten Nachmittag und Abend zu Störungen des Schlafes und der zirkadianen Systems führen kann.*

Studie 3:

- Feldstudie, Umgebung Home-Office, freies Experiment, jeder der mitmachen möchte darf teilnehmen, dies ist keine wissenschaftliche kontrollierte Studie, initiiert von der *Good Light Group* als Selbstexperiment zur Selbsterfahrung; Studie ist fortlaufend.
- Die Idee der Studie ist eine Selbsterfahrung über 30 Tage mit unterschiedlichen Lichtlösungen die (am Auge) ca. 250 bis 500 MEDI erzeugen.
- Die aktuelle Stichprobengröße ist N=14 mit eigenem Licht und N=10 mit "set-up Light" (bereitgestellte Leuchten von "Wiz bulbs", „Brainlit“, „Sparckel“).
- Ergebnisse:
 - Signifikante Verbesserungen in Tagesmüdigkeit, Gemütsverfassung, Arbeitsleistung
 - Keine signifikante Verbesserung in Schlafproblemen und Bedürfnis nach Erholung
 - 70% der teilnehmenden Personen wollen mit der neuen Beleuchtung fortfahren
- *Anmerkung: dies ist keine kontrollierte Studie, sie dient eher zu Marketingzwecken im Sinne der Selbsterfahrung und Sensibilisierung gegenüber der Thematik "nicht-visuelle Lichtwirkung"; daher sind Übertragungen in die Praxis schwierig und nicht eindeutig.*

Frau Gordijn fasst die Studien 1 bis 3 wie folgt zusammen:

- Es ist möglich die tägliche Lichtexposition durch simple Anwendungen zu erhöhen.
- Eine Erhöhung der täglichen Lichtexposition führt zu positiven Effekten.
- Die Anwendungen sind simple, jedoch ist die Implementierung nicht immer einfach, Kontextabhängigkeit muss bedacht sein, sowie bauliche Regelungen und Voraussetzungen der Anwendungen.
- Allgemein werden hellere Beleuchtungslösungen im Alltag durch die teilnehmenden Personen begrüßt und angenommen.
- Die 3 Studien zeigen gemeinsame Effekte (weniger Tagesmüdigkeit, bessere Gemütsverfassung, bessere Arbeitsleistung), welches auf Replizierbarkeit hindeutet und ein positives Zeichen für den Praxistransfer ist.

Studie 4:

- Feldstudie, Umfeld eigene Wohnung der teilnehmenden Personen über 4 Wochen
- Getestet wurde die Wirkung von Nah-Infrarot-Strahlung über 3 Stunden morgens zusätzlich zur gewöhnlichen Beleuchtung
- Im Gegensatz zu Lichtstudien 1-3 ist hier eine Placebo-Kontrolle möglich, da Infrarotstrahlung vom menschlichen Gehirn nicht visuell verarbeitet wird

- Stichprobe N=56 Personen mit milden Schlafproblemen (quantifiziert durch Schlafdauer kleiner 6.5 Stunden und/oder akkumuliertes Schlafdefizit der Woche größer 1 Stunde und/oder PSQI (Fragebogen zur Schlafqualität) Score größer 5 (entspricht klinischer Relevanz))
- N=56 Personen wurden aufgeteilt in 4 Gruppen mit:
 - N=13 Placebo-Kontrolle (0 J/cm²)
 - N=14 geringe Dosis (1 J/cm²)
 - N=15 mittlere Dosis (4 J/cm²)
 - N=14 hohe Dosis (6.5 J/cm²)
- 50% der teilnehmenden Personen wurden im Sommer getestet und 50% im Winter
- Ergebnisse:
 - Signifikant positive Effekte bezüglich Gemütsverfassung, Tagesmüdigkeit, Ruhepuls und Markern des Immunsystems (IFN-Gamma und TNF-alpha, letzteres wurde signifikant nachdem statistisch für BMI kontrolliert wurde, d.h. dass BMI hier eine Rolle spielt).
 - Die Signifikanzen lagen vornehmlich für die teilnehmenden Personen in der Wintergruppe vor. D.h. es gibt eine jahreszeitliche Modellierung der Effekte.
 - Keine signifikanten Effekte bezogen auf Schlafparameter (Tiefschlaf, Schlafprobleme, Schlaffragmentierung)
 - Frau Gordijn betont, dass Replikationsstudien hierzu dringend angeraten sind, die Ergebnisse sind aus ihrer Sicht vielversprechend, gelten zunächst nur für Personen mit milden Schlafproblemen und müssen von unabhängigen Arbeitsgruppen repliziert werden, bevor Anwendungen für die Praxis abgeleitet werden können.

Aspekte des Arbeitsschutzes:

- Einbau einer neuen Beleuchtung hat positive Wirkungen
- hellere Beleuchtung tagsüber wird überwiegend positiv bewertet
- Reduktion von Tagesmüdigkeit, Erhöhung der Gemütsverfassung und Arbeitsleistung sind möglich (positive Wirkungen sind wiederholt gezeigt)
- Pilotstudie zur Wirkung von Nah-Infrarot-Strahlung zeigt positive Effekte bezüglich Gemütsverfassung, Tagesmüdigkeit, Ruhepuls und Markern des Immunsystems; Methodik muss in weiteren Studien verifiziert werden, bevor Praxistransfer erfolgen kann.

Recommendations for healthy daytime, evening, and night-time indoor light exposure – Céline Vetter (*virtuelle Teilnahme*)

Frau Dr. Vetter gibt zu Beginn ihres Vortrages eine Übersicht über die Relevanz der ipRGC (intrinsisch photosensitive retinale Ganglienzellen) für die Physiologie des Menschen. Sie betont die Unterschiede in Lichtspektren je nach Beleuchtungsquelle, im Vortrag exemplarisch am Unterschied zwischen Sonnenlicht und Licht aus fluoreszierenden Quellen. Sie betont weiterhin, dass Ergebnisse aus Laborstudien mitnichten auf reale Arbeits- und Lebensumgebungen übertragbar sind. Dieser Schluss ergibt sich daraus, dass Lichtverhältnisse unter natürlichen Bedingungen sehr gemischt, unstrukturiert und sehr individuell sind. (*Zu den Herausforderungen der Individualität siehe auch Vorträge von Prof. Skene, Prof. Lucas und Prof. Kramer*).

Frau Vetter berichtet vom ersten (2014) und zweiten (2019) *“International Workshop on Circadian and Neurophysiological Photometry in Manchester“* dar. Beide Workshops wollten mehr Klarheit in die Transferleistungen der bisherigen Erkenntnisse zu den nicht-visuellen Wirkungen von Licht bringen, da es bis dato keine detaillierten Empfehlungen hierzu gab.

Diese internationalen Workshops brachten Experten für Beleuchtung, neurophysiologische Photometrie und Schlaf sowie zirkadiane Forschung zusammen. Der Hauptfokus des Treffens lag auf der Entwicklung eines Konsensus für Tages- und Abend-/Nachtlichtumgebungen, vorläufig basierend auf dem neuen SI-konformen Messsystem (CIE S 026:2018).

Die im Vortrag präsentierten Ergebnisse sind publiziert und frei verfügbar unter:
Brown TM, Brainard GC, Cajochen C, Czeisler CA, Hanifin JP, Lockley SW, et al. (2022)
Recommendations for daytime, evening, and nighttime indoor light exposure to best support physiology, sleep, and wakefulness in healthy adults. PLoS Biol 20(3): e3001571.
<https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3001571>

Empfohlen sind laut oben zitierter Arbeit folgende MEDI-Werte:

Tagsüber: Minimum 250 MEDI am Auge; idealerweise Tageslicht; künstliche Beleuchtung idealerweise angereichert mit kürzeren Wellenlängen

Abends: Maximum 10 MEDI am Auge; Abend ist definiert als Minimum 3 Stunden vor der Zubettgehzeit; in dieser Zeit sollten Lichtquellen um kurze Wellenlängen reduziert werden

Nachts: Maximum 1 MEDI am Auge; idealerweise so dunkel wie möglich, maximal 10 MEDI am Auge (*Anmerkung hier ist ein Widerspruch in den Empfehlungen im Vortrag da zwei Maxima angegeben sind; in der Veröffentlichung sind die 10 MEDI nicht gegeben*); falls in

sicherheitskritischen Bereichen gearbeitet werden muss, sollte das Licht so wenig intensiv wie möglich sein.

Die Ergebnisse sind eine Verallgemeinerung der bekannten Prinzipien der Phototransduktion für das zirkadiane System. Eine Herausforderung war, dass für individuelle Empfehlungen die individuelle Phase des zirkadianen Systems bekannt sein muss. Da diese Information im Feld gewöhnlicherweise nicht zur Verfügung steht, haben sich die Workshop-Teilnehmer darauf geeinigt als Basis für ihre Empfehlung nur die Tageszeit zu nehmen. Die Empfehlungen gelten allein für gesunde Erwachsene (im Alter von 18 bis 55 Jahren) mit regelmäßigen Tagesabläufen. Sie gelten nicht für z. B. Kinder, ältere Menschen, Schichtarbeiter oder andere Personen, deren Lichtempfindlichkeit erheblich von der eines „durchschnittlichen“ gesunden Erwachsenen abweicht.

Frau Vetter schließt ihren Vortrag mit Empfehlungen für weitere Forschung:

- Klinische Studien zur Bestimmung von Effektgrößen (*auch von Prof. Kramer propagiert*)
- Studien zur Übertragbarkeit der Empfehlungen (aus Brown et al. 2022, Link Seite 16) für verschiedene Altersgruppen und Menschen mit unterschiedlichem Gesundheitsstatus
- Anpassung der Empfehlungen für Personen in Schichtarbeit
- Aufbau einer Datenbank für Messergebnisse aus Lichtmessungen in Studien am Menschen, auf deren Basis Modelle der Vorhersage für Effekte von Licht auf den Menschen möglich sein soll (*siehe auch Anregung von Prof. Skene und Prof. Spitschan*).
- Verfeinerung der Empfehlungen bezüglich Expositionsdauer. Sowie Beantwortung der Frage: Was bedeutet es, folgsam (compliant) gegenüber den Empfehlungen zu sein? (*Übersetzung: wie sollten wir Compliance definieren, wenn es um Empfehlungen der Gestaltung der Beleuchtungsverhältnisse geht; wann ist eine Person compliant?*)

Aspekte des Arbeitsschutzes:

- Erste Empfehlungen von MEDI Werten für die Praxis (Link zum Paper auf Seite 16), die allerdings allein für gesunde Erwachsene (im Alter von 18 bis 55 Jahren) mit regelmäßigen Tagesabläufen gelten
- Forschungsergebnisse zur nicht-visuellen Wirkung von Licht auf den Menschen sind vielfältig und grundsätzlich anwendbar, nun gilt es Erprobungen in der Praxis zu realisieren, um die Empfehlungen auf Herz und Nieren zu testen, Limits auszumachen, sowie Erkenntnisse zur Verfeinerung der Empfehlungen zu liefern.

Pupillography: A New Tool to Measure Light Effects in Humans – Jan de Zeeuw

Herr de Zeeuw gibt eine Übersicht über verschiedene Verfahren der Pupillographie. Pupillographie ist laut Herrn de Zeeuw nicht invasiv, einfach anzuwenden und preisgünstig in der Anwendung. Er folgt der Forschungsfrage, ob die Pupillenreaktion auf Lichteinfall genutzt werden kann, um eine optimale Lichtexposition tagsüber zu bestimmen, bezogen auf nicht-visuelle Effekte.

Er gibt zunächst eine Übersicht der neuronalen Verschaltung von der Retina zur Realisierung des Pupillenreflexes. Die Pupillenweite hat einen Einfluss auf die Lichtmenge im Auge und somit auf die lichtabhängige Unterdrückung von Melatonin. Es folgt die Frage danach, welcher Anteil des Pupillen-Licht-Reflexes durch Melanopsin, bzw. Stäbchen und Zapfen realisiert wird. Zudem stellt er die Frage, welches ein gutes Protokoll ist, um den Beitrag von Melanopsin am Pupillen-Licht-Reflex zu erfassen.

Herr de Zeeuw zeigt Daten, dass der Pupillen-Licht-Reflex am besten durch das Aktionsspektrum der ipRGC (Melanopsin) und weniger durch die neuronale Antwort von Zapfen und Stäbchen der Retina erklärt wird. Dies trifft vor allem auf die anhaltende Antwort der Pupille zu, die nach wenigen Millisekunden nach dem Lichteinfall einsetzt (post-illumination pupil response, PIPR). PIPR wird als Marker der Melanopsin-Funktion dargestellt (in der Konstellation von 1 Sekunde Lichtpuls und 6 Sekunden PIPR). Ein Alterseffekt scheint hier nicht vorzuliegen. Beeinflusst wird PIPR durch Erkrankungen des Auges, wie zum Beispiel Glaukom oder Diabetes.

Herr de Zeeuw schließt mit der Feststellung, dass PIPR als Marker von nicht-visuellen Effekten bei Lichtexposition tagsüber genutzt werden kann. Es liegt ein Dosis-Antwort-Verhalten vor hinsichtlich der melanopischen Beleuchtungsstärke und spektraler Zusammensetzung des Lichts. PIPR kann somit laut Herrn de Zeeuw genutzt werden, um gesunde Beleuchtung zu designen. PIPR scheint als Marker in der Diagnose von Parkinson einsetzbar zu sein, hierzu sind allerdings weitere klinische Studien angeraten.

Aspekte des Arbeitsschutzes:

- Der Pupillenreflex ist ein Marker der Wirkung von Licht auf die ipRGC
- PIPR kann als Marker von nicht-visuellen Effekten bei Lichtexposition tagsüber genutzt werden
- PIPR scheint als Marker in der Diagnose von Parkinson einsetzbar zu sein

Living in Biological Darkness – Dieter Kunz

Herr Dr. Kunz beginnt seinen Vortrag mit einem Verweis auf die evolutionäre Herkunft des Menschen aus Afrika. Er bettet seine Ausführungen in den folgenden Kontext ein: Menschen (wie alle Organismen) brauchen zum Überleben (i) Nahrung, (ii) Schutz selbst nicht zur Nahrung Dritter zu werden und (iii) Möglichkeiten der Fortpflanzung. Da der Mensch ein Tier mit visueller Dominanz ist, muss der Mensch – laut Herrn Dr. Kunz – nachts schlafen, weil seine Sehfähigkeit nachts derart eingeschränkt ist, dass (i-iii) nicht gewährleistet ist. Der moderne Mensch lebt, laut Herrn Dr. Kunz, in einer Welt “biologischer Dunkelheit”, welches ein Risiko für Wohlbefinden und Gesundheit ist.

Herr Kunz zeigt Beispiele eigener Messungen von Lichtexposition Berliner Einwohner. Die Lichtexpositionen erstrecken sich im Median zwischen ca. 200 und ca. 50 Lux. Herr Kunz adressiert den Aspekt der Licht-Historie den Befund, dass die Menge an Tageslicht die Wirkung von künstlicher Beleuchtung am Abend abschwächen kann (weniger Melatonin-unterdrückung). Er legt dar, dass es saisonale Variation im Melatoninhaushalt gibt, vornehmlich bei Frauen. Dies betrifft auch den Serotoninhaushalt.

Herr Kunz widmet sich im weiteren Verlauf seines Vortrages dem Thema Mangel an Melatonin aufgrund einer Calcifizierung des Pinealorgans (der Zirbeldrüse). Er zeigt eine Korrelation zwischen Menge an Melatonin und Grad der Calcifizierung der Zirbeldrüse, je mehr Calcifizierung desto weniger Melatoninsynthese. Hypopinealism (also eine geschrumpfte Zirbeldrüse) steht im Zusammenhang mit der Entwicklung von Alzheimer.

Abschließend plädiert Herr Kunz für die Beibehaltung der Umstellung auf “Sommerzeit” und eine Anpassung der Zeitzonen in Europa.

Aspekte des Arbeitsschutzes:

- “biologische Dunkelheit” sollte allein auf den Zeitraum des Schlafes in der Nacht begrenzt sein
- die Menge an Tageslicht kann die Wirkung von künstlicher Beleuchtung am Abend abschwächen
- saisonale Variation im Serotoninhaushalt und Melatoninhaushalt, mit gegebenenfalls Unterschieden zwischen den Geschlechtern
- Veränderungen der Morphologie der Zirbeldrüse könnte sich als Risikomarker herausstellen

Dose-response relationship for melanopic-equivalent daylight illuminance and polysomnographically assessed night-time sleep – Christian Cajochen

Professor Cajochen legt zu Beginn seines Vortrages die Verschaltungswege vom Auge, über die ipRGC zu den nicht-visuellen Wirkungen von Licht dar. Er verweist auf akute Lichtwirkungen bezüglich Wachheit in Mäusen, die nicht über den SCN laufen. Es folgt eine Darlegung, dass Licht vermittelt über die ipRGC/Melanopsin im Menschen wie der Maus zu einer längeren Schlaflatenz führt. Diese Erkenntnisse stammen unter anderem aus Forschungsarbeiten für die experimentell im Nagetiermodell die einzelnen Sehpigmente (Stäbchen, Zapfen, ipRGC) ausgeschaltet wurden, um deren Einfluss individuell auszuschließen. Herr Cajochen fügt den Hinweis ein, besser abends nicht das Smartphone mit ins Bett zu nehmen. Herr Cajochen zeigt Ergebnisse einer Erhebung bei Jugendlichen zwischen 14 und 20 Jahren. Die Ergebnisse zeigen, dass 99% der teilnehmenden Personen in der letzten Stunde vor dem Zubettgehen ihr Smartphone verwenden. Da Smartphones bauartbedingt Displays mit hohen kurzweiligen Anteilen haben, stehen sie im Verdacht nachteiliger Wirkung auf den Schlaf. Herr Cajochen legt dar, dass die Menge an Tiefschlaf abnimmt, wenn die Menge an blauem Licht vor dem Schlaf zunimmt.

Blaues Licht wirkt auf den SCN und erzeugt Wachheit. Grünes Licht wirkt auf den VLPO (ventrolateralen präoptischen Nukleus) im Sinne einer Regulation des Schlafes. Dies bedeutet, dass die neuronalen Pfade bezgl. Schlaf und Wachheit im Sinne von nicht-visuellen Lichtwirkungen unterschiedlich sind. Der Zusammenhang zwischen Lichtintensität und Grad der Wachheit ist unter kontrollierten Bedingungen im Labor positiv und blau-sensitiv. D.h. je heller das Licht und je blauer das Licht, desto deutlicher ist der Effekt auf die Wachheit. *(Anmerkung: durch Prof. Skene, Prof. Lucas, Prof. Kramer, und Dr. Vetter wurde darauf hingewiesen, dass Ergebnisse aus dem Labor nicht immer unter realen Bedingungen repliziert werden können, da Lichtexposition unter realen Bedingungen durch eine – noch nicht im Detail verstandene – Vielzahl an weiteren Einflussfaktoren modifiziert wird)*

Herr Cajochen stellt die Ergebnisse einer Meta-Analyse (Lighting Res. Technol. 2022) vor. Sie konnten in dieser Arbeit zeigen, dass Abendlicht vor dem Schlafengehen eine wachmachende Wirkung hat und dosisabhängig (MEDI) die Schlaflatenz verlängert und die Schlafdauer verkürzt. Unterstützt durch Ergebnisse einer Laborstudie (N=18 Personen, 4 Gruppen mit jeweils unterschiedlichen Lichtexpositionen (i=27 cd/m²; ii=62 cd/m²; iii=135 cd/m²; iv=284 cd/m²) über 4 Stunden vor dem Schlaf, insgesamt 3 Nächte im Labor) legt Herr Cajochen dar, dass die Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen MEDI und Schlaflatenz bei Intensitäten < melanopisch 150 lx einsetzt. Ebenfalls Dosis abhängig ist die Unterdrückung von Melatonin und eine Phasenverschiebung des Beginns der natürlichen Melatoninausschüttung am Abend. Ferner legt die Auswertung nahe, dass wärmere Lichtfarben am Abend und metamerisch gewichtetes schwach melanopisch wirksames Licht den negativen Effekt auf den Schlaf signifikant reduzieren kann.

Herr Cajochen schließt mit den folgenden Feststellungen:

- ipRGC spielen eine bedeutende Rolle bezüglich der akuten Effekte auf den Schlaf bei nachaktiven Tieren
- MEDI ist ein robuster Prädiktor der nicht-visuellen Wirkung von Licht auf den Schlaf beim Menschen
- Eine Kontrolle der “melanopischen Stärke” von metameren Displays kann helfen die negativen Wirkungen von Licht am Abend zu reduzieren, ohne die visuelle Erscheinung zu verändern. Dies sollte in der Entwicklung von Displays in der Zukunft berücksichtigt werden.

Aspekte des Arbeitsschutzes:

- Blaues Licht wirkt auf den SCN und erzeugt Wachheit
- Grünes Licht wirkt auf den VLPO (ventro-lateralen präoptischen Nucleus) im Sinne einer Regulation des Schlafes
- 99% der 14-20-jährigen Personen verwenden in der letzten Stunde vor dem Zubettgehen ihr Smartphone: aus chronobiologischer Sicht ist davon abzuraten
- Displays können derart manipuliert werden, dass das nicht-visuelle System weniger angesprochen wird und gleichzeitig keine visuell wahrnehmbare Veränderung eintritt

Use of daylight and its characteristics in lighting solutions for non-visual effects – Martine Knoop

Frau Dr. Knoop legt in ihrem Vortrag Gründe dafür dar, Tageslicht als Referenz für Standards und Regulationen zur nicht-visuellen Wirkung von Licht zu nutzen. D65 (6500 K) ist eine synthetische spektrale gemittelte Powerverteilung die repräsentativ für bedeckte Himmel ist. Basierend auf Ergebnissen der Arbeitsgruppe um Frau Dr. Knoop legt sie dar, dass D65 die nicht-visuelle Lichtwirkung um 10-20% unterschätzt. Designer und Architekten brauchen akkurate Messwerte zur Gestaltung von Tageslicht-Modellen. Die Messungen von Frau Knoop zeigen zum Beispiel eine Fassadenseiten-Abhängigkeit der CCT Werte (correlated color temperature).

Frau Knoop präsentiert 4 Simulationstools für Designer und Architekten:

- Lark
- Alfa
- Lumos
- Owl

Frau Knoop adressiert im Folgenden aktuelle Forschung in ihrem Labor:

- Entwicklung adaptiver Tageslichtsensoren, die auf Dächern montiert werden können. Das aktuelle Modell umfasst ein Kamerasystem mit open Source Software, zu geringen Baukosten.
- Entwicklung von virtual Reality Lösungen zur Tageslicht-Stimulation, mit dem Ziel der Steigerung von Wohlbefinden, Regeneration, Entrainment und Schlafqualität. Einsatzgebiete sind z.B. Pflegeheime bzw. Menschen, die keine Möglichkeit haben nach draußen zu gehen.

Aspekte des Arbeitsschutzes:

- Lichtmessungen von sowohl künstlicher Beleuchtung wie auch Tageslicht müssen spezifischer werden, Verallgemeinerungen können zu Unterschätzungen der Wirksamkeit führen
- Tageslicht-Simulationen können therapeutisch eingesetzt werden

Time-Dependant Complexity of Non-Visual Responses to Light – Manuel Spitschan (virtuelle Teilnahme)

Herr Professor Spitschan stellt Ergebnisse von 4 Forschungslinien vor.

Projekt 1: Time-domain representations

- Herr Spitschan erklärt Unterschiede zwischen Sinuskurve, Rechteck-Welle, Tastgrad (duty cycle) und Gaussian noise
- Retinale Lichtexposition ist unter realen Bedingungen eine Mischung aus diesen vier und wirkt sich variabel aus aufgrund von u.a. (i) Umgebungsveränderungen, (ii) Kopfdrehbewegungen, (iii) Blickrichtungsänderungen, (iv) Pupillengröße
- Die statistischen Eigenschaften dieser Einflussgrößen hinsichtlich der nicht-visuellen Lichtwirkung sind weitestgehend unklar.

Projekt 2: Temporal transfer function in pupil control

- Der Einfluss von ipRGC, Stäbchen und Zapfen auf die Pupillenweite ist individuell und abhängig von der Frequenz des Stimulus
- Es gibt eine s-Zapfen Opponentz in der Pupillenreaktion im Vergleich zu ipRGC und L+M-Zapfen

Projekt 3: Circadian flash “illusions”

- Kurze, intensive Lichtpulse (flashes) können in manchen Personen eine stärkere Wirkung erzeugen als eine im Vergleich langandauernde Lichtexposition mit weniger Intensität

- Konkret bedeutet dies, dass man mit kurzzeitig höherer Lichtexposition gleiche Wirkungen erzeugen kann, wie im Vergleich bei längerer Lichtexposition mit geringeren Intensitäten, so dass in Summe im ersten Fall weniger Energie aufzuwenden ist.

Projekt 4: Documenting time-varying light exposure

- Selektion der okularen Lichtexposition ist ein Verhalten, da Menschen durch ihre täglichen Aktivitäten (z.B. Aufenthalt drinnen / draußen; Gebrauch von lichtemittierenden Geräten) ihre persönliche Licht-Umwelt beeinflussen. Dies spiegelt sich dann in jeweils individuellen nicht-visuellen Lichtwirkungen wider.
- Ein Team um Herrn Spitschan entwickelt aktuell eine ENLIGHT Checklist, eine Checklist zur Erfassung individueller Lichtexpositionsmuster

Aspekte des Arbeitsschutzes:

- Lichtexposition variiert individuell unter anderem aufgrund von Umgebungsveränderungen, Kopfdrehbewegungen, Blickrichtungsänderungen, Pupillengröße
- Die statistischen Eigenschaften dieser Einflussgrößen hinsichtlich der nicht-visuellen Lichtwirkung sind weitestgehend unklar
- Kurze, sehr helle Lichtblitze (=kurzzeitig viel Energie, unterm Strich aber weniger Energie verbrauchend) können langanhaltende, weniger helle Lichtexpositionen (=situativ weniger Energie, unterm Strich aber mehr Energie verbrauchend) ersetzen, jedoch stehen sich in der Praxis hierbei der Energieverbrauch und die Bereitschaft der Anwendung gegenüber. Kurze, sehr helle Lichtblitze sind für viele Bereiche wahrscheinlich keine gangbare Lösung für die Praxis.

Activities of the Federal Institute for Occupational Safety and Health in the field of non- visual effects of light – Ljiljana Udovicic

Frau Dr. Udovicic stellt zu Beginn ihres Vortrages die BAuA kurz vor.

Im Anschluss präsentiert Frau Udovicic 4 Projekte der BAuA:

Projekt 1: Lichtexposition in schichtarbeitenden Krankenschwestern in London und Dortmund

- Gemeinschaftsprojekt mit Public Health England (PHE); Kollaboration mit Dr. Luke Price
- Da London und Dortmund auf demselben Breitengrad liegen ist ein Vergleich hinsichtlich Tageslichtexposition möglich
- Feldstudie mit N=85 teilnehmenden Personen, N=42 Krankenschwestern vom Klinikum Dortmund und N=43 Krankenschwestern vom King`s College Hospital in London
- Die Krankenschwestern tragen zur Lichtmessung Actiwatch Spectrum von Philips Respironics
- Ergebnisse:
 - Lichtexposition an Arbeitstagen ist bestimmt durch die Arbeitszeit; Maximum des gemittelten MEDI während der Heimwege, weil dann Aufenthalt draußen
 - 12-Stunden Tagschicht mit geringem gemittelten MEDI in allen Jahreszeiten; Verdacht auf Störungen des Schlaf-Wach-Rhythmus; Anpassung der Arbeitszeiten empfohlen
 - 8-Stunden Spätschicht mit hohem gemittelten MEDI am Morgen/Mittag
 - Nachtschicht führt zu Tageslicht nach Schichtende auf dem Heimweg, was das Entrainment stören kann

Projekt 2: Lichtexposition in Arbeitern in unterschiedlichen Berufen

- laufende Feldstudie in Dortmund (2019-2023)
- Teilnehmende sind u.a. ältere Krankenschwestern, Lagerarbeiter, Hotelmitarbeiter, Lehrer, Laboranten, Gärtner, Dachdecker, Mitarbeitenden der Straßenreinigung
- Datenerhebung via ActTrust Gerät (Condor Instruments)
- Datensammlung jeweils eine Arbeitswoche im Winter (Dezember, Januar, Februar) und Sommer (Mai, Juni, Juli)
- Auswertung MEDI via Blaulichtsensor
- Ergebnisse:
 - Hohe MEDI während Zeiten des Heimwegs
 - Tagarbeiter und diejenigen die vornehmlich draußen arbeiten zeigen höhere MEDI
 - Nachtarbeiter haben die Hälfte der MEDI nachts (*Anmerkung: dies zeigt eine reduzierte Amplitude des Lichts, somit eine Reduktion der Zeitgeberstärke, welches das Entrainment stört*)

Projekt 3: Nicht-visuelle Effektivität von Licht in der Nacht als Funktion der Lichtrichtung

- Laufende Studie (2020-2022) an der TU Berlin
- Ein Ziel ist es in der Nacht durch Licht gezielt die Wachheit zu erhöhen, ohne Melatonin zu unterdrücken
- Stichprobe N=36 in 3 unterschiedlichen Lichtkonditionen
- 5-h Sessions mit Messungen von Aufmerksamkeit (PVT, Go/NoGo task, N-Back Test), subjektive Müdigkeit (KSS) und Melatonin
- Bekannt ist: die Unterdrückung von Melatonin durch Licht hängt von der Lichtrichtung ab; es gibt eine stärkere Unterdrückung bei Licht auf der unteren Hälfte der Retina
- Es wurden keine Ergebnisse präsentiert.

Projekt 4: Effekt von Licht auf Wachheit am Tag

- Laufendes Promotionsvorhaben (2020-2024)
- Evaluation der Wachheit während des Tages unter verschiedenen langen Expositionszeiten
- Laborstudie, N=44 teilnehmende Personen in 3 unterschiedlichen Lichtkonditionen (Variation in spektraler Zusammensetzung und Intensität)
- Es wurden keine Ergebnisse präsentiert.

Aspekte des Arbeitsschutzes:

- Lichtexposition an Arbeitstagen ist bestimmt durch die Arbeitszeit; Maximum der Lichtexposition draußen auf dem Heimweg
- 12-Stunden Tagschichten führen zu einer Unterversorgung mit Tageslicht; signifikant weniger MEDl im Vergleich zu kürzeren Tagschichten
- Tageslicht nach der Nachtschicht sollte vermieden werden
- Menschen, die draußen arbeiten, bekommen statistisch mehr Tageslicht
- die Unterdrückung von Melatonin durch Licht hängt von der Lichtrichtung ab
- Es wird an technischen Lösungen gearbeitet, die es erlauben, in der Nacht durch Licht gezielt Wachheit zu erhöhen, ohne gleichzeitig Melatonin negativ zu beeinflussen

Summary of the event – *Kim Ihlow / Dieter Lang*

Herr Lang und Herr Ihlow bedanken sich bei den Vortragenden und dem Publikum und wünschen allen einen schönen Abend.

Allgemeine Anmerkungen zu den Vorträgen – Thomas Kantermann

Die Vorträge haben umfassend dargelegt welche Fülle an Wissen zur nicht-visuellen Lichtwirkung vorliegt. Trotz großer Wissenslücken ist die Datenlage in vielen Bereichen ausreichend für einen Praxistransfer (wenn auch oftmals eher als Kompromisslösung aufzufassen), um dort auch weitere Testungen unter realen Bedingungen zu ermöglichen. Ausnahmen sind der Bereich Schichtarbeit und Behandlungen von Menschen mit medizinischen Leiden, da hier noch keine konkreten Empfehlungen zur Beleuchtungsgestaltung vorliegen.

Die gesamte Retina ist relevant zur Beurteilung einer nicht-visuellen (wie auch visuellen) Lichtwirkung. Die ipRGC sind wichtige Komponenten mit definierter Funktion, aber nur ein Teil des Systems Retina. (s-)Zapfen sind ebenfalls wichtig. Die Wirkung von monochromatischem Licht kann nicht 1:1 durch polychromatisches Licht repliziert werden kann.

Adaptationsprozesse von Lichtmodifikationen sind weitgehend noch nicht verstanden. Kurze helle Lichtpulse (flashes) können mitunter mehr wirksam sein als langdauernde weniger helle Exposition. Für die Anwendung ist dies jedoch nur bedingt ein Vorteil, auch wegen wohl fehlender Compliance.

Wirkung auf Melatonin ist über das circadiane System vermittelt und Wachheit und Aufmerksamkeit scheinen nicht (allein) via SCN (also nicht via innere Uhr) sondern über ipRGC an Neurone der Schlaf-Wachregulation. Daraus folgt, dass eine holistische Betrachtung einer Lichtwirkung über einen Einfluss auf den SCN hinausgeht.

Die Wechselwirkung von Tageslicht/Sonnenlicht und künstlicher Beleuchtung ist nicht ausreichend untersucht. Keines der Erklärungsmodelle deckt dies zufriedenstellend ab. Dies betrifft sowohl parallele Wirkung tagsüber wie ebenso die Wirkung von Tageslicht auf die Wirkung von künstlicher Beleuchtung am Abend oder in der Nacht. Ebenso, die Wirkung von Licht in der Nacht auf die Wirkung von Tageslicht nach eben dieser Nacht. Die Wirkung von Licht ist zudem individuell sehr verschieden und Individuen unterscheiden sich in Verhaltensweisen, die zu wiederum unterschiedlichen Expositionsmustern führen können.

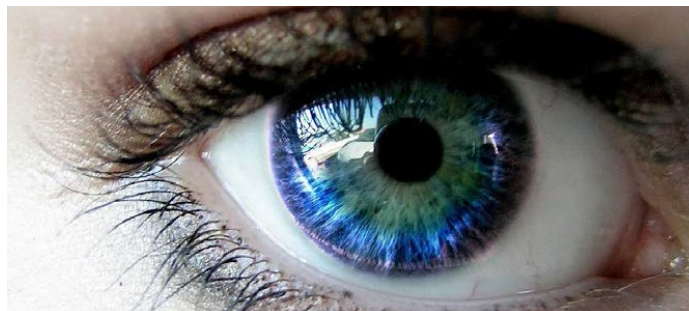
Es fehlen geeignete Messinstrumente, um reliable und valide Langzeitmessungen unter realen Bedingungen durchzuführen. Zudem muss verstanden sein, dass Lichtexposition ein Verhalten ist, da sich Individuen ihre Lichtexposition selbst gestalten (u.a. durch Aufenthalt drinnen/draußen und den Gebrauch von lichtemittierenden Geräten).



Please register by
June 10th, 2022 by
e-mail to

marija.braatz@din.de

with copy to:
daniela.born@din.de



Quelle: Fotolia

10th DIN-Expert-Panel " *Effect of light on human beings*"

Thursday, June 30th, 2022, 09:00 – 17:00 h (CET), Hybrid meeting

09:00 h **Welcome** – *Dr. Michael Stephan, DIN Member of the Management Board (COO)*

Program

09:10 h **Introduction** – *Dieter Lang*

1. General Basics

09:20 h **Past and Future of Light & Health** – *Debra Skene*

09:40 h **Complexity of the Eye in Non-Visual Effects** – *Robert Lucas*

10:00 h **Past and Future of Chronomedicine** – *Achim Kramer*

10:20 h **Questions and Answers**

10:30 h **Coffee Break**

2. Standards and other regulations

10:50 h **From DIN V 5031-100:2009 to CIE S 026:2018** – *Dieter Lang*

11:10 h **What did we achieve? Impact of the DIN-Expert-Panels on international standardization**
Peter Dehoff

11:30 h **Non-visual effects of light – a topic for Occupational Health and Safety** – *Corrado Mattiuzzo*

11:50 h **Questions and Answers**

12-13 h **Lunch Break**

Veranstalter:

DIN Deutsches Institut für Normung e. V.
DIN-Normenausschuss Lichttechnik (FNL)
Am DIN-Platz
Burggrafenstraße 6
10787 Berlin

3. From Science to Application

3.1 Cooperation between Science and Industry

- 13:00 h **Improving indoor light conditions for daytime workers: visible and beyond the visible light spectrum** – *Marijke Gordijn*
- 13:20 h **Recommendations for healthy daytime, evening, and night-time indoor light exposure**
Celine Vetter
- 13:40 h **Questions and Answers**
- 13:50 h **Short Break**

3.2 Day-Light

- 14:00 h **Pupillography: A New Tool to Measure Light Effects in Humans** – *Jan de Zeeuw*
- 14:20 h **Living in Biological Darkness** – *Dieter Kunz*
- 14:40 h **Dose-response relationship for melanopic-equivalent daylight illuminance and polysomnographically assessed night-time sleep**
Christian Cajochen
- 15:00 h **Questions and Answers**
- 15:10 h **Coffee Break**
- 15:30 h **Use of daylight and its characteristics in lighting solutions for non-visual effects**
Martine Knoop
- 15:50 h **Time-Dependant Complexity of Non-Visual Responses to Light** – *Manuel Spitschan*

3.3 Light at Night

- 16:10 h **Activities of the Federal Institute for Occupational Safety and Health in the field of non-visual effects of light** – *Ljiljana Udovicic*
- 16:30 h **Questions and Answers**
- 16:45 h **Summary of the event** – *Kim Ihlow / Dieter Lang*
- 17:00 h **End of the event**