

# Psychische Gesundheit in der Arbeitswelt

Beleuchtung

baua: Bericht

**Forschung  
Projekt F 2353**

J. Krüger

**Psychische Gesundheit  
in der Arbeitswelt**

**Beleuchtung**

Dortmund/Berlin/Dresden 2016

Der vorliegende Bericht wurde im Rahmen des BAuA-Forschungsprojekts „Psychische Gesundheit in der Arbeitswelt - Wissenschaftliche Standortbestimmung“ erstellt und ist dem Themenfeld „Technische Faktoren“ zugeordnet. Weitere Informationen zum Projekt finden Sie unter [www.baua.de/psychische-gesundheit](http://www.baua.de/psychische-gesundheit). Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Autor: Jan Krüger  
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Titelbild: eckedesign, Berlin

Titelgestaltung: eckedesign, Berlin

Herausgeber: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA)  
Friedrich-Henkel-Weg 1 - 25, 44149 Dortmund  
Postanschrift: Postfach 17 02 02, 44061 Dortmund  
Telefon: 0231 9071-2071  
Telefax: 0231 9071-2070  
E-Mail: [info-zentrum@baua.bund.de](mailto:info-zentrum@baua.bund.de)  
Internet: [www.baua.de](http://www.baua.de)

Berlin:  
Nöldnerstr. 40 - 42, 10317 Berlin  
Telefon: 030 51548-0  
Telefax: 030 51548-4170

Dresden:  
Fabricestr. 8, 01099 Dresden  
Telefon: 0351 5639-50  
Telefax: 0351 5639-5210

Nachdruck und sonstige Wiedergabe sowie Veröffentlichung, auch auszugsweise, nur mit vorheriger Zustimmung der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.

[www.baua.de/dok/7930556](http://www.baua.de/dok/7930556)

DOI: 10.21934/baua:bericht20160713/4b

ISBN 978-3-88261-196-0



## Abstract

Die Beleuchtung ruft im Wesentlichen zwei Wirkungen hervor, welche mittelbar oder unmittelbar für die psychische Gesundheit wirksam werden können. Mittelbar können Lichtumgebungen über die visuelle Wahrnehmung (visueller Wirkungspfad) Einfluss nehmen. Zusätzlich können sich nicht visuelle Lichtwirkungen (auch melanopische Lichtwirkungen) unmittelbar auf Physiologie und Verhalten auswirken.

**Definition visuelle Lichtwirkungen:** Die Begriffe Licht und Beleuchtung sind im internationalen Lighting Vocabulary der internationalen Beleuchtungskommission festgelegt (CIE, 2013, CIE, 2011).

**Messung visuelle Lichtwirkungen:** Die Messung der lichttechnischen Eigenschaften von Lichtquellen und Beleuchtung für den visuellen Wirkungspfad sind durch fotometrische Größen beschrieben. Dabei ist die Lichtstärke die einzige Messgröße des internationalen Einheitensystems (SI), die (durch die Wichtung mit der Hellempfindlichkeitskurve) auf der menschlichen Wahrnehmung beruht.

**Beanspruchungen Sehkomfort:** Die Beleuchtung in Arbeitsstätten kann sich durch den Sehkomfort sowie eine Sichtverbindung nach außen mittelbar über den visuellen Wirkungspfad auf psychische Faktoren wie Befinden und Beschwerden auswirken. Dabei kann die Beleuchtung eine verminderte Wirksamkeit für die Aufnahme, Verarbeitung und Umsetzung visueller Information bewirken, die psychische Beanspruchungen hervorruft. In diesem Fall spricht man von visueller Ermüdung bzw. visuellem Diskomfort. Dieser Zustand kann durch zerebrale Beschwerden, Augen- und Sehbeschwerden gekennzeichnet sein.

**Offene Forschungsfragen Sehkomfort:** Trotz langer Forschungstradition ist die Suche nach reliablen Maßen für die visuelle Ermüdung bis heute mit methodischen Problemen behaftet. Ursachen von Augenbeschwerden sind weitestgehend unbekannt. Daher wird hinsichtlich dieser klassischen Aspekte der Beleuchtung Forschungsbedarf gesehen.

**Gestaltungswissen Sehkomfort:** Weiterhin kann festgehalten werden, dass die Vermeidung von Augenbeschwerden bei der Beleuchtungsplanung und Gestaltung im betrieblichen Kontext im Regelwerk berücksichtigt ist. Anforderungen und Gestaltungswissen können unter der Rubrik Sehkomfort zusammengefasst werden. Zwar wird der Begriff Sehkomfort im Regelwerk nicht explizit verwendet, jedoch haben Gütemerkmale der Beleuchtung (z. B. Flimmern, psychologische Blendung, Schatten oder Gleichmäßigkeit) direkten Bezug zum Sehkomfort. Anhand des Reviews kann abgeschätzt werden, dass der visuelle Komfort eher eine nachrangige Rolle für die psychische Gesundheit spielt.

**Beanspruchungen Sichtverbindung:** Im Gegensatz dazu gibt es erste Hinweise darauf, dass das Tageslicht und die Sichtverbindung nach außen mit positiven Effekten für das Befinden verbunden sein können. Trotzdem ist die Studienlage noch nicht abschließend gesichert (Aries et al., 2015). Die positive Wirkung von Tageslicht zeigt sich deutlicher in Kombination mit einer Sichtverbindung nach außen. Darüber hinaus erzeugen Fenster eine Verbundenheit zur Außenwelt, geben Informationen über Tageszeit, Wetter, saisonale Veränderungen und reduzieren/vermeiden Gefühle von Enge und Klaustrophobie. Fenster können die Augengesundheit unterstützen, indem die Möglichkeit zur Weitfokussierung gegeben und vorübergehender Kurzsichtigkeit entgegengewirkt wird. Bei Studien und Er-

kenntnissen zur Sichtverbindung nach außen muss darauf hingewiesen werden, dass sich die mittelbaren Wirkungen der Sichtverbindung nicht von den unmittelbaren Wirkungen des Tageslichts (nicht visueller Wirkungspfad) trennen lassen. Erkenntnisse zu den nicht visuellen Wirkungen (z. B. Synchronisation und Stabilisierung der inneren Uhr durch Tageslicht) zeigen enge Verbindungen zur psychischen Gesundheit und sind gleichermaßen relevant für das Merkmal Sichtverbindung.

**Gestaltungswissen Sichtverbindung:** Die Bedeutung von Tageslicht und der Sichtverbindung nach außen für die Sicherheit, Gesundheit und das Wohlbefinden von Beschäftigten spiegelt sich im aktuellen Entwurf der Arbeitsstättenverordnung (Verordnung zur Änderung von Arbeitsschutzverordnungen, Artikel 1 Änderung der Arbeitsstättenverordnung vom 29. Oktober 2014) sowie im Normenwerk zum Tageslicht wider. Das Gestaltungswissen bezieht sich hauptsächlich auf die Anordnung und Größe der verglasten Flächen sowie den Sonnen- und Blendschutz.

**Forschungsbedarf Sichtverbindung:** Nicht visuelle Aspekte wie Synchronisation und Stabilisierung der inneren Uhr sind bisher im Regelwerk und Gestaltungswissen nicht berücksichtigt. Die Kombinationswirkung von Aussicht und Tageslicht ist selten untersucht. Daher wird hier erhöhter Forschungsbedarf gesehen.

**Definition nicht visuelle Lichtwirkungen:** Neben den visuellen Wirkungen auf die Psyche haben medizinische und biologische Studien der letzten Jahre gezeigt, dass die Beleuchtung die innere Uhr und damit verbundene circadiane Rhythmen beeinflusst. Aus der Definition der nicht visuellen Lichtwirkungen (auch melanopische Lichtwirkungen) in DIN SPEC 5031-100 (DIN SPEC 5031-100:2011, 2011) geht ein direkter Einfluss auf Physiologie und Verhalten hervor.

**Beanspruchungen nicht visueller Lichtwirkungen:** Beim nicht visuellen Wirkungspfad müssen akute Wirkungen auf Herz-Kreislauf-System und Leistung von mittelfristigen Wirkungen auf das circadiane System (Synchronisation, Desynchronisation) getrennt werden. Hinsichtlich der akuten Wirkungen der Beleuchtung belegt eine Vielzahl von Studien die aktivierende Wirkung von hellem und blau angereichertem Licht. Die aktivierende Wirkung bezieht sich dabei auf kognitive Effekte der Aufmerksamkeit, der exekutiven Funktion und der Gedächtnisleistung. Gestützt werden diese Erkenntnisse durch Neuroimaging-Studien in denen gezeigt werden konnte, dass Hirnreaktionen sich in Abhängigkeit der Wellenlänge und Lichtintensität verändern (Vandewalle et al., 2009). Die Studien lassen insgesamt den Schluss zu, dass die mit intensivem Licht erhöhte Aktivierung sowie die weniger beanspruchte Aufmerksamkeit nicht nur die Sehleistung, sondern generell die Arbeitsleistung erhöht. Ähnliche akute Effekte der Lichtexposition zeigen sich in der Wirkung auf das Herz-Kreislauf-System. Neben dem Einfluss von Licht auf das Cortisollevel sind Wirkungen auf die Herzrate, den Blutdruck und die Herzratenvariabilität dokumentiert. Lang- und mittelfristig können Beleuchtungsbedingungen Einfluss auf Schlaf-Wach-Rhythmus, Befinden und psychische Störungen haben. Eine Verbindung zwischen Licht und psychischen Störungen stellen medizinische Studien der Lichttherapie her. Generell herrscht Einigkeit über die Wirksamkeit der Lichttherapie zur Behandlung von saisonalen und nicht saisonalen depressiven Symptomen. Im Review werden medizinische Studien aufgegriffen, weil sich aus den Erkenntnissen eine maßgebliche Bedeutung für nicht klinische Populationen und die Beleuchtung von Arbeitsstätten ableiten lässt. Für die Wirkung der Beleuchtung auf den Schlaf-Wach-Rhythmus kann festgehalten werden, dass das Schlaftiming durch die individuelle Lichtexposition mitbestimmt wird. Weiterhin zeigt sich ein positiver Trend zwischen der Lichtexposition in den Tagesstunden und

Schlafqualität bzw. Einschlafdauer. Demgegenüber ist die Lichtexposition mit höheren Blauanteilen am Abend und in der Nacht mit schlechterem Schlaf und einer Störung der inneren Uhr assoziiert.

Es wird deutlich, dass die Beleuchtung je nach Expositionszeitpunkt eine Anpassung (Synchronisation) oder Störung der circadianen Physiologie hervorrufen kann. Für die Synchronisation spielt die Beleuchtung in den Morgenstunden eine bedeutendere Rolle als das Licht in den Mittagsstunden. Die Studien des Reviews deuten darauf hin, dass Personen mit einer höheren täglichen Lichtdosis höhere Vitalitätslevel aufweisen, wohingegen sich bei geringen Beleuchtungsniveaus ein Trend zu chronischer Müdigkeit zeigt.

Für alle Studien des nicht visuellen Wirkungspfads kann generell festgehalten werden, dass zur nachvollziehbaren Interpretation der Lichtwirkungen folgende Störgrößen dokumentiert sein müssen: Art der Lichtexposition, Lichthistorie (photoc history), individuelle circadiane Phase, Level der Schlafdeprivation, Art der Arbeitsaufgabe und Alter. Bisher lassen die Unterschiede der betrachteten Studien hinsichtlich dieser genannten Störgrößen keine endgültige Aussage über die Lichtwirkung auf die Psyche zu.

**Forschungsbedarf nicht visueller Lichtwirkungen:** Forschungsbedarf ergibt sich insbesondere für die Bedeutung von biologischer Dunkelheit und Lichtmangel für Psyche und Leistung.

**Messung nicht visueller Lichtwirkungen:** Für die Messung von biologisch wirksamen Licht existieren mehrere Methoden und Bewertungsfunktionen (Brainard and Hanifin, 2014). Neue Erkenntnisse und das zunehmende Verständnis über die Wirkungen haben gezeigt, dass diese aktuellen Methoden unvollständig sind. Bisher ist es nicht möglich, die Wirkung einer Beleuchtung bekannter Intensität und spektralen Zusammensetzung in ihrem Wirkpotenzial abzuschätzen (Lucas et al., 2014).

**Gestaltungswissen nicht visueller Lichtwirkungen:** Trotz der Unsicherheit in den bestehenden Messmethoden lassen sich grundlegende Gestaltungsempfehlungen ableiten. Demnach gilt es als gesichertes Erkenntnis, dass Licht kürzerer Wellenlängen einen stärkeren Reiz für den nicht visuellen Wirkungspfad darstellt. Hinsichtlich der nicht visuellen Wirkungen wird deutlich, dass prinzipiell jede Beleuchtung eine biologische Wirkung hervorruft und auf psychische Faktoren zurückwirkt. Überdies ist darauf hinzuweisen, dass jeder Arbeitsplatz und jeder Beschäftigte von den nicht visuellen Wirkungen des Lichts betroffen ist. Dabei kann die Beleuchtung in Arbeitsstätten sowohl positive als auch negative Auswirkungen auf die Psyche hervorrufen. Diese Effekte können sogar gleichzeitig auftreten. Beispielsweise wenn helles Licht in der Nacht eine aktivierende Wirkung hervorruft und gleichzeitig die innere Uhr aus dem Takt bringt (Desynchronisation).

**Beanspruchungen individueller Steuerbarkeit:** Nicht zuletzt soll auf die individuelle Steuerbarkeit aufmerksam gemacht werden, welche gleichermaßen die visuellen wie auch nicht visuellen Lichtwirkungen betrifft. Die individuelle Steuerbarkeit kann als eine eher untergeordnete Ressource des Handlungs- und Entscheidungsspielraums angesehen werden, wobei die individuell einstellbare Beleuchtung gegenüber fremdgesteuerten Beleuchtungsbedingungen im Allgemeinen bevorzugt wird.

**Schlussfolgerungen:** Als generelles Ergebnis des Scoping Reviews zeigt sich, dass insbesondere die nicht visuellen Wirkungen der Beleuchtung im betrieblichen Kontext als Faktoren für die psychische Gesundheit bisher unbeachtet blieben, sich jedoch unmittelbar auf Physiologie und Verhalten auswirken können.

# Inhaltsverzeichnis

1.	Theorien und Modelle zum Arbeitsbedingungsfaktor Beleuchtung .....	9
2.	Betriebliche Rahmenbedingungen .....	9
3.	Eckdaten zur Literaturrecherche .....	11
4.	Beschreibung des Zusammenhangs zwischen dem Arbeitsbedingungsfaktor Beleuchtung und Outcomes .....	13
4.1.	Beschreibung zum Merkmal visueller Diskomfort.....	14
4.1.1.	Beschreibung zum Merkmal visueller Diskomfort und Beschwerden .....	14
4.2.	Beschreibung zum Merkmal Sichtverbindung nach außen .....	17
4.2.1.	Beschreibung zum Merkmal Sichtverbindung nach außen und Befinden .....	17
4.3.	Beschreibung zum Merkmal Desynchronisation .....	19
4.3.1.	Beschreibung zum Merkmal Desynchronisation und psychische Störung .....	19
4.4.	Beschreibung zum Merkmal Synchronisation .....	22
4.4.1.	Beschreibung zum Merkmal Synchronisation und Befinden .....	22
4.5.	Beschreibung zum Merkmal akute nicht visuelle Wirkung.....	23
4.5.1.	Beschreibung zum Merkmal akute nicht visuelle Wirkung und Leistung .....	24
4.5.2.	Beschreibung zum Merkmal akute nicht visuelle Wirkung und Herz-Kreislauf-System .....	25
4.6.	Beschreibung zum Merkmal individuelle Steuerbarkeit .....	27
4.6.1.	Beschreibung zum Merkmal individuelle Steuerbarkeit und mentale Gesundheit ...	27
5.	Bewertung und Diskussion der Ergebnisse zum Zusammenhang zwischen dem Arbeitsbedingungsfaktor Beleuchtung und den Outcomes.....	30
5.1.	Bewertung zu den Merkmalen des nicht visuellen Wirkungspfad (Desynchronisation, Synchronisation und akute Wirkung).....	30
5.2.	Bewertung zum Merkmal visueller Diskomfort .....	31
5.3.	Bewertung zum Merkmal Sichtverbindung nach außen und individuelle Steuerbarkeit.....	31

Beleuchtung

6.	Zusammenfassende Bewertung aller Merkmale des Arbeitsbedingungsfaktors Beleuchtung, Schlussfolgerungen und Forschungsbedarf .....	31
7.	Gestaltungsaussagen zum Arbeitsbedingungsfaktor Beleuchtung .....	33
7.1.	In allgemeiner Form berichtete Gestaltungshinweise.....	33
8.	Suchstrings zum Arbeitsbedingungsfaktor Beleuchtung .....	35
9.	Literatur zum Arbeitsbedingungsfaktor Beleuchtung .....	37
10	Tabellenverzeichnis.....	45
11	Abbildungsverzeichnis.....	45

# 1. Theorien und Modelle zum Arbeitsbedingungsfaktor Beleuchtung

Bisher bestand die Aufgabe der Beleuchtung in Arbeitsstätten darin, Beleuchtungsbedingungen zu schaffen, welche den Seh- und Arbeitsaufgaben gerecht werden, Augenbeschwerden vorbeugen und Arbeitsunfälle verhindern. Bei diesen Lichtwirkungen handelt es sich um die sog. visuellen Lichtwirkungen.

Es verdichten sich die Hinweise, dass Lichtintensität, spektrale Zusammensetzung und Lichtverteilung nicht nur für die Ausführung von Arbeitsaufgaben von Bedeutung sind, sondern auch einen starken biologischen Effekt auf Psyche, Verhalten und Physiologie ausüben. Diese Lichtwirkungen können als nicht visuelle Lichtwirkungen klassifiziert werden. Die Entdeckung eines neuen Fotorezeptors (Brainard et al., 2001, Thapan et al., 2001) bildet die anatomische Basis für diese Annahmen. Der Fotorezeptor (Intrinsically photosensitive Retinal Ganglion Cells (ipRGCs)) unterscheidet sich dahingehend von den visuellen Fotorezeptoren der Stäbchen und Zapfen, dass er besonders im blauen Spektralbereich eine hohe Sensitivität aufweist. Diese blauempfindlichen Nervenzellen besitzen eine direkte Verbindung zum Nucleus Suprachiasmaticus, der inneren Uhr des Menschen. Demzufolge ist Licht der wichtigste Zeitgeber für die innere Uhr. Sie kontrolliert das Timing vieler Aspekte der Physiologie.

Demgegenüber projizieren die visuellen Fotorezeptoren in den visuellen Cortex. Dort werden die Lichtinformationen der Stäbchen und Zapfen für die bildgebende Wahrnehmung verarbeitet. Ein wesentlicher Unterschied zwischen dem visuellen und dem nicht visuellen Wirkungspfad besteht demnach darin, dass die Lichtwirkung über die ipRGCs auf das autonome Nervensystem wirkt und dort autonome Funktionen beeinflusst (z. B. Herzrate, Blutdruck, Körperkerntemperatur, Hormonhaushalt oder Schlaf-Wach-Zustand, Pupillenreflex), die sich dem direkten Bewusstsein des Beschäftigten entziehen (Oldham and Ciraulo, 2014).

Trotz der getrennten Darstellung der visuellen und nicht visuellen Lichtwirkungen im Bericht, sei an dieser Stelle darauf aufmerksam gemacht, dass sich die Wirkungspfade gegenseitig beeinflussen und die visuellen Rezeptoren (Stäbchen und Zapfen) mit den nicht visuellen Rezeptoren (ipRGC) in komplexer Weise wechselwirken (Lucas et al., 2014).

## 2. Betriebliche Rahmenbedingungen

Neue Lampen- und Leuchtentechnologien sowie der Nachweis eines neuen Fotorezeptors (Brainard et al., 2001, Thapan et al., 2001) mit einer direkten Verbindung zur inneren Uhr des Menschen bewirken einen Wandel in der Beleuchtung von Arbeitsstätten. LEDs und OLEDs eröffnen neue Möglichkeiten der Gestaltung. Dazu gehören z. B. die Veränderbarkeit von spektraler Zusammensetzung, Dimmzustand oder Direkt-/Diffusanteil. In der Folge kommen in Arbeitsstätten zunehmend dynamische und biologisch wirksame Beleuchtungssysteme zum Einsatz (Krüger, 2014). Begünstigt wird die Verbreitung dieser neuen Technologien durch die gestiegenen Anforderungen der Energieeinsparverordnung (EnEV).

Dabei sollte berücksichtigt werden, dass die LED charakteristische Merkmale besitzt, die sie deutlich von den klassischen Lampen- und Leuchtentechnologien unterscheidet (CIE 205:2013). Beispielsweise kann die Erkenntnislage zum Sehkomfort und den damit ver-

bundenen Beschwerden nicht ohne weiteres von den klassischen Lampen- und Leuchtentechnologien auf die LED übertragen werden.

Demgegenüber zeigen neue Erkenntnisse über nicht visuellen Wirkungen des Lichts die Bedeutung der Beleuchtung für Physiologie und Verhalten.

Gemeinsam mit diesem Wandel in der Beleuchtung von Arbeitsstätten müssen Veränderungen in der Arbeitswelt Berücksichtigung finden. Die Entwicklung zur „Innenraumgesellschaft“ führt dazu, dass Menschen heute bis zu 92 % ihrer Lebenszeit im Innenraum verbringen (Hammer, 2013). In der Folge zeigt sich eine tendenzielle Zunahme künstlicher Beleuchtungsexposition und Lichtexposition durch leuchtende Geräte (Tablet, eReader, Smartphone). Demgegenüber reduziert sich die Exposition mit natürlichem Tageslicht (Smolders et al., 2013). Der Trend zur 24-Stunden-Gesellschaft tritt mit einer Zunahme von Schicht- und Nachtarbeit in Erscheinung. In der Folge steigt die Lichtexposition in der Nacht, welche mit Risiken für die Gesundheit verbunden sein kann (Stevens et al., 2013). Die Auswirkungen dieser Veränderungen sind in ihrer Bedeutung für Psyche und Verhalten bislang ungeklärt. Darüber hinaus sind Verbindungen zwischen Licht und Psyche in der wissenschaftlichen Community selten diskutiert (de Kort and Veitch, 2014).

### **Visuelle Lichtwirkungen**

Die Beleuchtung für das Einrichten und Betreiben von Arbeitsstätten kann als gut regulierter Bereich betrachtet werden (Görner, 2008). Die Anforderungen an die Beleuchtung richten sich nach der Art der Arbeitsaufgabe und den Sehanforderungen, die an den Beschäftigten gestellt werden. Neben den Regelungen zur Beleuchtung existieren zahlreiche Informationsquellen, die der Praxis bei der Planung und Ausführung der Beleuchtung als Hilfestellung dienen.

### **Nicht visuelle Lichtwirkungen**

Bisher gibt es international wenige Standards oder technische Reports, in denen die nicht visuellen Wirkungen des Lichts berücksichtigt werden. Allgemeine Erwähnung und Erläuterungen zu nicht visuellen Wirkungen sind in den folgenden Quellen zu finden: CIE (2004), IES (2008), DIN (2011). Zur Bewertung von biologisch wirksamer Beleuchtung existiert bisher ein Standard (DIN SPEC 5031-100:2011, 2011). Von europäischer Seite befindet sich aktuell eine weitere Norm zur Bewertung in Planung (prEN 16791:2014, 2014). In den genannten Quellen wird hauptsächlich auf die abhängigen Variablen „Befinden“ und „Leistung“ (Aktivierung/Arousal) fokussiert, trotzdem wird in keiner der Quellen eine direkte Verbindung zwischen Beleuchtung und psychischer Gesundheit hergestellt. In den Standards wird darauf hingedeutet, dass in Zukunft die neuen Wirkungen von Licht auf Physiologie und Verhalten bei der Gestaltung der Arbeitsumgebung Berücksichtigung finden müssen. Die Industrie hat den Erkenntnisstand zu den nicht visuellen Lichtwirkungen aufgegriffen und etabliert vor diesem Hintergrund die biologisch wirksame Beleuchtung am Markt. Zwei aktuelle Marktstudien des ZVEI (Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.) und des Industrieverbands „LightingEurope“ verdeutlichen das marktwirtschaftliche Interesse der Industrie (AT Kearney, 2013, AT Kearney, 2015). Die Marktstudien prognostizieren der biologisch wirksamen Beleuchtung ein Milliardengeschäft in den kommenden Jahren. Begünstigt wird die Einführung der biologisch wirksamen Beleuchtung durch die Ökodesignrichtlinie 2009/125/EG, Energieeinsparverordnung (EnEV) sowie der LED als neue Lampentechnologie. Demgegenüber stehen kritische Stimmen aus Forschung und Arbeitsschutz. Ungeklärt ist bisher die Frage nach möglichen Risiken.

### 3. Eckdaten zur Literaturrecherche

Die Recherche nach relevanter Literatur erfolgte über die Literaturdatenbank ScienceDirect. Die Suche ergab eine Gesamttrefferzahl von 2 265 Studien. Bei der Entwicklung der Suchstrings wurde entschieden, zwei separate Suchstrings für die unterschiedlichen Wirkungspfade zu erstellen (visuelle Lichtwirkungen vs. nicht visuelle Lichtwirkungen). Die getrennte Suche wurde vorgenommen, um die Treffer besser auf die jeweiligen Forschungsbereiche fokussieren zu können. Forschungsergebnisse zu den nicht visuellen Lichtwirkungen liegen in den Bereichen Chronobiologie, Neurobiologie, Schlafforschung begründet, wohingegen Forschungsergebnisse zur visuellen Wahrnehmung/Beleuchtung eher aus den Bereichen Ingenieurwissenschaft, Psychologie und Arbeitswissenschaft stammen. Die sinnvolle Verbindung der unterschiedlichen Disziplinen in einem Suchstring war in den Probedurchläufen nicht realisierbar. Nach Separation der Wirkungspfade ergab sich eine reduzierte Trefferzahl von 700 bis 800 Treffern (siehe Abb. 1).

Hinsichtlich des visuellen Wirkungspfades verblieben nach Abstract-Sichtung 553 Studien, welche im Projekt berücksichtigt werden mussten. Die Abstract-Sichtung ergab, dass ein Großteil dieser Studien dem Merkmal „visueller Diskomfort“ zugeordnet werden können. Weiterhin zeigte sich, dass Fragestellungen zu Augenbeschwerden und visuellem Diskomfort eine lange Forschungstradition zugrunde liegt. Aus diesen Gründen wurde es für sinnvoll erachtet, das Merkmal visueller Diskomfort mithilfe einer Zusammenfassung von Reviews zu bearbeiten.

Ein ähnliches Bild zeigte sich bei den Studien zum nicht visuellen Wirkungspfad.

Nach Abstract-Sichtung verblieben 125 zu berücksichtigende Studien. Ein beachtlicher Anteil dieser Treffer kann dem Themenfeld der Lichttherapie zugeordnet werden. Zur Bearbeitung der abhängigen Variablen „psychische Störung“ (Merkmal Desynchronisation) wurde daher ebenfalls eine Zusammenfassung von Übersichtsartikeln vorgenommen. Weiterhin wurde die Literatursuche für die nicht visuellen Wirkungen auf einen Zeitraum ab 2001 eingeschränkt, da sich mit der Entdeckung des blauempfindlichen Fotorezeptors (Brainard et al., 2001, Thapan et al., 2001) die Studienlage sowie das Verständnis über physiologische Zusammenhänge und zu berücksichtigende Störgrößen erheblich verbesserte (siehe dazu Kapitel 5.1). Eine stichprobenartige Analyse von Studien vor 2001 zeigte mehrheitlich unberücksichtigte Störgrößen und damit verbundene Fehlinterpretationen.

Im Rahmen der Datenextraktionsphase wurden insgesamt 48 Studien gesichtet.

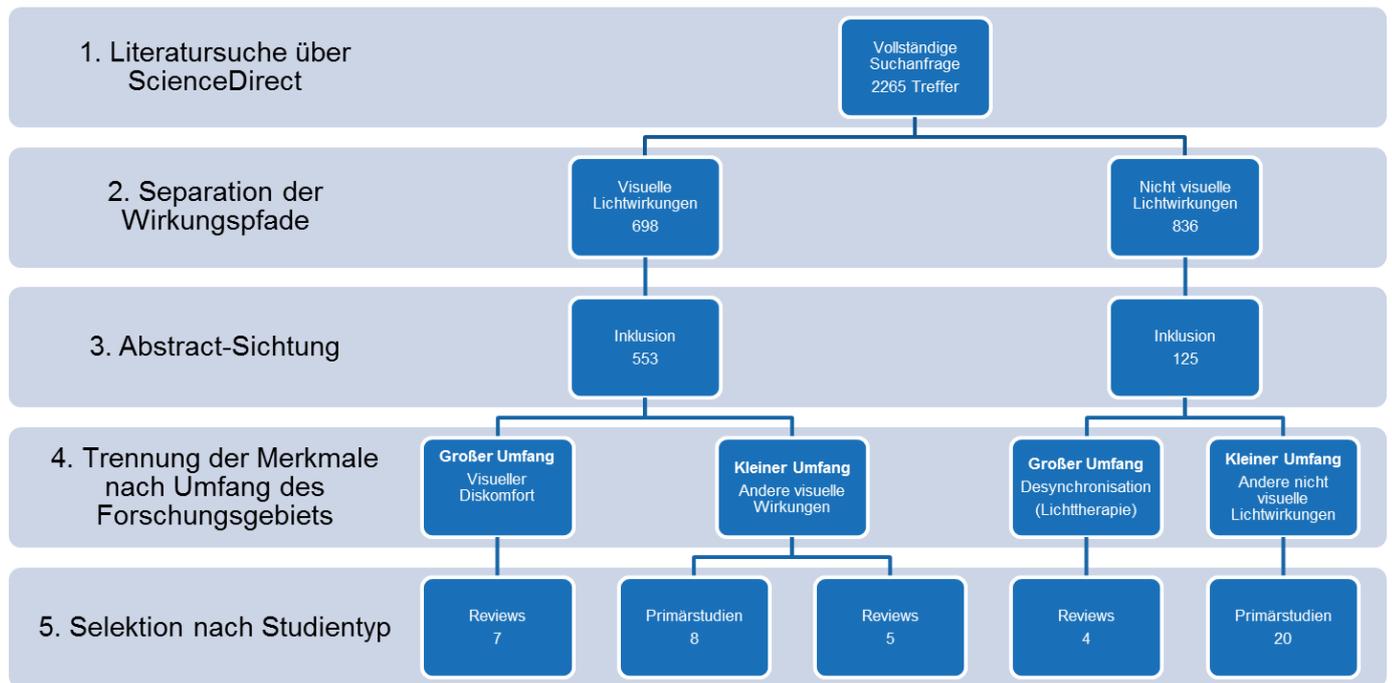
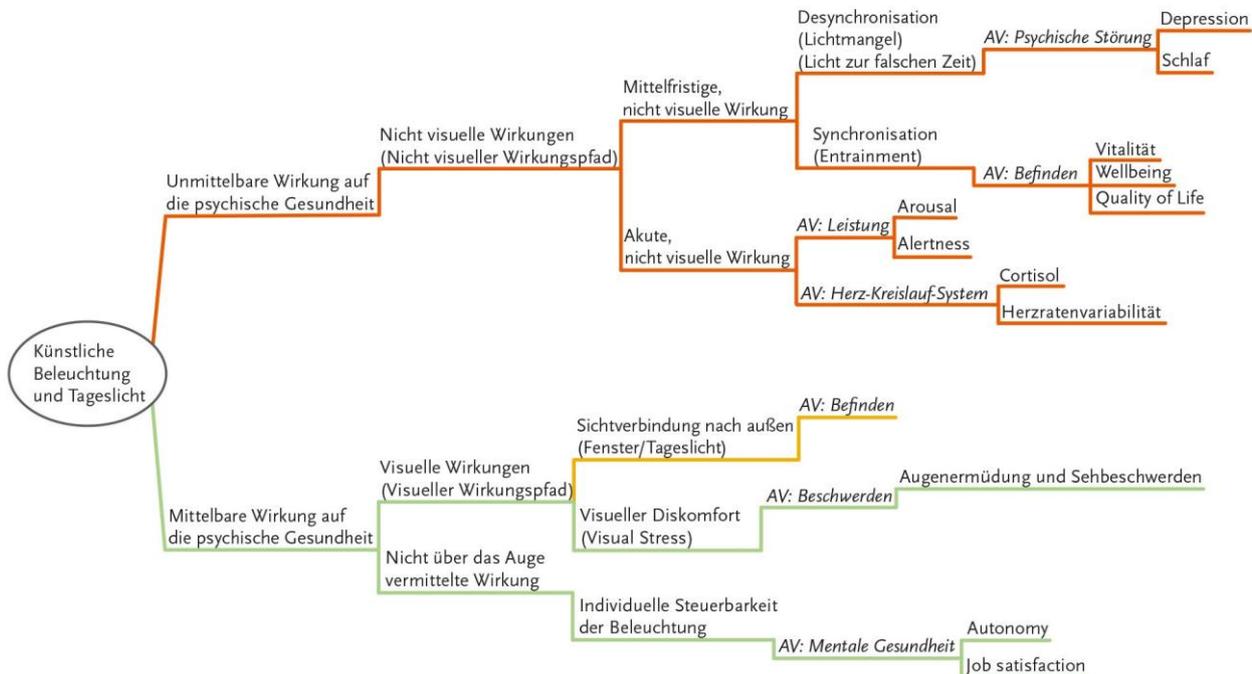


Abb. 1 Selektion der Literatur

## 4. Beschreibung des Zusammenhangs zwischen dem Arbeitsbedingungsfaktor Beleuchtung und Outcomes



**Abb. 2** Wirkungspfade und Outcomes (kursiv)

Die Merkmale des Arbeitsbedingungsfaktors Beleuchtung sind in Abb. 2 nach ihrem Wirkungspfad klassifiziert und fett gekennzeichnet. Zusätzlich beinhaltet die Übersicht Verbindungen der Merkmale zu den relevanten Outcome-Variablen des Projekts (kursiv).

### Visuelle Lichtwirkungen

Unter visuellem Diskomfort – als mögliche Ursache für psychische Belastungen – werden Sehbedingungen zusammengefasst, die hohe Belastungen des Auges hervorrufen. In der Folge können Augenreizungen, Sehbeschwerden oder zerebrale Beschwerden auftreten. Häufig liegen Ursachen für diese Beschwerden in schlechten Beleuchtungsbedingungen, z. B. psychologischer Blendung, Flimmern, häufige Akkommodationswechsel, geringer Kontrast von Sehzeichen oder Schleierreflexionen auf Bildschirmen.

Neben der Vermeidung von ungünstigen Beleuchtungsverhältnissen, welche visuellen Diskomfort hervorrufen, kann eine Sichtverbindung nach außen die psychische Gesundheit unterstützen.

### Nicht visuelle Lichtwirkungen

In Hinblick auf die nicht visuellen Lichtwirkungen müssen akute Effekte von mittelfristigen (circadianen Effekten) getrennt werden.

Akute Effekte ergeben sich direkt während der Lichtexposition mit heller künstlicher Beleuchtung oder Tageslicht. Typische akute Lichtwirkungen heller Beleuchtung sind die Er-

höhung von Aufmerksamkeit, Arousal, Gedächtnisleistung, Befinden und Arbeitsleistung. Weiterhin sind akute Wirkungen auf das Herz-Kreislauf-System, z. B. die Herzratenvariabilität oder Cortisol, nachgewiesen.

Neben den akuten Effekten von Licht auf Leistung und Herz-Kreislauf liegt die Bedeutung der nicht visuellen Wirkungen für die psychische Gesundheit vor allem darin, wie gut sich die innere Uhr und die damit verbundenen circadianen Rhythmen an einen stabilen täglichen 24-Stunden-hell-dunkel-Zyklus anpassen können. Bei diesen Anpassungseffekten handelt es sich um mittelfristige Lichtwirkungen, die Tage und Wochen in Anspruch nehmen können. Bei der Anpassung können zwei Extreme unterschieden werden: Synchronisation (Entrainment) und Desynchronisation. Desynchronisation ist mit psychischen Störungen wie Depression und Schlafstörungen assoziiert, wohingegen Synchronisation sich positiv auf Vitalität und mentale Gesundheit auswirkt. Obwohl es sich bei diesen beiden Wirkungen vermutlich um ein und denselben Wirkungspfad handelt, wurden Synchronisation und Desynchronisation in zwei separate Merkmale aufgesplittet. Hintergrund dafür ist die Herkunft der Studien. Studien zum Merkmal Desynchronisation stammen hauptsächlich aus dem medizinischen Bereich (z. B. Lichttherapie), wohingegen es sich bei Studien zur Synchronisation hauptsächlich um Nicht-Interventionsstudien im Feld handelt.

#### 4.1. Beschreibung zum Merkmal visueller Diskomfort

**Tab. 1** Übersicht über die Studien zum Zusammenhang zwischen dem Merkmal visueller Diskomfort und den Outcomes

Outcomes	Sekundärstudien	Primärstudien			
		Interventionsstudien	Nicht-Interventionsstudien		
			Längsschnitt	Querschnitt	Sonstige
Mentale Gesundheit	0	0	0	0	0
Befinden	0	0	0	0	0
Beschwerden	7	4	0	0	0
Herz-Kreislauf-System	0	0	0	0	0
Leistung	0	0	0	0	0
Psychische Störung	0	0	0	0	0

Wegen des langen Untersuchungszeitraums und des damit verbundenen Literaturumfangs wurden für die Themenfelder der visuellen Ermüdung bzw. des visuellen Diskomforts in erster Linie Übersichtsarbeiten in Form von Sekundärstudien extrahiert.

##### 4.1.1. Beschreibung zum Merkmal visueller Diskomfort und Beschwerden

Die durch Sehaufgaben hervorgerufene psychische und physische Beanspruchung zeigt sich in einer verminderten Wirksamkeit der für die Aufnahme, Verarbeitung und Umsetzung visueller Information verantwortlichen Prozesse. Als Ursache kommen neben individuellen Faktoren (z. B. Sehfehler) die folgenden vier Ursachen infrage (Boyce, 2003):

1. Schwierigkeit der Sehaufgabe (visual task difficulty): Arbeitsaufgaben mit ständigen Akkommodationswechseln oder wechselnder Hell-Dunkel-Adaptation können zur Ermüdung der Augenmuskulatur führen.
2. Reizüberflutung oder Reizarmut (understimulation and overstimulation): Hohe Uniformität und monotone Beleuchtung mit vollkommen diffusem Licht bei lang andauernden monotonen Arbeitsaufgaben kann visuellen Diskomfort hervorrufen.
3. Ablenkung (distraction): Sich bewegende flimmernde Objekte in der visuellen Umgebung können Störungen und Unterbrechungen von Arbeitsabläufen mit hohen Anforderungen an die Konzentration hervorrufen.
4. Perceptual confusion: Reflexionen der Umgebung auf glänzenden Flächen können die Wahrnehmung und Orientierung behindern.

Visuelle Ermüdung bzw. visueller Diskomfort ist nicht definiert. Die Wahrnehmung von Komfort bezieht sich auf Gefühle wie Wohlbefinden und Ästhetik. Der visuelle Komfort hängt von der eigenen Einstellung und Vorstellung ab. Oft wird die visuelle Ermüdung mit Asthenopie bzw. „asthenopischen Beschwerden“ gleichgestellt. Die Symptome asthenopischer Beschwerden sind Augenreizungen (Augenbrennen, Augenrötung, Gefühl von Sand in den Augen, trockene oder tränende Augen), Sehbeschwerden (erhöhte Licht- und Flimmerempfindlichkeit, Schleiersehen, verschwommenes und doppeltes Sehen) sowie zerebrale Beschwerden (Kopfschmerzen, Ermüdung und Schwindelgefühl) (Cakir et al., 2011). Nach Sheedy (2007) können Augenreizungen in einen inneren und äußeren Typ eingeteilt werden, wobei der innere Typ durch akkommodativen Stress hervorgerufen wird. Beim äußeren Typ hingegen entsteht ein Eindruck von Trockenheit und Reizung der Augenvorderseite.

Asthenopische Beschwerden werden seit den 1950er-Jahren mit der Verbreitung der Leuchtstofflampen diskutiert. Beispielsweise untersuchte Wilkins, Nimmo-Smith, Slater & Bedocs (1991) den Einfluss der Flimmerfrequenz von Leuchtstofflampen im Büro auf asthenopische Beschwerden. Im Ergebnis zeigten sich eine Senkung von Kopfschmerzen und Augenbeschwerden beim Einsatz von elektronischen Vorschaltgeräten mit 32-kHz-Flimmerfrequenz. Wilkins verweist auf Studien von Eysel und Burandt (1984), in denen Nervenzellen im optischen Trakt bei Leuchtstofflampenlicht stärker aktiviert wurden als bei Tageslicht oder Glühlampenlicht. Im Vergleich zur Glühlampe „feuerten“ die Nervenzellen fast doppelt so häufig, wobei manche Zellen mit derselben Frequenz antworteten wie die Beleuchtungsanlage mit 100-Hz-Flimmerfrequenz. Auch Lindner (1994) stellte eine Reduktion der subjektiven Ermüdung bei Verminderung der Lichtwelligkeit fest. Mit der Verbreitung hochfrequenter elektronischer Vorschaltgeräte (EVG) hat das Problem des Flimmerns bei Leuchtstofflampen an Bedeutung verloren. Bei der LED-Beleuchtung hingegen findet das Problem wieder vermehrt Beachtung, da LED-Lichtquellen häufig mit Pulsweitenmodulation (PWM) betrieben werden. Aktuelle Untersuchungen belegen die Wahrnehmbarkeit von Flimmereffekten in Frequenzbereichen weit über der früher angenommenen Flimmerverschmelzungsfrequenz (Bullough et al., 2012, Bullough et al., 2011, Roberts and Wilkins, 2013, Sekulovski et al., 2012, Vogels et al., 2011).

Im Zusammenhang mit der Einführung neuer Lampen- und Leuchttechnologien wird deutlich, dass Beleuchtungsbedingungen als visueller Störfaktor Einfluss auf das Wohlbefinden haben können, wenn sie den Beschäftigten das Ausführen von Arbeitshandlungen erschweren und damit zusätzlicher Aufwand entsteht oder zur Erreichung eines definierten Ziels vermehrte Anstrengung notwendig wird.

Die Bedeutung von Umweltfaktoren, wie der Beleuchtung, für die Handlungsregulation bei der Arbeitserfüllung stellt Schierz (2006) dar. Die Handlungsregulationstheorie nach Hacker (1998) impliziert unter anderem, dass situative Faktoren die für das Arbeitshandeln notwendigen Regulationsprozesse behindern können (vgl. Leitner et al., 1987). Sogenannte „Regulationshindernisse“ erfordern von der Person zusätzliche Regulationskapazität, die dann für die Erfüllung der eigentlichen Arbeitsaufgabe nicht mehr zur Verfügung steht (Sonnentag and Frese, 2002). Der entstehende Zusatzaufwand meint damit die zusätzliche Zeit, die die Person benötigt, um mit solchen Regulationshindernissen umzugehen. Die einzelnen situativen Erschwerungen müssen nicht notwendigerweise als massiv störend empfunden werden, können sich aber aufsummieren und langfristig das psychische Wohlbefinden von Beschäftigten beeinträchtigen (vgl. Oesterreich, 1998). Eine arbeitspsychologische Längsschnittstudie an 220 Büroangestellten belegt etwa, dass sich die psychisch belastende Wirkung von Zusatzaufwand, verursacht durch Erschwerungen oder Unterbrechungen des Arbeitshandelns, in einer höheren Wahrscheinlichkeit für psychosomatische Beschwerden niederschlägt (Leitner, 1993).

Obwohl kaum Studien gefunden werden konnten, welche die Auswirkung der speziell durch Beleuchtungsbedingungen verursachten zusätzlich erforderlichen Anstrengung bzw. des zusätzlichen Aufwands auf die psychische Gesundheit betrachten, ist von einem entsprechenden Wirkungsgefüge auszugehen.

Beispielsweise kann eine blendende Lichtquelle in der Umgebung als erschwerender bzw. störender Faktor wirken. Ein Beschäftigter könnte der Blendquelle mit seinen Augenbewegungen ausweichen, wenn er sich darüber bewusst ist, dass diese seine Helligkeitsadaptation stört. Durch diese Maßnahme bleibt die Sehleistung unbeeinträchtigt, jedoch wird dabei das nutzbare Blickfeld eingeschränkt. In der Folge kann sich dieser Umstand in einer subjektiven Störungsbewertung äußern.

Es wird deutlich, dass die Situation mit Hilfe problembezogener Copingstrategien aktiv verändert werden kann (Lazarus and Folkman, 1984), z. B. durch ein Ausweichen der blendenden Lichtquelle. In solchen Fällen muss die Beleuchtungsbedingung nicht zu Augenbeschwerden führen, aber die Bewältigung der Situation ist für den Beschäftigten mit zusätzlichem Aufwand bzw. Anstrengung verbunden. Summieren sich solche Hindernisse in Form ungünstiger Beleuchtungsbedingungen im Laufe der Zeit auf, so kann davon ausgegangen werden, dass sie sich langfristig negativ auf das psychische und physische Wohlbefinden der Person auswirken (vgl. Oesterreich, 1998).

Ferner stammen zahlreiche Erkenntnisse zu asthenopischen Beschwerden aus Studien über Bildschirmarbeit. Viele Studien suchten ein einfach anzuwendendes objektives Maß, das mit dem subjektiven Erleben der Beschwerden assoziiert ist. Untersucht wurden visuelle Funktionen wie Flimmerverschmelzungsfrequenz, Kontrastdetektion, Sehleistung, elektrooptische Sensitivität sowie physiologische Funktionen wie Augenbewegungen, Lidschlagrate, Pupillendurchmesser oder Ausmaß und Dauer der Augenfokussierung (Cakir et al., 2011). Als eine Ursache für Sehbeschwerden wird die erhöhte Aktivität innerer und äußerer Augenmuskeln vermutet. So zeigte sich nach zweistündiger Bildschirmarbeit eine Abnahme von Geschwindigkeit, Amplitude und Entspannungsgeschwindigkeit der Akkommodation (Saito et al., 1994).

Bereits im BAuA-Gutachten zum „Stand von Wissenschaft und Technik bei neuen Beleuchtungstechnologien am Arbeitsplatz und ihre Auswirkungen“ (Cakir et al., 2011) wird erläutert, dass die Suche nach reliablen Maßen für die visuelle Ermüdung bis heute mit methodischen Problemen behaftet ist. Carmichael und Dearborn (1947) haben die erfolglose Suche bis 1946 beschrieben. Ein Rückblick von Hopkinson und Collins (1970) ergab keine Neuigkeiten: „Over a period of activity by many research workers, of whom some

have spent over years of concentrated effort in the search for a fully valid and sensitive practical method of testing for visual fatigue ... nothing has emerged which seems to be a substitute for direct subjective assessment of the situation.“ Weitere zwölf Jahre später hat Dainoff (1982) nach Analyse der nunmehr existierenden Literatur festgestellt, dass die visuelle Ermüdung immer noch nicht objektiv gemessen werden konnte. Hopkinson und Collins (1970) konstatierten, dass sich auch nach einer langen, intensiven Forschungsperiode keine Methode abzeichnete, die valide und sensitiv genug war, um als objektiver Ersatz für subjektive Aussagen dienen zu können.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sich die Beleuchtung mittelbar auf psychische Faktoren auswirken kann. Ungünstige Beleuchtungsbedingungen können psychische Beanspruchungen hervorrufen, die eine verminderte Wirksamkeit für die Aufnahme, Verarbeitung und Umsetzung visueller Information hervorruft. In diesem Fall spricht man von visueller Ermüdung bzw. visuellem Diskomfort. Dieser Zustand kann durch asthenopische Beschwerden gekennzeichnet sein. Trotz langer Forschungstradition ist die Suche nach reliablen Maßen für die visuelle Ermüdung bis heute mit methodischen Problemen behaftet.

## 4.2. Beschreibung zum Merkmal Sichtverbindung nach außen

**Tab. 2** Übersicht über die Studien zum Zusammenhang zwischen dem Merkmal Sichtverbindung nach außen und den Outcomes

Outcomes	Sekundärstudien	Primärstudien			
		Interventionsstudien	Nicht-Interventionsstudien		
			Längsschnitt	Querschnitt	Sonstige
Mentale Gesundheit	0	0	0	0	0
Befinden	3	2	0	1	0
Beschwerden	0	0	0	0	0
Herz-Kreislauf-System	0	0	0	0	0
Leistung	0	0	0	0	0
Psychische Störung	0	0	0	0	0

Bei den in Tab. 2 aufgeführten Studien wurde die Bedeutung einer Sichtverbindung nach außen ausschließlich mithilfe von Fragebögen untersucht.

### 4.2.1. Beschreibung zum Merkmal Sichtverbindung nach außen und Befinden

Veitch (2011) weist in einem narrativen Review darauf hin, dass eine Sichtverbindung nach außen zu psychologischen und affektiven Reaktionen beitragen kann, die einer Stressreduktion gleichkommen. Hartig, Book, Garvill, Olsson & Garling (1996) fasst zwei Theorien zusammen, welche die restorative Wirkung bei Aufgaben mit gerichteter Aufmerksamkeit oder psychophysiologischen Stress erklären. Die Theorien von Kaplan (Kaplan, 1993, Kaplan and Kaplan, 1989) und Ulrich (Ulrich, 1979) adressieren beide die evolutionäre Angepasstheit des Menschen an natürliche Aussichten. Insbesondere im Ar-

beitskontext ist die Vorliebe für Arbeitsplätze mit Fenstern bekannt. Auch Aries, Veitch & Newsham (2010) verweist auf die Präferenz für Fenster, den restaurativen Effekt sowie das Potenzial, Arbeitsstress abzufedern. Die Ergebnisse von Aries zeigen weiterhin, dass Gebäude mit Sichtverbindung nach außen den visuellen Diskomfort reduzieren und die Schlafqualität verbessern können. Kaplan untersuchte die Bedeutung der Sichtverbindung während der Arbeit und verweist auf positive Effekte für Wellbeing und Arbeitszufriedenheit (Kaplan, 1995, Kaplan, 1993).

Des Weiteren wird in den Studien darauf aufmerksam gemacht, dass bei der Sichtverbindung nach außen die Qualität des Ausblicks sowie der Informationsgehalt der Aussicht eine entscheidende Rolle zu spielen scheint.

Darüber hinaus erzeugen Fenster eine Verbundenheit zur Außenwelt, geben Informationen über Tageszeit, Wetter, saisonale Veränderungen und reduzieren Gefühle von Enge und Klaustrophobie. Fenster können die Augengesundheit unterstützen, indem die Möglichkeit zur Weitfokussierung gegeben wird (Rose et al., 2008, Norton and Siegart, 2013). Untersuchungen von Gobba, Broglia, Sarti, Luberto & Cavalleri (1988) zeigen, dass die Nahfokussierung bei Bildschirmarbeit zu einer vorübergehenden Kurzsichtigkeit (Myopisierung) führen kann, welche mit visuellem Diskomfort sowie asthenopischen Beschwerden assoziiert ist. Nicht zuletzt betont Hellinga (2014) die Dynamik des Tageslichts als Besonderheit, die monotonen Beleuchtungsbedingungen entgegenwirkt. Sato, Inui, Nakamura & Takeuchi (1989) macht darauf aufmerksam, dass monotone und triste Beleuchtung zu Stress führen kann und die Konzentration beeinflusst. Aus Untersuchungen mit fensterlosen Kontrollräumen leitet Sato ab, dass die Variabilität der Beleuchtungsbedingungen einen wichtigen psychologischen Aspekt darstellt. Das durch die Fenster einfallende Tageslicht bewirkt eine zeitliche und örtliche Dynamik der Beleuchtungsverhältnisse im Kontrollraum, welche der Vigilanz entgegenwirkt. Des Weiteren stellt Sato fest, dass Fenster die Raumwirkung verbessern, unabhängig davon, ob eine direkte Sichtverbindung nach außen möglich ist oder nicht.

Weiterhin finden sich Hinweise auf einen möglichen Zusammenhang zwischen Fensterabstand und Zufriedenheit mit den Beleuchtungsbedingungen. Wobei sich die Zufriedenheit mit zunehmendem Abstand zum Fenster reduziert. Die größte Zufriedenheit ergab sich, wenn Beschäftigte durchs Fenster sehen konnten, aber nicht direkt am Fenster saßen. Als mögliche Ursache werden Blendung und klimatische Probleme diskutiert, wobei höhere Blendung bei besserer Aussicht toleriert wurde. Demgemäß zeigten sich Kompensationseffekte zwischen der Art der Aussicht und der empfundenen Blendung (Kim et al., 2011).

Bei Studien zur Sichtverbindung nach außen muss darauf hingewiesen werden, dass sich die mittelbaren Wirkungen der Sichtverbindung nicht von den unmittelbaren Wirkungen des Tageslichts (siehe nicht visueller Wirkungspfad Kapitel 1.4.5) trennen lassen. Erkenntnisse zur Synchronisation und Stabilisierung der inneren Uhr durch Tageslicht zeigen enge Verbindungen zur psychischen Gesundheit und sind gleichermaßen relevant für das Merkmal Sichtverbindung. Es gibt erste Hinweise darauf, dass das Tageslicht und die Sichtverbindung nach außen mit positiven Effekten für das Befinden verbunden sein können. Trotzdem ist die Studienlage noch nicht abschließend gesichert (Aries et al., 2015).

### 4.3. Beschreibung zum Merkmal Desynchronisation

**Tab. 3** Übersicht über die Studien zum Zusammenhang zwischen dem Merkmal Desynchronisation und den Outcomes

Outcomes	Sekundärstudien	Primärstudien			
		Interventionsstudien	Nicht-Interventionsstudien		
			Längsschnitt	Querschnitt	Sonstige
Mentale Gesundheit	0	0	0	0	0
Befinden	0	0	0	0	0
Beschwerden	0	0	0	0	0
Herz-Kreislauf-System	0	0	0	0	0
Leistung	0	0	0	0	0
Psychische Störung	3	3	0	3	0

Obwohl die aufgeführten Studien ausschließlich aus dem Fachgebiet der Medizin stammen, geht von ihnen eine maßgebliche Bedeutung für die Beleuchtung von Arbeitsstätten aus.

#### 4.3.1. Beschreibung zum Merkmal Desynchronisation und psychische Störung

Hinsichtlich des Merkmals Desynchronisation – also einer Störung der inneren Uhr und circadianen Rhythmik – weisen verschiedene Linien der Evidenz auf eine starke Verbindung zwischen Lichtexposition und psychischen Störungen hin.

Einerseits deuten Feldstudien von Arbeitsstätten in Polarregionen auf eine desynchronisierende Wirkung von geografisch bedingtem Lichtmangel und damit verbundenen psychischen Störungen wie Depression und Schlafprobleme (Arendt, 2012, Mottram et al., 2011) hin. Andererseits stellen medizinische Studien zur Behandlung von Depression mithilfe der Lichttherapie Verknüpfungen zu psychischen Störungen her.

Aus diesen Studien lässt sich eine direkte, nicht zu vernachlässigende Wirkung der Beleuchtung von Arbeitsstätten ableiten, die in ihrem Ausmaß bisher nicht eingeschätzt werden kann.

## Depression

Eine weitere mögliche Verbindung zwischen Licht und psychischer Gesundheit stellt die Lichttherapie her. Die Lichttherapie wird seit den 1980er-Jahren zur Behandlung von saisonalen Depressionen (SAD) angewendet (Rosenthal et al., 1984). Mithilfe der Lichttherapie kann eine 20%ige bis 25%ige Reduktion von depressiven Symptomen erreicht werden. Dieser Effekt soll durch natürliches Licht auf 50 Prozent erhöht werden können (Brown and Jacobs, 2011). In einem systematischen Review von Terman (2006) wurde gezeigt, dass Bright Light Treatment depressive Symptome im Vergleich zu Placebos mit einer Effektgröße von 0,84 (bei SAD) reduziert. Bei nicht saisonaler Depression ergaben sich Effektgrößen von 0,53. Die Verbesserungswahrscheinlichkeit des Bright Light Treatments lag im Vergleich zu Placebos dreimal höher. Eine Wirkung der Lichttherapie zeigt sich demnach nicht nur bei saisonalen Depressionen, sondern auch bei nicht saisonalen Depressionen. Dabei soll ein Bright Light Treatment das Potenzial besitzen, chronischen Stress (allostatic load) zu lindern (Oldham and Ciraulo, 2014). Ein weiteres systematisches Review (Tuunainen et al., 2004) kommt zu weniger konsistenten Ergebnissen. Die Effekte der Lichttherapie erreichten keine Signifikanz, waren beim Bright Light Treatment aber besser als bei Placebos. Weiterhin berichten Tuunainen et al. von Nebenwirkungen wie Hypomanie, Kopfschmerzen und Einschlafproblemen nach dem Lichttreatment. Die Autoren fassen zusammen, dass die Wirkung der Lichtanwendung zwar gering, aber erfolgversprechend sei (auch bei nicht saisonalen Depressionen). Trotz der hohen Qualität dieses Cochrane Reviews sei darauf hingewiesen, dass darin Lichttherapien zu verschiedenen Zeitpunkten (z. B. morgens und abends) subsummiert werden. Neueste Erkenntnisse zeigen, dass vor allem die Lichtexposition am Morgen von besonderer Bedeutung ist und Licht am Abend eher mit nachteiligen Effekten einhergeht.

Brown und Jacobs (2011) vermuten einen der nachfolgenden Wirkungspfade als Ursache für Zusammenhänge zwischen Licht und psychischen Störungen:

- Wirkung des Lichts auf die circadiane Phase bzw. das circadiane System
- Wirkung von Licht auf Monoamin-Transmitter (Die Monoamin-Theorie besagt, dass eine Depression durch eine verringerte monoaminabhängige Neurotransmission verursacht wird.)
- individuelle genetische Veranlagung

Für das Projekt zur psychischen Gesundheit in der Arbeitswelt ist es von besonderem Interesse, inwieweit die Ergebnisse der Lichttherapie sich auf normale gesunde Beschäftigte übertragen lassen. Da die Übertragbarkeit dieser Lichtwirkungen für nicht klinische Populationen bisher nicht geklärt ist, untersuchten Botanov und Kasper (Botanov and Ilardi, 2013, Kasper et al., 1990) Wirkungen der Lichttherapie bei jungen gesunden Versuchspersonen. Botanov kommt zu dem Erkenntnis, dass die Wirkungen nicht allein auf klinische Populationen reduziert werden können. Ähnliche Schlussfolgerungen ziehen Brown und Jacobs. In einer Fragebogenstudie von Beschäftigten ermittelten sie eine höhere Wahrscheinlichkeit für Depressionen bei Beschäftigten mit schwacher natürlicher Tageslichtversorgung. Bekräftigt werden diese Annahmen von Tefft (2012), der eine Verbindung zwischen Lebensqualität und mentaler Gesundheit in Abhängigkeit von Tageslichtverhältnissen (Jahreszeit, geografische Lage) herstellt. Eine höhere tägliche Anzahl an Stunden ohne Tageslicht deutete auf schlechtere Lebensqualität und mentale Gesundheit, wobei diese Verbindung bei Frauen stärker war als bei Männern.

## Schlaf

Kantermann (2013) weist darauf hin, dass die individuellen Lichtumgebungen und die damit verbundenen individuellen Lichtexpositionen unterschiedlich laufende innere Uhren erzeugen und dadurch unterschiedliche Schlafenster bei den Menschen hervorrufen. Demnach wird das Schlaftiming durch die individuelle Lichtexposition bestimmt. Eine Studie von Mottram et al. (2011) zeigt, dass eine kaltweiße Beleuchtung am Morgen und während der Arbeitszeit zu früheren Schlafenszeiten und verkürzter Einschlafzeit führte. In Übereinstimmung dazu zeigte Park, Kripke, Louis, Elliot, Klauber, Rex, Tuunainen & Langer (2007b), dass die benötigte Einschlafdauer am Abend negativ mit der täglichen Lichtexposition korreliert. Versuchspersonen mit größerer täglicher Lichtexposition schliefen am Abend schneller ein. Kantermann weist weiterhin darauf hin, dass ein gutes Entrainment der Schlüssel zu gutem Schlaf, Langzeitgesundheit und Aufmerksamkeit am Tag sei. Im Konsens dazu stellt Hubalek, Brink & Schierz (2010) einen positiven Effekt der täglichen Lichtmenge auf die Schlafqualität in der darauf folgenden Nacht fest. In ihrer Dissertation untermauert Hubalek ihre Ergebnisse mit Studien von Iwata (2003) und Aries (2005). Iwata verglich zwei Personengruppen mit unterschiedlicher täglicher Lichtdosis. Mithilfe von Aktimetermessungen kam Iwata zu dem Ergebnis, dass eine höhere Tagesdosis in Kombination mit viel Licht am Tag und wenig Licht am Abend zu einer besseren objektiven Schlafqualität führen kann. Weiterhin verweist Hubalek auf die Dissertation von Aries (Aries, 2005), welcher in verschiedenen Bürogebäuden die vertikale Beleuchtungsstärke am Auge erfasste und mit Fragebögen subjektive Einschätzungen über Gesundheit, Wohlbefinden, Aktiviertheit und Schlafqualität erhob. Auf Basis der Daten ergab sich eine positive Korrelation mittlerer Stärke zwischen der vertikalen Beleuchtungsstärke am Auge und der subjektiven Schlafqualität.

Im Umkehrschluss ist die Lichtexposition mit höheren Farbtemperaturen am Abend und in der Nacht mit schlechterem Schlaf assoziiert. Kozaki (2005) stellte bei einer kaltweißen nächtlichen Lichtexposition zwischen 2 und 6 Uhr im Vergleich zu einer warmweißen Lichtexposition eine geringere Schlafdauer im S4-Stadium fest. Es wird vermutet, dass die S3- und S4-Stadien für eine Verbesserung der Schlafqualität verantwortlich sind. Mentaler Stress soll negativen Einfluss auf S3 und S4 haben. In Übereinstimmung dazu zeigte ein BAuA-Fremdforschungsprojekt eine reduzierte Schlafdauer nach blauer biologisch wirksamer Beleuchtung am Abend zwischen 22 und 22:30 Uhr (Kunz, 2015).

Für die Wirkung der Beleuchtung auf den Schlaf-Wach-Rhythmus kann festgehalten werden, dass das Schlaftiming durch die individuelle Lichtexposition mitbestimmt wird. Weiterhin zeigt sich ein positiver Trend zwischen der Lichtexposition in den Tagesstunden und der Schlafqualität bzw. Einschlafdauer. Demgegenüber ist die Lichtexposition mit höheren Blauanteilen am Abend und in der Nacht mit schlechterem Schlaf und einer Störung der inneren Uhr assoziiert. Studien zur Lichttherapie weisen auf eine weitere mögliche Verbindung zwischen Licht und psychischer Gesundheit hin. Betrachtet man die Erkenntnisse dieses Kapitels gemeinsam mit den Studien zur Synchronisation (Kapitel 1.4.4), so zeigen alle Studien denselben Trend. Tendenziell können sich größere Lichtmengen am Tag positiv auf Stimmung, Schlaf und Befinden auswirken. Aus dieser Schlussfolgerung lässt sich eine nicht zu vernachlässigende Bedeutung für die Beleuchtung von Arbeitsstätten abstrahieren.

## 4.4. Beschreibung zum Merkmal Synchronisation

**Tab. 4** Übersicht über die Studien zum Zusammenhang zwischen dem Merkmal Synchronisation und den Outcomes

Outcomes	Sekundärstudien	Primärstudien			
		Interventionsstudien	Nicht-Interventionsstudien		
			Längsschnitt	Querschnitt	Sonstige
Mentale Gesundheit	0	0	0	0	0
Befinden	0	1	0	5	0
Beschwerden	0	0	0	0	0
Herz-Kreislauf-System	0	0	0	0	0
Leistung	0	0	0	0	0
Psychische Störung	0	0	0	0	0

In den Nicht-Interventionsstudien dieses Kapitels wurden Beleuchtungsbedingungen nicht gezielt manipuliert, sondern mithilfe von Lichtdosimetern in Form eines zeitlichen Lichtprofils erfasst.

### 4.4.1. Beschreibung zum Merkmal Synchronisation und Befinden

Studien, in denen nach Zusammenhängen zwischen der Lichtexposition und dem Befinden gesucht wird, haben in aller Regel die Themen Lichtmangel, Synchronisation und Stabilisierung der inneren Uhr zur Motivation (Veitch, 2011). Beispielsweise untersuchten Smolders, de Kort & van den Berg (2013), Espiritu, Kripke, Ancoli-Israel, Mowen, Mason, Fell, Klauber & Kaplan (1994), Hubalek et al. (2010, 2006), Scheuermaier, Laffan & Duffy (2010), Rea, Bierman, Figueiro & Bullough (2008) und Park, Kripke, Louis, Elliott, Klauber, Rex, Tuunainen & Langer (2007a) mithilfe kontinuierlicher Lichtmessungen (Lichtdosimeter) bei Beschäftigten den Einfluss der täglichen Lichtexposition. Oft werden dabei Wirkungen auf die Vitalität untersucht. Vitalität ist ein psychologisches Konzept, das zentrale Bedeutung für Wohlbefinden, Gesundheit und Leistung hat. Personen mit einer höheren täglichen Lichtdosis zeigten höhere Vitalität. Es zeigte sich ein Trend zu chronischer Müdigkeit bei geringem Beleuchtungsniveau, wobei chronische Konzentrationsprobleme mit geringen Leveln von circadianem Licht assoziiert waren. Geringe chronische Müdigkeit ergab sich hingegen bei den Personen, welche für einen längeren Zeitraum mit 1 000 lx (am Auge) und mehr exponiert wurden. Die Lichtexposition war demzufolge positiv mit Vitalität verknüpft. Versuchspersonen fühlten sich energiegeladener, wenn sie einer höheren Lichtexposition in der vorangegangenen Stunde ausgesetzt waren. Darüber hinaus war die Beziehung zwischen Vitalität und Licht stärker, wenn die Probanden vor der Lichtexposition geringere Ausgangsvitalitätslevel zeigten. Die Ergebnisse demonstrieren weiterhin, dass Morgenlicht eine bedeutendere Rolle spielt als das Licht in den Mittagsstunden. In der Winterperiode war die Beziehung zwischen Licht und Vitalität signifikant, in der Sommerperiode nicht. Der Einfluss unterschiedlicher Tageslichtmengen zu verschiedenen Jahreszeiten auf das mentale Befinden lässt sich ebenfalls beim Vergleich von Populationen unterschiedlicher Breitengrade wiederfinden. Beispielsweise untersuchten Hansen, Lund &

Smith-Sivertsen (1998) eine Bevölkerungsgruppe im Norden von Norwegen. Ein Drittel der Frauen sowie ein Fünftel der Männer berichteten von Beschwerden bei Schlaf, Stimmung und Vitalität. In einer Fragebogenstudie von Alimoglu und Donmez (2005) zeigte die Tageslichtexposition einen Einfluss auf Work Related Stress und Job Satisfaction. Tageslichtexposition von mindestens drei Stunden pro Tag verursachte geringere Stresslevel und höhere Arbeitszufriedenheit. Die oben genannten Trends scheinen sich nicht allein auf die Tageslichtexposition zu beschränken. Eine weitere Fragebogenstudie von Grimaldi, Partonen, Saarni, Aromaa & Lönnqvist (2008) untersuchte den Einfluss der Innenbeleuchtung auf die Health Related Quality of Life (HRQoL). Im Ergebnis zeigte sich, dass die Innenbeleuchtung unabhängig von saisonalen Veränderungen des Tageslichts zur HRQoL beiträgt. Ähnliche Ergebnisse zeigen sich bei künstlicher Beleuchtung mit blau angereicherterem Licht.

Mills (2007) analysierte die Auswirkungen einer kaltweißen Beleuchtungsinstallation im Büro mit einer Fragebogenstudie und stellte signifikante Verbesserungen bei Müdigkeit, Aufmerksamkeit, Daytime Sleepiness, mental health, Vitality und Work Performance fest. Partonen und Lönnqvist (2000) bestrahlte gesunde Bürobeschäftigte im Winter mit hellem Licht aus einer Lightbox. Bei allen Befragten reduzierte helles Licht das Ausmaß depressiver Symptome und verbesserte die Vitalität. Nach dem Wechsel vom Bright Light Treatment zurück zur normalen Bürobeleuchtung war eine Rückkehr der depressiven Symptome messbar.

Es wird deutlich, dass die Beleuchtung je nach Expositionszeitpunkt eine Anpassung (Synchronisation) oder Störung der circadianen Physiologie hervorrufen kann. Für die Synchronisation spielt die Beleuchtung in den Morgenstunden eine bedeutendere Rolle als das Licht in den Mittagsstunden. Die Studien des Reviews deuten darauf hin, dass Personen mit einer höheren täglichen Lichtdosis höhere Vitalitätslevel aufweisen, wohingegen sich bei geringen Beleuchtungsniveaus ein Trend zu chronischer Müdigkeit zeigt.

#### 4.5. Beschreibung zum Merkmal akute nicht visuelle Wirkung

**Tab. 5** Übersicht über die Studien zum Zusammenhang zwischen dem Merkmal akute nicht visuelle Wirkung und den Outcomes

Outcomes	Sekundärstudien	Primärstudien			
		Interventionsstudien	Nicht-Interventionsstudien		
			Längsschnitt	Querschnitt	Sonstige
Mentale Gesundheit	0	0	0	0	0
Befinden	0	0	0	0	0
Beschwerden	0	0	0	0	0
Herz-Kreislauf-System	0	5	0	0	0
Leistung	1	4	0	0	0
Psychische Störung	0	0	0	0	0

In den Interventionsstudien dieses Kapitels wurden Blauanteil bzw. Lichtfarbe gezielt manipuliert und mit einer Referenzlichtsituation verglichen.

#### **4.5.1. Beschreibung zum Merkmal akute nicht visuelle Wirkung und Leistung**

In Studien, welche die Bedeutung von hellem, blau-angereichertem Licht für die mentale Leistung untersuchen, werden häufig Konstrukte wie Activation, Arousal, Alertness, Vigilanz und Attention adressiert. Hierbei handelt es sich um überlappende Konstrukte, die sich schwer definieren und voneinander abgrenzen lassen. Dennoch macht Lindsley (1988) den Versuch einer Differenzierung: Demnach ist Activation die physiologische Ursache für Arousal. Activation ist mit neuronalen, hormonellen und biochemischen Prozessen begründbar, wohingegen Arousal sich in einer Auswirkung auf das Verhalten widerspiegelt.

Alertness und Vigilanz werden oft synonym verwendet. Beim Konstrukt Alertness/Vigilanz müssen physische und psychische Randbedingungen beidseitig erfüllt sein. Zum einen muss die Person physisch auf eine bestimmte Aufgabe eingestellt sein, z. B. durch eine bestimmte Körperhaltung, Muskelspannung, Blickrichtung. Zum anderen muss die Person mental sensorische Kanäle befreit haben (z. B. von externen Gedanken, Ruminieren) und diese auf die Aufgabe fokussieren. Das Konzept Attention erweitert Alertness/Vigilanz dahingehend, dass angelernte Kompetenzen zur Erkennung, Isolation, Integration von Informationen zum Einsatz kommen. Attention stellt damit eine Erweiterung des Alertness-Konstrukts dar. Es erfordert eine kognitive Strukturierung und ein größeres Bewusstsein.

In Hinblick auf die Beleuchtung belegen eine Vielzahl von Studien die akute aktivierende Wirkung von hellem und blau angereichertem Licht (Cajochen, 2007, Rautkylä et al., 2012, Revell et al., 2006, Sahin and Figueiro, 2013, Santhi et al., 2013, Smolders and de Kort, 2014, Teixeira et al., 2013, Viola et al., 2008). Solche Lichtwirkungen konnten auch objektiv an physiologischen Größen nachgewiesen werden. Blatter und Cajochen (2007) beschreiben, dass erste Untersuchungen zu tageszeitabhängigen kognitiven Leistungsschwankungen von Kleitmann (1933) stammen, der kognitive Performance mit der Körperkerntemperatur in Verbindung brachte. Jahrzehnte später stellten Aschoff und Wever eine Verknüpfung zum circadianen System her (Aschoff and Wever, 1981). Wever und Aschoff konnten außerdem zeigen, dass circadiane Rhythmen und der Schlaf-Wach-Rhythmus miteinander in Wechselwirkung stehen. 1999 entwickelten Wyatt, Ritz-De Cecco, Czeisler & Dijk (1999) ein Modell zur Überlagerung von homöostatischem Schlafdruck (vorangegangene Wachphase) und circadianer Rhythmik. Folgende kognitive Effekte der Aufmerksamkeit, der exekutiven Funktion und der Gedächtnisleistung weisen eine circadiane Rhythmik auf und können durch Aktivierung mit hellem Licht beeinflusst werden:

- visuelle Suche
- Zeichenerinnerung
- Addition, Subtraktion
- Logikaufgaben
- Reaktionszeit

In einem Review von Neuroimaging-Studien zeigt Vandewalle et al. (2009), dass Kognition von circadianen Rhythmen und nicht visuellen Wirkungen beeinflusst wird. Dabei konnten die Reaktionen von hellem Licht hauptsächlich in Hirnregionen festgestellt werden, die mit Aufmerksamkeit assoziiert sind (subcortical areas, limbic areas, cortical areas). Die fMRI-

Untersuchungen zeigten, dass die Hirnreaktionen sich in Abhängigkeit der exponierten Wellenlänge unterscheiden, Hirnreaktionen also wellenlängenabhängig sind. Dabei verstärkte blaues Licht Hirnreaktionen bzw. verhinderte ein Abklingen. Weiterhin konnte festgestellt werden, dass diese dosis- und intensitätsabhängig sind. Längere Expositionsdauer und größere Intensität riefen stärkere und länger andauernde Hirnreaktionen hervor. Hippocampus und Amygdala reagierten sofort auf Lichtreize (limbic response), demnach aktiviert Licht mit Aufmerksamkeit assoziierte Hirnregionen plötzlich. Der Thalamus stellt dabei das Bindeglied zwischen Aufmerksamkeit, Kognition und Lichteffekten dar. Zusammenfassend stellt Vandewalle fest, dass Licht kognitive Prozesse beeinflusst. Die Stärke hängt dabei von Lichtintensität, Dauer und Wellenlänge ab. In Ergänzung dazu zeigen EEG-Untersuchungen von Park et al. (2013), dass eine helle Lichtexposition frontale Alpha- und Theta-Aktivität absenkt, wobei frontale Theta-Aktivität mit mentalen Belastungen in Verbindung gebracht wird. Üblicherweise steigt die frontale Theta-Aktivität mit größer werdender Aufmerksamkeit und Arbeitsgedächtnisleistung, sie bleibt hoch, solange eine mentale Belastung andauert. Aus den Ergebnissen leitet Park die Hypothese ab, dass das Gehirn bei heller Beleuchtung weniger mentale Leistung benötigt, um dieselbe Aufgabe bei gleicher Leistung zu bearbeiten. Demnach soll die Beleuchtung die Belastung des Arbeitsgedächtnisses positiv beeinflussen. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen Smolders und de Kort (2014). In einer Laborstudie untersuchte dieser, ob die Wirkung von hellem Licht vom mentalen Zustand der exponierten Person abhängt bzw. ob geistig erschöpfte Personen stärker aktiviert werden als Personen ohne mentale Belastung.

Im Ergebnis zeigte sich für subjektive Faktoren (z. B. subjektive Müdigkeit) ein Einfluss der Beleuchtung bei kontrolliert induzierter Müdigkeit in Konsistenz mit der oben genannten Hypothese. In Hinblick auf die Leistung ergaben sich keine konsistenten Ergebnisse. Bei einfacheren Arbeitsaufgaben (z. B. Vigilanztests) zeigten sich positive Effekte hoher Beleuchtungsstärken, wohingegen bei komplexeren Arbeitsaufgaben Leistungsminderungen auftraten.

Weiterhin muss darauf hingewiesen werden, dass viele ältere Studien zur Aktivierung mit Licht in der Nacht durchgeführt wurden. Häufig werden die festgestellten Wirkungen auf die Beleuchtung am Tag übertragen. Dabei ist jede Aktivierung durch Licht in der Nacht mit einer Unterdrückung des Dunkelhormons Melatonin sowie einer Änderung des circadianen Rhythmus verbunden. Melatonin ist ein Signalmolekül, das vorwiegend in der biologischen Nacht von der Zirbeldrüse (Epiphyse) produziert wird und beim Menschen schlafunterstützend sowie regenerierend wirkt. Leistungssteigerungen durch die Unterdrückung von Melatonin in der Nacht könnten demnach auf die reduzierte schlafunterstützende Wirkung zurückzuführen sein. Bei gesunden Individuen wird am biologischen Tag unabhängig von der Lichtexposition kein bzw. nur in geringem Maße Melatonin erzeugt. Es kann daher auch nicht nachweisbar unterdrückt werden. Über eine aktivierende Lichtwirkung und Schwellenwerte am Tag ist wenig bekannt. Weiterhin ist es schwierig, mögliche Lichtwirkungen von ebenfalls veränderten Faktoren der Motivation zu trennen.

Die oben genannten Studien lassen dennoch den Schluss zu, dass die mit intensivem Licht erhöhte Aktivierung von Beschäftigten die Arbeitsleistung erhöhen kann.

#### **4.5.2. Beschreibung zum Merkmal akute nicht visuelle Wirkung und Herz-Kreislauf-System**

Helles Licht mit hohen Anteilen an kurzwelliger (blauer) Strahlung stellt einen Stimulus dar, über den die innere Uhr den Organismus in den Tagesmodus versetzt. Dieser Tagesmodus ist mit einer erhöhten Körpertemperatur, einer vermehrten Ausschüttung von

Stresshormonen (z. B. Cortisol, ACTH), Mineralkortikoiden, vermehrter motorischer Aktivität und dem Verbrauch von Stoffwechselenergie verbunden. Ausführendes Organ bei der Erhöhung der Hormonpegel ist die Hypophyse in Zusammenarbeit mit den Zielorganen und Hormondrüsen im Körper (z. B. Schilddrüse, Nebennieren).

Es wird vermutet, dass ansteigende Cortisollevel am Morgen einen Stressimpuls darstellen, um die Schlaftrunkenheit zu überwinden und den Körper auf Tagesaktivität vorzubereiten. Cortisollevel fallen während des Tages ab und sind während der Zubettgehenszeit am niedrigsten, die Level steigen im Laufe der Nacht wieder an und erreichen das Maximum zur Aufwachzeit.

Bezüglich der Wirkung von Licht auf Cortisollevel gibt es konträre Studien, in denen Lichtexpositionen zu akuter Reduktion, zu Erhöhung oder zu geringen Effekten führten (Jung et al., 2010). Generell ist sich die Literatur darüber einig, dass ein Einfluss von Licht auf Cortisol nur dann gezeigt werden kann, wenn sich Cortisollevel in der ansteigenden Phase oder abklingenden Phase befinden (Gabel et al., 2013).

Neben dem Einfluss von Licht auf Cortisollevel sind Wirkungen auf die Herzrate und die Herzratenvariabilität (HRV) bekannt (Choi et al., 2011). In einer Studie von Canazei, Dehoff, Staggl & Pohl (2014) erhöhten sich High-Frequency-Anteile des HRV-Power-Spektrums nach kaltweißer dynamischer Beleuchtung in den Morgenstunden, woraus sich eine beruhigende Wirkung von kaltweißem dynamischem Licht ableiten lässt.

Generell sind psychosozialer Stress, Müdigkeit, Schlafdeprivation, Ängstlichkeit und Depression mit geringerer HRV assoziiert und weisen auf physiologische Funktionsstörungen des autonomen Nervensystems (ANS) hin. Hohe HRV deutet auf eine gute Anpassungsfähigkeit an Stress hin und kann ein Indikator für geringere mentale Belastung und adaptive Emotionsregulation sein.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sich hinsichtlich des Einflusses von Licht auf Cortisol sowie HRV keine konsistenten Ergebnisse ableiten lassen. Jedoch deuten die Studien zur HRV auf eine potenzielle Reduktion mentaler Belastung nach heller Beleuchtung hin.

## 4.6. Beschreibung zum Merkmal individuelle Steuerbarkeit

**Tab. 6** Übersicht über die Studien zum Zusammenhang zwischen dem Merkmal individuelle Steuerbarkeit und den Outcomes

Outcomes	Sekundärstudien	Primärstudien			
		Interventionsstudien	Nicht-Interventionsstudien		
			Längsschnitt	Querschnitt	Sonstige
Mentale Gesundheit	3	1	0	0	0
Befinden	0	0	0	0	0
Beschwerden	0	0	0	0	0
Herz-Kreislauf-System	0	0	0	0	0
Leistung	0	0	0	0	0
Psychische Störung	0	0	0	0	0

Die Wirkung der individuellen Steuerbarkeit auf psychische Outcome-Variablen wird in Beleuchtungsstudien meist als Nebeneffekt erfasst und in Übersichtsartikeln subsummiert.

### 4.6.1. Beschreibung zum Merkmal individuelle Steuerbarkeit und mentale Gesundheit

In einem narrativen Review fassen Juslen und Tenner (2005) zusammen, dass eine individuelle Einstellbarkeit der Beleuchtung gegenüber fremdgesteuerten Beleuchtungsbedingungen bevorzugt wird. Zahlreiche Untersuchungen belegen den positiven psychologischen Effekt der individuellen Steuerbarkeit von Arbeitsumgebungsfaktoren (Vischer, 2007, Vischer, 2005).

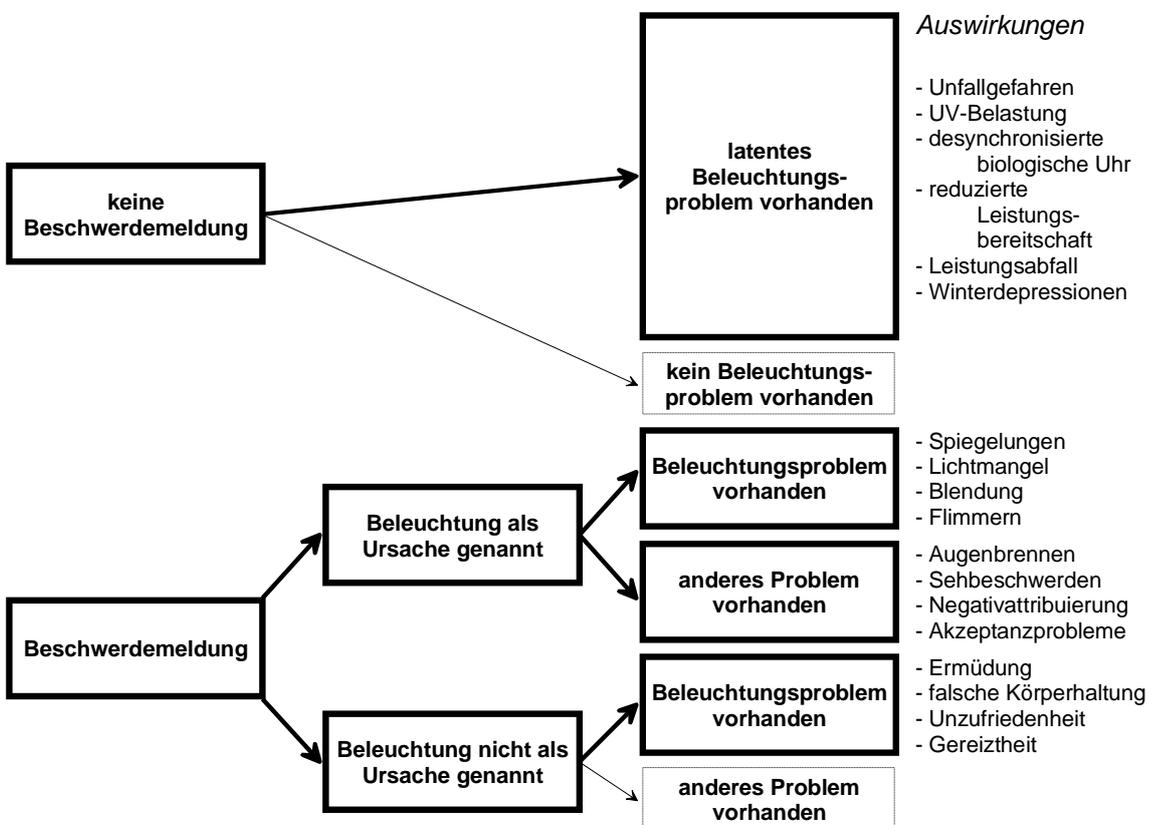
Die individuelle Steuerbarkeit stellt einen Freiheitsgrad des Handlungs- und Entscheidungsspielraums dar, der als Ressource zur Bewältigung der Arbeitsaufgabe angesehen werden kann.

Im betrieblichen Kontext haben Beschäftigte oft keine Möglichkeit, Beleuchtungsbedingungen – wie Dimmzustand, Farbtemperatur, Lichtverteilung, Tageslichtversorgung oder Sonnenschutzvorrichtungen – nach individuellen Bedürfnissen anzupassen. Juslen und Tenner machen darauf aufmerksam, dass die Möglichkeit zur individuellen Einstellbarkeit das Gefühl der Selbstbestimmung (Autonomy) bei der Ausführung der Arbeitsaufgabe erhöht. Größere Freiheiten bei der Selbstbestimmung gehen mit einer größeren Arbeitszufriedenheit einher, welche wiederum die Arbeitsleistung beeinflussen kann (Juslen and Tenner, 2005). In einer Fragebogenstudie verglichen Robertson, McInnes, Glass, Dalton & Sherwood (1989) Beleuchtungsbedingungen zweier benachbarter Bürogebäude. In der Gruppe mit weniger Kontrollmöglichkeiten bei Beleuchtungsbedingungen zeigte sich eine größere Abneigung gegenüber der Beleuchtungsanlage. Insbesondere Personen, die unter arbeitsbedingten Kopfschmerzen (work-related headache) litten, zeigten größere Unzufriedenheit mit der Beleuchtung als Personen ohne Symptome. Auch Boyce, Veitch, Newsham, Jones, Heerwagen, Myer & Hunter (2006) stellen fest, dass individuell einstell-

bare Beleuchtung von Beschäftigten als komfortabler empfunden wird. Nach Boyce schien die Einstellbarkeit eine Resistenz gegen Ermüdung hervorzurufen. Dabei zeigten Beschäftigte mit Kontrolle über Beleuchtungsbedingungen im Vergleich zu Beschäftigten ohne Kontrolle im Laufe des Tages keinen Abfall der Vigilanz.

In einem Forschungsbericht der BAuA (Cakir et al., 2011) wird darauf aufmerksam gemacht, dass sich ähnliche Ergebnisse aus Studien ableiten lassen, in denen die Belegschaft bei der Umstellung der Beleuchtung nicht beteiligt wurde. Bereits bei Einführung der Leuchtstofflampen traten visuelle Beschwerden gehäuft dort auf, wo Beschäftigte vor vollendete Tatsachen gestellt wurden (Schober, 1953). Ein weiterer, nicht über das Auge vermittelter Wirkungszusammenhang zwischen der Beleuchtung und dem Wohlbefinden ist daher hinsichtlich der individuellen Einstellung bzw. Erwartungshaltung der Person gegenüber der Beleuchtung anzunehmen. Eine negative Einstellung könnte einerseits dazu führen, dass bestehende Beschwerden auf die Beleuchtungsumgebung zurückgeführt werden, obwohl diese gar nicht ursächlich ist. Andererseits könnte eine negative (oder positive) Erwartungshaltung per se zu tatsächlichen Veränderungen im Wohlbefinden führen.

Im ersten Fall könnten Personen, ausgehend von einer positiven oder negativen Einstellung gegenüber der Beleuchtung, auf Basis von Kausalattribution (Weber and Ramm-sayer, 2012) momentane positive oder negative Ausprägungen ihres psychischen oder physischen Wohlbefindens auf diese Beleuchtung zurückführen. Jemand, der eine negative Einstellung gegenüber Leuchtstoffröhren hat und diese z. B. für potentiell gesundheitsbeeinträchtigend hält, könnte seine momentanen Kopfschmerzen dieser Beleuchtungsart zuschreiben („Neonröhren machen krank“).



**Abb. 3** Beschwerden und Problemkategorien der Beleuchtung (Schierz and Krueger, 2002)

Darüber hinaus ist denkbar, dass sich positive oder negative Einstellungen gegenüber der Beleuchtung tatsächlich auf subjektive und objektive Maße des Wohlbefindens oder der Leistung auswirken können. Die Beschwerden sind hier erst Folge der negativen Erwartungshaltung der Person. Hinweise dazu leiten sich aus Forschungsergebnissen zu Erwartungseffekten ab, zu denen v. a. in klinischen Interventionsstudien umfassend geforscht wird. Der Nocebo-Effekt, auch „negativer Placebo-Effekt“ genannt, beschreibt die scheinbar negative Wirkung eines Medikaments (z.B. Bingel et al., 2011, Colloca and Miller, 2011). Obwohl beim Nocebo-Effekt die spezifische negative Wirkung des Medikaments naturwissenschaftlich nicht nachweisbar ist, leiden die Personen tatsächlich unter den beklagten Symptomen. Zu diesen gehören nicht nur subjektive Symptome wie Übelkeit, Kopfschmerzen oder Benommenheit, sondern mitunter auch objektive Symptome wie eine erhöhte Herzfrequenz oder ein erhöhter Blutdruck (Hahn, 1997, Clark and Leaverton, 1994).

Der Nocebo-Effekt ist auch im Zusammenhang mit Faktoren in der Umwelt belegt, dabei wird vermutet, dass dieser sich beeinträchtigend auf Gesundheit oder Wohlbefinden auswirken kann. In einer großangelegten Doppelblindstudie zum Einfluss von Elektromog wurde etwa gezeigt, dass Probanden, die sich selbst als strahlungssensibel beschrieben, im Verlauf der Studie unter verschiedenen subjektiven Beschwerden und objektiv messbaren Beschwerdesymptomen litten. Diese Beschwerden traten unabhängig davon auf, ob die Probanden während der verschiedenen Experimente tatsächlich elektromagnetischen Strahlen ausgesetzt waren oder dies nur vorgegeben wurde (Eltiti et al., 2007). Ähnliche Wirkungen sind z. B. auch für Infraschall im Kontext von Windkraftanlagen belegt worden (Crichton et al., 2014).

Zu den psychologischen Mechanismen, die einem Nocebo-Effekt zugrunde liegen, gehören verschiedene Lerneffekte und eine daraus resultierende (negative) Erwartungshaltung gegenüber dem Medikament bzw. dem Umweltfaktor (Hauser et al., 2012, Colloca and Miller, 2011). So können eigene negative Erfahrungen aus der Vergangenheit, Informationen über die möglicherweise negative Wirkung oder die Beobachtung der negativen Reaktionen anderer Personen eine pauschal negative Erwartungshaltung hervorrufen.

In Bezug auf die Beleuchtungssituation am Arbeitsplatz wäre denkbar, dass sich durch Lerneffekte – z. B. durch negative Berichterstattung oder negative Kommentare seitens des Vorgesetzten – eine negative Erwartung gegenüber einer (neueingeführten) Arbeitsplatzbeleuchtung herausbildet. Echte, psychosomatische Beschwerden könnten dieser negativen Einstellung bzw. Erwartungshaltung folgen.

Skepsis gegenüber neuen Beleuchtungstechnologien, fehlendes Mitspracherecht bei der Gestaltung von Beleuchtungsbedingungen sowie Gefühle fehlender Kontrolle können psychische Belastungen hervorrufen. In der Folge kann sich Demotivation und Widerstand einstellen, welche zu „erlernter Hilflosigkeit“ führen (Seligman, 1975) bzw. auf die „Selbstwirksamkeitserwartung“ (Bandura, 1977) zurückwirken. Beide Konzepte besitzen enge Verbindungen zu affektiven und kognitiven Aspekten von Depressionen. Festgehalten werden kann, dass die individuelle Einstellbarkeit der Beleuchtung mittelbar auf psychische Faktoren der mentalen Gesundheit einwirkt und eine eher untergeordnete Rolle spielt.

## **5. Bewertung und Diskussion der Ergebnisse zum Zusammenhang zwischen dem Arbeitsbedingungsfaktor Beleuchtung und den Outcomes**

### **5.1. Bewertung zu den Merkmalen des nicht visuellen Wirkungspfad (Desynchronisation, Synchronisation und akute Wirkung)**

Für die erhaltenen Treffer zu den Merkmalen des nicht visuellen Wirkungspfad muss generell festgehalten werden, dass sich verschiedene Studien in ihrer Lichtwirkung nicht zusammenfassen lassen. Die Ursachen dafür liegen in den unterschiedlichen Ausprägungen der Lichtexposition, z. B. Beleuchtungsniveaus, Expositionsdauer, spektrale Zusammensetzung, Dynamik oder Größe der leuchtenden Fläche. Jeder dieser einzelnen Faktoren beeinflusst die Wirkung. Weitere wichtige Faktoren zur Bewertung der Lichtwirkung stellen die Berücksichtigung der privaten Lichtexposition und der individuellen circadianen Phase dar.

Neueste Erkenntnisse zeigen, dass das circadiane System die Lichtexposition über den ganzen Tag (oder mehrere Tage) integriert, wobei bspw. eine Lichtexposition am Morgen oder in der Nacht die Wirkung einer Lichtexposition am Abend beeinflusst (Chang et al., 2011, Chang et al., 2013, Hebert et al., 2002, Münch et al., 2012, Smith et al., 2004). Zahlreiche Studien lassen sich ohne dokumentierte Lichthistorie (photic history) nicht interpretieren.

Weiterhin kommt dem Level der Schlafdeprivation vor der Lichtintervention eine große Bedeutung zu (z. B. beim Zusammenhang zwischen Licht und Leistung). In einer großen Anzahl von Studien ergibt eine Aktivierung mit heller oder blau angereicherter Beleuchtung stärkere Effekte, wenn ein bestimmtes Müdigkeitslevel bzw. Schlafdeprivation vorliegt (Phipps-Nelson et al., 2003, Cajochen et al., 2000).

Berücksichtigung finden muss ferner die Art der Arbeitsaufgabe. Smolders und de Kort (2014) zeigen, dass die Effekte von hellem Licht für verschiedene Arbeitsaufgaben unterschiedlich zu sein scheinen, und stellen fest, dass einfache Arbeitsaufgaben (z. B. Vigilanztests) eher von hellem Licht profitieren, wohingegen komplexere Arbeitsaufgaben darunter leiden.

Nicht zuletzt sei auch auf die – sich im Alter verändernden – Transmissionseigenschaften der Augenmedien hingewiesen. Eine im Alter zunehmende Gelbtrübung der Augenlinse filtert Blauanteile des Lichtspektrums. Eine mögliche Reduzierung nicht visueller Lichtwirkungen kann daher nicht ausgeschlossen werden.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass zur nachvollziehbaren Interpretation von Lichtwirkungen folgende Störgrößen dokumentiert sein müssen: Art der Lichtexposition, Lichthistorie (photic history), individuelle circadiane Phase, Level der Schlafdeprivation, Art der Arbeitsaufgabe und Alter. Eine Dokumentation der aufgeführten Störgrößen wurde in der Extraktionstabelle vorgenommen.

Im Rahmen der Literatursuche zeigten sich weiterhin Überschneidungen zum Arbeitsbedingungsfaktor Arbeitszeit und atypische Arbeitszeiten. In Nachtarbeitsstudien kann die Wirkung der Arbeitszeit nicht von der Wirkung der Beleuchtung getrennt werden. Weiterhin

können Studien zur Lichtexposition am Abend mit überlangen Arbeitszeiten konfundiert sein.

## **5.2. Bewertung zum Merkmal visueller Diskomfort**

Cakir et al. (Cakir et al., 2011) machen darauf aufmerksam, dass insbesondere bei subjektiven Erhebungsmethoden nicht vergessen werden darf, dass andere psychologische und emotionale Faktoren die Wahrnehmung der Beanspruchung moderieren. Unter Konstanz von Faktoren wie Beleuchtung und Arbeitslast konnten 30 Prozent der Variabilität in der visuellen Ermüdung mit Faktoren wie sozialem Klima, Selbstwertgefühl oder Arbeitszufriedenheit aufgeklärt werden (Mocci et al., 2001). Aus den Ergebnissen von Mocci kann abgeleitet werden, dass der visuelle Komfort wahrscheinlich geringen Einfluss auf psychische Faktoren ausübt.

## **5.3. Bewertung zum Merkmal Sichtverbindung nach außen und individuelle Steuerbarkeit**

Bei Studien zur Sichtverbindung nach außen muss darauf hingewiesen werden, dass in den meisten Fällen eine Kombinationswirkung untersucht wird. Dabei überlagern sich die nicht visuellen Wirkungen des Tageslichts mit der psychologischen Wirkung der Aussicht. Darüber hinaus ist der Einfall von Tageslicht in den Innenraum üblicherweise immer auch mit einem Wärmeeintrag durch Fenster und Oberlichter und auch mit Wärmestrahlung verbunden. Zudem kann es zu Blendungen durch das Tageslicht kommen. Durch die Sichtverbindung nach außen und die dafür erforderlichen Fenster können Störungen durch Lärm und durch Blendung aufgrund von Reflexionen im Außenraum, z. B. auf gegenüberliegenden Gebäuden, auftreten. Diese Effekte können psychologische Outcomes konfundieren. Neben der Überschneidung unterschiedlicher Wirkungspfade werden häufig psychosoziale und organisationale Faktoren vernachlässigt. Beispielsweise korrelierten in der Studie von Aras (1998) psychosoziale Faktoren wie „job control“ oder die Möglichkeit, „Probleme mit dem direkten Vorgesetzten zu diskutieren“, mit dem Auftreten von Muskelbeschwerden. Einen Überblick zur Bedeutung von psychosozialen Aspekten bei Bildschirmarbeit für die physische und psychische Gesundheit von Beschäftigten gibt Smith (1997).

# **6. Zusammenfassende Bewertung aller Merkmale des Arbeitsbedingungsfaktors Beleuchtung, Schlussfolgerungen und Forschungsbedarf**

Die Physiologie des Sehvorgangs wie auch die physiologische Wirkung von Licht verschiedener Spektralbereiche und Intensitäten zu den verschiedenen Tages- und Nachtzeiten ist Gegenstand intensiver Forschung. Eine große Zahl neuer Erkenntnisse ist noch nicht abschließend bewertet. Zu folgenden Wirkungszusammenhängen von Licht und psychischer Gesundheit wird erhöhter Forschungsbedarf gesehen:

Forschungsbedarf zur Bedeutung von biologischer Dunkelheit für Psyche und Leistung

Lange Zeit wurde davon ausgegangen, dass für die Beleuchtung in den Tagesstunden minimale vertikale Beleuchtungsstärken am Auge von 2 500 lx notwendig sind, um den nicht visuellen Wirkungspfad zu stimulieren. Beispielsweise haben sich für die Anwendung der Lichttherapie bei Winterdepression Beleuchtungsstärken mit mindestens 2 500 lx als wirkungsvoll bewährt. Daraus wurde abgeleitet, dass die derzeitigen Normen und Regeln

die Beschäftigten dazu zwingen, am Tage in der „biologischen Dunkelheit“ zu leben. Darüber hinaus setzt sich der Mensch immer weniger Tageslicht aus. Er verbringt, besonders im Winter, mehr Zeit in Innenräumen. Im Winter liegt die Lichteinstrahlung durch Fenster selten über Beleuchtungsstärken von 500 lx. Bei bedecktem Himmel im Freien beträgt die horizontale Beleuchtungsstärke im Winter noch bis zu 8 000 lx. Ein heller Sonnentag hingegen erzeugt Beleuchtungsstärken von 100 000 lx und mehr. Somit lebt die heutige Gesellschaft im Vergleich zu natürlichen Tageslichtintensitäten im Dunkeln. In Kapitel 1.4.4.1 wurde auf mögliche Wirkungen des Lichtmangels hingewiesen.

Neuere Erkenntnisse zeigen hingegen, dass auch heutige Lichtumgebungen auf den nicht visuellen Wirkungspfad wirken, ohne dass dies bei der Lichtplanung berücksichtigt wurde. Zudem ist festzuhalten, dass die meisten der nachgewiesenen Lichtwirkungen (z. B. Melatonin-suppression) während der Nacht nachgewiesen wurden. Tagsüber sind sie nicht vorhanden oder deutlich weniger wirksam. Hier stellen sich Fragen nach tageszeitlichen Wirkungsschwellen der Beleuchtungsstärke und der Übertragbarkeit von Laborstudien auf den Arbeitsalltag. Überdies ist die Bedeutung der Lichthistorie – also die Rückwirkung vorangegangener Lichtexposition auf psychologische und physiologische Parameter zu Zeitpunkten nach der eigentlichen Lichtintervention – weitestgehend unbekannt.

### Forschungsbedarf zu Tageslicht und Sichtverbindung nach außen

Im Review wird deutlich, dass die Kombinationswirkung von Aussicht und Tageslicht bisher selten untersucht ist. Dies betrifft einerseits den Informationsgehalt, welcher mit einer Sichtverbindung einhergeht und andererseits die Überlagerung visueller und nicht visueller Lichtwirkungen. Hinsichtlich der nicht visuellen Lichtwirkungen stellt sich die Frage, nach den erforderlichen spektralen Anteilen des Tageslichts am Arbeitsplatz (Beeinflussung des Tageslichtspektrums durch Reflexion und Transmission). Dies betrifft auch teilweise gegenläufige Zielstellungen bezüglich Wärmeeintrag und Tageslichtnutzung. Wärmeschutzgläser sind dazu gedacht, den Wärmeeintrag von außen bzw. den Wärmeverlust nach außen zu verhindern. Gleichzeitig erzeugen die spektralen Transmissionseigenschaften von Wärmeschutzgläsern große Änderungen in den roten und infraroten Spektralbereichen und beeinflussen damit ganzjährig das Tageslichtspektrum im Innenraum.

Auf der Informationsebene hingegen könnten Qualität des Ausblicks sowie Informationsgehalt der Aussicht eine gewisse Bedeutung zukommen. Die bisherigen Empfehlungen betreffen nur bestimmte Aspekte wie Tageslichtquotient, Verhältnis Fenstergröße zur Grundrissfläche und Abstandsflächen von Gebäuden. Sie sagen nur wenig über die Qualität von Sichtverbindung aus. In diesem Zusammenhang sollten auch Vorrichtungen, welche die Sichtverbindung ins Freie beeinflussen können (z. B. Lamellenstores, Gitterstoffrollos, Folien, Lochfassaden, bedruckte Fenster) berücksichtigt werden.

### Forschungsbedarf zu visuellem Diskomfort

Auch hinsichtlich der klassischen Aspekte des Sehkomforts und deren Auswirkungen auf Augenbeschwerden wird Forschungsbedarf gesehen (Cakir et al., 2011). Besonders bei neuen Lampen- und Leuchtentechnologien tritt die „Störwirkung der Beleuchtung“ als Vorstufe des visuellen Diskomforts zunehmend in den Vordergrund. Im Fall der Störwirkung können Beleuchtungsbedingungen die visuelle Wahrnehmung behindern ohne dabei unmittelbar Augenbeschwerden hervorzurufen oder die Sehleistung zu beeinträchtigen. Die Störwirkung betrifft dabei Aspekte wie Blendung, Schattigkeit, Stroboskoppeffekt oder Leuchtdichteverhältnisse von Decken und Wänden aber auch die begründete

Vermutung, dass die Lichtumgebung einen Einfluss auf das Blickverhalten von Beschäftigten nehmen kann. Wenn die Blicke sich weg von störenden Kontrasten stärker auf die Sehaufgabe konzentrieren, kann eine verstärkte Myopisierung zu muskulärer Dauerbelastung des Ziliarmuskels führen. Denkbar wäre z. B. das Vermeiden von Blicken in Richtung zu dunkler oder zu heller Flächen, die eine störende Umadaptation verlangen.

Forschungsbedarf zur individuellen Steuerbarkeit

In Anbetracht der Tatsache, dass die Steuerparameter der Beleuchtung die Lichtqualität in komplexer Weise beeinflussen können, stellt sich die Frage nach Art und Umfang der Steuerungsmöglichkeiten. Auch im Hinblick auf das unterschiedliche Alter von Nutzern sind Untersuchungen zur benutzerfreundlichen Gestaltung von Steuergeräten sinnvoll.

## **7. Gestaltungsaussagen zum Arbeitsbedingungsfaktor Beleuchtung**

### **7.1. In allgemeiner Form berichtete Gestaltungshinweise**

Gestaltungshinweise zur Vermeidung von visuellem Diskomfort und asthenopischen Beschwerden

Festgehalten werden kann, dass die wesentlichen Aspekte zur Vermeidung von Augenbeschwerden bei der Beleuchtungsplanung und Gestaltung im betrieblichen Kontext im Regelwerk berücksichtigt sind. Anforderungen und Maßnahmen zur Vermeidung von Augenbeschwerden können unter dem Schlagwort Sehkomfort zusammengefasst werden. Zwar wird das Schlagwort „Sehkomfort“ im Regelwerk nicht explizit erwähnt, jedoch haben einige der Gütemerkmale der Beleuchtung direkten Bezug zum Sehkomfort, diese sind z. B. Flimmern, psychologische Blendung, Schatten oder Gleichmäßigkeit. Anforderungen zum Sehkomfort sind in der Arbeitsstättenverordnung, der Bildschirmarbeitsverordnung und im untergesetzlichen Regelwerk verankert (Görner, 2008). Die Gestaltungshinweise sind vielfältig und erstrecken sich weit über Regelsetzung und Normung hinaus.

Gestaltungshinweise zur Tageslichtversorgung und Sichtverbindung nach außen

Die Bedeutung von Tageslicht und der Sichtverbindung nach außen für die Sicherheit, Gesundheit und das Wohlbefinden von Beschäftigten zeigt sich im aktuellen Entwurf der Arbeitsstättenverordnung (Verordnung zur Änderung von Arbeitsschutzverordnungen, Artikel 1 Änderung der Arbeitsstättenverordnung vom 29. Oktober 2014). Darin heißt es „3.4 Beleuchtung und Sichtverbindung: (1) Arbeitsräume, Sanitär-, Pausen- und Bereitschaftsräume, Kantinen, Erste-Hilfe-Räume und Unterkünfte müssen ausreichend Tageslicht erhalten und eine Sichtverbindung nach außen haben.“ In der aktuell gültigen Fassung der Arbeitsstättenverordnung wird eine Sichtverbindung nach außen nicht explizit gefordert.

Aries (2015) gibt folgende Gestaltungsempfehlungen zur Tageslichtversorgung und Sichtverbindung nach außen:

- Tageslichtöffnungen wie Fenster oder Dachoberlichter sollten geöffnet werden können, um Beschäftigten die Exposition zum vollen Strahlungsspektrum zu ermöglichen (inklusive ultravioletter und infraroter Strahlungsanteile).

- Gebäude sollten so gestaltet sein, dass sie (unabhängig vom Wetter) Beschäftigte animieren, sich dem Tageslicht zu exponieren (z. B. Balkone, Veranden, Atrien).
- Arbeitsstätten sollten eine hohe Tageslichtversorgung aufweisen (mittlere vertikale Beleuchtungsstärke größer als 2 000 lx) und mit einstellbaren Sonnenschutzvorrichtungen ausgestattet sein, die den Beschäftigten ermöglichen, die Tageslichtversorgung im Innenraum selbst zu steuern.
- Insbesondere zu Zeitpunkten des Sonnenauf- und -untergangs sollten die Tageslichtöffnungen unverdeckt sein, um den Beschäftigten die Wahrnehmung von Veränderungen in der Fotoperiode zu ermöglichen.
- Beschäftigten sollte die Möglichkeit gegeben werden, die automatische Steuerung von Beleuchtungsbedingungen zu jeder Zeit selbst anpassen zu können, um persönlichen Komfort und Gesundheitsbedürfnisse zu erfüllen.
- Die Verglasung sollte die Transmission des vollen Lichtspektrums ermöglichen, damit Interaktionen bestimmter Wellenlängen in ihren Wirkungen auf den Beschäftigten nicht beeinträchtigt werden.

### Gestaltungshinweise zur individuellen Steuerbarkeit

Neben den Aspekten des Sehkomforts und einer Sichtverbindung stellt die individuelle Einstellbarkeit eine Ressource des Handlungs- und Entscheidungsspielraums dar. Die individuelle Steuerbarkeit von Beleuchtungsanlagen wird im betrieblichen Umfeld nicht explizit gefordert, allerdings wird darauf aufmerksam gemacht, dass „eine Verringerung des individuellen Sehvermögens, z. B. mit zunehmendem Alter, eine höhere Anforderung an die Beleuchtungsqualität (z. B. eine höhere Beleuchtungsstärke und höhere Anforderungen an die Begrenzung der Blendung) erfordern kann“. (ASR A3.4, Punkt 5.1)

Generell kann festgehalten werden, dass sich mit zunehmenden Kontrollmöglichkeiten über die Beleuchtungsbedingungen positive Auswirkungen auf psychische Faktoren ergeben. Untersuchungen von Fotios und Cheal (2010) zur manuell einstellbaren Beleuchtungsstärke zeigen aber, dass das individuell bevorzugte Beleuchtungsniveau vom einstellbaren Intervall abhängt (stimulus range bias). Versuchspersonen tendierten dazu, bei unterschiedlichen Einstellintervallen die Mitte als Optimum auszuwählen. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass das individuell bevorzugte Beleuchtungsniveau nicht an den Sehansforderungen orientiert ist und Versuchspersonen über die optimale Beleuchtung unentschieden sind. Weiterhin müssen die Einstellparameter einer Beleuchtungsanlage als multifaktorielles Optimierungsproblem angesehen werden (Villa and Labayrade, 2013). Die einzelnen Gütemerkmale der Beleuchtung (z. B. Beleuchtungsniveau, Blendung, Gleichmäßigkeit, Reflexionen) zur Sicherstellung von Sehleistung und Sehkomfort beeinflussen sich gegenseitig und erzeugen Zielkonflikte. Vor dem Hintergrund dieser Komplexität besteht das Risiko, dass Beschäftigte Beleuchtungseinstellungen wählen, welche dem Sehkomfort nicht zuträglich sind. Aus diesen Überlegungen kann die Gestaltungsempfehlung abgeleitet werden, dass Beschäftigte in der Auswahl der Beleuchtungsbedingungen technisch unterstützt werden sollten.

### Gestaltungshinweise hinsichtlich des nicht visuellen Wirkungspfads

Konkrete Gestaltungsempfehlungen zur Stimulation des nicht visuellen Wirkungspfads sind Inhalt zahlreicher aktueller Forschungsprojekte. Trotz umfangreicher Forschungsaktivitäten lassen sich bisher keine konkreten Empfehlungen für die Beleuchtung von Arbeits-

stätten ableiten (KAN, 2015). Auch in der wissenschaftlichen Community vertreten anerkannte Experten die Ansicht, dass der aktuelle Wissensstand keine konkreten Planungs- und Anwendungsempfehlungen zulässt (Veitch, 2011, Boyce, 2016, prEN 16791:2014, 2014). Die internationale Kommission für Beleuchtung (CIE) teilt die Auffassung einer bisher unzureichenden Wissensbasis (CIE, 2015) macht aber gleichzeitig darauf aufmerksam, dass zu einigen Aspekten bereits Konsens besteht. Generelle Einigkeit besteht zu den Einflussfaktoren der Beleuchtung auf die nicht visuellen Wirkungen. Diese Einflussfaktoren umfassen Spektrum, Intensität, Dauer, Timing, zeitliche Abfolge der Lichtintervention sowie vorangegangene Lichthistorie.

Trotz unzureichender Wissensbasis lassen sich dennoch erste grobe übergeordnete Hinweise zur Stimulation des nicht visuellen Wirkungspfads ableiten:

- Die Lichtanwendung muss im Kontext der Arbeitszeit betrachtet werden (richtiges Licht zur richtigen Zeit)
- Genügend Licht am Tag, besonders am Morgen, ist für die stabile Einstellung der inneren Uhr wesentlich, daher sollte eine tägliche Tageslichtmenge zur Synchronisation der inneren Uhr vorgesehen werden
- Genügend Licht am Tag erhöht die Resistenz der inneren Uhr gegen Störungen durch Licht in der Nacht und am Abend
- Ältere Beschäftigte benötigen mehr Licht am Tag, weil die Augenlinse mit zunehmendem Alter weniger blaue Lichtanteile durchlässt
- Licht am Abend von Fernsehern, Monitoren, Mobiltelefonen sowie der Beleuchtungsanlage kann die innere Uhr stören und unterdrückt die Produktion des Dunkelhormons Melatonin, daher sollte blaues intensives Licht am Abend vermieden werden oder die Verwendung von spektral angepassten Lichtquellen oder Lichtfiltern in Betracht gezogen werden (z. B. rötliches, gedimmtes Licht, Brillen/Folien/Linsen mit Blaufiltern)
- Jede Art der Beleuchtung stimuliert den nicht visuellen Wirkungspfad

## 8. Suchstrings zum Arbeitsbedingungsfaktor Beleuchtung

Aufbau des Suchstrings aus fünf Teilen:

1. Definition von Licht:  
fotometrisch vs. physikalisch  
photometrisch: light, lighting, illumination, luminaire, luminance, illuminance  
physikalisch: radiation, photo\*, optic\*
2. Wirkungspfad:  
Suche auf Wirkungspfad zugeschnitten -> visuelle Wahrnehmung vs. circadianes System
3. Abhängige Variablen:  
Suche in Titeln bzw. Titel+Abstract+Keyword ergab beste Trefferlisten
4. Arbeitskontext:  
Suche nach Studien mit Arbeitskontext: work, occupation, office
5. Ausschlüsse

**Tab. 7** Suchstrings

	<b>Suchstring</b>	<b>Trefferanzahl</b>
<p>Visuelle Wirkung von Licht</p> <p>(AV: Beschwerden, Befinden)</p>	<p>TITLE(*light* OR illumi*) AND TITLE-ABSTR-KEY (stress OR view OR discomfort OR eyestrain OR fatigue OR asthenop* OR complain* OR window* OR control) AND (office OR occupation* OR *work*) AND NOT material AND NOT flight AND NOT animal AND NOT plant AND NOT oxi* AND NOT weight AND NOT road AND NOT TITLE(energy)</p>	<p>ca. 700 (ScienceDirect)</p>
<p><b>Nicht visuelle Wirkung von Licht</b></p> <p>(AV: Herz-Kreislauf-System, psychische Störung, Befinden, Leistung)</p>	<p>TITLE(*light* OR illumi* OR *photo* OR lumi*) AND TITLE(disruption OR desyn* OR disturbance OR dys* OR misalign* OR *synchr* OR entrain* OR circ* OR SCN OR chrono* OR clock OR Suprachiasmatic OR zeitgeber OR *work* OR occupation* OR office) AND TITLE-ABSTR-KEY("Work load" OR Deprivation OR Mental OR Satisfaction OR Sleep* OR Fatigue OR Well-Being OR comfort OR Cardiovascular OR Performance OR alert* OR vigilance OR Productivity OR Motivation OR *cortiso* OR EEG OR Depression OR cognitive OR impairment OR neuro* OR BMI OR mood OR vigilance OR obesity OR office) AND NOT TITLE-ABSTR-KEY (rat OR mouse OR hamster OR gene OR cell OR disorder OR disease OR *patient* OR shift OR highlight OR slight* OR flight)</p>	<p>ca. 800 (ab 2001) (ScienceDirect)</p>

## 9. Literatur zum Arbeitsbedingungsfaktor Beleuchtung

- Aarås A., Horgen G., Bjørset H.-H., Ro O. & Thoresen M. (1998) Musculoskeletal, visual and psychosocial stress in VDU operators before and after multidisciplinary ergonomic interventions. *Applied Ergonomics*, 29(5): 335-354.
- Alimoglu M. K. & Donmez L. (2005) Daylight exposure and the other predictors of burnout among nurses in a University Hospital. *International Journal of Nursing Studies*, 42(5): 549-555.
- Arendt J. (2012) Biological rhythms during residence in polar regions. *Chronobiol Int*, 29(4): 379-394.
- Aries M. B. C. (2005) Human Lighting Demands: Healthy Lighting in an Office Environment. *Department of Architecture, Building and Planning*. Eindhoven Technische Universiteit Eindhoven.
- Aries M. B. C., Aarts M. P. J. & van Hoof J. (2015) Daylight and health: A review of the evidence and consequences for the built environment. *Lighting Research and Technology*, 47(1): 6-27.
- Aries M. B. C., Veitch J. A. & Newsham G. R. (2010) Windows, view, and office characteristics predict physical and psychological discomfort. *Journal of Environmental Psychology*, 30(4): 533-541.
- Aschoff J. & Wever R. (1981) The Circadian System of Man. In: J. Aschoff (ed.), *Biological Rhythms*: Springer US.
- AT Kearney (2013) Market Study - Human Centric Lighting: Going Beyond Energy Efficiency. Lighting Europe, ZVEI, licht.de.
- AT Kearney (2015) Quantified benefits of Human Centric Lighting. Lighting Europe, ZVEI.
- Bandura A. (1977) Self-efficacy: toward a unifying theory of behavioral change. *Psychol Rev*, 84(2): 191-215.
- Bingel U., Wanigasekera V., Wiech K., Ni Mhuirheartaigh R., Lee M. C., Ploner M. & Tracey I. (2011) The effect of treatment expectation on drug efficacy: imaging the analgesic benefit of the opioid remifentanyl. *Sci Transl Med*, 3(70): 70ra14.
- Blatter K. & Cajochen C. (2007) Circadian rhythms in cognitive performance: methodological constraints, protocols, theoretical underpinnings. *Physiol Behav*, 90(2-3): 196-208.
- Botanov Y. & Ilardi S. S. (2013) The Acute Side Effects of Bright Light Therapy: A Placebo-Controlled Investigation. *Plos one*, 8(9): e75893.
- Boyce P. (2016) Editorial: Exploring human-centric lighting. *Lighting Research and Technology*, 48(2): 101.
- Boyce P. R. (2003) *Human Factors in Lighting*, New York: Taylor and Francis Group.
- Boyce P. R., Veitch J. A., Newsham G. R., Jones C. C., Heerwagen J., Myer M. & Hunter C. M. (2006) Lighting quality and office work: two field simulation experiments. *Lighting Research and Technology*, 38(3): 191-223.
- Brainard G. C. & Hanifin J. P. (2014) Exploring the power of light: From photon to human health. In: CIE (ed.), *Lighting Quality and Energy Efficiency*. Kuala Lumpur, Malaysia: International Commission on Illumination.

- Brainard G. C., Hanifin J. P., Greeson J. M., Byrne B., Glickman G., Gerner E. & Rollag M. D. (2001) Action Spectrum for Melatonin Regulation in Humans: Evidence for a Novel Circadian Photoreceptor. *The Journal of Neuroscience*, 21(16): 6405-6412.
- Brown M. J. & Jacobs D. E. (2011) Residential light and risk for depression and falls: results from the LARES study of eight European cities. *Public Health Rep*, 126 Suppl 1: 131-140.
- Bullough J. D., Hickcox K. S., Klein T. R., Lok A. & Narendran N. (2012) Detection and acceptability of stroboscopic effects from flicker. *Lighting Research and Technology*, 44: 477-483.
- Bullough J. D., Sweater Hickcox K., Klein T. R. & Narendran N. (2011) Effects of Flicker Characteristics from Solid-State Lighting on Detection, Acceptability and Comfort. *Lighting Research and Technology*, (43): 337-348.
- Cajochen C. (2007) Alerting effects of light. *Sleep Medicine Reviews*, 11: 453-464.
- Cajochen C., Zeitzer J. M., Czeisler C. A. & Dijk D. J. (2000) Dose-response relationship for light intensity and ocular and electroencephalographic correlates of human alertness. *Behav Brain Res*, 115(1): 75-83.
- Cakir G., Cakir A., Kramer H., Schierz C. & Wunsch A. (2011) Der Stand von Wissenschaft und Technik bei neuen Beleuchtungstechnologien am Arbeitsplatz und ihre Auswirkungen.
- Canazei M., Dehoff P., Staggi S. & Pohl W. (2014) Effects of dynamic ambient lighting on female permanent morning shift workers. *Lighting Research and Technology*, 46(2): 140-156.
- Carmichael L. & Dearborn W. F. (1947) *Reading and Visual Fatigue*: Harrap.
- Chang A.-M., Scheer F. A. J. L. & Czeisler C. A. (2011) The human circadian system adapts to prior photic history. *Journal of Physiology*, 589(5): 1095-1102.
- Chang A. M., Scheer F. A., Czeisler C. A. & Aeschbach D. (2013) Direct effects of light on alertness, vigilance, and the waking electroencephalogram in humans depend on prior light history. *Sleep*, 36(8): 1239-1246.
- Choi C.-J., Kim K.-S., Kim C.-M., Kim S.-H. & Choi W.-S. (2011) Reactivity of heart rate variability after exposure to colored lights in healthy adults with symptoms of anxiety and depression. *International Journal of Psychophysiology*, 79(2): 83-88.
- CIE 205:2013 (2013) Review of Lighting Quality Measures for Interior Lighting with LED Lighting Systems. Wien: International Commission on Illumination.
- CIE (2004) Ocular Lighting Effects on Human Physiology and Behaviour. International Commission on Illumination.
- CIE (2011) CIE S 017/E:2011, ILV: International Lighting Vocabulary. Wien.
- CIE (2013) Online Dictionary of the International Commission on Illumination. <http://eilv.cie.co.at/termlist>.
- CIE (2015) CIE Statement on Non-Visual Effects of Light: Recommending Proper Light at the Proper Time. International Commission on Illumination.
- Clark P. I. & Leaverton P. E. (1994) Scientific and ethical issues in the use of placebo controls in clinical trials. *Annu Rev Public Health*, 15: 19-38.

- Colloca L. & Miller F. G. (2011) The nocebo effect and its relevance for clinical practice. *Psychosom Med*, 73(7): 598-603.
- Crichton F., Dodd G., Schmid G., Gamble G. & Petrie K. J. (2014) Can expectations produce symptoms from infrasound associated with wind turbines? *Health Psychol*, 33(4): 360-364.
- Dainoff M. J. (1982) Occupational stress factors in visual display terminal (VDT) operation: a review of empirical research. *Behaviour & Information Technology*, 1(2): 141-176.
- de Kort Y. A. W. & Veitch J. A. (2014) From blind spot into the spotlight: Introduction to the special issue 'Light, lighting, and human behaviour'. *Journal of Environmental Psychology*, 39(0): 1-4.
- DIN EN 12464-1 (2011) Licht und Beleuchtung - Beleuchtung von Arbeitsstätten - Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen. Berlin: Beuth.
- DIN SPEC 5031-100:2011 (2011) Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik - Teil 100: Über das Auge vermittelte, nichtvisuelle Wirkung des Lichts auf den Menschen - Größen, Formelzeichen und Wirkungsspektren. Berlin: Beuth.
- Eltiti S., Wallace D., Ridgewell A., Zougkou K., Russo R., Sepulveda F., Mirshekar-Syahkal D., Rasor P., Deeble R. & Fox E. (2007) Does short-term exposure to mobile phone base station signals increase symptoms in individuals who report sensitivity to electromagnetic fields? A double-blind randomized provocation study. *Environ Health Perspect*, 115(11): 1603-1608.
- Espiritu R. C., Kripke D. F., Ancoli-Israel S., Mowen M. A., Mason W. J., Fell R. L., Klauber M. R. & Kaplan O. J. (1994) Low illumination experienced by San Diego adults: Association with atypical depressive symptoms. *Biological Psychiatry*, 35(6): 403-407.
- Eysel U. T. & Burandt U. (1984) Fluorescent tube light evokes flicker responses in visual neurons. *Vision Res*, 24(9): 943-948.
- Fotios S. & Cheal C. (2010) Stimulus range bias explains the outcome of preferred-illuminance adjustments. *Lighting Research and Technology*, 42(4): 433-447.
- Gabel V., Maire M., Reichert C. F., Chellappa S. L., Schmidt C., Hommes V., Viola A. U. & Cajochen C. (2013) Effects of artificial dawn and morning blue light on daytime cognitive performance, well-being, cortisol and melatonin levels. *Chronobiology International*, 30(8): 988-997.
- Gobba F. M., Broglia A., Sarti R., Luberto F. & Cavalleri A. (1988) Visual fatigue in video display terminal operators: objective measure and relation to environmental conditions. *Int Arch Occup Environ Health*, 60(2): 81-87.
- Görner B. (2008) Beleuchtung von Arbeitsstätten - Stand der Gesetzgebung. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- Grimaldi S., Partonen T., Saarni S. I., Aromaa A. & Lönnqvist J. (2008) Indoors illumination and seasonal changes in mood and behavior are associated with the health-related quality of life. *Health Qual Life Outcomes*, 6: 56.
- Hacker W. (1998) *Allgemeine Arbeitspsychologie*, Bern: Huber.
- Hahn R. A. (1997) The Nocebo Phenomenon: Concept, Evidence, and Implications for Public Health. *Preventive Medicine*, 26: 607-611.

- Hammer R. (2013) Tageslichtarchitektur - Planungsempfehlungen auf photobiologischer Grundlage. 1. Praxisforum zur Wirkungen des Lichtes auf den Menschen - BioWi. Weimar: Bauhaus Weiterbildungsakademie Weimar e.V.
- Hansen V., Lund E. & Smith-Sivertsen T. (1998) Self-reported mental distress under the shifting daylight in the high north. *Psychol Med*, 28(2): 447-452.
- Hartig T., Book A., Garvill J., Olsson T. & Garling T. (1996) Environmental influences on psychological restoration. *Scand J Psychol*, 37(4): 378-393.
- Hauser W., Hansen E. & Enck P. (2012) Nocebo phenomena in medicine: their relevance in everyday clinical practice. *Dtsch Arztebl Int*, 109(26): 459-465.
- Hebert M., Martin S. K., Lee C. & Eastman C. I. (2002) The effects of prior light history on the suppression of melatonin by light in humans. *J Pineal Res*, 33(4): 198-203.
- Hellinga H. & Hordijk T. (2014) The D&V analysis method: A method for the analysis of daylight access and view quality. *Building and Environment*, 79: 101-114.
- Hopkinson R. G. & Collins J. B. (1970) *The ergonomics of lighting*: Macdonald & Co.
- Hubalek S., Brink M. & Schierz C. (2010) Office workers' daily exposure to light and its influence on sleep quality and mood. *Lighting Research and Technology*, 42(1): 33-50.
- Hubalek S., Zöschg D. & Schierz C. (2006) Ambulant recording of light for vision and non-visual biological effects. *Lighting Research and Technology*, 38(4): 314-324.
- IES (2008) IES TM-18-08 Light and Human Health: An Overview of the Impact of Optical Radiation on Visual, Circadian, Neuroendocrine, and Neurobehavioral Responses. New York: Illuminating Engineering Society of North America.
- Iwata T., Hasebe T. & Kubota M. (2003) Study on exposed illuminance in daily life and circadian rhythm. *CIE 25th Session*. San Diego: CIE.
- Jung C. M., Khalsa S. B. S., Scheer F. A. J. L., Cajochen C., Lockley S. W., Czeisler C. A. & Wright K. P., Jr. (2010) Acute effects of bright light exposure on cortisol levels. *Journal of Biological Rhythms*, 25(3): 208-216.
- Juslen H. & Tenner A. (2005) Mechanisms involved in enhancing human performance by changing the lighting in the industrial workplace. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35: 843-855.
- KAN (2015) KAN-Positionspapier zum Thema künstliche, biologisch wirksame Beleuchtung in der Normung St. Augustin: Kommission Arbeitsschutz und Normung; Verein zur Förderung der Arbeitssicherheit in Europa e.V. (VFA)
- Kantermann T. (2013) Circadian Biology: Sleep-Styles Shaped by Light-Styles. *Current Biology*, 23(16): R689-R690.
- Kaplan R. (1993) The role of nature in the context of the workplace. *Landscape and Urban Planning*, 26(1-4): 193-201.
- Kaplan R. & Kaplan S. (1989) *The Experience of Nature: A Psychological Perspective*: Cambridge University Press.
- Kaplan S. (1995) The restorative benefits of nature: Toward an integrative framework. *Journal of Environmental Psychology*, 15(3): 169-182.

- Kasper S., Rogers S. L., Madden P. A., Joseph-Vanderpool J. R. & Rosenthal N. E. (1990) The effects of phototherapy in the general population. *J Affect Disord*, 18(3): 211-219.
- Kim J. T., Shin J. Y. & Yun G. Y. (2011) Prediction of Discomfort Glares from Windows: Influence of the Subjective Evaluation of Window Views. *Indoor and Built Environment*.
- Kleitman N. (1933) Diurnal variation in performance. *Am J Physiol.*, 104(43): 449-456.
- Kozaki T., Kitamura S., Higashihara Y., Ishibashi K., Noguchi H. & Yasukouchi A. (2005) Effect of color temperature of light sources on slow-wave sleep. *J Physiol Anthropol Appl Human Sci*, 24(2): 183-186.
- Krüger J. (2014) Context Aware Lighting Systems for Workplaces: Eine Literatur-Review. *60.Frühjahrskongress der GfA - Gestaltung der Arbeitswelt der Zukunft*: 67-69.
- Kunz D. (2015) Circadiane Wirksamkeit Aml-basierter Beleuchtungssysteme: Wirkungsfragen circadianer Desynchronisation. Dresden: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- Lazarus R. S. & Folkman S. (1984) *Stress, appraisal, and coping*: Springer Publishing Company.
- Leitner K. (1993) Auswirkung von Arbeitsbedingungen auf die psychosoziale Gesundheit. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaften*, 47(2): 98-107.
- Leitner K., Volpert W., Greiner B., Weber W. & Hennes K. (1987) *Analyse psychischer Belastungen in der Arbeit*, Köln: Verlag TÜV Rheinland.
- Lindner H. (1994) *Asthenopische Beschwerden bei Beleuchtung mit Gasentladungslampen (GEL) : Subjektive und objektive Funktionsprüfungen des Auges*, Berlin, ALLEMAGNE: Springer.
- Lindsley D. (1988) Activation, Arousal, Alertness, and Attention. *States of Brain and Mind*: Birkhäuser Boston.
- Lucas R. J., Peirson S. N., Berson D. M., Brown T. M., Cooper H. M., Czeisler C. A., Figueiro M. G., Gamlin P. D., Lockley S. W., O'Hagan J. B., Price L. L. A., Provencio I., Skene D. J. & Brainard G. C. (2014) Measuring and using light in the melanopsin age. *Trends in Neurosciences*, 37(1): 1-9.
- Mills P. R., Tomkins S. C. & Schlangen L. J. (2007) The effect of high correlated colour temperature office lighting on employee wellbeing and work performance. *2007*, 5.
- Mocci F., Serra A. & Corrias G. A. (2001) Psychological factors and visual fatigue in working with video display terminals. *Occup Environ Med*, 58(4): 267-271.
- Mottram V., Middleton B., Williams P. & Arendt J. (2011) The impact of bright artificial white and 'blue-enriched' light on sleep and circadian phase during the polar winter. *J Sleep Res*, 20(1 Pt 2): 154-161.
- Münch M., Linhart F., Borisuit A., Jaeggi S. M. & Scartezzini J.-L. (2012) Effects of prior light exposure on early evening performance, subjective sleepiness, and hormonal secretion. *Behavioral Neuroscience*, 126(1): 196-203.
- Norton T. T. & Siegwart J. T., Jr. (2013) Light levels, refractive development, and myopia-- a speculative review. *Exp Eye Res*, 114: 48-57.

- Oesterreich R. (1998) Die Bedeutung arbeitspsychologischer Konzepte der Handlungsregulationstheorie für die betriebliche Gesundheitsförderung. In: E. Bamberg, A. Ducki & A.-M. Metz (eds.), *Handbuch Betriebliche Gesundheitsförderung*. Göttingen: Verlag für Angewandte Psychologie.
- Oldham M. A. & Ciraulo D. A. (2014) Bright light therapy for depression: a review of its effects on chronobiology and the autonomic nervous system. *Chronobiol Int*, 31(3): 305-319.
- Park D.-H., Kripke D. F., Louis G. J., Elliott J. A., Klauber M. R., Rex K. M., Tuunainen A. & Langer R. D. (2007a) Self-Reported Sleep Latency in Postmenopausal Women. *J Korean Med Sci*, 22(6): 1007.
- Park D. H., Kripke D. F., Louis G. J., Elliott J. A., Klauber M. R., Rex K. M., Tuunainen A. & Langer R. D. (2007b) Self-reported sleep latency in postmenopausal women. *J Korean Med Sci*, 22(6): 1007-1014.
- Park J. Y., Min B.-K., Jung Y.-C., Pak H., Jeong Y.-H. & Kim E. (2013) Illumination influences working memory: An EEG study. *Neuroscience*, 247(0): 386-394.
- Partonen T. & Lönnqvist J. (2000) Bright light improves vitality and alleviates distress in healthy people. *Journal of Affective Disorders*, 57(1-3): 55-61.
- Phipps-Nelson J., Redman J. R., Dijk D. J. & Rajaratnam S. M. (2003) Daytime exposure to bright light, as compared to dim light, decreases sleepiness and improves psychomotor vigilance performance. *Sleep*, 26(6): 695-700.
- prEN 16791:2014 (2014) Quantifying irradiance for eye mediated non-image forming effects of light in humans. Berlin: Beuth.
- Rautkylä E., Puolakka M. & Halonen L. (2012) Alerting effects of daytime light exposure - a proposed link between light exposure and brain mechanisms. *Lighting Research and Technology*, 44: 238-252.
- Rea M. S., Bierman A., Figueiro M. G. & Bullough J. D. (2008) A new approach to understanding the impact of circadian disruption on human health. *Journal of Circadian Rhythms*, 6: 7.
- Revell V. L., Arendt J., Fogg L. F. & Skene D. J. (2006) Alerting effects of light are sensitive to very short wavelengths. *Neuroscience Letters*, 399: 96-100.
- Roberts J. E. & Wilkins A. J. (2013) Flicker can be perceived during saccades at frequencies in excess of 1 kHz. *Lighting Research and Technology*, 45: 124-132.
- Robertson A. S., McInnes M., Glass D., Dalton G. & Sherwood Burge P. (1989) Building Sickness, are Symptoms Related to the Office Lighting? *The Annals of Occupational Hygiene*, 33(1): 47-59.
- Rose K. A., Morgan I. G., Ip J., Kifley A., Huynh S., Smith W. & Mitchell P. (2008) Outdoor activity reduces the prevalence of myopia in children. *Ophthalmology*, 115(8): 1279-1285.
- Rosenthal N. E., Sack D. A., Gillin J. C., Lewy A. J., Goodwin F. K., Davenport Y., Mueller P. S., Newsome D. A. & Wehr T. A. (1984) Seasonal affective disorder. A description of the syndrome and preliminary findings with light therapy. *Arch Gen Psychiatry*, 41(1): 72-80.
- Sahin L. & Figueiro M. G. (2013) Alerting effects of short-wavelength (blue) and long-wavelength (red) lights in the afternoon. *Physiol Behav*, 116-117: 1-7.

- Saito S., Sotoyama M., Saito S. & Taptagaporn S. (1994) Physiological indices of visual fatigue due to VDT operation: pupillary reflexes and accommodative responses. *Ind Health*, 32(2): 57-66.
- Santhi N., Groeger J. A., Archer S. N., Gimenez M., Schlangen L. J. M. & Dijk D.-J. (2013) Morning Sleep Inertia in Alertness and Performance: Effect of Cognitive Domain and White Light Conditions. *Plos one*, 8(11): e79688.
- Sato M., Inui M., Nakamura Y. & Takeuchi Y. (1989) Visual environment of a control room. *Lighting Research and Technology*, 21(3): 99-106.
- Scheuermaier K., Laffan A. M. & Duffy J. F. (2010) Light exposure patterns in healthy older and young adults. *J Biol Rhythms*, 25(2): 113-122.
- Schierz C. (2006) Das Akzeptanzurteil als Ausdruck mentaler Konzepte für physikalische Belastungsgrößen – ein Beitrag zur Umweltergonomie. *Departement für Management, Technologie und Ökonomie*. Zürich: Eidgenössische Technische Hochschule Zürich.
- Schierz C. & Krueger H. (2002) Vor- und Nachteile intensiver Beleuchtung am Büroarbeitsplatz. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 56(4): 269-274.
- Schober H. (1953) [Causes of asthenopic disorders in fluorescent illumination]. *Klin Monbl Augenheilkd Augenarztl Fortbild*, 123(4): 462-474.
- Sekulovski D., Perz M. & Vogels I. (2012) Modeling the visibility of the stroboscopic effect. *Lighting Quality and Energy Efficiency*: CIE Central Bureau.
- Seligman M. E. P. (1975) *Helplessness. On Depression, Development and Death*, San Francisco: Freeman and Comp.
- Sheedy J. E. (2007) The physiology of eyestrain. *Journal of Modern Optics*, 54(9): 1333-1341.
- Smith K. A., Schoen M. W. & Czeisler C. A. (2004) Adaptation of human pineal melatonin suppression by recent photic history. *J Clin Endocrinol Metab*, 89(7): 3610-3614.
- Smolders K. C. H. J. & de Kort Y. A. W. (2014) Bright light and mental fatigue: Effects on alertness, vitality, performance and physiological arousal. *Journal of Environmental Psychology*, 39(0): 77-91.
- Smolders K. C. H. J., de Kort Y. A. W. & van den Berg S. M. (2013) Daytime light exposure and feelings of vitality: Results of a field study during regular weekdays. *Journal of Environmental Psychology*, 36(0): 270-279.
- Sonnentag S. & Frese M. (2002) Performance Concepts and Performance Theory. In: S. Sonnentag (ed.), *Psychological management of individual performance*. Chichester, West Sussex, UK: John Wiley & Sons.
- Stevens R. G., Brainard G. C., Blask D. E., Lockley S. W. & Motta M. E. (2013) Adverse Health Effects of Nighttime Lighting - Comments on American Medical Association Policy Statement. *American Journal of Preventive Medicine*, 45(3): 343-346.
- Tefft N. (2012) Mental health and employment: The SAD story. *Economics & Human Biology*, 10(3): 242-255.
- Teixeira L., Lowden A., da Luz A. A., Turte S. L., Moreno C. R., Valente D., Nagai-Manelli R., Louzada F. D. & Fischer F. M. (2013) Exposure to bright light during evening class hours increases alertness among working college students. *Sleep Medicine*, 14: 91-97.

- Terman M. (2006) Review: light therapy is an effective treatment for seasonal affective disorder. *Evid Based Ment Health*, 9(1): 21.
- Thapan K., Arendt J. & Skene D. J. (2001) An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans. *Journal of Physiology*, 535(1): 261-267.
- Tuunainen A., Kripke D. F. & Endo T. (2004) Light therapy for non-seasonal depression. *Cochrane Database Syst Rev*, (2): Cd004050.
- Ulrich R. S. (1979) Visual landscapes and psychological well-being. *Landscape Research*, 4(1): 17-23.
- Vandewalle G., Maquet P. & Dijk D. J. (2009) Light as a modulator of cognitive brain function. *Trends Cogn Sci*, 13(10): 429-438.
- Veitch J. A. (2011) Workplace design contributions to mental health and well-being. *Healthc Pap*, 11 Spec No: 38-46.
- Villa C. & Labayrade R. (2013) Multi-objective optimisation of lighting installations taking into account user preferences - a pilot study. *Lighting Research and Technology*, 45: 176-196.
- Viola A. U. D., James L. M., Schlangen L. J. M. & Dijk D.-J. (2008) Blue-enriched white light in the workplace improves self-reported alertness, performance and sleep quality. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 34(4): 297-306.
- Vischer J. C. (2005) *Space Meets Status: Designing Workplace Performance*: Routledge Chapman & Hall.
- Vischer J. C. (2007) The effects of the physical environment on job performance: towards a theoretical model of workspace stress. *Stress and Health*, 23(3): 175-184.
- Vogels I., Sekulovski D. & Perz M. (2011) Visible Artefacts of LEDs. In: CIE (ed.). Sun City/South Africa: CIE Central Bureau.
- Weber H. & Rammsayer T. (2012) *Differentielle Psychologie - Persönlichkeitsforschung*. , Göttingen: Hogrefe.
- Wilkins A. J., Nimmo-Smith I., Slater A. I. & Bedocs L. (1991) Fluorescent lighting, headaches and eyestrain. *Applied Ergonomics*, 22(3): 211.
- Wyatt J. K., Ritz-De Cecco A., Czeisler C. A. & Dijk D. J. (1999) Circadian temperature and melatonin rhythms, sleep, and neurobehavioral function in humans living on a 20-h day. *American journal of physiology - Regulatory, integrative and comparative physiology*, 277: 63-1152.

## 10. Tabellenverzeichnis

<b>Tab. 1</b>	Übersicht über die Studien zum Zusammenhang zwischen dem Merkmal visueller Diskomfort und den Outcomes .....	14
<b>Tab. 2</b>	Übersicht über die Studien zum Zusammenhang zwischen dem Merkmal Sichtverbindung nach außen und den Outcomes .....	17
<b>Tab. 3</b>	Übersicht über die Studien zum Zusammenhang zwischen dem Merkmal Desynchronisation und den Outcomes .....	19
<b>Tab. 4</b>	Übersicht über die Studien zum Zusammenhang zwischen dem Merkmal Synchronisation und den Outcomes .....	22
<b>Tab. 5</b>	Übersicht über die Studien zum Zusammenhang zwischen dem Merkmal akute nicht visuelle Wirkung und den Outcomes .....	23
<b>Tab. 6</b>	Übersicht über die Studien zum Zusammenhang zwischen dem Merkmal individuelle Steuerbarkeit und den Outcomes.....	27

## 11. Abbildungsverzeichnis

<b>Abb. 1</b>	Selektion der Literatur.....	12
<b>Abb. 2</b>	Wirkungspfade und Outcomes (kursiv) .....	13
<b>Abb. 3</b>	Beschwerden und Problemkategorien der Beleuchtung .....	28