

HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN HAMBURG
Fakultät Life Sciences • Department Health Sciences • Gesundheitswissenschaften

Melanopisch wirksame Beleuchtung am Arbeitsplatz:

Eine systematische Literaturrecherche zu nicht-visuellen Lichtwirkungen
bei Bürobeschäftigten

Bachelorarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades Bachelor of Science (B. Sc.)

vorgelegt von Lisa Marie Weishaupt



Hamburg, den 30. August 2017

Erstgutachterin:
Frau Prof. Dr. Gabriele Perger
HAW Hamburg

Zweitgutachter:
Dipl. Ing. Frank Simon
HAW Hamburg

Zusammenfassung

Veränderungen in der Arbeitswelt führten dazu, dass erwerbstätige Menschen heute ihre Zeit vorwiegend im Innenbereich verbringen, in welchem sie oft viel geringeren Lichtintensitäten ausgesetzt sind als im natürlichen Licht. Da jüngste Forschungsergebnisse empfehlen, die Innenraumbeleuchtung den Eigenschaften des Tageslichts anzupassen, befasst sich die vorliegende Übersichtsarbeit mit den Kriterien, die eine tageslichtähnliche, künstliche Beleuchtung an Büroarbeitsplätzen erfüllen muss, um sich positiv auf Motivation, Leistung und Gesundheit der Beschäftigten auszuwirken.

Zur Beantwortung der Fragestellung wurde eine systematische Literaturrecherche durchgeführt, um zum einen Hintergrundwissen und lichttechnische Empfehlungen zu tageslichtähnlicher Beleuchtung zur Verfügung zu stellen und zum anderen Studien zu identifizieren, die den Einsatz entsprechender Lichtbedingungen auf ihre Wirksamkeit hin untersucht haben. Die Handrecherche über den Regionalkatalog Hamburg und Google Scholar brachte 27 Treffer zum Grundlagenwissen und gesetzlichen Mindestanforderungen. Die anschließende Datenbankrecherche zum aktuellen Forschungsstand erfolgte über Medline (PubMed), Google Scholar und ResearchGate und ergab 321 Treffer, von denen der Beantwortung der Fragestellung nach Anwendung von Ein- und Ausschlusskriterien sowie einer qualitativen Auswertung vier Publikationen zugrunde gelegt wurden.

Künstliche Lichtquellen am Büroarbeitsplatz sind heute so optimiert, dass sie vor allem die Sehfunktionen für die Ausführung von Arbeitsaufgaben unterstützen. Allerdings erzielt Licht nicht nur visuelle, sondern auch biologische – sogenannte melanopische – Wirkungen, welche vor allem durch den um die Jahrhundertwende entdeckten dritten Photorezeptor der Netzhaut vermittelt werden. Diese retinalen Ganglienzellen reagieren aufgrund ihrer spektralen Empfindlichkeit besonders auf die hohen Blauanteile, die Helligkeit und die flächige Verteilung des Tageslichts und synchronisieren sämtliche menschliche Körperfunktionen – wie z.B. die Herzrate oder den Schlaf-Wach-Rhythmus – in einer 24-stündigen Rhythmik mit der Außenwelt. Dadurch, dass der Mensch sich vorwiegend in künstlich beleuchteten Arbeitsumgebungen aufhält, fehlt jedoch das Tageslicht als wichtiger Zeitgeber, und die inneren Uhren können aus dem Takt geraten. Müdigkeit und Stimmungsschwankungen können die Folge sein, auch Diabetes, Herz-Kreislauf- und einige Krebserkrankungen werden mit einer Desynchronisation assoziiert. Die vier vorgestellten Feldstudien bestätigen gesundheits- und leistungsfördernde Effekte von tageslichtähnlicher Beleuchtung hinsichtlich der Konzentrationsfähigkeit, der Aufmerksamkeit und der Stimmung von Büromitarbeitern im Verlauf des Arbeitstages sowie eine verbesserte Schlafqualität in der Nacht.

Es gilt nun, dieses Wissen in Maßnahmen zur Gesundheitsprävention zu transferieren und unter Einhaltung der lichttechnischen Empfehlungen in betriebliche Strukturen zu integrieren.

Abstract

Due to changes in work environment, nowadays employed people spent most of their daytime indoors, where they are exposed to much lower light intensities than under natural conditions. Since recent research results suggest that interior lighting should be adapted to the characteristics of daylight, this review deals with the requirements which artificial lighting similar to daylight in office workplaces must fulfill in order to have a positive impact on motivation, performance and health of employees.

To answer the question, a systematic literature search was conducted, on the one hand, to provide background knowledge and photometric recommendations for daylight-like lighting and on the other hand, to identify studies which have investigated the use of appropriate light situations for their efficacy. Hand search in the Regionalkatalog Hamburg and Google Scholar brought 27 hits to basic knowledge and legal minimum standards. The following database research on the current state of research in Medline (PubMed), Google Scholar and ResearchGate found 321 results. Based on the use of inclusion and exclusion criteria as well as a qualitative evaluation, four publications were used to answer the question.

Today, artificial light sources at office workplaces are optimized to support the human vision for the execution of work tasks. However, light achieves not only visual, but also biological – so-called melanopic – effects, which are mediated primarily by the third photoreceptor of the retina discovered around the turn of the century. Because of their spectral sensitivity these retinal ganglion cells react particularly to the high blue component, the brightness and the flat distribution of daylight and synchronize all human body functions – like the heart rate or the sleep-wake-rhythm – in a 24-hour rhythm with the outside world. Due to the fact that time is spent mainly in artificially illuminated working environments, daylight is missing as an important timer and internal clocks can get out of sync. Fatigue and mood swings can be the result, even diabetes, cardiovascular and some cancerous diseases are associated with desynchronization. The 4 field studies presented confirm the health and performance enhancing effects of lighting similar to daylight with regard to the concentration, attention and mood of office workers over the working day, as well as improved sleeping quality at night.

It is now necessary to transfer this knowledge into health prevention measures and to integrate them into operational structures and processes, taking account of photometric recommendations.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	2
Inhaltsverzeichnis	4
Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	5
Abkürzungsverzeichnis	5
1 Einleitung	6
2 Methodisches Vorgehen	7
2.1 Entwicklung der Fragestellung.....	7
2.2 Systematische Literaturrecherche	8
3 Ergebnisdarstellung	14
3.1 Kriterien tageslichtähnlicher Beleuchtungssysteme	14
3.1.1 Vertikale Beleuchtungsstärke	16
3.1.2 Höhere Farbtemperaturen	17
3.1.3 Einfallswinkel des Lichts und Lichtverteilung im Raum	17
3.1.4 Höhere Blauanteile	17
3.1.5 Persönliche Präferenzen	17
3.1.6 Das richtige Licht zur richtigen Zeit.....	18
3.1.7 Empfehlungen für die Planung melanopisch wirksamer Beleuchtungssysteme.....	18
3.2 Melanopisch wirksame Beleuchtung am Büroarbeitsplatz	20
3.2.1 Studie I.....	20
3.2.2 Studie II.....	21
3.2.3 Studie III.....	22
3.2.4 Studie IV	23
4 Diskussion	23
4.1 Limitationen	26
4.2 Schlussfolgerung und Ausblick.....	30
5 Literaturverzeichnis	32
Eidesstattliche Erklärung	37
Anhang	38

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Arbeitsschritte der systematischen Literaturrecherche	8
Abbildung 2: Verknüpfung der Stichwortgruppen bei der Suchanfrage in Medline	11
Abbildung 3: Screeningprozess.....	13
Abbildung 4: Lichtfarbe und Farbtemperatur (vgl. Witting 2014: 105, Ausschnitt)	14
Abbildung 5: Wirkungspfade des Lichts	15
Abbildung 6: Ansprache der Photorezeptoren	17
Abbildung 7: Unterschiedliche Beleuchtungsbedingungen im selben Büroraum: Höhere Beleuchtungsstärken, höhere Blauanteile und eine flächige Lichtverteilung am Morgen und mittags für eine melanopische Wirkung (links). Zum Feierabend möglichst geringe Blauanteile und gerichtetes Licht zur Vorbereitung des Körpers auf die Ruhepause (rechts). (Fördergemeinschaft Gutes Licht 2014: 30).....	19
Abbildung 8: Spektrale Zusammensetzung des experimentellen blau-angereicherten weißen Lichts (17.000 K) und des weißen Lichts (4.000 K) und der Referenzlichtverhältnisse. Die Messungen wurden im Zentrum des Büros getätigt. (Viola et. al 2008: 299).....	21

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Suchbegriffe für die Fachliteraturrecherche	9
Tabelle 2: Suchbegriffe für die Recherche in PubMed	11
Tabelle 3: Ein- und Ausschlusskriterien der Literaturrecherche	12
Tabelle 4: Empfehlungen der DIN SPEC 67600 zur tageslichtähnlichen Bürobeleuchtung ..	19
Tabelle 5: Bereiche mit einer konkreten Verbesserung in der Versuchsgruppe im Vergleich zu Referenzwerten zu Beginn der Intervention (bei denen eine entsprechende Verbesserung in der Kontrollgruppe nicht beobachtet wurde) (Mills et al. 2007: 5)	21

Abkürzungsverzeichnis

ipRGCs	intrinsisch photosensitiven retinalen Ganglienzellen
K	Kelvin
LED	lichtemittierende Diode
lx	Lux
MeSH	Medical Subject Headings
MCTQ	Munich ChronoType Questionnaire
MSF _{SC}	mid-sleep on free days, corrected for sleep deficit during the workweek
nm	Nanometer
SBiB	Schweizerischen Befragung in Büros
SBS	Sick-Building-Syndrom
SCN	Nucleus suprachiasmaticus

1 Einleitung

Das Tageslicht gilt als wichtigste Lichtquelle für den Menschen, da er und das Auge sich unter diesen Verhältnissen entwickelt haben (vgl. Birbaumer & Schmidt 2006: 376). Technischer Fortschritt und ein Wandel der Arbeitswelt von einer Industrie- zur Dienstleistungsgesellschaft führten jedoch dazu, dass sich die Zeit im natürlichen Licht stark reduziert hat: Heute verbringen in Deutschland laut der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2010: 3) rund 40 Prozent der etwa 41 Millionen Erwerbstätigen den Großteil des Tages in geschlossenen Räumen. Einhergehend mit den sich verändernden beruflichen Anforderungen wurde bereits Anfang des letzten Jahrhunderts auf „[...] die Bedeutung der Beleuchtungshygiene für den Gesundheitsschutz der Berufstätigen [...]“ hingewiesen (Holtzmann et al. 1928: 7). Auch die – aufgrund ihrer Methodik umstrittenen – Hawthorne-Experimente von Roethlisberger et al. (1939) beschäftigten sich mit der Beleuchtung am Arbeitsplatz und ihrer Wirkung auf die Produktivität von Arbeitern¹. Während frühe Studien die Beleuchtung als Mittel zur Erfüllung der Arbeitsaufgabe in den Fokus rückten, fanden in den vergangenen Jahrzehnten vermehrt Aspekte der Gesundheit und des Wohlbefindens der Mitarbeiter Berücksichtigung (vgl. Plischke 2015: 52). Heute ist bekannt, dass eine unzureichende Beleuchtung in Kombination mit anderen anhaltenden Belastungen – wie z.B. einem hohen Zeit- und Leistungsdruck – zu zusätzlichem Stress bei der Arbeit führen und so das Entstehen von Depressionen begünstigen kann (vgl. BAuA 2012: 18). Besonders in den kaufmännisch-verwaltenden Berufen nimmt die Zahl der durch psychische Erkrankungen verursachten Fehltag zu – Betroffene sind zudem häufig lange krankgeschrieben, und die Erkrankungsdauer steigt mit dem Alter zusätzlich an (vgl. DAK 2015: 7ff.). Dies stellt eine Herausforderung sowohl für Arbeitgeber, als auch für das Gesundheitssystem dar.

Aktuelle Empfehlungen von Lichtexperten legen nahe, die künstlichen Lichtverhältnisse an Arbeitsstätten dem Licht der Natur anzupassen (vgl. Ullmann 2015: 112). Dabei stellt sich die Frage, welche Kriterien eine dem Tageslicht nachempfundene Bürobeleuchtung erfüllen muss, damit sie sowohl leistungs-, als auch gesundheitsfördernde Wirkungen erzielt.

Aus diesem Grund verfolgt die vorliegende Arbeit das Ziel, mittels einer systematischen Literaturrecherche wesentliche Merkmale tageslichtähnlicher Bürobeleuchtungssysteme aufzuzeigen. Hieraus ergeben sich folgende Forschungsfragen:

1. Welche Kriterien muss eine tageslichtähnliche, künstliche Beleuchtung an Büroarbeitsplätzen erfüllen, um positive Wirkungen auf die Motivation, die Leistung und die Gesundheit der Beschäftigten zu erzielen?

¹ Zur Vereinfachung des Lesens wird im weiteren Verlauf dieser Arbeit nur die männliche Form verwendet. Es sind jedoch stets Personen männlichen und weiblichen Geschlechts gemeint.

2. Wie ist der aktuelle Forschungsstand zur Wirksamkeit tageslichtähnlicher, künstlicher Beleuchtung an Büroarbeitsplätzen hinsichtlich der Motivation, der Leistung und der Gesundheit der Beschäftigten?

Zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage wird das Hauptaugenmerk auf Gestaltungsempfehlungen für eine tageslichtähnliche Beleuchtungsqualität gelegt, die sich positiv auf kognitive Fähigkeiten, den Gesundheitszustand und die Stimmung der Beschäftigten auswirkt. Daran anknüpfend werden zur Beantwortung der zweiten Forschungsfrage aktuelle Studien identifiziert, die den Einsatz entsprechender Lichtinstallationen in Büroräumen auf ihre Wirksamkeit hin untersucht haben.

Die Arbeit ist wie folgt aufgebaut: In Kapitel 2 wird zunächst das Vorgehen der Autorin bei der Formulierung der Forschungsfragen und der systematischen Literaturrecherche dargelegt. Anschließend werden in Kapitel 3 die Ergebnisse vorgestellt, die in der Diskussion in Kapitel 4 hinsichtlich inhaltlicher und methodischer Limitationen bewertet werden. Aus dieser Diskussion leiten sich sodann die Schlussfolgerung und ein Ausblick ab, der aufbauend auf den Ergebnissen und dem Diskussionsteil Handlungsempfehlungen aufzeigt. Relevante Zusatzinformationen können im Anhang eingesehen werden.

2 Methodisches Vorgehen

Im Rahmen einer systematischen Literaturrecherche sollen theoretisches Grundwissen und aktuelle Studienergebnisse zur Wirkung tageslichtähnlicher Beleuchtung gesammelt, zusammengefasst und kritisch bewertet werden. Ziel ist es, einen Überblick über den derzeitigen Forschungsstand zu bieten.

Nachfolgend wird zunächst die Entwicklung der Fragestellung und im Anschluss das Vorgehen bei der Literaturrecherche erläutert.

2.1 Entwicklung der Fragestellung

In zahlreichen Richt- und Leitlinien des Gesetzgebers und der Berufsgenossenschaften sind die Bedingungen für eine gute Beleuchtung mit dem Ziel dokumentiert, „[...] die Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit nicht zu gefährden oder zu beeinträchtigen.“ (Plischke 2015: 52). Jedoch kann ein gut gestalteter Arbeitsplatz viel mehr als nur Unfälle verhüten: Mit Hilfe einer gut durchdachten Beleuchtungssituation kann die Gesundheit von Beschäftigten erhalten und verbessert und im gleichen Zuge die Arbeitszufriedenheit und Leistungsfähigkeit gesteigert werden (vgl. Rudow 2011: 133f.). Trotzdem gelten heute noch circa 80 Prozent der Bildschirmarbeitsplätze als unzureichend beleuchtet (vgl. BAuA 2010: 13). Vor diesem Hintergrund erscheint es sinnvoll, konkrete Eigenschaften einer guten und gesunden künstlichen Beleuchtung zu definieren und deren Wirkungen auf den Menschen zu

untersuchen. Hierfür wurden die beiden Fragestellungen formuliert, an denen sich die vorliegende Arbeit orientierte: Welche Kriterien muss eine tageslichtähnliche, künstliche Beleuchtung erfüllen und inwieweit wurde ihr Einsatz in Bürouräumen auf seine Wirksamkeit hin untersucht?

2.2 Systematische Literaturrecherche

Die systematische Literaturrecherche erfolgt in zwei aufeinanderfolgenden Schritten. Ziel ist es, im ersten Schritt Grundlagenwissen und lichttechnische Empfehlungen zu tageslichtähnlicher, künstlicher Beleuchtung am Büroarbeitsplatz zur Verfügung zu stellen. Im zweiten Arbeitsschritt wird eine systematische Erhebung empirischer Studien zur Wirksamkeit tageslichtähnlicher Beleuchtung im Bürosetting durchgeführt. In Abbildung 1 werden die einzelnen Schritte der systematischen Literaturrecherche dargestellt und nachfolgend erläutert.

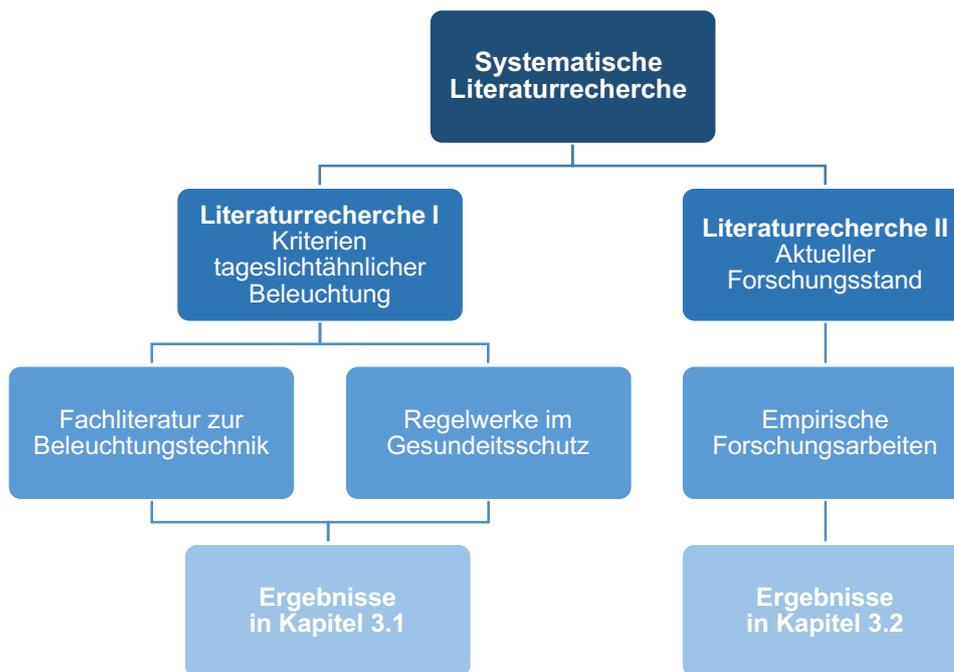


Abbildung 1: Arbeitsschritte der systematischen Literaturrecherche

Literaturrecherche zu den Anforderungen an tageslichtähnliche Beleuchtung

Um relevante Begriffe für die Literatursuche zu erhalten, wird zu Beginn die erste Fragestellung der Arbeit inhaltlich in einzelne Elemente zerlegt und wichtige Schlüsselwörter werden isoliert.

Welche Kriterien muss eine **tageslichtähnliche, künstliche Beleuchtung** an **Büroarbeitsplätzen** erfüllen, um positive Wirkungen auf die **Motivation**, die **Leistung** und die **Gesundheit** der Beschäftigten zu erzielen?

→ Tageslicht; Beleuchtung; Büroarbeitsplatz; Motivation; Leistungsfähigkeit; Gesundheit

Im nächsten Schritt werden für die herausgearbeiteten Begriffe mithilfe des DUDEN Online-Lexikons Synonyme formuliert. Tabelle 1 stellt die Einschlussbegriffe dar, die für die Suche nach Fachliteratur ausgewählt und eingesetzt wurden.

Tabelle 1: Suchbegriffe für die Fachliteraturrecherche

	Oberbegriff	Synonyme
1	Tageslicht	Licht, Helligkeit, Taglicht
2	Beleuchtung	Licht, Lichtverhältnisse, Lichtquelle, Leuchte, Lampe, Beleuchtungssystem
3	Büroarbeitsplatz	Arbeit, Arbeitsstätte, Arbeitsplatz
4	Gesundheit	Wohlbefinden, Wohlsein, Verfassung, Gesundheitszustand
5	Motivation	Antrieb, Ansporn, Impuls, Triebfeder, treibende Kraft
6	Leistungsfähigkeit	Leistung, Produktivität, Können, Kraft, Potential, Kognition

Im Anschluss an die Festlegung der Suchbegriffe erfolgt eine Handrecherche über den *Regionalkatalog Hamburg*, der Nachweise aus den wissenschaftlichen Bibliotheken und einiger weiterer Spezialbibliotheken in Hamburg enthält. Zusätzlich wird mithilfe der Internetsuchmaschine *Google Scholar* nach Gesetzestexten und Veröffentlichungen von Berufsgenossenschaften gesucht. Die Autorin verfolgt mit der Handrecherche das Ziel, einen Einstieg in das Thema zu finden und im Ergebnisteil aktuelles Wissen zu den Themen „*Kriterien tageslichtähnlicher Beleuchtung am Arbeitsplatz*“ und „*Gesetzliche Grundlagen zu tageslichtähnlicher Büroarbeitsplatzbeleuchtung*“ liefern zu können. Aus den Suchergebnissen des Regionalkatalogs und der Suchmaschine Google Scholar wurden insgesamt 27 relevant erscheinende Bücher und Regelwerke ausgewählt und gesichtet. Die Ergebnisse werden in Kapitel 3.1 dargestellt.

Literaturrecherche zum aktuellen Forschungsstand

Für den nächsten Arbeitsschritt rückt die zweite Fragestellung in den Fokus:

Wie ist der aktuelle Forschungsstand zur Wirksamkeit tageslichtähnlicher, künstlicher Beleuchtung an Büroarbeitsplätzen hinsichtlich der Motivation, der Leistung und der Gesundheit der Beschäftigten?

Basierend auf den neu gewonnenen Kenntnissen aus der Handrecherche wird die Liste der Suchbegriffe mit weiteren relevant erscheinenden Begriffen und den dazugehörigen Synonymen ergänzt. Anschließend erfolgt eine entsprechende Übersetzung in die englische Sprache. Eine Übersicht über die Einschlussbegriffe ist im Anhang einsehbar.

Nach der Formulierung der Suchbegriffe wird die englischsprachige Fachdatenbank *Medline* (PubMed) für die Literaturrecherche ausgewählt. Da die zweite Fragestellung die Wirksamkeit tageslichtähnlicher Beleuchtung hinsichtlich kognitiver, gesundheitlicher und psychologischer Effekte untersuchen soll, erscheint Medline als Informationsquelle im Bereich der Medizin und angrenzender Wissenschaften gut geeignet zu sein. Als weitere Quellen werden die Plattform des wissenschaftlichen Netzwerks *ResearchGate* sowie die bereits verwendete Suchmaschine *Google Scholar* genutzt, da beide eine Vielzahl von wissenschaftlichen Studien als Volltexte kostenfrei zur Verfügung stellen.

In einer ersten Grobrecherche wurden in allen drei Datenbanken kaum Veröffentlichungen in deutscher Sprache gefunden, weshalb für die anschließende Datenbankrecherche ausschließlich englische Begriffe eingesetzt werden. Diese werden in die fünf Gruppen „Treatment“, „Zielgruppe“, „Outcome 1.1“, „Outcome 1.2“ und „MeSH-Terms“ eingeordnet. Die Schlagwortsuche mithilfe des MeSH-Thesaurus (**M**edical **S**ubject **H**eadings) funktioniert ähnlich wie ein Wörterbuch, in dem jedem wissenschaftlichen Artikel in PubMed mehrere MeSH-Begriffe als Schlagworte zugeordnet werden, die das Thema des Artikels möglichst genau beschreiben.

Bei den Suchanfragen werden die Booleschen Operatoren „OR“, „AND“ und „NOT“ verwendet und die Recherche wird mit Suchprotokollen dokumentiert, die im Anhang einsehbar sind. Tabelle 2 zeigt die fünf Gruppen mit den dazugehörigen Begriffen, die bei der Datenbankrecherche mit Medline in PubMed verwendet wurden.

Tabelle 2: Suchbegriffe für die Recherche in PubMed

Gruppe 1 „Treatment“	Gruppe 2 „Zielgruppe“	Gruppe 3 „Outcome 1.1“	Gruppe 4 „Outcome 1.2“	Gruppe 5 „MeSH-Terms“
light*	workplace	health*	attention	circadian rhythm
lighting	office*	wellbeing	concentration	chronobiology
daylight	work*	well-being	vigilance	lighting
„natural light“	employee*	motivation*	mood	workplace
„color temperature“		drive	behavior	biological
„colour temperature“		performance	behaviour	melanopic
spectrum		ability	sleep*	melatonin
spectral			alertness	dynamic
blue				
white				

Bei der Literatursuche in PubMed werden hauptsächlich Stichworte (z.B. lighting), aber auch einige Phrasen (z.B. „color temperature“), Trunkierungen (z.B. sleep*) und MeSH-Terms ohne subheading (z.B. circadian rhythm) eingesetzt. Für die Suchanfrage werden die Stichwortgruppen 1 bis 5 aus Tabelle 3 nacheinander miteinander verknüpft. Hierfür werden die einzelnen Suchbegriffe jeder Gruppe mit dem Operator „OR“ getrennt, die Gruppen selbst in Klammern gesetzt und mit „AND“ zusammengefügt. In Abbildung 2 werden die durchgeführten Suchanfragen dargestellt. Begriffe, die bei der Suche mit dem Operator „NOT“ ausgeschlossen wurden, sind in den Suchprotokollen im Anhang einsehbar.

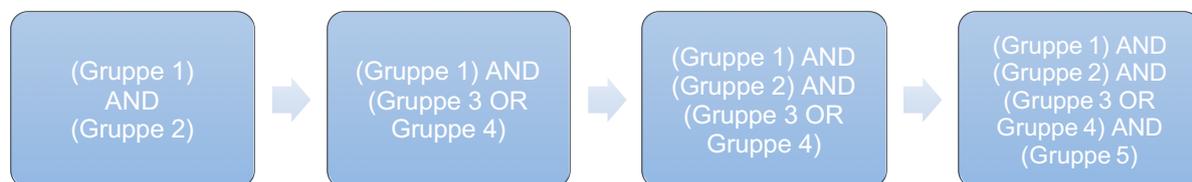


Abbildung 2: Verknüpfung der Stichwortgruppen bei der Suchanfrage in Medline

Im Anschluss werden die Suchergebnisse mithilfe von vier Filtern verfeinert. Um die Studien vollständig erfassen und bewerten zu können, werden nur Artikel im Volltext akzeptiert. Zusätzlich findet eine zeitliche Einschränkung statt: Da die erste Literaturrecherche ergab, dass vor allem Brainard et al. die Forschung und damit die Studienlage zu den Wirkungen von Tageslicht auf den Menschen maßgeblich prägten (vgl. Ergebnisse in Kapitel 3.1), wird nur Literatur eingeschlossen, die ab August 2001 veröffentlicht wurde. Desweiteren wird die Suche auf Studien und Artikel in deutscher oder englischer Sprache, die mit menschlichen

Probanden durchgeführt wurden, begrenzt. Die Recherche in PubMed ergab eine Trefferzahl von 146. Bei der anschließenden Suche mit Google Scholar wurden 163 Treffer erzielt. Die Suchanfrage auf der Plattform ResearchGate erfolgte ohne die Möglichkeit eines Operatoreneinsatzes; es wurden 12 weitere Artikel ermittelt. Insgesamt erbrachten die Datenbankanfragen demnach 321 Treffer.

Im nächsten Arbeitsschritt werden Duplikate aus den Suchergebnissen ausgeschlossen und schließlich 246 Veröffentlichungen anhand der in der Tabelle 3 dargestellten und nachfolgend beschriebenen Ein- und Ausschlusskriterien überprüft.

Tabelle 3: *Ein- und Ausschlusskriterien der Literaturrecherche*

Einschlusskriterien	
Zeitraum	ab August 2001 bis Juni 2017
Sprache	deutsch und englisch
Thema	Wirksamkeit tageslichtähnlicher Bürobeleuchtung hinsichtlich Motivation / Leistung / Gesundheit
Population	Bürobeschäftigte mit kaufmännisch-verwaltenden Tätigkeiten
Beleuchtungsbedingung	Künstliche Beleuchtungssituation
Studiendesign	abgeschlossene Primärstudien
Ausschlusskriterien	
Population	Nachtschichtmitarbeiter
Beleuchtungsbedingung	Messung des Tageslichteinfalls
Studiendesign	Reviews, Metaanalysen

Einbezogen wird nur deutsch- und englischsprachig verfasste Literatur, bezüglich der räumlich-geographischen Verteilung werden keinerlei Einschränkungen vorgenommen. Thematisch müssen die Studien einen Bezug zu tageslichtähnlicher, künstlicher Innenraumbeleuchtung (vgl. Tabelle 2, „Treatment“) an Büroarbeitsplätzen („Zielgruppe“) vorweisen und deren Auswirkungen auf Motivation, Leistungsfähigkeit oder Gesundheit der Beschäftigten („Outcome 1.1“ oder „Outcome 1.2“) untersuchen. Studien, in denen es um die Beleuchtung an Nachtschichtarbeitsplätzen geht, werden ausgeschlossen. Weitere Ausschlusskriterien können Tabelle 3 entnommen werden.

Mithilfe eines Titel- und Abstractscreenings konnten 67 relevante Studien identifiziert werden, wovon nach einer abschließenden Volltextprüfung letztlich 12 Arbeiten die Grundlage der Analyse bilden.

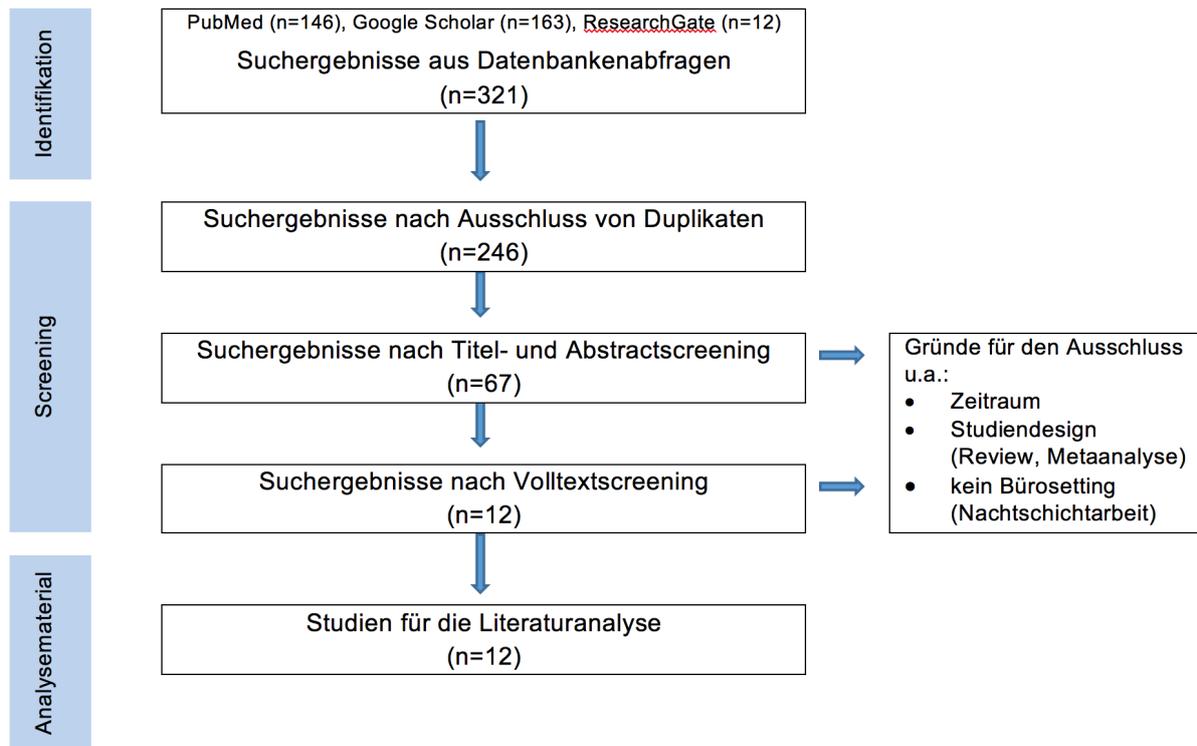


Abbildung 3: Screeningprozess

Im letzten Arbeitsschritt wird die ausgewählte Literatur mithilfe einer inhaltlichen Auswertung in Anlehnung an das „Allgemeine inhaltsanalytische Ablaufmodell“ untersucht (vgl. Mayring 2010: 60). Als passende Analysetechnik der vorliegenden Studien wird die *Inhaltliche Strukturierung* gewählt, die zum Ziel hat, „[...] bestimmte Aspekte aus dem Material herauszufiltern, unter vorher festgelegten Ordnungskriterien einen Querschnitt durch das Material zu legen oder das Material aufgrund bestimmter Kriterien einzuschätzen“ (ebd.: 65). Hierfür werden zur Auswertung der Literatur fünf eigene Leitfragen formuliert, die in erster Linie den Bezug der Studien zum Forschungsthema herstellen und relevante Aspekte beleuchten sollen:

- Leitfrage 1: Wer sind die Autoren und in welchem Jahr erschien die Studie?
- Leitfrage 2: In welchem Setting und unter welchen Beleuchtungsbedingungen fand die Untersuchung statt?
- Leitfrage 3: Welche Outcomes sollten untersucht werden?
- Leitfrage 4: Welche Effekte werden genannt?
- Leitfrage 5: Welche Schlussfolgerungen lassen sich aus den Ergebnissen ziehen?

Eine Vorstellung der Studien sowie die Auswertung der Ergebnisse erfolgt in Kapitel 3.2 .

3 Ergebnisdarstellung

3.1 Kriterien tageslichtähnlicher Beleuchtungssysteme

„Beleuchtung ist eine Grundvoraussetzung, damit Menschen am Arbeitsplatz ihre Tätigkeiten ausführen können.“ (Spath et al. 2010: 83). Dabei werden drei wesentliche Funktionen von Beleuchtung unterschieden (vgl. ebd.):

1. Die **visuelle** Funktion: Licht löst den Sehvorgang aus – es ermöglicht, Dinge überhaupt erst wahrzunehmen. Dabei bestimmt die Qualität der Beleuchtung, wie schnell und wie genau Formen, Farben und Details erkannt werden.
2. Die **emotionale** Funktion: Licht und Dunkelheit können die Stimmung aufhellen oder trüben – die Wirkung ist dabei abhängig von der jeweiligen Lichtsituation und den individuellen Bedürfnissen der Anwesenden.
3. Die **biologische** Funktion: Licht übt einen maßgeblichen Einfluss auf den menschlichen Biorhythmus aus. Wechselnde Helligkeiten und Lichtfarben wirken dabei stimulierend auf unterschiedliche Körperfunktionen und die Gesundheit.

Die visuelle Funktion wird von zwei Photorezeptoren im Auge dirigiert: Den Zapfen, die für die Farbwahrnehmung und das Detailsehen am Tag zuständig sind und den Stäbchen, die das Hell-Dunkel-Sehen in der Dämmerung steuern (vgl. Birbaumer & Schmidt 2006: 390f.). Ein dritter Rezeptortyp der Netzhaut, dessen Wirkung erstmals 2001 von Brainard et al. (S. 6406) beschrieben wurde, reguliert die biologische Funktion und damit vor allem Prozesse im menschlichen Körper. Abhängig von der Tages- und Jahreszeit weist das Tageslicht unterschiedliche Lichtfarben² auf, die aktivierend, motivierend oder entspannend auf den Menschen wirken (vgl. Abbildung 4). Die neu entdeckten intrinsisch photosensitiven retinalen Ganglienzellen (ipRGCs) enthalten den lichtempfindlichen Farbstoff Melanopsin, der besonders empfindlich auf kurzwelliges Licht³ im blauen Spektralbereich um 480

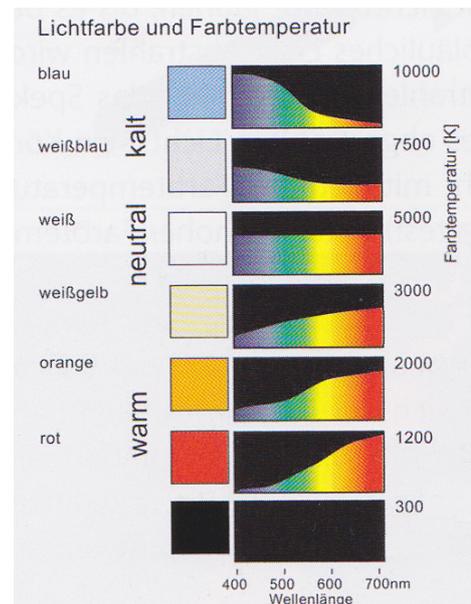


Abbildung 4: Lichtfarbe und Farbtemperatur (vgl. Witting 2014: 105, Ausschnitt)

² Die Lichtfarbe wird als Farbtemperatur in der Einheit Kelvin (K) angegeben und charakterisiert das farbliche Aussehen des Lichts einer Lichtquelle (vgl. Baer 2006: 23). Mit zunehmender Farbtemperatur wechselt der Farbeindruck des Lichts von rot, orange über gelb nach weiß und blau (vgl. Abbildung 4).

³ Als Licht wird der für das menschliche Auge visuell wahrnehmbare Teil elektromagnetischer Strahlung bezeichnet (vgl. Faller & Schünke 2012: 631). Innerhalb des Bereichs von 380 bis 780 Nanometern (nm) liegen die Wellenlängen, die im Auge eine Sehempfindung auslösen und sämtliche vom Menschen erfahrbare Farben umfassen.

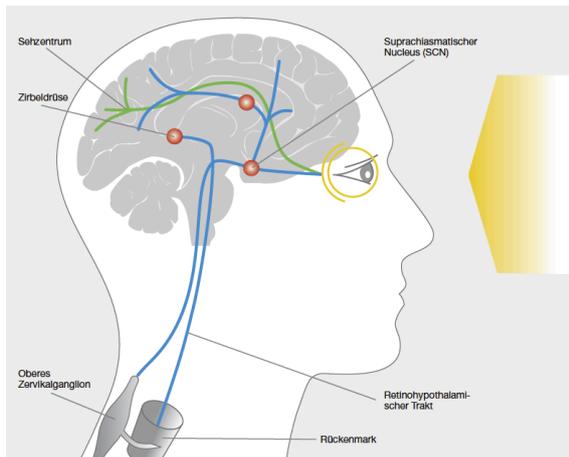


Abbildung 5: Wirkungspfade des Lichts
(Fördergemeinschaft Gutes Licht 2014: 21)

nm reagiert (vgl. Birbaumer & Schmidt 2006: 394f.). Sie dienen nicht dem Sehvorgang, sondern senden Hell- und Dunkelinformationen der äußeren Lichtverhältnisse über den Sehnerv direkt an den Nucleus suprachiasmaticus (SCN), eine Nervenzellgruppe im Hypothalamus (vgl. ebd.: 539). Dieser funktioniert als zentrale Schaltstelle zwischen dem Tageslicht und dem autonomen Nervensystem: Er kalibriert die inneren Uhren des Menschen und

synchronisiert sämtliche Körperfunktionen wie die Herzrate, den Blutdruck, die Körpertemperatur und den Hormonhaushalt mit der Außenwelt auf eine zirkadiane Rhythmik⁴ (vgl. ebd.: 543f.). Der Nucleus suprachiasmaticus leitet das Signal zudem an Nervenfasern des verlängerten Rückenmarks weiter, welche über das obere Halsstrang-Ganglion mit der Zirbeldrüse verbunden sind (vgl. Krause & Stange 2012: 58). Diese spielt eine entscheidende Rolle für den Schlaf-Wach-Rhythmus, indem sie bei Dunkelheit das schlaffördernd wirkende Hormon Melatonin ausschüttet und bei Tageslicht die Produktion des Hormons unterdrückt (vgl. ebd.).

Eine dem Tageslicht nachempfundene, künstliche Beleuchtung bezieht sich demzufolge nicht auf die visuellen Wirkungen des Lichts (vgl. Abbildung 5, grüne Linie), die mit den Sehanforderungen am Arbeitsplatz verknüpft sind, sondern folgt dem nicht-visuellen Wirkungspfad des Lichts (vgl. Abbildung 5, blaue Linie), der über den dritten Photorezeptor vermittelt wird (vgl. Plischke 2015: 53ff.). Diese Effekte werden auch als nicht-visuelle oder melanopische Lichtwirkungen bezeichnet und können unmittelbar oder auch verzögert auftreten (vgl. Birbaumer & Schmidt 2006: 537ff.). Akute nicht-visuelle Lichtwirkungen zeigen sich *direkt* während der Lichtexposition mit Tageslicht oder entsprechender künstlicher Beleuchtung und äußern sich beispielsweise in der Erhöhung der Aufmerksamkeit, einer Verbesserung der Gedächtnisleistung, des Befindens oder der Arbeitsleistung: So erreichen kognitive Fähigkeiten mit dem bläulichen Licht der Vormittagsstunden ihren Höhepunkt, nehmen mit den rötlichen Strahlen in den Nachmittagsstunden zunehmend ab und erreichen nachts gegen 03:00 Uhr ihren Tiefpunkt (vgl. ebd.: 544f.). Verzögert auftretende nicht-

⁴ Durch die Drehung der Erde um ihre eigene Achse und den dadurch entstehenden Wechsel von Tag und Nacht zeigen fast alle Lebewesen rhythmische Veränderungen verschiedenster physiologischer und psychologischer Komponenten. Viele der endogenen Veränderungen des Menschen weisen einen zirkadianen (lat.: circa = ungefähr, dies = Tag) Verlauf auf – sie wiederholen sich in einer etwa 24-stündigen Rhythmik (vgl. Birbaumer & Schmidt 2006: 536f.).

visuelle Lichtwirkungen zeigen sich erst nach Tagen oder Wochen und äußern sich vor allem in Anpassungseffekten der zirkadianen Rhythmen an einen stabilen Tageszyklus in Form einer „Synchronisation“⁵ oder einer „Desynchronisation“ (vgl. ebd.: 543ff.). Besonders hervorzuheben ist hierbei der Einfluss des Tageslichts auf den Schlaf-Wach-Rhythmus, da dieser vor allem mit wichtigen Regenerationsprozessen assoziiert wird und der körperlichen und psychischen Erholung dient (vgl. ebd.).

Wenn das Tageslicht als wichtiger Zeitgeber fehlt, kommen die inneren Uhren und somit auch biochemische Prozesse im menschlichen Körper aus dem Takt. Epidemiologische Studien zeigen, dass regelmäßige Störungen des zirkadianen Systems in Verbindung mit verschiedenen gesundheitlichen Auswirkungen stehen – angefangen bei Antriebslosigkeit und kognitiven Beeinträchtigungen bis hin zum metabolischen Syndrom, Herz-Kreislauf-Erkrankungen und einer höheren Inzidenz für bestimmte Krebserkrankungen (vgl. Bonmati-Carrion et al. 2014: 23456). Umgekehrt kann die Exposition mit hellem Licht wirksam die durch Jetlag verschobenen Schlafphasen wieder synchronisieren und als Mittel gegen Müdigkeit bei Nachtschichtarbeitern oder saisonal abhängige Depressionen in der Lichttherapie eingesetzt werden (vgl. ebd.: 23473).

Damit sich Kunstlicht in Büroräumen positiv auf die Gesundheit, das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit der Beschäftigten auswirkt, gibt das Tageslicht selbst die Kriterien für eine melanopisch wirksame Beleuchtung vor (Fördergemeinschaft Gutes Licht 2014: 30f.).

3.1.1 Vertikale Beleuchtungsstärke

Laut den Technischen Regeln für Arbeitsstätten (ASTA 2011: 15) wird für Bereiche der Bildschirm- und Büroarbeit eine horizontale Beleuchtungsstärke⁶ von 500 Lux vorgeschrieben, die 0,75cm über dem Boden erfasst wird. Verglichen mit den Werten des Tageslichts sind diese Vorgaben jedoch viel zu gering, denn selbst im Winter beträgt die Beleuchtungsstärke bei bedecktem Himmel im Freien noch bis zu 3.000 Lux (vgl. Schnauber 2013: 141). Ferner sollte für die nicht-visuellen Lichtwirkungen nicht die Helligkeit auf Tischhöhe, sondern die „[...] vertikale Beleuchtungsstärke am Auge [...]“ des Betrachters gemessen werden (vgl. Plischke 2015: 56). Hierbei sollten mindestens 250 Lux erreicht werden, um signifikante melanopische Wirkungen zu erzielen (vgl. Fördergemeinschaft Gutes Licht 2014: 30).

⁵ Der Prozess der Synchronisation der endogenen Vorgänge mit den äußeren Zeitgebern wird auch als „Entrainment“ bezeichnet (vgl. Krause & Stange 2012: 57).

⁶ Die Beleuchtungsstärke gilt als die gebräuchlichste Messgröße in der Lichtplanung (Kurzzeichen: E; Maßeinheit: Lux) und ist „[...] das Maß für das auf eine Fläche auftretende Licht [...]“ (Witting 2014: 73).

3.1.2 Höhere Farbtemperaturen

Gängige Büroleuchten mit Leuchtstofflampen haben in der Regel eine neutralweiße Lichtfarbe von 4.000 Kelvin, wohingegen bereits die Vormittagssonne eine Farbtemperatur von 5.500 Kelvin aufweist (vgl. Witting 2014: 109). Für melanopische Lichtwirkungen werden tageslichtweiße Farbtemperaturen von mindestens 5.300 Kelvin empfohlen (vgl. Fördergemeinschaft Gutes Licht 2014: 30).

3.1.3 Einfallswinkel des Lichts und Lichtverteilung im Raum

Die retinalen Ganglienzellen sind im unteren Bereich der Netzhaut zur Nase hin gelegen am empfindlichsten und verwerten daher vor allem das Licht, das – wie das Tageslicht – großflächig sowie von oben und vorne auf das Auge trifft (vgl. ebd.: 19f.).

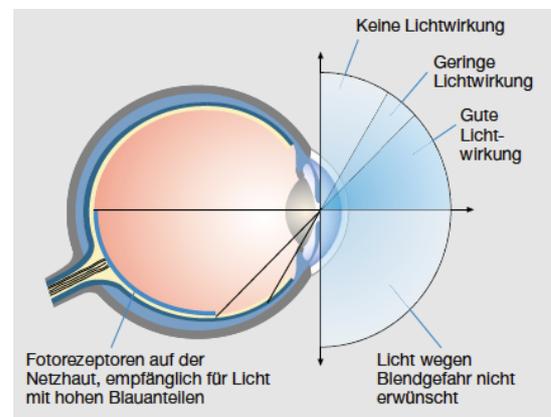


Abbildung 6: *Ansprache der Photorezeptoren* (Fördergemeinschaft Gutes Licht 2014: 21)

3.1.4 Höhere Blauanteile

Die spektrale Zusammensetzung einzelner Wellenlängenabschnitte verleiht dem Tageslicht seine spezifischen Farbtemperaturen – im Vergleich hierzu kommt bei der herkömmlichen künstlichen Beleuchtung nur ein eingeschränktes Lichtspektrum zum Einsatz (vgl. ebd.: 46f.). Im Hinblick auf das Wissen über die erhöhte Sensitivität der retinalen Ganglienzellen gegenüber Lichtfarben mit einem hohen spektralen Blauanteil wird deutlich, dass Leuchtstofflampen mit einem zu geringen Blauanteil auch am Tage die Produktion des Hormons Melatonin fördern und zu frühzeitiger Ermüdung führen können (vgl. Ulmann 2015: 112).

3.1.5 Persönliche Präferenzen

Lichtpräferenzen und -bedürfnisse variieren nicht nur in Abhängigkeit von der Arbeitsaufgabe, sondern auch alters- und anatomiebedingt. So variiert die auf das Auge einfallende Lichtmenge beispielsweise aufgrund der Gesichtsform sowie der Körper- und Kopfhaltung eines Menschen (vgl. Rea 2002: 4). Zudem nimmt mit steigendem Alter die Blendempfindlichkeit zu und ältere Mitarbeiter benötigen höhere Beleuchtungsstärken, um den Verlust der visuellen Leistung kompensieren zu können (vgl. van Bommel et al. 2004: 5). Auch der sogenannte Chronotyp hat Einfluss auf Lichtpräferenzen: Wer zu den „Lerchen“ gehört, bei dem ist der zirkadiane Rhythmus meist etwas kürzer als 24 Stunden; Lerchen sind schon frühmorgens hellwach und empfinden eine helle Beleuchtung zu diesem Zeitpunkt als angenehm (vgl. Wieden 2016: 36f.). Bei „Eulen“ hingegen ist die innere Uhr

deutlich langsamer getaktet: Sie schlafen gerne länger und bevorzugen eher eine warmweiße Lichtsituation am Morgen (vgl. ebd.). Insofern können Möglichkeiten einer flexiblen Steuerung der Beleuchtung nach individuellen Bedürfnissen Einfluss auf die Wachheit und die Leistung der Beschäftigten nehmen (vgl. Fördergemeinschaft Gutes Licht 2014: 33).

3.1.6 Das richtige Licht zur richtigen Zeit

Das Tageslicht unterliegt Schwankungen – angefangen bei ansteigenden Farbtemperaturen während des Tageslaufs bis hin zu jahreszeitlichen Veränderungen – die bei einer statischen Bürobeleuchtung keine Berücksichtigung finden. Eine Lösung bieten sogenannte *dynamische* Beleuchtungssysteme, welche die Veränderungen des Tageslichts imitieren (vgl. Ulmann 2015: 113): Die Beleuchtungsstärke und die Lichtfarbe ändern sich über den Tag, sodass zu Arbeitsbeginn helles, bläuliches Licht aktivierend wirkt und – angelehnt an den Tagesverlauf – eine reduzierte Helligkeit und warme Lichtfarben auf den Feierabend einstimmen. Dabei spielt vor allem die Exposition mit melanopisch wirksamem Licht am Morgen nach vorangegangener Dunkelheit eine bedeutende Rolle hinsichtlich leistungsfördernder und synchronisierender Effekte (vgl. Kunz 2015: 15).

3.1.7 Empfehlungen für die Planung melanopisch wirksamer Beleuchtungssysteme

Verglichen mit den zahlreichen Regelwerken und Leitlinien, die für die visuellen Lichtwirkungen gelten und welche Richtwerte für die wichtigsten Beleuchtungsgrößen vorgeben, existieren für die melanopisch wirksame Innenraumbeleuchtung kaum Standards (vgl. Fördergemeinschaft Gutes Licht 2014: 28). Eine Definition der nicht-visuellen Lichtwirkungen liefert die DIN SPEC 5031-100 (2014) und geht dabei auch auf biologische und verhaltensrelevante Einflüsse ein. Wirkliche Planungsempfehlungen für eine tageslichtähnliche, künstliche Beleuchtung in Innenräumen bietet erstmalig die DIN SPEC 67600 (2013-04) (vgl. Tabelle 4), die sowohl aktuelle Forschungsergebnisse, als auch erfolgreich getestete Installationen vorstellt (vgl. ebd.). Ergänzend betont sie die Wichtigkeit von energieeffizienten Beleuchtungslösungen und fordert, dass die visuellen Lichtwirkungen hinsichtlich der Erfüllung der gestellten Sehaufgaben in die Planungen miteinfließen müssen (vgl. ebd.: 29).

Tabelle 4: Empfehlungen der DIN SPEC 67600 zur tageslichtähnlichen Bürobeleuchtung (Fördergemeinschaft Gutes Licht 2014: 35, eigene Darstellung)

	morgens (08:00 bis 10:00 Uhr)	mittags (13:00 bis 14:00 Uhr)	abends (18:00 bis 20:00 Uhr)
vertikale Beleuchtungsstärke	mind. 250 – 500 lx	mind. 250 – 500 lx	200 lx
Farbtemperatur	mind. 5.300 K, besser 8.000 K (tageslichtweiß)	mind. 5.300 K, besser 8.000 K (tageslichtweiß)	3.000 Lux (warmweiß)
Farbspektrum	hohe Blauanteile (reduzierte Rotanteile)	hohe Blauanteile (reduzierte Rotanteile)	höhere Rotanteile (reduzierte Blauanteile)
räumliche Verteilung	großflächig, indirekt, aufgehellte Decken und Wände	großflächig, indirekt, aufgehellte Decken und Wände	gerichtet, gedimmt, individualisierbare Arbeitsplatzleuchten
Wirkung	aktivierend, konzentrations- und leistungsfördernd	aktivierend, konzentrations- und leistungsfördernd	entspannend, Vorbereitung auf Ruhephase und Schlaf

Um die Spektren einer im Büro eingesetzten Lichtquelle hinsichtlich ihrer nicht-visuellen Wirksamkeit bewerten zu können, wird in der Lichttechnik der melanopische Wirkungsfaktor $a_{\text{mel, v}}$ verwendet (vgl. Plischke 2015: 57ff.). Im Vergleich zum Tageslicht, dem als Referenz aufgrund seiner spektralen Zusammensetzung ein melanopischer Wirkungsfaktor von 1 zugewiesen wurde, weist beispielsweise eine neutralweiße Leuchtstofflampe einen Wert von $a_{\text{mel, v}} = 0,5$ auf (vgl. Fördergemeinschaft Gutes Licht 2014: 47). Da dieser Wert jedoch wenig anschaulich ist, gibt es zudem Mindestwerte für lichttechnische Größen gängiger Leuchtmittel, um diese als melanopisch wirksam bewerten zu können: Hierfür muss zum Beispiel die vertikale Beleuchtungsstärke am Arbeitsplatz multipliziert mit einem lichtartabhängigen Umrechnungsfaktor mindestens 250 Lux ergeben, um melanopische Wirkungen zu erzielen (vgl. Plischke 2015: 60). Entsprechende Richtwerte existieren ebenfalls für die Farbtemperatur (vgl. Tabelle 4).



Abbildung 7: Unterschiedliche Beleuchtungsbedingungen im selben Büroraum: Höhere Beleuchtungsstärken, höhere Blauanteile und eine flächige Lichtverteilung am Morgen und mittags für eine melanopische Wirkung (links). Zum Feierabend möglichst geringe Blauanteile und gerichtetes Licht zur Vorbereitung des Körpers auf die Ruhephase (rechts). (Fördergemeinschaft Gutes Licht 2014: 30)

3.2 Melanopisch wirksame Beleuchtung am Büroarbeitsplatz

Die Literaturrecherche zu aktuellen Studienergebnissen lieferte insgesamt zwölf Studien aus den Bereichen der Chronobiologie⁷, der Neurobiologie, der Psychologie und den Arbeitswissenschaften – eine Übersicht über die Suchergebnisse ist im Anhang einsehbar. Aufgrund folgender kongruierender Kriterien werden vier der zwölf Suchresultate in der Ergebnisdarstellung vorgestellt:

- Themenbezug: Die Studien untersuchen die Wirksamkeit tageslichtähnlicher, künstlicher Beleuchtung in Büroräumen
- Studiendesign: Die Studien sind quasi-experimentelle Feldstudien, die ein längsschnittliches Studiendesign verwenden (davon gebrauchen zwei Studien ein Cross-Over-Design)
- Setting und Beleuchtungsbedingungen: Alle vier Untersuchungen wurden an Büroarbeitsplätzen durchgeführt, bei denen die Beleuchtungsbedingungen gezielt manipuliert und mit einer Referenzlichtsituation verglichen wurden

Die Vorstellung der Studien erfolgt in chronologischer Reihenfolge, beginnend mit der ältesten Veröffentlichung. Die Studien werden hierfür inhaltlich auf das Wesentliche gekürzt.

3.2.1 Studie I

Wirkung der Farbtemperatur der Bürobeleuchtung auf das Wohlbefinden und die Arbeitsleistung von Call-Center-Mitarbeitern

Mills, P. R., Tomkins, S. C. & Schlagen L. JM. (2007): The effect of high correlated colour temperature office lighting on employee wellbeing and work performance

Ziel dieser Studie war es, die Effekte der neu entwickelten Fluoreszenzbeleuchtung mit tageslichtähnlichen Farbtemperaturen auf das Wohlergehen und die Arbeitsleistung von Schicht-Call-Center-Mitarbeitern zu untersuchen. Die prospektive, kontrollierte Studie fand in einem Zeitraum von drei Monaten mit insgesamt 69 Teilnehmern in einem Bürokomplex von Standard Life Healthcare in Stockport in England statt. Während der gesamten Studie blieb die Beleuchtung auf einer Etage (Kontrollgruppe) bei 2.900 K unverändert, auf einer weiteren Etage wurden alle vorhandenen Lampen durch neue Leuchtstofflampen mit 17.000 K ersetzt. Die Studienteilnehmer wurden zwar über die geplante Änderung, nicht jedoch über den Zeitpunkt der Intervention informiert und machten während der Studie in Online-Fragebögen Angaben zu Aufmerksamkeit, Leistungs- und Konzentrationsfähigkeit und gesundheitsbezogener Lebensqualität. Mills et al. (2007: 7) berichten über eine signifikante Verbesserung der Konzentrationsfähigkeit sowie über eine Erhöhung der Wachheit und der Arbeitsleistung in der Versuchsgruppe mit tageslichtähnlichen Farbtemperaturen.

⁷ Die Chronobiologie untersucht zeitliche Zusammenhänge biologischer Prozesse und wiederkehrender Verhaltensmuster von Organismen (vgl. Wieden 2016: 32).

Gleichzeitig waren die Probanden über den Tag weniger müde und bemerkten einen positiven Einfluss auf ihre Vitalität und die psychische Gesundheit (vgl. ebd.: 5):

Tabelle 5: Bereiche mit einer konkreten Verbesserung in der Versuchsgruppe im Vergleich zu Referenzwerten zu Beginn der Intervention (bei denen eine entsprechende Verbesserung in der Kontrollgruppe nicht beobachtet wurde) (Mills et al. 2007: 5)

Table 4: Areas of substantial improvement in the intervention group compared to baseline measures (where a concomitant improvement was not observed in the control group).

Area	Description	Percentage Improvement over baseline measure
Fatigue	Item of original Columbia Scale	26.9%
Concentration	Item of original Columbia Scale	36.8%
Daytime Alertness	Item of original Columbia Scale	28.1%
Feelings of Weakness	Item of original Columbia Scale	26.7%
Light-headedness	Item of original Columbia Scale	33.7%
Sleepiness	Item of original Columbia Scale	31.0%
Work Performance	Additional item (derived from WHO-HPQ)	19.4%
Alertness & oncentration	Additional item	22.9%
Vitality	Combined measure from SF-36	28.4%
Mental Health	Combined measure from SF-36	13.9%

Die Autoren der Studie kamen zu dem Ergebnis, dass die tageslichtähnliche Beleuchtung zum einen gut verträglich ist und zum anderen das Potenzial besitzt, ein kostengünstiges Mittel zur Steigerung des Wohlbefindens und der Produktivität von Bürobeschäftigten zu sein (vgl. ebd.: 8).

3.2.2 Studie II

Untersuchung der Auswirkungen von blau angereichertem Licht im Büro auf die Aufmerksamkeit, die Leistungsfähigkeit und die Schlafqualität

Viola, A. U., James, L. M., Schlangen, L. JM. & Dijk, J.-D. (2008): *Blue-enriched white light in the workplace improves self-reported alertness, performance and sleep quality*

Ähnlich wie Studie I wurde die Untersuchung in zwei Büroetagen durchgeführt. In einem Zeitraum von acht Wochen wurden 104 Büroangestellte einer Vertriebsgesellschaft für elektronische Teile im Norden Englands in einem Cross-Over-Design zwei neuen Lichtverhältnissen ausgesetzt: Die Beschäftigten im dritten Stock arbeiteten vier Wochen im blau angereicherten Licht (17.000 K) und im Anschluss vier Wochen unter weißem Licht (4.000 K) (vgl. Abbildung 8). Die zweite

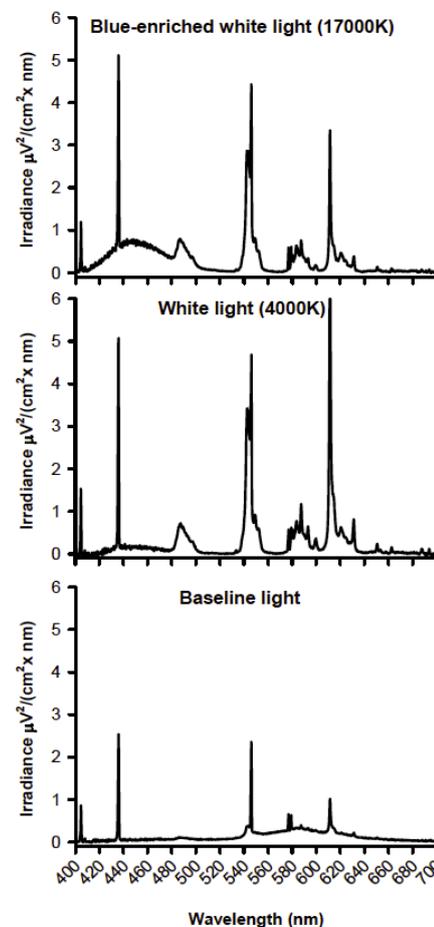


Figure 1. Spectral composition of the experimental blue-enriched white light (17 000 K, top panel) and white light (4000 K, middle panel) and the baseline (bottom panel) light conditions. The measurements were obtained in the center of the office area.

Abbildung 8: Spektrale Zusammensetzung des experimentellen blau-angereicherten weißen Lichts (17.000 K) und des weißen Lichts (4.000 K) und der Referenzlichtverhältnisse. Die Messungen wurden im Zentrum des Büros getätigt. (Viola et. al 2008: 299)

Gruppe im vierten Stockwerk arbeitete entsprechend vier Wochen in weißem, gefolgt von vier Wochen in blau angereichertem Licht. Beide Leuchtmittelarten wiesen ähnliche spektrale Leistungen im mittleren und langen Wellenlängenbereich auf, die Interventionsbeleuchtung erzeugte jedoch mehr Licht im kurzwelligeren, blauen Spektrum zwischen 420 und 480 nm. Im Vergleich zum weißen Licht verbesserte das blau angereicherte Licht während der Tagesarbeitszeit signifikant die Leistungs- und Konzentrationsfähigkeit und förderte zudem die Wachheit und die subjektiv wahrgenommene Stimmung in beiden Versuchsgruppen (vgl. Viola et al. 2008: 301f.). Ferner wurden verminderte Augenbeschwerden und eine geringere Reizbarkeit beobachtet. Auch die Tagesmüdigkeit reduzierte sich, die nächtliche Schlafqualität wurde verbessert. Die Autoren heben in ihren Ergebnissen neben den akuten nicht-visuellen Wirkungen des blau angereicherten Lichts vor allem die gesundheitlichen Auswirkungen abseits des Arbeitsplatzes hervor, die sich in einer gesteigerten Schlafqualität bemerkbar machten (vgl. ebd.: 304).

3.2.3 Studie III

Auswirkungen der Veränderung der Lichttemperatur am Arbeitsplatz auf Schlaf- und Aktivitätsparameter

Vetter, C., Juda, M., Lang, D., Wojtysiak, A. & Roenneberg T. (2011): Blue-enriched office light competes with natural light as a zeitgeber

Diese Studie untersuchte, wie sich eine Modifikation der Farbtemperatur des Bürolichtes auf den Schlaf und die Aktivität der Mitarbeiter auswirkt. Während des fünfwöchigen Studienzeitraums wurde in Büros des Hauptsitzes der Firma OSRAM in München das Schlafverhalten und die Körperaktivität der Probanden mithilfe von Schlafprotokollen und Armbändern erfasst. Zudem wurde ein spezieller Fragebogen (Munich ChronoType Questionnaire, kurz MCTQ) verwendet, um durch die Berechnung des Mittelpunkts zwischen Schlafbeginn und Schlafende an arbeitsfreien Tagen (MSF_{SC}) die individuellen Chronotypen aller Teilnehmer zu Beginn der Studie zu ermitteln. Die Versuchsgruppe (N = 27) erlebte eine Lichtsituation von 8.000 K, die Kontrollgruppe (N = 27) blieb in einer 4.000 K Umgebung. Im Gegensatz zur Kontrollgruppe, bei der sich der Schlaf und das Aktivitätsverhalten am Wochenende mit dem natürlichen Lichtverlauf synchronisierte, blieb das zeitliche Muster in der Versuchsgruppe simultan mit dem Schlaf-Wach-Verhalten an Arbeitstagen. Die Autoren der Studie schlossen daraus, dass künstliches, blau angereichertes Licht mit dem natürlichen Tageslicht als Zeitgeber konkurriert, wobei der tatsächliche Einfluss von der spektralen Zusammensetzung abhängt. Die Ergebnisse zeigten demnach, dass blau angereichertes Licht mit Sorgfalt eingesetzt werden muss (vgl. Vetter et al. 2011: 442).

3.2.4 Studie IV

Untersuchung der Wirkung von blau angereichertem Licht auf den täglichen Verlauf der Stimmung, der Müdigkeit und der Lichtwahrnehmung am Büroarbeitsplatz

Iskra-Golec, I. M., Wazna, A. & Smith, L. (2012): Effects of blue-enriched light on the daily course of mood, sleepiness and light perception: A field experiment

Ziel der vierten Studie war es, die Wirkung von blau angereichertem Licht auf den Verlauf von Stimmung, Müdigkeit und Lichtwahrnehmung über den Arbeitstag in einem echten Arbeitssetting zu untersuchen. Bei den Teilnehmern handelte es sich um 30 weibliche Büroangestellte einer Fluggesellschaft im Süden Polens. Ähnlich wie bei Viola et al. verwendeten Iskra-Golec et al. ein Cross-Over-Design, in welchem die Probanden über einen Zeitraum von neun Wochen zwei unterschiedlichen Lichtverhältnissen (blau angereichertes Licht mit 17.000 K und weißes Licht mit 4.000 K) ausgesetzt waren. Über die ersten drei Wochen arbeitete Gruppe A im weißen Licht. Zu Beginn der vierten Woche schlossen sich die Teilnehmer der Gruppe B der Studie an. Beide Gruppen waren nun für drei Wochen den blau angereicherten Beleuchtungsbedingungen ausgesetzt. Für die letzten drei Wochen der Studie wurde die Beleuchtung wieder in weißes Licht geändert und nur noch die Teilnehmer der Gruppe B wurden befragt. Die untersuchten Variablen wurden zu drei verschiedenen Tageszeiten (07:15 Uhr, 11:45 Uhr und 14:15 Uhr) an zwei Tagen pro Woche (dienstags und donnerstags) mit Hilfe von Fragebögen erfasst. Iskra-Golec et al. (2011: 509f.) dokumentierten in ihren Ergebnissen ein erhöhtes Energielevel der Versuchsgruppe am Morgen und zur Mittagszeit durch das blau angereicherten Licht. Analog schienen die Teilnehmerinnen am Anfang und am Ende des Arbeitstages empfindlicher auf die Helligkeit des blau angereicherten Lichts zu reagieren. Die Ergebnisse der Studie verdeutlichen laut den Autoren noch einmal die Wichtigkeit vom „richtigen Licht zur richtigen Zeit“, indem Beleuchtungssysteme an Arbeitsplätzen unterschiedliche Lichtverhältnisse zu unterschiedlichen Tageszeiten liefern und Änderungen aufgrund der Präferenzen der Mitarbeiter vorgenommen werden können (vgl. ebd.: 511f.).

4 Diskussion

Aufgrund der Tatsache, dass sich erwerbstätige Menschen heute vorwiegend in künstlich beleuchteten Räumen und kaum noch im natürlichen Licht aufhalten, rücken zunehmend intelligente Beleuchtungssysteme in den Fokus, mit deren Hilfe dem Tageslicht nachempfundene Lichtverhältnisse an Arbeitsplätzen geschaffen werden sollen. Die vorliegende Arbeit verfolgte das Ziel, im Rahmen einer systematischen Literaturrecherche die wesentlichen Merkmale tageslichtähnlicher, künstlicher Beleuchtung und ihre gesundheits- und leistungsfördernden Effekte herauszuarbeiten und ergänzend aktuelle Studien zur Wirksamkeit entsprechender Lichtinstallationen an Büroarbeitsplätzen vorzustellen. Die Ergebnisse aus der ersten Handrecherche verdeutlichen, dass die

Exposition mit Tageslicht nicht nur wacher und leistungsfähiger macht, es synchronisiert zudem den menschlichen Organismus mit der Umwelt und gilt somit als wichtiger Einflussfaktor auf Vitalität und Wohlbefinden. Damit eine tageslichtimitierende, künstliche Beleuchtung gleichermaßen diese Wirkungen erzielt, bestehen lichttechnische Empfehlungen hinsichtlich der spektralen und der räumlichen Verteilung, der Helligkeit der Lichtquelle sowie zum gewählten Zeitpunkt der Lichtexposition. Auch die vier vorgestellten Publikationen aus der zweiten Literaturrecherche, die diese Kriterien größtenteils berücksichtigten, belegen übereinstimmend akut aktivierende und verzögert auftretende Wirkungen von hellem und blau angereichertem Licht auf Leistung, Stimmung und Gesundheit der Probanden (vgl. Iskra-Golec et al. 2012: 509f., Mills et al. 2007: 5ff., Vetter et al. 2011: 440, Viola et al. 2008: 300ff.).

Als leistungsfördernde Hinweise können Verbesserungen des Konzentrationsvermögens angesehen werden. Diese wurden beispielsweise bei Viola et al. (2008: 300) zusammen mit einer gesteigerten Wachheit und Gedächtnisfähigkeit in der Interventionsgruppe beobachtet, was laut den Autoren auf die aktivierende Wirkung des blau angereicherten Kunstlichts zurückzuführen ist. Mills et al. (2007: 7) berichten über ähnliche Effekte und bringen die erhöhte Konzentrationsfähigkeit und eine verringerte Tagesmüdigkeit in Verbindung mit den Verbesserungen der Arbeitsleistungen der Call-Center-Mitarbeiter. Dies rückt die Bedeutung der tageslichtähnlichen Beleuchtung nicht nur für die Beschäftigten, sondern auch für Arbeitgeber in den Vordergrund: Erhöht sich die Leistungsfähigkeit der Call-Center-Mitarbeiter, steigt mit hoher Wahrscheinlichkeit auch der Anteil der beantworteten Anrufe und somit analog die Kundenzufriedenheit.

Keine Auswirkung der Interventionsbeleuchtung auf die subjektive Tagesmüdigkeit zeigte sich hingegen bei Iskra-Golec et al. (2012: 511). Unabhängig von den Lichtverhältnissen nahm diese über den Tag in beiden Gruppen zu. Als mögliche Ursache könnte das Messverfahren selbst eine Rolle spielen: Da sich die subjektive Bewertung der Müdigkeit auf die Selbsteinschätzung der Probanden stützt, könnten mögliche Störfaktoren die Antworten der Studienteilnehmer beeinflusst haben (vgl. Rautkylä et al. 2009: 163). So kann das tatsächliche Ausmaß der Müdigkeit zum Beispiel durch Tabak- oder Kaffeekonsum verfälscht worden sein. Objektive Messmethoden zu Lichtwirkungen, wie der Melatoninwert aus Speichelproben oder die Herzratenvariabilität, könnten hier zuverlässigere Ergebnisse liefern. Jedoch kann eine klinische Ausrüstung mit Detektoren und Drähten oder eine stündliche Speichelprobe im Arbeitsalltag hinderlich sein. Gut geeignet erscheint eine Kombination aus subjektiven und objektiven Messverfahren, wie Vetter et al. (2011: 439) ihre

Daten mit Protokollen für das Schlafverhalten und Trackingarmbändern für das Aktivitätsmuster erhoben haben.

Hinsichtlich der Wirkung auf Motivation und Stimmung liefern die vorgestellten Studien weitestgehend homogene Ergebnisse. Sowohl bei Mills et al. (2007: 5), als auch bei Viola et al. (2008: 300) und Iskra-Golec et al. (2012: 509f.) erzielte das blau angereicherte Licht positive Effekte auf Energie- und Aktivitätslevel der Teilnehmer, Gefühle der Antriebslosigkeit und Anspannung reduzierten sich. Diese Ergebnisse verdeutlichen im Hinblick auf die Zunahme der durch psychische Erkrankungen verursachten Fehltage die Bedeutung der richtigen Beleuchtung für Lebensqualität und Wohlbefinden der Mitarbeiter. Hier kann der Bogen zur Leistungsfähigkeit geschlagen werden, denn Beschäftigte, die sich bei der Arbeit wohlfühlen und positiv gestimmt sind, sind auch produktiver und ausdauernder, was sich wiederum für das Unternehmen auszahlt.

Bei allen vier Studien zeigten die veränderten Beleuchtungsbedingungen ebenfalls verzögert auftretende melanopische Wirkungen auf die Gesundheit der Probanden. Obwohl die Studie von Mills et al. (2007: 8) nicht direkt die Wirkung der Lichtintervention auf den Schlaf der Teilnehmer untersuchte, ist es laut den Autoren möglich, dass einige der beobachteten Effekte mit einer Verbesserung der Schlafqualität verbunden waren. Auch bei Viola et al. (2008: 302) erhöhte sich die Schlafqualität der Studienteilnehmer, die zudem von einem Rückgang der abendlichen Ermüdung sowie einer verbesserten allgemeinen Vitalität berichteten.

Vetter et al. (2011: 440) machten hinsichtlich des Schlafverhaltens eine interessante Beobachtung: In der Interventionsgruppe erwies sich das blau angereicherte Licht als zentraler Taktgeber für die zirkadianen Rhythmen, in der Kontrollgruppe steuerte diese weiterhin der zuvor ermittelte Chronotyp jedes Probanden. Im Gegensatz zu den saisonalen Anpassungen in der Nicht-Interventionsgruppe verliefen in der experimentellen Gruppe der Schlaf-Wach-Rhythmus und das Aktivitätsverhalten über den gesamten Studienverlauf am Wochenende synchron mit den Zeiten unter der Woche. Da durch den Aufenthalt in geschlossenen Räumen die tägliche Exposition gegenüber der natürlichen Lichtumgebung stark abgenommen hat, kann demnach ein kontrollierter Einsatz tageslichtähnlicher Beleuchtungssysteme die saisonale Anpassung der aus dem Takt geratenen zirkadianen Uhren ermöglichen. Diese synchronisierende Funktion der Lichtumgebung in der modernen Gesellschaft zu stärken erscheint sinnvoll, da eine unzureichende Desynchronisation der inneren Uhren mit vielen verschiedenen gesundheitlichen Problemen verbunden ist, die von Fettleibigkeit bis hin zu psychischen Erkrankungen reichen.

Ungeklärt bleibt bei allen vier Studien der tatsächliche Wirkungszusammenhang. Da die Datenerhebung mit Hilfe subjektiver Einschätzungen erfolgte, bleibt ungewiss, ob die Exposition gegenüber blau angereichertem Licht am Tag die nächtliche Melatoninausschüttung der Teilnehmer verstärkte, dadurch die Schlafqualität verbesserte und so wiederum zu einer verbesserten Leistung am Arbeitstag führte; oder, ob die Auswirkungen auf den Schlaf eine Folge der verbesserten Tagesleistung und erhöhten Aktivität waren.

Grundsätzlich wurden die neuen Lichtsituationen in allen Erhebungen von den Studienteilnehmern gut angenommen. Bei der in einem Cross-Over-Design angelegten Studie von Viola et al. (2008: 304) wurde der Wechsel vom blau angereicherten zum weißen Licht besser bewertet als der Wechsel vom weißen zum blau angereicherten Licht. Mills et al. (2007: 8) berichten über eine gute Verträglichkeit und eine Bevorzugung der Interventions- gegenüber der ursprünglichen Beleuchtung. Obwohl bei Iskra-Golec et al. (2012: 510), die in ihrer Untersuchung ausschließlich weibliche Bürobeschäftigte befragten, beide Lichtverhältnisse gleichermaßen als „natürlich“ und „komfortabel“ bewertet wurden, konnten interessanterweise signifikante Wechselwirkungen zwischen den Lichtverhältnissen und den Messzeiten beobachtet werden. Das blau angereicherte Licht wurde von den Probandinnen zu allen Messzeitpunkten, jedoch vor allem am Anfang und am Ende des Arbeitstages als weniger „weich“ und „warm“ und mehr „intensiv“ und „kühl“ als die Kontrollbeleuchtung beurteilt. Über ähnliche Effekte berichtete bereits der schwedische Forscher Igor Knez (1995: 43ff.), der herausfand, dass Frauen im Gegensatz zu Männern eher niedrigere Farbtemperaturen und Beleuchtungsstärken bevorzugen. Die Ergebnisse deuten zum einen darauf hin, wie wichtig es ist, Effekte der Lichtverhältnisse zu gleichen Tageszeiten zu messen und dabei Teilnehmer aller Geschlechter zu integrieren. Zum anderen sollten Arbeitsplätze über Lichtsysteme verfügen, die unterschiedliche Lichtverhältnisse zu unterschiedlichen Tageszeiten liefern und individualisierbar sind, um gleichzeitig Stimmung und Produktivität der Mitarbeiter zu optimieren.

4.1 Limitationen

Nachfolgend werden Limitationen der vorliegenden Arbeit aufgezeigt. Diese betreffen zunächst die Limitationen der vorgestellten Studien und des Weiteren die Limitationen der durchgeführten Literaturrecherche.

Ungeachtet der zum Teil kongruierenden Ergebnisse muss festgehalten werden, dass sich die vier Studien zur Wirksamkeit tageslichtähnlicher Beleuchtung in ihren nicht-visuellen Lichtwirkungen nur schwer zusammenfassen lassen. Es bestehen zwar Überschneidungen

bei den Fragestellungen, den gewählten Beleuchtungsbedingungen und den untersuchten Outcomes der Arbeiten, jedoch können die unterschiedlichen Untersuchungssettings als eine mögliche Ursache für eine erschwerte Vergleichbarkeit der Studienergebnisse diskutiert werden. Architektur, Anzahl und Anordnung der Schreibtische, Schwerpunkt der Arbeitsaufgabe – Büroraume werden durch zahlreiche Merkmale charakterisiert. Ebenso gleicht keine Büroetage der anderen. Hinzu kommt, dass in einer Büroumgebung vielfältige Faktoren Einfluss auf Leistung, Motivation und Gesundheit der Mitarbeiter nehmen – Licht stellt dabei nur eine Größe dar.

Wie die Ergebnisse in Kapitel 3.1 zeigen, sind nicht-visuelle Lichtwirkungen abhängig von den vorherrschenden Lichtverhältnissen, aber auch individuelle Parameter wie das Alter oder der Chronotyp beeinflussen die melanopische Wirkung. Diese Kriterien fanden bei den vier Untersuchungen nicht immer Berücksichtigung. Für eine nicht-visuelle Wirkung ist beispielsweise das Licht, das ins Auge gelangt, von Bedeutung (vgl. Plischke 2015: 56). Bis auf Iskra-Golec et al. (2012: 508), die nur die horizontale Beleuchtungsstärke verwendeten, erfassten die übrigen Forscher in ihrem Versuchsablauf neben der horizontalen auch die vertikale Beleuchtungsstärke (vgl. Mills et al. 2007: 3, Vetter et al. 2011: 439, Viola et al. 2008: 300).

Aufgrund der hormonellen Schwankungen über den Tag gilt vor allem die melanopische Beleuchtung am Morgen nach vorangegangener Dunkelheit als wichtiger Einflussfaktor auf die zirkadiane Rhythmik (vgl. Kunz 2015: 15). Diese Voraussetzung war bei drei der vier Studien gegeben, da die neuen Beleuchtungssituationen morgens zu Arbeitsbeginn zur Verfügung standen. Bei Mills et al. (2007: 2) handelte es sich hingegen um ein Schichtarbeits-Call-Center mit Arbeitszeiten zwischen 8.00 und 20.00 Uhr, aufgeteilt in eine frühe und eine späte Schicht. Obwohl dies die Ergebnisse der Untersuchung vor allem in der Spätschicht beeinflusst haben könnte, wurde bei der Datenauswertung jedoch nur zwischen den beiden Beleuchtungssituationen unterschieden, nicht aber zwischen den Differenzen im Schichtbeginn.

Keine Beachtung fand zudem die natürliche Rhythmik des Tageslichts, das zum Sonnenaufgang aktivierend und zum Sonnenuntergang entspannend wirkt. In allen vier Studien wurden statische Beleuchtungssysteme ohne dynamische Veränderungen eingesetzt. Dies könnte auf fehlende technische Möglichkeiten oder auch auf höhere Installations- und Materialkosten zurückzuführen sein.

Mögliche Limitationen bestehen ebenfalls bei den Studienpopulationen. Diese weisen größtenteils kleine Stichprobengrößen sowie eine ungleichmäßige Verteilung in den

Untersuchungsgruppen auf. Angaben zum Alter der Probanden sind teilweise unvollständig (vgl. Viola et al. 2008: 300) oder fehlen ganz (vgl. Mills et al. 2007: 5), obwohl dies beim Versuchsdesign Berücksichtigung finden sollte, da die Linse mit dem Alter trüber wird und dadurch Blauanteile des Lichtspektrums filtert (vgl. van Bommel et al. 2004: 5).

Eine weitere Variable stellt der Chronotyp dar, der ein Indiz für die zirkadiane Rhythmik jedes Probanden darstellt. Obwohl sich innerhalb einer Studienpopulation große individuelle Unterschiede verstecken können, fand der Chronotyp ausschließlich bei Vetter et al. (2011: 439) und Viola et al. (2008: 302) Berücksichtigung. Trotz ähnlicher Bürozeiten können Mitarbeiter aufgrund ihres Chronotyps unterschiedliches Schlaf-Wach-Verhalten an Arbeitstagen und an arbeitsfreien Tagen aufweisen: Während Eulen typischerweise einen Schlafmangel an Arbeitstagen aufgrund der frühen Bürozeiten ansammeln, neigen Lerchen dazu, am Wochenende länger als ihre normale zirkadiane Aufwachzeit zu schlafen (vgl. ebd.: 438). Bei den Untersuchungen, bei denen der Chronotyp der Teilnehmer keine Berücksichtigung fand, könnte demnach das bläuliche Licht am Morgen in erster Linie die müden Eulen stimuliert haben, die eigentlich später in den Tag starten, während die Lerchen der Studienpopulation ohnehin wacher und aufmerksamer waren.

Ebenfalls können Lichtexpositionen der Studienteilnehmer außerhalb der Intervention die melanopischen Lichtwirkungen und somit die Studienergebnisse beeinflusst haben. Auch der saisonale Studienzeitpunkt macht große Unterschiede bei den vier Studien deutlich: Während die Untersuchung bei Iskra-Golec et al. (2012: 507) zum Ende des Jahres (von September bis November) stattfand, wurden die anderen drei Studien zum Jahresbeginn durchgeführt. Mills et al. (2007: 8) weisen selbst auf mögliche saisonale Effekte hin: Da die Studie von Februar bis Mai durchgeführt wurde, könnten einige der beobachteten Verbesserungen auf die Verlängerung der Tage während des Übergangs vom Winter zum Frühling zurückzuführen sein.

Ein entscheidendes Einschlusskriterium für die Analyse stellte die Durchführung in einem realen Bürossetting dar. Feld- und quasi-experimentelle Studien bieten den großen Vorteil, dass sie zum einen eine höhere externe Validität sichern und zum anderen die Reaktivität der Probanden geringer ist (vgl. Bortz & Döring 2013: 52ff.): Da die Untersuchung im gewohnten Arbeitsumfeld der Studienteilnehmer – und nicht in der künstlichen Umgebung eines Labors – stattfindet, kann natürliches Verhalten beobachtet werden und eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf reale Bedingungen ist wahrscheinlicher. Gleichzeitig birgt eine Feldstudie jedoch auch immer das Risiko unerwünschter Auswirkungen und einer erschwerten Kontrollierbarkeit von möglichen Störvariablen. Eine der bekanntesten Studien über Lichtverhältnisse am Arbeitsplatz und ihre Wirkung auf die Leistung der Beschäftigten

wurde 1933 bei der Western Electric Hawthorne Plant in Chicago durchgeführt. Die Forscher um Roethlisberger et al. (1939) fanden heraus, dass sich bei erhöhter Beleuchtungsstärke auch die Arbeitsproduktivität erhöht. Allerdings stellten die Autoren ebenfalls fest, dass eine verringerte Beleuchtungsstärke die gleiche Wirkung erzielte. Dieses Ergebnis wurde als "Hawthorne-Effekt" bekannt und bezieht sich auf das Phänomen, dass „[...] allein das Bewußtsein, Teilnehmer einer wissenschaftlichen Untersuchung zu sein, Auswirkungen auf die Reaktionen des Befragten [...]“ nimmt (Bortz & Döring 2013: 229). Aus diesem Grund sind Studien zu Auswirkungen von Lichtverhältnissen generell als schwierig zu bewerten, da die Probanden in der Regel bemerken, dass sich an der Umgebung etwas verändert hat. Die experimentellen Veränderungen vor Lichtexperten der Firma OSRAM zu verbergen, wird sich beispielsweise bei der Studie von Vetter et al. (2011: 439) als schwierig erwiesen haben. Auch bei Mills et al. (2007: 7) deutete das Feedback der Probanden darauf hin, dass sich die Beleuchtungssituation der beiden Etagen visuell wahrnehmbar unterschied, obwohl die Studienteilnehmer nicht explizit darauf hingewiesen wurden, welcher Gruppe sie zugewiesen wurden.

Insgesamt ist festzuhalten, dass in den vorliegenden Studien wichtige Einflussparameter – wie die Art und die Dauer der Lichtexposition oder individuelle zirkadiane Rhythmen der Probanden – zum Teil sehr unterschiedlich ausgeprägt waren, anders operationalisiert oder im Studiendesign nicht berücksichtigt wurden. Zwar ist aufgrund dessen eine Ableitung belastbarer Aussagen auf die Faktoren Motivation, Leistungsfähigkeit und Gesundheit von Bürobeschäftigten nur eingeschränkt möglich, trotzdem bestätigen die Studienergebnisse die gesundheits- und leistungsfördernden Effekte nicht-visueller Lichtwirkungen tageslichtähnlicher, künstlicher Beleuchtung. Zukünftig sollte an den entscheidenden Wirkungsweisen weiter längsschnittlich geforscht werden, um eine Umsetzung in die Praxis sicher durchführen und Effekte auf Leistung, Motivation und Gesundheit der Beschäftigten zuverlässig vorhersagen zu können.

Die kritische Auseinandersetzung mit der eigenen Arbeit bezieht sich besonders auf den Prozess der systematischen Literaturrecherche und die anschließende Analyse. Generell besteht eine Einschränkung dahingehend, dass die Bearbeitung des Themas allein durch die Autorin erfolgte. Somit unterliegen sowohl die Auswahl der Suchbegriffe, als auch die Wahl geeigneter Datenbanken, die Formulierung der Ein- und Ausschlusskriterien sowie die entwickelten Leitfragen einer gewissen Subjektivität. Die ausgewählten Suchbegriffe und auch die Beschränkung auf die verwendeten Datenbanken bergen das Risiko, dass themenrelevante Studien nicht gefunden werden konnten.

Eine Zugangshürde entstand bei der Literaturbeschaffung, da nicht alle gefundenen Artikel und Studien frei zugänglich waren. So musste nach Durchsicht der Abstracts bei einigen der Autoren eine Anfrage nach dem Volltext erfolgen, die zum Teil unbeantwortet blieb. Durch die formulierten Einschlusskriterien für die Ergebnisdarstellung wurden zudem Studien, anhand derer melanopische Wirkungen in einer Laborsituation untersucht wurden, ausgeschlossen, obwohl diese zusätzliche Informationen zur Wirksamkeit hätten liefern können.

Insgesamt wurde sehr wenig Literatur gefunden, die sich mit tageslichtähnlicher, künstlicher Beleuchtung am Büroarbeitsplatz und den nicht-visuellen Wirkungen auf die Mitarbeiter auseinandersetzt. Dies könnte zum einen, wie bereits erläutert, am Rechercheprozess selbst liegen. Zum anderen weisen auch die Forscher der gefundenen Arbeiten darauf hin, dass die Anforderungen an melanopisch wirksame Beleuchtungssysteme noch nicht genügend untersucht sind und hier ein Forschungsbedarf besteht. Zusätzlich kann auch ein Publikationsbias⁸ Einfluss auf die Suchergebnisse genommen haben. Es ist daher möglich, dass keine Vollständigkeit erreicht wurde. Trotz der insgesamt geringen Anzahl der ausgewerteten Dokumente hat die vorliegende Arbeit den Anspruch, einen Überblick über den aktuellen Stand der empirischen Forschung zu geben. Künftig werden vor allem Studien benötigt, die in ihrem Versuchsaufbau alle Einflussfaktoren von melanopisch wirksamer Beleuchtung berücksichtigen, um der Komplexität des Forschungsthemas gerecht zu werden.

4.2 Schlussfolgerung und Ausblick

Ungeachtet der genannten methodischen Einschränkungen geben die in dieser Arbeit beschriebenen Forschungsergebnisse einen Einblick, wie sich eine tageslichtähnliche, künstliche Beleuchtung auf das Wohlbefinden, die Produktivität und das zirkadiane System von Bürobeschäftigten auswirken kann und welche Anforderungen dafür erfüllt sein müssen. Die Studien geben zudem Hinweise, dass weitere Untersuchungen benötigt werden, um lichtinduzierte nicht-visuelle Wirkungen mit visuellen Funktionen auf eine Stufe zu bringen. Denn bei der Entwicklung von Qualitätskriterien für gute und zugleich gesunde Beleuchtungsanlagen sollten neben den melanopischen Lichtwirkungen auch immer die Vorgaben hinsichtlich der Sehaufgabe berücksichtigt werden. Hierfür haben sich lichtemittierende Dioden (LEDs) als besonders geeignet erwiesen, da zum einen ihr Anteil am sichtbaren Spektrum sehr hoch und zudem veränderbar ist und sie zum anderen hohe

⁸ Während überwiegend Studien mit signifikanten Ergebnissen veröffentlicht werden, bleiben nichtsignifikante Studien häufig unberücksichtigt (vgl. Bortz & Döring 2013: 604).

Farbwiedergabeindizes⁹ von bis zu 90 Prozent vorweisen können. Ein weiterer positiver Nebeneffekt von LED-Lichtquellen ist ein verringerter Energieverbrauch – wirtschaftlich und ökologisch besonders für große Unternehmen ein wichtiger Faktor.

Der Forschungsbedarf zu den Wechselwirkungen zwischen künstlicher Beleuchtung und der menschlichen Physiologie stellt aber nicht nur die Beleuchtungsindustrie vor neue Herausforderungen. Eine sachkundige Planung durch Architekten und Lichtexperten gemeinsam mit Vertretern der Unternehmen stellt eine Voraussetzung für die erfolgreiche Umsetzung von Arbeitsschutzziele dar. Schlechte Lichtverhältnisse werden heute häufig als eine der möglichen Ursachen des sogenannten „Sick-Building-Syndroms“ (SBS) diskutiert. Das Sick-Building-Syndrom ist durch unspezifische Gesundheitsbeschwerden gekennzeichnet, die auf ungünstige Raumbedingungen zurückgeführt werden. Laut der Schweizerischen Befragung in Büros (SBiB-Studie) von 2010 zählen Müdigkeit, Einschlaf- und Durchschlafstörungen, ein Schweregefühl im Kopf sowie juckende und brennende Augen zu den am häufigsten auftretenden Symptomen. Hier könnte ein in das betriebliche Gesundheitsmanagement integriertes melanopisches Beleuchtungskonzept ansetzen, welches die zirkadiane Rhythmik ins Gleichgewicht bringt, die Entstehung körperlicher Beschwerden verhindert, gleichzeitig die Leistungsfähigkeit fördert und so schließlich zu besseren Arbeitsergebnissen führt.

Die wesentlichen Merkmale melanopischer Lichtwirkungen sind heute ausreichend bestätigt, auch geeignete Beleuchtungskonzepte für dynamische Lichtsysteme sind vorhanden und bereits im Einsatz. Zwar kann auch eine gute künstliche Beleuchtung die wichtigen Eigenschaften des Tageslichts immer nur ergänzen und niemals ersetzen. Jedoch stellt die Ausstattung von Büroräumen mit melanopisch wirksamen Lichtanlagen als Teil des betrieblichen Gesundheitsmanagements eine richtungsweisende Entwicklung für den Erhalt der Gesundheit und des Wohlbefindens der Beschäftigten und somit für die Gesundheitsprävention im Setting Betrieb dar.

⁹ Der Farbwiedergabeindex R_a gibt an, wie natürlich Farben im Licht einer Lampe wahrgenommen werden (vgl. Baer 2006: 51). Bei künstlicher Beleuchtung mit einem Farbwiedergabeindex $R_a = 100$ Prozent würden Farben so realistisch dargestellt, wie bei natürlichem Tageslicht.

5 Literaturverzeichnis

Ausschuss für Arbeitsstätten (ASTA) (2011). *Technische Regeln für Arbeitsstätten:*

ASRA3.4: „Beleuchtung“ (Ausgabe: April 2011).

URL: https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/ASR/pdf/ASR-A3-4.pdf?__blob=publicationFile&v=2

Baer, R. (2006). *Beleuchtungstechnik: Grundlagen* (3., vollständig überarbeitete Auflage)
Berlin: Huss-Medien.

Birbaumer, N. & Schmidt, R.-F. (2006). *Biologische Psychologie* (6., vollständig überarbeitete Auflage). Berlin: Springer.

Bonmati-Carrion, M.A., Arguelles-Prieto, R., Martinez-Madrid, M.J., Reiter, R., Hardeland, R., Rol, A.M. & Madrid J.A. (2014). *Protecting the Melatonin Rhythm through Circadian Healthy Light Exposure*. International Journal of Molecular Sciences, 15: 23448-23500.
URL: <http://www.mdpi.com/1422-0067/15/12/23448/htm>

Bortz, J. & Döring, N. (2013): *Forschungsmethoden und Evaluation für Sozialwissenschaftler* (2., vollständig überarbeitete und aktualisierte Auflage). Berlin: Springer.

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.
URL: <http://www.jneurosci.org/content/jneuro/21/16/6405.full.pdf>

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) (Hrsg.) (2010). *Wohlbefinden im Büro - Arbeits- und Gesundheitsschutz bei der Büroarbeit* (7. Auflage). Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.

URL:

http://www.baua.de/de/Publikationen/Broschueren/A11.pdf?__blob=publicationFile

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) (Hrsg.) (2012). *Stressreport Deutschland 2012. Psychische Anforderungen, Ressourcen und Befinden* (1. Auflage). Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.

URL:

<http://www.baua.de/de/Publikationen/Fachbeitraege/Gd68.pdf?blob=publicationFile>

DAK-Gesundheit Gesetzliche Krankenversicherung (DAK) (Hrsg.) (2015). *Psychoreport 2015. Deutschland braucht Therapie. Herausforderungen für die Versorgung*. Hamburg.

URL: https://www.dak.de/dak/download/DAK-Psychoreport_2015-1718180.pdf

Faller, A. & Schünke, M. (2012). *Der Körper des Menschen. Einführung in Bau und Funktion* (16., überarbeitete Auflage). Stuttgart: Georg Thieme.

Fördergemeinschaft Gutes Licht (Hrsg.) (2014). *Wirkung des Lichts auf den Menschen*. (Band 19). Lage/Lippe: Druckhaus Haberbeck.

URL:

https://www.licht.de/fileadmin/Publikationen_Downloads/1403_lw19_Wirkung_auf_Mensch_web.pdf

Holtzmann, F., Schneider, L., Schütz, F., Thies, O. & Bloch, L. (1928). *Die Bedeutung der Beleuchtung für Gesundheit und Leistungsfähigkeit*. Berlin: Springer.

Iskra-Golec, I. M., Wazna, A. & Smith, L. (2012): *Effects of blue-enriched light on the daily course of mood, sleepiness and light perception: A field experiment*. *Lighting Research & Technology*, 44: 506–513.

URL:

http://www.usalighting.com/stuff/contentmgr/files/1/87ac7878da3ef9b7700b40b80d0f2b7d/misc/bluelightmoodsleep_iskra_golec.pdf

Knez, I. (1995). *Effects of indoor lighting on mood and cognition*. *Journal of Environmental Psychology*, 15(1): 39-51.

URL:

https://www.researchgate.net/publication/248588012_Effects_of_indoor_lighting_on_mood_and_cognition

Krause, R. & Stange, R. (2012). *Lichttherapie*. Berlin: Springer.

Kunz D. (2015) *Circadiane Wirksamkeit Aml-basierter Beleuchtungssysteme: Wirkungsfragen circadianer Desynchronisation*. Dresden: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.

URL:

<https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Berichte/F2302.pdf?blob=publicationFile&v=1>

Mayring, P. (2010). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken* (11., aktualisierte und überarbeitete Auflage). Weinheim: Beltz.

Mills, P.R., Tomkins, S.C. & Schlangen L.J.M. (2007). *The effect of high correlated colour temperature office lighting on employee wellbeing and work performance*. *Journal of Circadian Rhythms*, 5: 2.

URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1779263/pdf/1740-3391-5-2.pdf>

Plischke, H. (2015): *Beleuchtung – Human Centric Lighting*. In: Seidler, A., Euler, U., Letzel, S. & Nowak, D. (Hrsg.). *Gesunde Gestaltung von Büroarbeitsplätzen. Arbeitsmedizinische Aspekte • Physikalische Einflussfaktoren • Gefahrstoffexposition • Organisationsformen*. Landsberg am Lech: ecomed MEDIZIN.

Rautkylä, E., Teikari, P., Puolakka, M. & Halonen, L. (2009). *Evaluation of Today's Research Methods for Assessing Light-Induced Alertness*. Eindhoven University of Technology, 162-173.

URL:

<http://2009.experiencinglight.nl/proceedings/5.4%20el2009%20rautkyla%20et%20al.pdf>

Rea, M. (2014). *Light – Much More Than Vision*. Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute, New York.

URL: <http://www.lrc.rpi.edu/programs/lightHealth/pdf/moreThanVision.pdf>

Roethlisberger, F.J., Dickson, W.J. & Wright, H.A. (1939). *Management and the Worker. An Account of a Research Program Conducted by the Western Electric Company*. Hawthorne Works. Cambridge: Harvard University Press.

Rudow, B. (2011). *Die gesunde Arbeit: psychische Belastungen, Arbeitsgestaltung und Arbeitsorganisation* (2., vollständig überarbeitete Auflage). München: De Gruyter Oldenbourg.

Schnauber, H. (2013). *Arbeitswissenschaft*. Berlin: Springer.

Smolders, K. & de Kort, Y. (2013). *Bright light and mental fatigue: Effects on alertness, vitality, performance and physiological arousal*. *Journal of Environmental Psychology*, 39: 77-91.

URL:

https://www.researchgate.net/publication/259562293_Bright_light_and_mental_fatigue_Effects_on_alertness_vitality_performance_and_physiological_arousal

Spath, D., Bauer, W. & Rief, S. (2010). *Green Office: Ökonomische und ökologische Potenziale nachhaltiger Arbeits- und Bürogestaltung*. Berlin: Springer.

Ulmann, P.P. (2015). *Licht und Beleuchtung. Handbuch und Planungshilfe*. Berlin: DOM publishers.

van Bommel, W.J.M., van den Beld, G. & Fassian, M. (2004). *Beleuchtung am Arbeitsplatz: Visuelle und biologische Effekte*. Eindhoven: Philips Lighting.

URL:

https://www.vdi.de/uploads/media/Artikel_VAN_BOMMEL_Biologische_Wirkung_von_Licht.pdf

Vetter, C., Juda, M., Lang, D., Wojtysiak, A. & Roenneberg T. (2011). *Blue-enriched office light competes with natural light as a zeitgeber*. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 37(5): 437-445.

URL: http://www.sjweh.fi/show_abstract.php?abstract_id=3144

Viola, A.U., James, L.M., Schlangen, L.J.M. & Dijk, J.-D. (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.

URL: http://www.sjweh.fi/show_abstract.php?abstract_id=1268

Wieden, M. (2016). *Chronobiologie im Personalmanagement: Wissen, wie Mitarbeiter ticken* (2., aktualisierte und überarbeitete Auflage). Berlin: Springer.

Witting, W. (2014). *Licht, Sehen, Gestalten: lichttechnische und wahrnehmungspsychologische Grundlagen für Architekten und Lichtdesigner*. Basel: Birkhäuser.

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen benutzt habe. Wörtliche oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angaben der Quellen kenntlich gemacht.

Hamburg, den 30. August 2017

Ort, Datum

Unterschrift der Autorin

Anhang

Anhang A: Suchbegriffe für die Recherche nach Forschungsarbeiten

Anhang B: Übersicht Stand der empirischen Forschung

Anhang C: Suchprotokolle PubMed

Anhang D: Suchprotokolle Google Scholar

Suchbegriffe für die Recherche nach Forschungsarbeiten

	Oberbegriff	Synonyme	englische Übersetzung
1	Beleuchtung	Licht, Lichtverhältnisse, Lichtquelle, Leuchte, Lampe, Beleuchtungssystem	lighting, light, illumination, lighting system
2	Tageslicht	Licht, Helligkeit	daylight, light, natural light
3	Büroarbeitsplatz	Arbeit, Arbeitsstätte, Betätigung, Beschäftigung, Arbeitsplatz	office, workplace, work
4	Gesundheit	Wohlbefinden, Wohlsein, Salubrität, Verfassung, Gesundheitszustand	health, sanity, wellbeing
5	Motivation	Antrieb, Ansporn, Impuls, Triebfeder, treibende Kraft	motivation, motive, drive
6	Leistungsfähigkeit	Leistung, Produktivität, Können, Kraft, Potential	performance, efficiency, power, ability
7	Aufmerksamkeit	Augenmerk, Anspannung, Interesse,	attention, focus, interest
8	Konzentration	Wachsamkeit, Achtsamkeit	concentration, vigilance, cognition
9	Stimmung	Gemütslage, Laune	mood
10	Verhalten	Auftreten, Benehmen, Handeln	behavior, behaviour
11	zirkadian	24-Stunden-Rhythmus	circadian
12	Rhythmus	Regelmäßigkeit, Gleichmaß, Zyklus	rhythm, cycle
13	biologisch	natürlich	biological
14	melanopisch	Melanopsin, Melatonin	melanopic, melanopsin, melatonin
15	dynamisch	aktiv, variabel, veränderbar	dynamic
16	Wirkung	Effektivität, Effekt, Erfolg, Effizienz, Resultat, Folge, Einfluss, wirksam	effect, impact, effective
17	Depression	Bedrücktheit, Schwermut, Melancholie, Traurigkeit, depressiv	depression, depressive
18	Schlaf	Nachtruhe	sleep, sleepiness

19	Wachheit	Wachzustand, Wachsein, Regsamkeit, Aufmerksamkeit	alertness
20	Chronobiologie		chronobiology, chronobiological
21	Farbtemperatur	Lichtfarbe	color / colour temperature, blue, white
22	Spektrum	spektrale Zusammensetzung, Wellenlänge	spectrum, spectral composition, wavelength
23	Beschäftigte	Mitarbeiter, Angestellte, Arbeitnehmer	employee, worker

Übersicht Stand der empirischen Forschung

Fragestellung	Autoren	Jahr	Setting	Beleuchtungsbedingungen	untersuchte Outcomes	Stichprobe (m/w)	Ergebnisse
1 Untersuchung der psychologischen Wirkung veränderbarer Kunstlichtsituationen auf den Menschen	Fleischer	2001	Labor	22 Lichtsituationen: tageslichtweiß (5600 K), neutralweiß (4000 K) oder warmweiß (3000 K) Beleuchtungsstärken: dunkel (300 lx) oder hell (500 lx), direkt/indirekt Anteil	Wohlbefinden, Stimmung, Motivation, Aufmerksamkeit	28 (14/14)	Verbesserung der Kommunikation und des Sozialverhaltens bei warmweißem Licht. Verbesserung der Aufmerksamkeit und Aktivität sowie des Lesens am Arbeitsplatz bei tageslichtweißem Licht.
2 Untersuchung der Auswirkungen tageslichtähnlicher Lichtverhältnisse auf das Wohlbefinden und die Arbeitsleistung von Call-Center-Mitarbeitern	Mills, Tomkins & Schlangen	2007	Büro	2 Lichtsituationen: Interventionsgruppe 17000 K Kontrollgruppe 2900 K	Wohlbefinden, Arbeitsleistung, Müdigkeit, Aufmerksamkeit, Konzentration, Stimmung	69 (-/-)	Signifikant verbesserte Konzentrationsfähigkeit, zudem weniger Ermüdung und Tagesmüdigkeit, höhere Wachheit und Arbeitsleistung sowie positive Wirkung auf die Vitalität und die psychische Gesundheit.
3 Untersuchung der Auswirkungen unterschiedlicher Lichtverhältnisse auf Melatoninausschüttung und die subjektive Stimmung	Hoffmann, Gufler, Griesmacher, Bartenbach, Canazei, Staggl & Schobersberger	2008	Labor	2 Lichtsituationen: veränderbares Licht (500-1800 lx, 6500 K) und unflexible Lichtsituation (500 lx, 4000 K)	Melatoninausschüttung, Stimmung, Müdigkeit, Konzentration	11 (11/0)	Eine signifikant höhere Melatoninsuppression in beiden Lichtsituationen. Höhere Aktivität und bessere Konzentration bei variablem Licht - Deaktivierung und Ermüdung bei regulärem Licht.
4 Untersuchung der Auswirkungen von blau angereichertem Licht im Büro	Viola, James, Schlangen & Dijk	2008	Büro	2 Lichtsituationen: blau angereichertes Licht (17000 K) und weißes Licht (4000 K)	Aufmerksamkeit, Arbeitsleistung, Schlaf, Müdigkeit, Stimmung, Konzentration	94 (49/45)	Das blau angereicherte Licht verbesserte die Aufmerksamkeit, die Leistungsfähigkeit und die Abendmüdigkeit.
5 Untersuchung der Wirkung von blau angereichertem Licht auf zirkadiane Rhythmen	Smith, Revell & Charmane	2009	Labor	2 Lichtsituationen: blau angereichertes Licht (17000 K, 4000 lx) und weißes Licht (4100 K, 6000 lx)	Zirkadiane Rhythmik, Phasenverschiebungen, Melatoninausschüttung, Schlaf	22 (13/9)	Keine signifikanten Unterschiede zur Wirkung auf zirkadiane Rhythmen von blau angereichertem Licht und hellem, weißem Licht, wie es in der Lichttherapie eingesetzt wird

6	Wirkung der Veränderung der Lichttemperatur am Arbeitsplatz auf Schlaf- und Aktivitätsverhalten	Vetter, Juda, Lang, Wojtysiak & Roenneberg	2011	Büro	2 Lichtsituationen: Interventionsgruppe 8000 K Kontrollgruppe 4000 K	Zirkadiane Rhythmik, Schlaf, Aktivitätsverhalten	54 (26/28)	In der experimentellen Gruppe blieb das Timing von Schlaf und Aktivität an freien Tagen synchron mit dem Beginn der Arbeit. Künstliches blau angereichertes Licht konkurriert demnach mit natürlichem Licht als Zeitgeber, die Wirksamkeit hängt von der spektralen Zusammensetzung ab. Die Ergebnisse zeigen auch, dass blau angereichertes künstliches Licht mit Sorgfalt eingesetzt werden muss.
7	Untersuchung der Auswirkungen einer vorherigen Lichtbelastung in den frühen Abendstunden auf kognitive Leistungen, die Schläfrigkeit und die Hormonausschüttung	Münch, Linhart & Borisuit	2012	Labor	2 Lichtsituationen: Tageslicht (1000 lx) künstliches Licht (3700 K)	Cortisol- und Melatoninausschüttung, Müdigkeit und kognitive Leistung	29 (17/12)	Deutliche Verbesserung der kognitiven Leistungen und der Aufmerksamkeit, geringere Müdigkeit und weniger Fehler.
8	Untersuchung der Effekte von LED Arbeitsplatzbeleuchtungstechnologien auf die visuelle Wahrnehmung, die kognitive Leistungsfähigkeit und die Stimmung	Hawes, Brunyé, Mahoney, Sullivan & Aall	2012	Labor	4 Lichtsituationen mit unterschiedlichen Farbtemperaturen: 1 fluoreszierende (3345 K) und 3 LED-Technologien mit aufsteigender Farbtemperatur (4175 K, 5448 K und 6029 K)	Sehschärfe, kognitive Leistung, Stimmung'	24 (20/4)	Unter LEDs mit hohen Farbtemperaturen hohe Sehschärfe. Unter herkömmlicher Bürobeleuchtung abnehmende kognitive Leistungen, erhöhte Ermüdungsbewertungen und langsamere Reaktionszeiten.
9	Untersuchung der Wirkung von blau angereichertem Licht auf die Stimmung, die Müdigkeit und die Lichtwahrnehmung am Büroarbeitsplatz	Iskra-Golec, Wazna & Smith	2012	Büro	2 Lichtsituationen: Interventionsgruppe 17000 K Kontrollgruppe 4000 K	Stimmung, Müdigkeit Lichtwahrnehmung	30 (0/30)	Signifikante Effekte von blau angereichertem Licht auf die Stimmung und das Energielevel und gleichzeitig zunehmende Empfindlichkeit gegenüber der Helligkeit am Morgen und am Mittag im Vergleich zu den anderen Zeiten des Arbeitstages.
10	Untersuchung der Auswirkungen einer höheren Beleuchtungsstärke während der Bürozeiten auf die Wachheit, Leistungsfähigkeit und die Herzfrequenz	Smolders, de Kort & Cluitmans	2012	Labor	2 Lichtsituationen: 200 lx oder 1000 lx (4000 K)	Vitalität, Aufmerksamkeit, Wachheit, kognitive Leistung und Herzrate	32 (19/13)	Auswirkungen der höheren Beleuchtungsstärke auf die Wachheit, Vitalität und Herzrate. Erhöhte Aufmerksamkeit und erhöhtes Energielevel, kürzere Reaktionszeiten.

11	Untersuchung der Effekte einer künstlichen Dämmerung und morgendlichem blauen Lichts auf kognitive Leistungen, Wohlbefinden sowie den Kortisol- und Melatoninspiegel unter Schlafbeschränkung	Gabel, Maire, Reichert, Chellappa, Schmidt, Hommes, Viola & Cajochen	2013	Labor	3 Lichtsituationen: blaue monochromatische LED, dämmerungs-simulierendes Licht und schwache Helligkeit	Kognitive Leistung, Wohlbefinden, Stimmung, Kortisol- und Melatoninausschüttung	17 (17/0)	Die Exposition mit einer künstlichen Morgendämmerung verbessert das subjektive Wohlbefinden, die Stimmung und die kognitiven Leistungen mit Auswirkungen auf die zirkadiane Phase unter Schlafbeschränkungen.
12	Untersuchung zirkadianer Desynchronisation durch künstliche Beleuchtung für Gestaltungsempfehlungen für veränderbare Lichtsituationen bei verschiedenen Arbeitsaufgaben im Büro	Kunz	2015	Labor	5 Lichtsituationen: abends (1500 K & <7 lx), (2700 K & 100 lx) oder (6500 K & 500lx) morgens (2600 K & 40 lx) oder (3537 K & 750 lx)		18 (-/-)	Eine effektive Beleuchtung am Morgen kann akut anregend, aktivierend und leistungssteigernd wirken und als Zeitgeber die Synchronisation der inneren Uhr unterstützen.

* Die blau markierten Studien werden in die Ergebnisdarstellung in Kapitel 3.2 einbezogen.

Suchprotokolle PubMed

Suchkombination	Suchabfrage	Trefferanzahl
#1 (Gruppe 1) AND (Gruppe 2)	Search (light*[tw] OR lighting[tw] OR daylight[tw] OR „natural light“[tw] OR „color temperature“[tw] OR „colour temperature“[tw] OR spectrum[tw] OR spectral[tw] OR blue[tw] OR white[tw]) AND (workplace[tw] OR office*[tw] OR work*[tw] OR employee*[tw]) NOT (shift* OR "night work" OR "home") Sort by: Relevance Filters: Free full text; Publication date from 2001/08/01; Humans	4.709
#2 (Gruppe 1) AND (Gruppe 3 OR Gruppe 4)	Search (light*[tw] OR lighting[tw] OR daylight[tw] OR „natural light“[tw] OR „color temperature“[tw] OR „colour temperature“[tw] OR spectrum[tw] OR spectral[tw] OR blue[tw] OR white[tw]) AND (health*[tw] OR wellbeing[tw] OR well-being[tw] OR motivation*[tw] OR drive[tw] OR performance[tw] OR ability[tw] OR attention[tw] OR concentration[tw] OR vigilance[tw] OR mood[tw] OR behavior[tw] OR behaviour[tw] OR sleep*[tw] OR alertness[tw]) NOT (shift* OR "night work" OR "home") Sort by: Relevance Filters: Free full text; Publication date from 2001/08/01; Humans	40.148
#3 (Gruppe 1) AND (Gruppe 2) AND (Gruppe 3 OR Gruppe 4)	Search (light*[tw] OR lighting[tw] OR daylight[tw] OR „natural light“[tw] OR „color temperature“[tw] OR „colour temperature“[tw] OR spectrum[tw] OR spectral[tw] OR blue[tw] OR white[tw])) AND (workplace[tw] OR office*[tw] OR work*[tw] OR employee*[tw])) AND (health*[tw] OR wellbeing[tw] OR well-being[tw] OR motivation*[tw] OR drive[tw] OR performance[tw] OR ability[tw] OR attention[tw] OR concentration[tw] OR vigilance[tw] OR mood[tw] OR behavior[tw] OR behaviour[tw] OR sleep*[tw] OR alertness[tw]) NOT (shift* OR "night work" OR "home") Sort by: Relevance Filters: Free full text; Publication date from 2001/08/01; Humans	2.374
#4 (Gruppe 1) AND (Gruppe 2) AND (Gruppe 3 OR Gruppe 4) AND (MeSh-Terms)	Search (light*[tw] OR lighting[tw] OR daylight[tw] OR „natural light“[tw] OR „color temperature“[tw] OR „colour temperature“[tw] OR spectrum[tw] OR spectral[tw] OR blue[tw] OR white[tw])) AND (workplace[tw] OR office*[tw] OR work*[tw] OR employee*[tw])) AND (health*[tw] OR wellbeing[tw] OR well-being[tw] OR motivation*[tw] OR drive[tw] OR performance[tw] OR ability[tw] OR attention[tw] OR concentration[tw] OR vigilance[tw] OR mood[tw] OR behavior[tw] OR behaviour[tw] OR sleep*[tw] OR alertness[tw]) AND ("circadian rhythm"[mesh] OR "chronobiology"[mesh] OR "lighting"[mesh] OR "workplace"[mesh] OR "melatonin"[mesh]) NOT (shift* OR "night work" OR "home") Sort by: Relevance Filters: Free full text; Publication date from 2001/08/01; Humans	146

Suchprotokoll Google Scholar

	Suchkombination	Suchabfrage	Trefferanzahl
#1	Begriffsauswahl aus Gruppe - Gruppe 5	allintitle: "light OR lighting OR daylight" "health OR motivation OR performance OR vigilance OR sleep" "office OR workplace OR work" -shift -night	163
