



© Cuhls, Kerstin mit DALLE-8.5.2024, a harmonious representation of a society synchronised with circadian rhythms

Chronobiologie für eine gesunde Gesellschaft der Zukunft

Projekt CIRCADIA – Circadiane Rhythmen und Technologie

Ein INSIGHT Projekt für das **Bundesministerium für Bildung und
Forschung, BMBF**

Ort: Karlsruhe und Essen
Datum: 30. Juni 2024

Status: Final

Impressum

Chronobiologie für eine gesunde Gesellschaft der Zukunft

Projektleitung: Kerstin Cuhls

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI

Breslauer Straße 48, 76139 Karlsruhe
Kerstin Cuhls, kerstin.cuhls@isi.fraunhofer.de

Verantwortlich für den Inhalt des Textes

Kerstin Cuhls, kerstin.cuhls@isi.fraunhofer.de
Thomas Kantermann, thomas.kantermann@fom.de
und: Ralph Gutknecht, Nils Heyen, Friederike Mork-Antony
unter Mitarbeit von Sarah Eckert, Rebecca Keilhauer und Diana Kozachek

Beteiligte Institute

FOM Hochschule, Essen

Leimkugelstr. 6, 45141 Essen. Prof. Dr. habil. Thomas Kantermann, thomas.kantermann@fom.de

Verfasst im Auftrag des

Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), Berlin

Bildnachweis

Nutzungsrechte liegen vor.

Disclaimer:

Die Illustration des Titelbilds ist KI-generiert. Jede Ähnlichkeit mit existierenden Personen ist Zufall. Das Bild wurde im Mai 2024 mit open.ai/DALLE - Chat GPT4.0 privat generiert und zur Verfügung gestellt.

Zitierempfehlung

Cuhls, K.; Gutknecht, R.; Heyen, N.; Mork-Antony, F.; Kantermann, Th. (2024): Chronobiologie für eine gesunde Gesellschaft der Zukunft. Projekt CIRCADIA – Circadiane Rhythmen und Technologie. Fraunhofer ISI, Karlsruhe, und FOM Hochschule, Essen. DOI: 10.24406/publica-3037

Veröffentlicht

Juni 2024

Hinweise

Dieser Bericht einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Die Informationen wurden nach bestem Wissen und Gewissen unter Beachtung der Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis zusammengestellt. Die Autorinnen und Autoren gehen davon aus, dass die Angaben in diesem Bericht korrekt, vollständig und aktuell sind, übernehmen jedoch für etwaige Fehler, ausdrücklich oder implizit, keine Gewähr. Die Darstellungen in diesem Dokument spiegeln nicht notwendigerweise die Meinung des Auftraggebers wider.

Inhaltsverzeichnis

1	Projekt CIRCADIA: Circadiane Rhythmen und Technologie	6
2	Ziele, Fragestellungen und methodisches Vorgehen	7
2.1	Ziel des Projektes	7
2.2	Methodisches Vorgehen – Konzept.....	7
3	Stand der Forschung zu circadianen Rhythmen und Schlaf des Menschen 10	
3.1	Melatonin ist ein Marker der inneren Uhr	12
3.2	Zwei-Prozess-Modell der Schlafregulation	13
3.4	Einfluss von Licht auf das circadiane System	14
3.5	Wellenlänge von Licht.....	16
3.6	Lichtintensität.....	17
3.7	Dauer einer Lichtexposition.....	18
3.8	Zeitpunkt einer Lichtexposition.....	19
3.9	Räumliche Verteilung von Licht und Einfallswinkel in das Auge	19
3.10	Lichthistorie	19
3.11	Interindividuelle Unterschiede der nicht-visuellen Lichtwirkung	20
3.11.1	Geschlechtsunterschiede	20
3.11.2	Altersunterschiede	21
3.12	Zusammenfassung des Stands der Forschung	22
4	Rahmenbedingungen und Veränderungen des Alltags.....	23
4.1	Alltagspraxis	23
4.2	Tageslichtexposition im Alltag.....	24
4.3	Strukturierter Tagesablauf	25
4.3.1	Aufschiebung des Zubettgehzeitpunktes	26
4.3.2	Mittagsschlaf.....	27
4.4	Arbeits- und Schulzeiten	27
4.5	Lichtexposition während der Arbeitszeit	28
4.6	Schichtarbeit.....	29
4.7	Schulanfangszeiten	30
4.9	Kaffee und Alkoholkonsum	31
4.10	Sportliche Aktivitäten.....	32
4.11	Nutzungsverhalten von Bildschirmmedien	33
4.12	Mediennutzung und Schlaf.....	34
4.13	Fokus Fernsehen	36
4.14	Fokus Internetnutzung.....	37
4.15	Fokus Smartphone-Nutzung	38
4.16	Fokus Soziale Medien.....	40

4.17	Fokus Video- und Computerspiele	40
4.18	Mangel an Tageslicht in Innenräumen	41
4.19	Lichtverschmutzung in der Nacht	42
4.20	Familienkonstellationen.....	44
4.21	Stress, Persönlichkeitsmerkmale und Einstellungen zum Schlaf	45
5	Ergebnisse der repräsentativen Befragung	47
5.1	Die abendliche Nutzung von Bildschirmmedien.....	47
5.2	Bettzeit-Prokrastination und Technik	49
5.3	Was bedeuten diese Ergebnisse?	50
6	Circadiane Rhythmen und nicht-invasive Technologien	52
6.1	Technologien zur Lichtoptimierung	52
6.1.1	Stationäre Lichtgeräte	52
6.1.2	Lichtmanagement	53
6.1.3	Lichtfilter für Monitore.....	55
6.1.4	Eye-Wearables	56
6.2	Technologien zur Selbstoptimierung.....	57
6.2.1	Lichtmessung	57
6.2.2	Algorithmen zur Modellierung circadianer Rhythmen.....	58
6.2.3	Apps zum Tracking des persönlichen circadianen Rhythmus und zur Selbstoptimierung.....	60
7	Mögliche zukünftige Entwicklungen	62
7.1	Themen der offenen Suche.....	62
7.1.1	Arbeits- und Schulzeiten und Arbeitsbedingungen	64
7.1.2	Schlaf: Änderungen in Quantität und Qualität	65
7.1.3	Kaffee, Tee und andere Wachmacher.....	66
7.1.4	Immunsystem.....	67
7.1.5	Long Covid.....	68
7.1.6	Übergewicht	68
7.1.7	Schmerz.....	68
7.1.8	Stoffwechseleränderungen	69
7.1.9	Wahrnehmungs- und Aufmerksamkeitsstörungen	69
7.1.10	Virtual oder Augmented Reality	70
7.1.11	Optimierungstechniken	70
7.1.12	Kurzsichtigkeit (Myopie).....	71
7.1.13	Einnahme von Melatonin.....	71
7.1.14	Lichtemissionen und Lichtverschmutzung	72
7.1.15	Tageslicht in Innenräumen versus Energiesparen	72
7.1.16	Fensterlosigkeit und "aus dem Fenster schauen"	73
7.1.17	Zeit vor dem Schlafengehen vor Bildschirmen	73
7.1.18	Blaulichtfilter in Brillen	73

7.2	Themen aus dem semi-automatisierten Scanning	74
7.2.1	Diabetes	74
7.2.2	Migräne	74
7.2.3	Epilepsie	75
7.2.4	Kardiovaskuläre Erkrankungen und Bluthochdruck.....	75
7.2.5	Mikrobiom und Darmtätigkeit.....	76
7.2.6	Epigenetik und DNA-Methylierung	77
7.2.7	Fettleber und Leberzirrhose.....	78
7.2.8	Ramadan – Fasten.....	79
7.2.9	Fahrtüchtigkeit	79
7.2.10	Sport und circadiane Rhythmen	79
7.2.11	Uhrenumstellung im März und Oktober	80
7.3	Themenauswahl Deep Dives.....	80
8	Folgenabschätzung: Konsequenzen unterschiedlicher Umgangsweisen mit der inneren Uhr	82
8.1	Gesundheit	84
8.2	Sicherheit.....	84
8.3	Umwelt und Nachhaltigkeit.....	85
8.4	Ökonomie und Arbeitsorganisation	86
8.5	Lebenswelt und Gesellschaft	87
8.6	Zwischenfazit.....	88
9	Gestaltungsspielräume und Strategien.....	89
9.1	Anpassung des Lichts	89
9.2	Anpassung von Rahmenbedingungen für Schule und Arbeit	93
9.3	Anpassung sozialer Praktiken	96
9.4	Wissenstand der Bevölkerung erhöhen.....	98
9.5	Zusammenfassende Abschlussdiskussion.....	101
10	Ausblick auf Zukunftsthemen, neue Methodik und Politik	103
10.1	Zukünftige Forschungsthemen.....	103
10.2	Methodeneinsatz im Projekt: Foresight und Folgenforschung verknüpfen	108
10.3	Zusammenfassung der Empfehlungen.....	109
11	Abbildungsverzeichnis.....	113
12	Literatur	114

1 Projekt CIRCADIA: Circadiane Rhythmen und Technologie

Das **Projekt CIRCADIA** – „Circadiane Rhythmen und Technologie – Desynchronisation im Alltag“ des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung ISI (Karlsruhe) und der FOM Hochschule (Essen) befasste sich mit **circadianen Rhythmen des Menschen im Alltag** sowie einer möglichen Beeinflussung der circadianen Rhythmik durch den Gebrauch von Technik. Unser Projekt verfolgte das Ziel, Informationspakete für politische und wirtschaftliche Entscheidungstragende hinsichtlich technikinduzierter gesellschaftlicher Entwicklungen im Kontext der circadianen Biologie des Menschen zu erstellen.

Circadiane Rhythmen in biologischen und physiologischen Prozessen sind von grundlegender Bedeutung für die Gesunderhaltung des Menschen, beispielsweise über die Steuerung des natürlichen Schlaf-Wach-Verhaltens. Das circadiane System ist eine **innere Uhr**, die den Körper dabei unterstützt, Veränderungen in der Umwelt vorherzusehen und Körpervorgänge zeitlich zu strukturieren. Abweichungen der rhythmischen Koordination können mit Störungen von Schlaf, Wohlbefinden und Gesundheit einhergehen. Das zentrale Signal der Umwelt, um die innere Uhr mit der Umwelt zu synchronisieren (**Entrainment**) ist Licht, das dem Körper als **Zeitgeber** dient.

Der stärkste Zeitgeber für die innere Uhr ist **Tageslicht**. Die Forschung zur inneren Uhr beschäftigt sich unter anderem mit der Frage, wieviel Tageslicht zur Synchronisation des circadianen Systems nötig ist und inwieweit künstliche Lichtquellen circadiane Rhythmen beeinflussen können. Im Fokus stehen dabei Einflüsse auf den Schlaf-Wach-Rhythmus und Marker der circadianen Rhythmik. So ergeben sich folgende Forschungsfragen: Welche Techniken und sozialen Praktiken führen dazu, dass Menschen unterschiedlich viel Tageslicht für ihre innere Uhr bekommen? Ist es, weil bestimmte Techniken und soziale Praktiken gegebenenfalls dazu führen, dass Menschen sich vermehrt in Innenräumen aufhalten? Damit verbunden ist die Frage: Welche Techniken und sozialen Praktiken führen dazu, dass Menschen nicht ihrem – durch die innere Uhr gesteuerten – natürlichen Schlaf-Wach-Verhalten nachkommen können? Hinzu kommt die Frage, ob es bestimmte Techniken gibt, die Menschen vom Schlafen abhalten oder aufgrund ihrer Bauart selbst lichtemittierend sind, und auf diesem Wege die innere Uhr beeinflussen bzw. stören können.

Die Fragen wurden in einem mehrstufigen Forschungsprozess aus unterschiedlichen Perspektiven beantwortet. Zunächst haben wir auf der Basis von Literaturanalysen den Forschungsstand zusammengefasst. Im Anschluss wurde über eine **repräsentative Umfrage** in Deutschland erhoben, wieviel und welche Technik genutzt wurde und wird. Der Fokus lag auf Techniken mit Bildschirmen (Bildschirmmedien) und auf Veränderungen im Rahmen der COVID-19-Pandemie. Wir führten ein **Horizon Scanning** durch, um Veränderungen zu erkennen und einzuschätzen, welche neuen Möglichkeiten rechtzeitige Maßnahmen benötigen. Wir leiteten Annahmen zu zukünftigen Veränderungen ab und beschäftigten uns mit der Frage, welche der bisherigen Veränderungen in Zukunft bestehen bleiben werden und welche nicht. In einem **Zukunftsworkshop** diskutierten wir unterschiedliche Zukünfte und widmeten uns in einem zweiten Workshop der **Folgenabschätzung**. In einem dritten und letzten Workshop wurden **Präventions-** und **Lösungsstrategien** erarbeitet, die dabei helfen sollen, innere Uhren im Takt zu halten, um Gesundheit und Wohlergehen auf sowohl individueller sowie gesellschaftlicher Ebene zu erhalten.

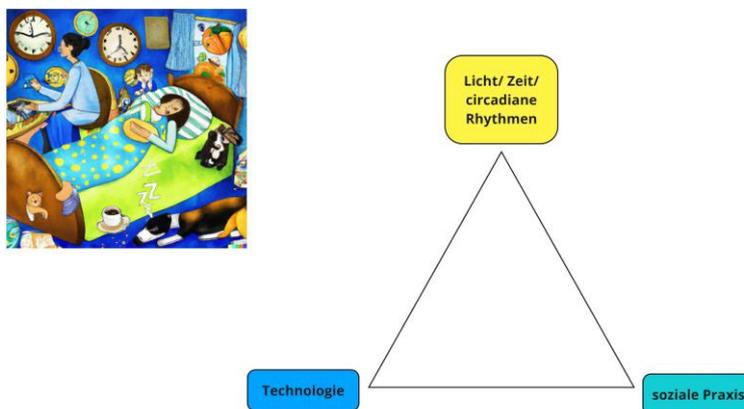
Der vorliegende Endbericht ist entsprechend der Projektschritte gegliedert und fasst mit einem Ausblick die Ergebnisse der Forschungsfragen zusammen.

2 Ziele, Fragestellungen und methodisches Vorgehen

2.1 Ziel des Projektes

Die Themen Chronobiologie und circadiane Rhythmen wurden bereits im ersten BMBF-Foresight-Prozess (Projekt für das Bundesministerium für Bildung und Forschung von 2007 bis 2009, siehe Cuhls et al. 2009) als wichtige Forschungsthemen identifiziert. Aufgrund des Zuwachses an Publikationen zur Chronobiologie des Menschen seitdem, beschlossen wir, eine Aktualisierung des Standes der Forschung durchzuführen. Als INSIGHT-Projekt des BMBF beschäftigt es sich sowohl mit dem Jetzt, als auch mit zukünftigen Entwicklungen im Dreiklang von circadianen Rhythmen, sozialen Entwicklungen und technischen Möglichkeiten (Abbildung 1).

Abbildung 1: Spannungsfeld circadiane Rhythmen, Technik und Alltag

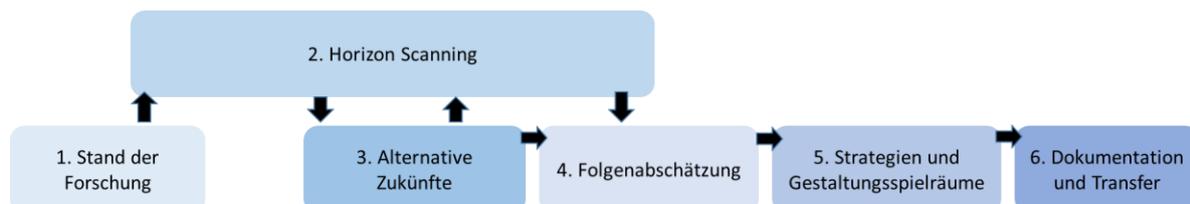


Quelle: Fraunhofer ISI

2.2 Methodisches Vorgehen – Konzept

Das Projekt wurde in sechs aufeinander aufbauenden Schritten bearbeitet (Abbildung 2). Die Logik des Vorgehens war die folgende: Die Aufbereitung des Standes der Forschung über eine Literaturrecherche (1) diente als Basis für eine repräsentative Bevölkerungsbefragung sowie das Horizon Scanning (2).

Abbildung 2: Das Arbeitsprogramm des Projekts CIRCADIA



Quelle: Fraunhofer ISI/ FOM

Das **Horizon Scanning** in Schritt 2 (Abbildung 2) diente der Identifikation von Veränderungsdynamiken und Einzelentwicklungen. Nach der Festlegung einer Suchstrategie (Begrifflichkeiten) wurde ein hybrides Horizon Scanning durchgeführt. Im automatisierten Teil des Scannings wurde per Algorithmus anhand der Begrifflichkeiten von circadianen Rhythmen oder Chronobiologie und ihren Kreuzungen in der Quelle Dimensions.ai nach Publikationen gesucht. Diese wurden ausgezählt und die jeweils zehn am häufigsten zitierten wurden gelesen und analysiert. Ein Topic Modelling mit einer Ergebnisdarstellung in Wordclouds wurde zusätzlich durchgeführt, um zu prüfen, ob die Funde voneinander abwichen. Dies war in der Regel nicht der Fall. Ein derartiges Vorgehen war nur für Forschung und Technologie erfolgreich.

Für den Technologieteil des Horizon Scannings beschränkten wir uns in der weiteren Analyse auf Lichttechnologie. Der Grund dafür war, dass Licht als Zeitgeber das Entrainment der circadianen Rhythmik beeinflussen kann und die Frage im Raum steht, ob, und falls ja, welche künstlichen Lichtquellen als Zeitgeber fungieren können. Die Suche nach wissenschaftlich validierten Lichttechnologien im Bereich des Schlafs und der circadianen Rhythmen gestaltete sich komplex, da die Abgrenzungen zwischen Technologien im Konsumentenbereich, wie Sport oder Ernährung, und dem professionellen Gesundheitsbereich sowie der medizinischen Forschung nicht trennscharf sind. Literatur zu implantierbaren Geräten oder zur Entnahme und Analyse von Genmaterial zur Feststellung des circadianen Rhythmus wurde in diesem Teil bewusst nicht abgedeckt.

Für das Scanning wurde Literatur zu den Suchbegriffen rund um Lichttechnologien wie Lampen, Leuchten oder Bildschirmen und Anwendungen wie Apps und Algorithmen über die Datenbanken PubMed/MEDLINE sowie Embase gesucht. Zusätzlich wurden die Begriffe um „sleep“ und „circadian rhythm“ in Verbindung mit den Begriffen „light“, „artificial light“, „brightness“ und „bright“ im Technologieportal für Elektroingenieurwesen (IEEE Xplore) gesucht. Bezüglich der Algorithmen, die circadiane Rhythmen analysieren oder abbilden sollen, wurde die Recherche auf arXiv.org und medRxiv.org durchgeführt. Diese open-access Portale sind insbesondere für Preprints in den Disziplinen Mathematik und Informatik von großer Bedeutung. In einer abschließenden Patentrecherche über die Datenbanken DPMA und Dimensions.ai wurden die Begriffe „Schlaf“ und „circadiane Rhythmen“ in Verbindung mit Lichttechnologien wie Lampen, Leuchten, Bildschirme, Algorithmen und Apps gesucht und mit den Ergebnissen der vorausgegangenen Literaturrecherche abgeglichen. Die ausgewählten Suchstrategien erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Für **gesellschaftliche Themen bzw. soziale Praktiken** musste auf manuelle Suche umgestellt werden. Da die Fragestellung lautete, Veränderungen seit Beginn der COVID-19-Pandemie festzustellen, wurden insbesondere Zeitschriften (Alltagszeitschriften, Programm-, Frauen-, Männer-, Gesundheitszeitschriften) durchgesehen. Dies erfolgte direkt im Supermarkt bzw. rückwirkend online. Gescreent wurden nur die Überschriften, um eine Sammlung von Alltagsthemen anzulegen, in denen Veränderungen der sozialen Praktiken genannt oder von den Auswertenden vermutet wurden. Für die identifizierten Themen wurde verifiziert, ob es empirische Belege für diese Veränderungen (Trends aus der Vergangenheit) gab. Diese wurden beschrieben und daraufhin untersucht, ob sie mit Techniknutzung und/oder circadianen Rhythmen in Verbindung standen. Als Ergänzung wurde eine repräsentative **Befragung der Bevölkerung zur Alltagssituation 2021/2022** über einen Dienstleister durchgeführt. Die Fragen bezogen sich auf Veränderungen seit Beginn der COVID-19-Pandemie bezüglich der Nutzung von Technik, insbesondere Technik mit Bildschirmen, im Alltag.

Die **partizipative Exploration alternativer Zukünfte** (Schritt 3 in Abbildung 2) fand in einem offenen, explorativen Online-Workshop statt. Inhalt des Workshops war die Benennung kurz- und langfristiger, alternativer Entwicklungen im Alltag der Menschen (Arbeit, Schule, Wohnen) mit einem 10-Jahres Zeithorizont sowie die Diskussion alternativer Entwicklungen. In einzelnen Fällen (Deep Dives) wurden danach Interviews mit Expert:innen geführt, um offene Fragen zu klären.

Die **Folgenabschätzung** (Schritt 4 in Abbildung 2) speiste sich aus den themenspezifischen Befunden des Horizon Scannings sowie den alternativen Zukünften, die von Fachleuten in Workshops exploriert, beschrieben und bewertet werden. Aufbauend auf der Folgenabschätzung wurden **zwei gegensätzliche Szenarien** (einer „chronobiologisch aufgeklärten“ gegenüber einer „nicht chronobiologisch aufgeklärten“ Gesellschaft) **generiert** und in einem Workshop von unterschiedlichen Stakeholdergruppen (wissenschaftliche Expert:innen, Licht-Expert:innen, Repräsentant:innen gesellschaftlicher Gruppen, Verbände wie der Gesellschaft für Zeitpolitik) systematisch diskutiert, bewertet und Implikationen benannt. Ziel dieses Vorgehens war, neue Gestaltungsspielräume für das Individuum sowie die Gesellschaft zu eröffnen. Es zeigte sich, dass die Schaffung solcher Gestaltungsspielräume nicht trivial ist, sondern in vielen Fällen sogar neue Spannungsfelder erzeugt, die eine Umsetzung erschweren.

Der letzte Workshop (Schritt 5 in Abbildung 2) befasste sich mit **Gestaltungsspielräumen und präventiven Strategien** (Verhaltens- und Verhältnisprävention) gegen negative Auswirkungen. Hier wurden technische und nicht-technische Lösungen exploriert sowie Gestaltungsspielräume zur Nutzung von Potenzialen ausgelotet. In drei Gruppen wurden unterschiedliche Handlungsstränge verfolgt – bzw. besondere Gruppen der Gesellschaft ins Visier genommen. Empfehlungen für die unterschiedlichen Gruppen sowie die Politik wurden erarbeitet. Die Ergebnisse aller Projektstufen wurden dokumentiert (Schritt 6 in Abbildung 2) und in drei Policy Briefs sowie der hier vorgelegten zusammenfassenden Publikation der Öffentlichkeit und Entscheidern in der Politik zur Verfügung gestellt.

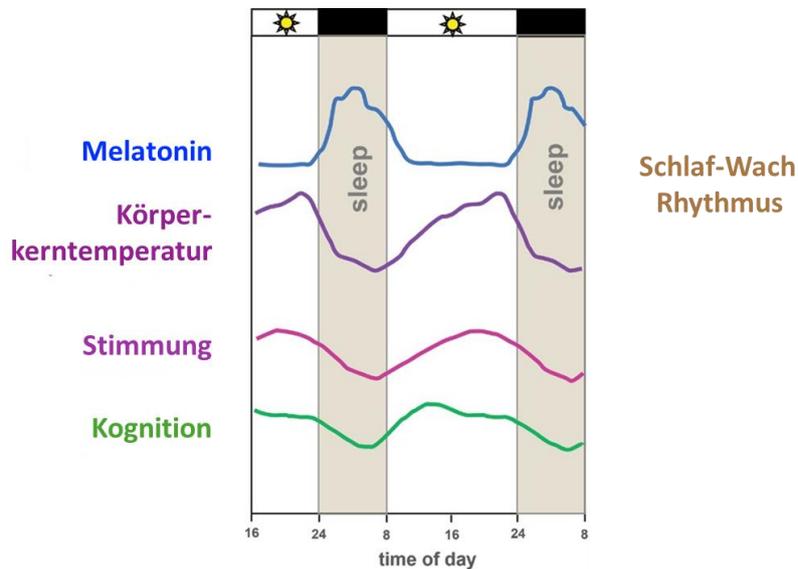
3 Stand der Forschung zu circadianen Rhythmen und Schlaf des Menschen

Der Wissenschaftszweig der Chronobiologie untersucht die zeitliche Organisation von physiologischen Prozessen, biologischen Rhythmen und sich regelmäßig wiederholenden Verhaltensmustern von Organismen. Der Begriff Chronobiologie ist eine Kombination der griechischen Begriffe „*chrónos*“ für „Zeit“ und „*Biologie*“ für „Lehre von der belebten Natur“. Zentrale Aspekte von chronobiologischer Forschung sind circadiane Rhythmen. Der Begriff circadiane Rhythmik leitet sich von den lateinischen Begriffen „*circa*“ für „ungefähr“ und „*dies*“ für „Tag“ ab (Halberg 1959). Die erste in einem Fachjournal publizierte Beschreibung eines biologischen Tagesganges erfolgte durch Jean Jaques d’Ortous de Mairan im 18. Jahrhundert (Mairan 1729). Bei der Pflanze *Mimosa pudica* beobachtete er, dass diese ihre Blätter hob, bevor die Sonne aufging und bei Sonnenuntergang wieder senkte. Dieses Phänomen konnte auch bei Isolation der Pflanze in völliger Dunkelheit beobachten werden. Pflanzen passen, wie heute bekannt ist, auf diese Weise ihre Aktivität dem Tag-Nacht-Wechsel an, um sich auf den Beginn der Photosynthese bei Tagesanbruch vorzubereiten.

Einer der ersten Forschenden, der circadiane Rhythmen beim Menschen untersuchte, war Jürgen Aschoff. Dieser hat in den 1960er Jahren, die circadiane Rhythmik des Menschen in einem eigens für die Experimente gebauten Isolationsbunker in der Nähe des Klosters Andechs (Bayern) systematisch untersucht (Aschoff 1965). In 25 Jahren Forschung nahmen insgesamt 393 Personen (manche davon mehrfach) an den Studien teil (Daan 2017). In den Studien hatten die Versuchspersonen weder Zugang zu Uhren noch Fernsehen, Radio oder Tageslicht. Sie lebten, je nach Protokoll, im Durchschnitt 25 Tage isoliert von äußeren Zeitgebern in dem fensterlosen Bunker (Daan 2017). Zu dieser Zeit war noch nicht bekannt, dass Licht die "innere Uhr" synchronisiert, daher wurde in diesen Experimenten versucht, alle möglichen Signale aus der Umwelt sukzessive auszuschließen und zu kontrollieren. Aschoff und sein Team fanden heraus, dass auch in Isolation viele tagesperiodischen Prozesse im Körper des Menschen erhalten blieben. Der circadiane Rhythmus bleibt also auch dann bestehen, wenn Zeitgeber entfernt wurden. Es konnte systematisch gezeigt werden, dass der Mensch einen endogenen Rhythmus und damit eine "innere Uhr" besitzen muss.

Diese und viele weitere Experimente der letzten Jahre sind die Grundlage für das heutige Verständnis humaner circadianer Rhythmen. Das circadiane System des Menschen dient der Synchronisation von physiologischen und biologischen Prozessen im Körper mit dem 24-Stundentag. Beim Menschen werden unter anderem Schlaf-Wach-Rhythmus, Körpertemperatur, Melatoninspiegel, Stimmung und Kognition durch das circadiane System beeinflusst (Abbildung 3).

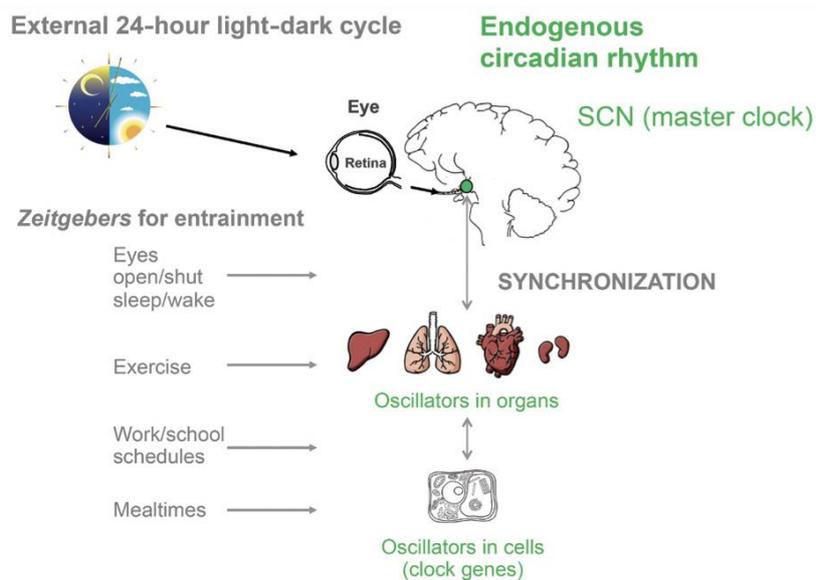
Abbildung 3: Beispiele von Tagesgängen beim Menschen unter Einfluss des circadianen Systems



Quelle: modifiziert nach Münch et al. The effect of light on humans in changing perspectives on daylight: Science, technology, and culture, Science/AAAS Custom Publishing Office 2017

Umweltsignale, die den Rhythmus der inneren Uhr mit der Umwelt synchronisieren können, nennt man Zeitgeber (Abbildung 4). Der Prozess der Synchronisation des circadianen Systems wird Entrainment genannt. Einer der stärksten Zeitgeber für das Entrainment ist Licht, natürlicherweise rhythmisch gegeben durch den stetigen Wechsel von Sonnenaufgang und Sonnenuntergang. Künstliche Lichtquellen können die Funktion eines Zeitgebers erfüllen und somit als Störfaktoren auftreten.

Abbildung 4: Licht ist ein Zeitgeber für das circadiane System



Quelle: Münch et al. The effect of light on humans in changing perspectives on daylight: Science, technology, and culture, Science/AAAS Custom Publishing Office 2017

Das aktuelle Modell der inneren Uhr betrachtet den suprachiasmatischen Nucleus (SCN; Abbildung 4) im anteroventralen Hypothalamus oberhalb des Chiasma opticum im Gehirn als zentrale Schaltstelle (Hastings et al., 2018). Licht, vermittelt über die Netzhaut (Retina) im Auge, ist der dominierende Zeitgeber in diesem Modell. Die Lichtinformation wird als neuronales Signal vom SCN verarbeitet. Durch das Chiasma opticum (die Sehnervkreuzung) verlaufen die Sehnerven, wodurch der SCN über Kollaterale der Sehnerven Information über die Licht-Dunkelverhältnisse der Umwelt erhält. Neben den klassischen Photorezeptoren (Stäbchen und Zapfen), die eine visuelle Wahrnehmung der Umwelt in unterschiedlichen Beleuchtungssituationen erlauben, ist auf der Retina ein dritter Lichtrezeptor zu finden. Dieser befindet sich in 1 bis 3 % der retinalen Ganglienzellen (RGC), die mit ihren Axonen den Sehnerv bilden. Retinale Ganglienzellen, die diesen Lichtrezeptor aufweisen, werden intrinsisch photosensitive retinale Ganglienzellen (ipRGC) genannt (Hattar et al. 2002; Provencio et al. 2000). Da die Funktion der ipRGC's nicht der visuellen Wahrnehmung der Umwelt dient, wird die Wirkung von Licht auf das circadiane System als **nicht-visuelle oder nicht-photosche Wirkung** bezeichnet. Die ipRGC's erhalten ebenfalls Informationen von den Zapfen (Güler et al. 2008). Das photosensitive Protein in den ipRGC's ist Melanopsin. Dieses Photopigment dient der Detektion der Umgebungshelligkeit (Hattar et al. 2002; Provencio et al. 2000). Der SCN synchronisiert über die von ihm gesteuerten Körpersignale die Zell-Uhren des Körpers (Hastings et al. 2014; Hastings et al. 2018). Circadiane Rhythmen entstehen auf zellulärer Ebene auf Basis molekularer Prozesse aus einer zyklischen Transkriptions-Translations-Rückkopplungsschleife (Hastings et al. 2014; Hastings et al. 2018).

Alle Menschen besitzen eine innere Uhr, deren Periodenlänge der zugrundeliegenden circadianen Rhythmik nicht exakt 24 Stunden beträgt, sondern individuell um diesen Wert schwankt und im Durchschnitt bei 24,2 Stunden liegt (Czeisler et al. 1999; Eichele et al. 2020; Roenneberg et al. 2016; Roenneberg et al. 2019). Menschen mit einer endogenen Periodik von 24,2 Stunden, die mehrere Wochen in einem dunklen Raum (wie z. B. in dem Bunker von Aschoff) leben würden, würden ohne Zeitgeber pro Tag 12 Minuten später einschlafen (0,2 Stunden = 12 Minuten). Das gleiche gilt für völlig erblindete Menschen ohne Lichtwahrnehmung, deren innere Uhr häufig einen sogenannten „Freilauf“ aufweist, da sie sich aufgrund des fehlenden Lichts als Zeitgeber nicht mit dem 24-Stunden-Tag synchronisieren kann (Hartley et al. 2018). Damit die innere Uhr nicht freiläuft, muss sie jeden Tag an die 24-stündige Rotation der Erde angepasst werden (Münch et al. 2017). Zusammenfassend handelt es sich bei einem circadianen Rhythmus um einen endogenen (genetisch verankerten) Rhythmus, der eine Periodenlänge von etwa 24 Stunden besitzt und auf die zeitlichen Funktionen eines Organismus Einfluss nimmt.

3.1 Melatonin ist ein Marker der inneren Uhr

Die Zirbeldrüse (Glandula pinealis) schüttet unter der Kontrolle des SCN bei Dunkelheit Melatonin aus. Die Melatonin-Freisetzung der Zirbeldrüse wird durch Licht unterdrückt, was eine Rückmeldung hinsichtlich des Tag-Nacht-Wechsels an den SCN darstellt (Aulinas 2000). Melatonin wird aus der Aminosäure Tryptophan in der Zirbeldrüse des Zwischenhirns synthetisiert (Arendt 1985; Lerner et al. 1959). Der Melatoninspiegel ist natürlicherweise tagsüber niedrig und nachts (bei Dunkelheit) hoch. Die Melatoninkonzentration steigt typischerweise 90 bis 120 Minuten vor der üblichen Schlafenszeit an und fällt am Morgen wieder ab (Aulinas 2000). Das Maximum wird erreicht vor dem Minimum der Körpertemperatur (Shanahan et al. 1991). Melatonin wird nachts bei Dunkelheit ausgeschüttet (auch bei nachtaktiven Tieren), so dass Melatonin als "Dunkelhormon" (aber **nicht** als Schlafhormon) bezeichnet werden kann. Der endogene circadiane Rhythmus von Melatonin kann über Urin-, Speichel- und Blutproben bestimmt werden.

Ein häufig verwendeter Marker der circadianen Phase aus Blut oder Speichel ist der „Dim Light Melatonin Onset“ (DLMO), der den Zeitpunkt darstellt, an dem der Melatoninspiegel natürlicherweise zu steigen beginnt (Lewy et al. 1989). Dieser heißt so, weil der Marker im Dämmerlicht gemessen wird, um maskierende Effekte der Lichtexposition ausschließen zu können. Da die Wirkung von Licht auf die Freisetzung von Melatonin aus der Zirbeldrüse unmittelbar ist, kann Melatonin zur Quantifizierung der nicht-visuellen Wirkung einer Beleuchtung verwendet werden. Chronische Störungen der Melatonin-Freisetzung stehen im Verdacht, **negative Folgen für die Gesundheit** zu bedingen. Besonders Krebserkrankungen, das metabolische Syndrom und psychische Störungen scheinen dabei eine Rolle zu spielen (Touitou et al. 2017).

3.2 Zwei-Prozess-Modell der Schlafregulation

Die zeitliche Lage des Schlafs kann durch das Zwei-Prozess-Modell der Schlafregulation (Borbély et al. 2016; Daan et al. 1984) erklärt werden. Der Zeitpunkt des Schlafes wird demnach über zwei Prozesse geregelt. Der Schlafbedarf wird durch den homöostatischen Prozess S erklärt, und als Schlafdruck beschrieben. Der **Schlafdruck** entsteht vermutlich durch eine Anhäufung des Neuromodulators Adenosin im Gehirn (Landolt 2008). Im Wachzustand baut sich dieser im basalen Vorderhirn auf und wird während des Schlafs abgebaut.

Prozess C – der die innere Uhr repräsentiert – beschreibt die tageszeitliche Variation des neuronalen Signals, das für Wachheit tagsüber sorgt. Nach durchschnittlich 16 Stunden Wachheit ist der Schlafdruck hoch und durch Interaktion beider Prozesse C und S ergibt sich natürlicherweise der **biologische Zeitpunkt** des Schlafes. Mit Verlängerung der Wachheitsphasen steigt der Schlafdruck an (Borbély et al. 2016). Die beiden genannten Prozesse können nur in kontrollierten Laborstudien (Stichwort: Constant Routine) getrennt voneinander quantifiziert werden, so dass bei der Betrachtung von Studien unter natürlichen Bedingungen berücksichtigt werden muss, dass das Zusammenwirken beider Prozesse (C+S) beobachtet wird.

3.3 Chronotyp und Schlafdauer

Der Chronotyp eines Menschen beschreibt die Phase des Entrainments des zirkadianen Systems bezogen auf den 24-Studentag (Roenneberg et al. 2003, Roenneberg et al. 2013). Da sich Menschen sowohl in der Periodenlänge ihrer inneren Uhr als auch ihrer Lichtexposition über den Tag hinweg unterscheiden, sind sie als unterschiedliche Chronotypen identifizierbar. Das Merkmal Chronotyp hat eine genetische Komponente (Ashbrook et al. 2020; Kocevskaja et al. 2021; Leocadio-Miguel et al. 2021). Die Verteilung der Chronotypen ist in der Bevölkerung annähernd normalverteilt (Kantermann et al. 2007; Roenneberg et al. 2003; Roenneberg et al. 2007a; Roenneberg et al. 2007b). Der Großteil der Bevölkerung gehört dem intermediären Bereich an (Roenneberg et al. 2003; Roenneberg et al. 2007a). Ein validiertes Maß für den Chronotyp ist die Schlafmitte an arbeitsfreien Tagen, korrigiert nach Unterschieden in der Schlafdauer zwischen Arbeitstagen und arbeitsfreien Tagen (Roenneberg et al. 2003; Roenneberg et al. 2007a).

Allgemein gilt, dass frühe Chronotypen (Carskadon et al. 1993; Daley et al. 2009) in den Morgenstunden aktiver sind und relativ gegenüber späten Chronotypen entsprechend natürlicherweise früher müde sind. Ein extremer Frühtyp kann beispielsweise von 20 Uhr abends bis 4 Uhr morgens schlafen. Ein extremer Spättyp kann z. B. von 4 Uhr morgens bis 12 Uhr am Mittag schlafen. Früh- und Spättypen unterscheiden sich nicht allein in den Schlafzeitabschnitten, sondern ebenfalls beim Beginn des Melatonin-Anstiegs am Abend (Kantermann et al. 2015; Lack et al. 2009). Der Kortisol-Anstieg, zum Beispiel, setzt laut Kudielka et al. (2006) bei Frühtypen ebenfalls früher ein als bei Spättypen.

Der Chronotyp eines Menschen variiert mit dem Lebensalter. Kinder (2 bis 11 Jahre) sind durchschnittlich häufiger Frühtypen und mit Beginn der Adoleszenz erfolgt eine Phasenverzögerung in Richtung Spättypen (Logan et al. 2019; Roenneberg et al. 2004; Simpkin et al. 2014; Werner et al. 2009). Für Carskadon et al. (1993) ist die Pubertätsreifeung als Hauptfaktor für die verzögerte Phasenpräferenz bei Jugendlichen zu nennen, deren circadianes System einen späteren Beginn der Melatonin-Freisetzung (DLMO) am Abend zeigt. Zwischen dem 20. und 50. Lebensjahr sind Männer im Durchschnitt eher den Spättypen zuzuordnen als Frauen (Adan et al. 2002; Roenneberg et al. 2007a). Die Geschlechtsunterschiede lösen sich ab einem Alter von 50 Jahren auf, was bei Frauen zeitlich mit der Menopause zusammenfällt (Logan et al. 2019).

Unabhängig von der zeitlichen Lage des Schlafes (Chronotyp) unterscheiden sich Menschen in der Dauer ihres Schlafes. So gibt es Kurz- und Langschläfer gleichermaßen bei Früh- wie auch Spättypen. Unterschiede in der Schlafdauer ergeben sich vor allem an Arbeitstagen, zum Beispiel aufgrund des Gebrauchs eines Weckers. Da Spättypen natürlicherweise später aufwachen als es manche Arbeits- oder Schulverhältnisse erlauben, geraten sie überdurchschnittlich häufig in einen Schlafmangel. Kinder benötigen im Vergleich zu Erwachsenen mehr Schlaf, d.h. sie geraten schneller in ein Schlafdefizit. Häufig wird versucht, den Schlafmangel durch längeren Schlaf an arbeitsfreien Tagen oder Wochenenden zu kompensieren (Crowley et al. 2010; Wittmann et al. 2006). So scheinen frühe und späte Chronotypen unterschiedlich lang zu schlafen, was jedoch ein Artefakt der Interaktion zwischen Biologie und sozialem Anspruch ist.

3.4 Einfluss von Licht auf das circadiane System

Licht ist physikalisch betrachtet elektromagnetische Umweltstrahlung innerhalb eines Wertebereiches, der durch Rezeptoren der Retina im Auge verarbeitet und durch das Gehirn interpretiert und der Wahrnehmung zugänglich gemacht werden kann. Die als visuelle Wirkung des Lichts beschriebene Funktion dient somit der Orientierung in der Umwelt. Das visuelle System des Menschen ist in der Lage, eine Spannweite von über 100.000 Lux (Sonnenschein) bis zu 0.001 Lux (Sternenlicht in der Nacht) zu verarbeiten (Goldstein et al. 2023)¹. Die visuelle Wirkung von Licht steht nicht im Fokus dieser Arbeit. Dasselbe Licht, welches dem visuellen System zur Verfügung steht, wird parallel von einem zweiten Funktionskreis genutzt, an dessen Ende nicht-visuelle Wirkungen von Licht stehen. Die nicht-visuellen Wirkungen von Licht umfassen in dieser Arbeit diejenigen Wirkungen, die durch eine Verarbeitung des circadianen Systems erfolgen.

Jedes ins Auge fallende Licht führt grundsätzlich zu einer nicht-visuellen Wirkung. Die Sinneszellen der Retina können nicht unterscheiden, welchen Ursprung ein Photon (Lichtteilchen) genommen hat. Sonnenlicht ist die direkte und Tageslicht ist die indirekte (z. B. an Wolken oder Gebäuden reflektierte) elektromagnetische Strahlung der Sonne. Die Eigenschaften von Tageslicht schwanken in Bezug auf Bestrahlungsstärke, Farbe, Streuung, Polarität und Richtung. Durch Reflexionen und die Filterung durch die Atmosphäre verändert sich das Licht, welches im Anschluss das menschliche Auge erreicht (Wirz-Justice et al. 2021). Die Dauer und Verfügbarkeit von Tageslicht hängen zudem von der geografischen Breite und der Jahreszeit ab sowie von atmosphärischen Bedingungen. Die Beleuchtungsstärke im Freien liegt an sonnigen Tagen von 20.000 bis über 100.000 Lux, bei trübem Wintertagen etwa bei 3.000 Lux, so die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV 2018). In Innenräumen sind die Tageslichteinflüsse niedriger und nehmen exponentiell mit der Entfernung vom Fenster ab (Wirz-Justice et al. 2021). Eine Standardbeleuchtung im Büro beträgt meist nur ca. 500 Lux oder weniger (European Union, 2011; Blume et al. 2019). Arbeiten in Innenräumen kann

¹ siehe auch: <https://www.spektrum.de/lexikon/neurowissenschaft/hell-dunkel-adaptation/5263>

daher für die innere Uhr viel zu dunkel (und daher problematisch für das Entrainment) sein. Künstliches Licht kann zwar das Leben in Innenräumen vereinfachen, führt jedoch im historischen Vergleich (als Menschen den Großteil des Tages im Freien verbracht haben) zu chronobiologisch dunklen Tagen in Innenräumen und relativ dazu übermäßig hellen Nächten (Gaston et al. 2015).

Die folgenden sechs Faktoren gelten aktuell als relevant zur Beurteilung einer direkten Wirkung von Licht auf das circadiane System des Menschen (siehe Abbildung 5; DGUV 2018): 1. die spektrale Verteilung der Lichtexposition, 2. Lichtintensität, 3. Expositionsdauer, 4. Zeitpunkt bzw. die Tageszeit (Licht wirkt morgens anders als abends), 5. die Lichthistorie (die Menge an Licht tagsüber kann die Wirkung von Licht am Abend und in der Nacht modulieren), sowie 6. die räumliche Verteilung des Lichts. Zur optimalen Abschätzung einer Wirkung von Licht auf das circadiane System sollten daher Faktoren wie z. B. Lichtquelle, Jahreszeit, Tageszeit, Lokalität (Aufenthalt drinnen oder draußen) berücksichtigt werden. Die quantitativen Unterschiede einer nicht-visuellen Wirkung von Licht in Bezug zur Lichtquelle sind vor allem unter kontrollierten Bedingungen im Labor gut verstanden, bedürfen jedoch in ihrer Komplexität und Wechselwirkung unter natürlichen Bedingungen weiterer Forschung. Wie diese Faktoren unter natürlichen Bedingungen zusammenspielen, ist Gegenstand laufender Forschung (Wirz-Justice et al. 2021).

Abbildung 5: Lichteinfluss auf die Rhythmen des Menschen



Quelle: DGUV Information 215-220 (2018)

Die Wirkungen von Licht auf den Menschen lassen sich grob unterteilen in akute und in chronische Wirkungen. Akut ist beispielweise die Unterdrückung von Melatonin (während oder kurz nach einer Lichtexposition) aufgrund einer Lichtexposition; chronisch ist zum Beispiel die Fähigkeit, die circadiane Rhythmik aufgrund von Lichteinwirkungen zu verschieben. Verschiebt sich der Anstieg von Melatonin auf einen späteren Zeitpunkt, wird dies Phasennachverschiebung (engl.: phase delay) genannt. Verschiebt er sich nach vorne, wird von Phasenvorverschiebung (engl.: phase advance) gesprochen. Die Auswirkungen von Licht auf die Phase der circadianen Uhr hängen vom Zeitpunkt der Lichteinwirkung ab. Dies wird mittels der Phase-Response-Kurve (PRC) erklärt (siehe auch Kapitel 3.8).

Bisher gibt es noch keinen Konsens in der Wissenschaft hinsichtlich einer Lichtmessmethode. Die meisten früheren Studien verwenden die Maßeinheit Lux, um Angaben über die Lichtverhältnisse bzw. die Lichtintensität (Kenngröße für biologisch wirksame Beleuchtung) zu machen. Es handelt sich um die Beleuchtungsstärke, die auf eine bestimmte Fläche trifft bzw. an einem bestimmten Punkt ankommt, sei es z. B. auf der Arbeitsfläche oder auf der Hornhaut des Auges. Ist die Stärke der Lichtquelle gleich, nimmt die Lux-Zahl mit Entfernung des Lichts vom Objekt ab. Gemessen am Auge des Betrachtenden ist die Beleuchtungsstärke eines direkt vor mir stehenden Bildschirms also stärker, als wenn derselbe Bildschirm weit von mir entfernt steht.

Die Messung von melanopischen Luxwerten (bezogen auf die Wirkung von Licht auf das Melanopsin in den retinalen Ganglienzellen im Auge) gibt an, wie intensiv die entsprechende Lichtquelle den circadianen Rhythmus des Menschen beeinflussen kann. Diese Kenngröße kombiniert die beiden Kenngrößen Beleuchtungsstärke und Lichtspektrum. Es ist eine Maßeinheit, die die Wirkung von Licht auf die Stimulierung des circadianen Systems im Vergleich zum visuellen System angibt. Eine weitere Maßeinheit ist die melanopisch äquivalente Tageslichtbeleuchtungsstärke (engl.: melanopic equivalent daylight illuminance, kurz: melanopic EDI oder MEDI) genannt, so dass die Relevanz des blauen Lichts (über Melanopsin vermittelt) besonders Rechnung getragen werden kann (Richter et al. 2022; Wiater A 2019)². Erste internationale Empfehlungen zur Lichtexposition bezogen auf MEDI sind erschienen (Brown et al. 2022): am Abend in **Innenräumen wird ab drei Stunden vor dem Schlafengehen nicht mehr als 10 Lux (MEDI) und für die Nacht nicht mehr als 1 Lux (MEDI) empfohlen**. Ist eine Arbeit bei Nacht unausweichlich, wird als Maximalwert 10 Lux (MEDI) angegeben. In zukünftigen Studien sollte daher sowohl die Lichtintensität (gemessen am Auge) und die Farbtemperatur berücksichtigt werden, um melanopische Lux berechnen zu können.

3.5 Wellenlänge von Licht

Studien haben gezeigt, dass das circadiane System des Menschen am empfindlichsten auf monochromatisch blaues Licht (zwischen ca. 460 und 480 nm) reagiert, wenn Dauer und Intensität unterschiedlicher Lichtfarben konstant gehalten ist, (Brainard et al. 2001; Lockley et al. 2003; Thapan et al. 2001). In einer Studie von Mitsui et al. (2022) an 580 Personen konnte gezeigt werden, dass kurzwelliges Licht in der Nacht, gemessen auf der Ebene der Hornhaut, in einer realen Umgebung mit dem Melatoninspiegel und Schlafstörungen verbunden ist. Wright et al. haben den Einfluss von Licht mit Wellenlängen von 660nm (rot), 595nm (gelb), 497nm (blau/grün) und 470nm (blau) in der Nacht auf die Melatonin-Freisetzung (Speichel) von 15 Teilnehmenden getestet (Wright et al. 2001). Kürzere Wellenlängen zeigten größere Melatonin-Unterdrückung (65 % bis 81 %).

Kernspinuntersuchungen zeigten, dass die wachsamkeitsbezogenen subkortikalen Hirnstrukturen, die zur Steuerung der Aufmerksamkeit, der Emotionsverarbeitung und des Gedächtnisses zuständig sind (Hypothalamus, Thalamus, Hirnstamm, Hippocampus, Amygdala), durch blaues Licht aktiviert werden (Vandewalle et al. 2009). Diese Lichtwirkungen sind von den Wirkungen auf die innere Uhr zu unterscheiden, da sie auf anderen neuronalen Wegen erreicht werden. Ein schwach beleuchteter Computerbildschirm, der mehr blaues Licht enthält, hatte in einer Studie von Cajochen et al. (2011) eine stärkere Auswirkung auf die subjektive Wachsamkeit und kognitive Leistungsfähigkeit als ein herkömmlicher Bildschirm. Chellappa et al. (2017) haben untersucht, ob handelsübliche Kompaktleuchtstofflampen mit unterschiedlicher Farbtemperatur die kognitive Leistungsfähigkeit beeinflussen können. Die Teilnehmenden mussten in dieser Studie unter drei verschiedenen Lichtbedingungen Reaktions- und Gedächtnistests absolvieren. Es zeigte sich, dass Personen unter der Blaulichtbedingung (6500 K) eine stärkere Unterdrückung von Melatonin zeigten und zudem eine verbes-

² siehe auch <https://www.umsicht.fraunhofer.de/de/presse-medien/pressemitteilungen/2019/ilight-studie.html>

serte subjektive Wachsamkeit, Wohlbefinden und einen verbesserten Sehkomfort angegeben haben. Die kognitive Leistung führte im Vergleich zu den anderen Lichtverhältnissen zu einer schnelleren Reaktionszeit bei aufmerksamkeitsgebundenen Aufgaben.

In einigen Studien wurde festgestellt, dass **nicht nur blaues, sondern auch grünes Licht zur circadianen Phasenverschiebung und zu einer Veränderung des Melatonins beitragen kann** (Gooley et al. 2011; Schoonderwoerd et al. 2022). In der Studie von Schoonderwoerd et al. (2022) wurde als Untersuchungsmethode erstmals ein 7T-MRT-Scanner verwendet, der eine ausreichend hohe räumliche Auflösung bietet, um einzelne Hirnkerne, wie den SCN, abbilden zu können. Die Untersuchung zeigte, dass der SCN nicht nur auf blaues Licht reagierte, sondern auch auf grünes und orangefarbenes Licht. Violettes Licht hatte keinen messbaren Effekt. Die Autor:innen vermuteten, dass durch die Linse und das Makula-Pigment das kurzwellige Licht im Auge gefiltert wird (Stockman et al. 2000; Schoonderwoerd et al., 2022). Sie fanden heraus, dass blaues Licht den stärksten Effekt im SCN zeigte, jedoch nicht im visuellen Kortex. Sie vermuteten, dass die starke Reaktion auf blaues Licht im SCN auf einen Input durch Melanopsin zurückzuführen ist. Orangefarbenes Licht führte in ihrer Studie im visuellen Kortex und im SCN zu ähnlichen Reaktionen wie grünes Licht.

3.6 Lichtintensität

Die Lichtintensität gibt an, wie viel Licht auf eine Fläche trifft. Sie wird üblicherweise in Lux angegeben. Höhere Beleuchtungsstärken führen zu einer größeren circadianen Wirkung. Dies konnten Zeitzer et al. (2000) in ihrer Studie zeigen. Sie untersuchten die Wirkung unterschiedlicher Lichtstärken (Lux) auf die Unterdrückung von Melatonin und fanden heraus, dass das circadiane System während der ersten 6,5 Stunden der biologischen Nacht bereits empfindlich auf Raumlicht geringer Intensität reagiert. Die Sensitivität des circadianen Systems gegenüber kurzwelligem Licht wurde ebenfalls untersucht von weiteren Arbeitsgruppen (Brainard et al. 2008; Prayag et al. 2019a; Prayag et al. 2019b). Eine Studie von Phillips et al. (2019) zeigte, dass im Durchschnitt eine Melatonin-Unterdrückung von <50 % bei 30 Lux auftreten kann. Dieselbe Studie fand erhebliche interindividuelle Unterschiede. Die lichtempfindlichsten Personen zeigten bereits bei 10 Lux eine Melatonin-Unterdrückung von <50 %.

In einer Studie von Chang et al. (2015) wurde die Beleuchtungsstärke direkt am Auge gemessen. Die Autor:innen verglichen das Lesen eines E-Books und das Lesen eines gedruckten Buches bei gleich schwachem Raumlicht für ca. 4 Stunden vor dem Zubettgehen an fünf aufeinander folgenden Abenden. Das Lesen eines E-Books verringerte die subjektive Schläfrigkeit sowie die EEG-Delta/Theta-Aktivität und unterdrückte die Melatonin-Freisetzung während des Lesens. Die Einschlafzeit verlängerte sich und es kam zu einer Phasenverschiebung des Melatonins. Die Morgenwachheit war geringer, was vermutlich auf die Phasenverschiebung und eine gestörte Schlafarchitektur zurückzuführen war. Es gab keinen Unterschied hinsichtlich der Schlafdauer. Die Lesenden des E-Books hatten weniger REM (rapid eye movement) -Schlafanteile. Als Einschränkung der Studie bleibt festzuhalten, dass zum einen die gemessenen Effekte sehr klein waren und zum anderen unklar bleibt, ob die Unterschiede auf die Beleuchtungsstärke oder die spektrale Zusammensetzung zurückzuführen sind (Chang et al., 2015). In anderen Studien zur Wirkung von Laptops und Fernsehbildschirmen vor dem Schlafengehen auf die Melatonin-Freisetzung zeigte sich, dass niedrige Beleuchtungsstärken (7 bis 17 Lux, gemessen am Auge) nicht zu einer Melatonin-Unterdrückung führten (Figueiro et al. 2013).

Bei der Betrachtung von Beleuchtungsstärken (Lux) muss beachtet werden, dass Messgeräte für Beleuchtungsstärken häufig an die spektrale Hellempfindlichkeitsfunktion des Auges für den photischen Bereich angepasst sind, welche auf die spektrale Empfindlichkeitsverteilung von L(angwellig)- und M(ittelwellig)-Zapfen der Netzhaut beruhen. Die Empfindlichkeitsverteilung ist aber kaum relevant für das circadiane System, so dass die Messung von Beleuchtungsstärken auf das circadiane System zu Fehleinschätzungen führen kann. Zudem muss beachtet werden, dass die Messung der Beleuchtungsstärke vom Ort der Messung abhängt. Das Messgerät, welches auf das lichtemittierende Gerät ausgerichtet ist, wird einen höheren Wert anzeigen als das am Auge angebrachte Messgerät. Die am Auge gemessene Beleuchtungsstärke ist die am sinnvollsten erscheinende Methode (Brown et al. 2022; Spitschan et al. 2019).

3.7 Dauer einer Lichtexposition

Green et al. (2018) untersuchten die Auswirkung von akuter (kurzer) gegenüber chronischer (längerer) nächtlicher, künstlicher Bildschirmbeleuchtung. In der akuten Bedingung wurden die Teilnehmenden Licht in der zweiten Nacht ausgesetzt (die erste Nacht ohne Licht diente als Baseline), in der chronischen Bedingung in der dritten bis sechsten Nacht. Die Exposition dauerte jeweils zwei Stunden. Sowohl die akute als auch die chronische Beleuchtung störten die Schlafkontinuität und die Schlafarchitektur und führten zu einer selbst berichteten Tagesschläfrigkeit, negativen Emotionen und Aufmerksamkeitsschwierigkeiten. Der normale Abfall der Körpertemperatur sowie die nächtliche Melatonin-Freisetzung wurden reduziert (Green et al. 2017; Green et al. 2018).

In einer Studie aus dem Jahr 2012 wurde ermittelt, dass die Dauer der Lichtexposition von 10.000 Lux einen Einfluss auf die circadiane Phase und die Unterdrückung von Melatonin hat (Chang et al. 2012). Um die zeitliche Auflösung des Antwortverhaltens des circadianen Systems zu erforschen, wurden Protokolle mit intermittierenden Lichtpulsen entworfen. Intermittierende Lichtimpulse führten in verschiedenen Studien zu einer Phasenverschiebung sowie einer Unterdrückung von Melatonin, inklusive Wirkungen auf die Wachheit (Alertness) (Najjar et al. 2016; Rahman et al. 2018; Rahman et al. 2021). Insgesamt liefern Studien Hinweise darauf, dass eine Verlängerung der Dauer der Lichtexposition effizienter ist als eine Erhöhung der Lichtintensität (Dewan et al. 2011). In der Untersuchung von Dewan et al. (2011) wurde die Dauer einer Lichtexposition von einer Stunde auf drei Stunden erhöht, was zu einer Erhöhung des Ausmaßes der Phasenverzögerung des Melatonins führte. Eine Erhöhung der Lichtintensität von 2.000 auf 8.000 Lux erhöhte das Ausmaß der Phasenverzögerung hingegen nicht. Zusammenfassend zeigten die Ergebnisse, dass eine kurze Belichtungszeit mit hellem Licht effizienter in Bezug auf die Unterdrückung von Melatonin, die Phasenverschiebung von Melatonin und die Erhöhung von Wachheit ist als eine längere Exposition.

In einer Studie von Stebelova et al. (2020) wurde untersucht, ob schwaches Licht während der gesamten Nacht (bzw. während des Schlafs) die Melatonin-Freisetzung und die Schlafqualität beeinflussen kann. Junge Erwachsene wurden über vier Nächte hinweg einer Beleuchtung mit einem Lux oder zwei Nächten lang mit fünf Lux ausgesetzt. Der Melatonin-Gehalt wurde über den Urin gemessen und die Schlafqualität mittels selbstausgefüllter Schlaftagebücher sowie mittels Aktigraphie (Schlafbeginn und Schlafende) beurteilt. Die Exposition mit einem Lux Beleuchtung während der ganzen Nacht unterdrückte Melatonin nicht, verschlechterte jedoch die Schlafqualität. Licht mit fünf Lux reduzierte die Melatonin-Freisetzung hingegen und beeinträchtigte zusätzlich die Schlafqualität. Diese Studie konnte zeigen, dass Menschen während der gesamten Nacht empfindlich auf geringe Beleuchtungsstärke reagieren (Stebelova et al. 2020). Eine Einschränkung die erwähnt werden muss ist, dass die Beleuchtungsstärke des Leuchtmittels als Maßstab diente. Die Stärke der Beleuchtung am Auge wurde nicht gemessen.

3.8 Zeitpunkt einer Lichtexposition

Lichteinwirkungen während des biologischen Morgens (nach dem Kernkörpertemperaturminimum) führen zu einer Vorverlagerung der circadianen Phase, während Licht am Abend oder in der ersten Nachthälfte (vor dem Kernkörpertemperaturminimum) die circadiane Phase verzögert (Blume et al. 2019). Wahnschaffe et al. (2013) untersuchten den Einfluss von kurzzeitiger Exposition mit konventionellem Licht vor dem Schlafengehen auf die Melatonin-Freisetzung. Die Teilnehmenden wurden an sechs Abenden konstant schwachem Licht ausgesetzt. An den Abenden 2 bis 6 bekamen sie zusätzlich eine Stunde vor der gewöhnlichen Schlafenszeit eine 30-minütige Lichtexposition verschiedener Belichtungsstärken und unterschiedlicher spektraler Zusammensetzungen. Gooley et al. (2011) fanden heraus, dass Raumlicht (von ca. 200 Lux) vor dem Schlafengehen den Beginn der Melatonin-Freisetzung unterdrückt und die Dauer verkürzt. Die Teilnehmenden dieser Studie wurden in den 8 Stunden vor dem Zubettgehen Raumlicht oder schwachem Licht ausgesetzt, wodurch die Übertragbarkeit auf den Einfluss von Licht unter natürlichen Bedingungen nicht gegeben ist.

In einer Studie im Jahr 1997 wurde herausgefunden, dass helles Licht am Mittag die nächtliche Melatonin-Freisetzung erhöhen kann (Hashimoto et al. 1997). Eine Exposition mit 5000 photopischen Lux zur Mittagszeit an drei aufeinanderfolgenden Tagen verschiebt den Beginn der Melatonin-Freisetzung signifikant nach vorne (Hashimoto et al. 1997). Zu einem ergänzenden Ergebnis kamen Mishima et al. (2001), die nächtliche Melatonin-Freisetzung bei älteren Heimbewohner:innen untersuchten. Helles Licht am Abend (bei geringer vorheriger Tageslichtexposition) kann zu einer stärkeren Melatonin-Suppression und einer Verzögerung in der Melatonin-Phase beitragen (Chang et al. 2011; Hébert et al. 2002; Smith et al. 2004).

3.9 Räumliche Verteilung von Licht und Einfallswinkel in das Auge

Glickman et al. (2003) fanden heraus, dass die Wirkung von Licht, welches auf den unteren Bereich der Retina fällt, stärker ist im Vergleich zu Licht, das auf andere Bereiche der Retina fällt. Auch die Wirkung im nasalen Teil der Netzhaut ist nach Rüger et al. (2005) erwiesen. Kubota et al. (2022) überprüften den Einfluss des Einfallswinkels von Lichtgeräten, die am Kopf getragen wurden, auf die Unterdrückung der Melatonin-Freisetzung. Sie setzten 29 Teilnehmende hellem Licht (ca. 10.000 Lux) aus zwei verschiedenen Winkeln aus (55° vs. 28°) und überprüften die Melatonin-Konzentration im Speichel. Zusätzlich wurden die Pupillenverengung beziehungsweise die Pupillengröße vor und nach der Lichtexposition gemessen.

In der Gruppe mit Licht aus einem Winkel von 28° war die Melatonin-Unterdrückung sowie die Pupillenverengung größer als in der Gruppe mit Licht aus einem Winkel von 55° . Eine Studie von Novotny et al. (2013) lieferte Hinweise darauf, dass eine größere Beleuchtungsfläche (ein größerer Raumwinkel der Beleuchtung) Melatonin stärker unterdrückt als eine kleine beleuchtete Raumfläche (kleinerer Raumwinkel). Die Unterschiede waren aufgrund der kleinen Stichprobe jedoch nicht signifikant, so dass in diesem Bereich weitere Studien folgen müssen.

3.10 Lichthistorie

Die Wirkung von Licht auf die innere Uhr kann von der vorausgegangenen Lichtexposition abhängen (Chang et al. 2011). Die Wirkung von künstlichem Licht am Abend fällt bei denjenigen, die viel Tageslicht ausgesetzt waren, weniger intensiv für das circadiane System aus als bei Menschen, die die meiste Zeit des Tages drinnen im Büro bei künstlicher Beleuchtung verbracht haben (Duffy et al. 2009; Kozaki et al. 2015). Kozaki et al. (2015) haben zwölf männliche Probanden im Alter zwischen 19 und 23 Jahren hinsichtlich des Einflusses der Lichthistorie auf nächtliche Beleuchtung untersucht. Zwischen 9 Uhr und 12 Uhr wurden sie verschiedenen Tageslichtbedingungen ausgesetzt (<10, 100, 300, 900 und 2700 Lux). Im Anschluss wurden sie zwischen 1 Uhr und 2.30 Uhr nachts hellem Licht

ausgesetzt (300 Lux). Speichelproben zur Bestimmung der Melatonin-Konzentration wurden sowohl vor der nächtlichen Lichtexposition als auch danach gesammelt. Es zeigte sich, dass eine morgendliche Exposition mit 900 und 2.700 Lux dazu führte, dass die nächtliche Lichtexposition das Melatonin weniger stark unterdrückte. Bei 100 und 300 Lux am Morgen zeigte sich dieser Effekt nicht.

In einer Studie von Smith et al. (2004) wurden acht Teilnehmende circa 3 Tage lang einem Lichtreiz von 200 Lux oder einem Lichtreiz von 50 Lux ausgesetzt. Anschließend verbrachten sie ca. 6,5 Stunden während der subjektiven Nacht unter 200 Lux. Es zeigten sich signifikante Unterschiede in der Melatonin-Unterdrückung während der nächtlichen Lichtexposition je nach vorheriger Lichthistorie. Mit 50 gegenüber 200 Lux in der Licht-Vorgeschichte, wurde eine stärkere Melatonin-Unterdrückung erreicht.

Rångtjell et al. (2016) untersuchten, ob das Lesen eines lichtemittierenden Tablets in den Abendstunden einen Einfluss auf die Schläfrigkeit, Melatonin-Freisetzung und den nächtlichen Schlaf hat. Eine Anzahl von 14 Teilnehmenden lasen nach einer konstant hellen Beleuchtung von über 6,5 Stunden und ca. 569 Lux einen Roman entweder auf einem Tablet oder als physisches Buch über zwei Stunden (21:00-23:00). Die abendliche Melatonin-Konzentration im Speichel wurde gemessen. Der Schlaf (23:15–07:15) wurde mittels Polysomnographie aufgezeichnet. Die subjektive Schläfrigkeit wurde vor und nach dem nächtlichen Schlaf mittels der Karolinska sleepiness scale (KSS) beurteilt. Die Autor:innen stellten fest, dass es keinen Unterschied zwischen den Bedingungen in den Schlafparametern und der Melatonin-Konzentration vor dem Schlafengehen gab. Die Einwirkung von hellem Licht während des Tages könnte also dazu beitragen, die Wirkung von lichtemittierenden Geräten zu vermindern. Der Lichtverlauf während des Tages könnte die potenziellen lichtinduzierten schlafstörenden Auswirkungen der Bildschirmnutzung am Abend reduzieren oder sogar verhindern. Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit anderen Untersuchungen (Te Kulve et al. 2019).

3.11 Interindividuelle Unterschiede der nicht-visuellen Lichtwirkung

Die Melatonin-Freisetzung ist die Hauptfunktion der Zirbeldrüse. Der circadiane Rhythmus des Melatonins unterliegt interindividuellen Schwankungen (Arendt 2005; Arendt 2006). Die Unterdrückung des Melatonins durch Licht kann interindividuell sehr verschieden sein (Phillips et al. 2019). Gooley et al. (2011) fanden unterschiedlich stark ausgeprägte Melatonin-Unterdrückungsreaktionen auf einen gleichen Lichtreiz (<200 Lux), die von 29% bis 93% reichten. Bisher ist unklar, an welcher Stelle (Netzhaut, SCN, Pupillenreaktion, etc.) diese Individualität erzeugt wird. Die Pupillenreaktion wird durch die intrinsisch photosensitiven retinalen Ganglienzellen (ipRGC) vermittelt und ist ein zentrales Element der Regulation der Menge an Lichteinfall ins Auge. Vermutet wird, dass die Pupillengröße hinsichtlich der Melatonin-Unterdrückung eine Rolle spielen könnte (Eto et al. 2021). Unterschiede in der Pupillenreaktion gehen mit Unterschieden in den Schlafzeiten einher und stehen im Zusammenhang mit der saisonal bedingten Depression sowie einer Schlaf-Wach-Störung (Roeklein et al. 2013; van der Meijden et al. 2016).

3.11.1 Geschlechtsunterschiede

Frauen zeigten im Durchschnitt eine kürzere intrinsische circadiane Periode ihrer inneren Uhr, eine höhere Amplitude der Melatonin-Rhythmen und eine niedrigere Amplitude der Rhythmen der Körperkerntemperatur sowie einen früheren Anstieg ihres Melatonins am Abend im Vergleich zu Männern (Cain et al. 2010b; Duffy et al. 2011; Mongrain et al. 2004). Monteleone et al. (1995) fanden in ihrer Studie heraus, dass Frauen sensitiver auf helles Licht (2.000 Lux) reagieren als Männer. Die Unterdrückung des Melatonins war bei Frauen 40 % größer als bei Männern. In einer Studie von Chellappa et al. (2017) konnte hingegen gezeigt werden, dass Männer im Vergleich zu Frauen eine stärkere Reaktion auf blaues Licht am Abend vor dem Schlafengehen auch für geringe Lichtstärken

(40 Lux) zeigten. Frauen haben im Mittel einen früheren Schlafbeginn, eine längere Schlafdauer und mehr Tiefschlaf als Männer (Dijk et al. 1989; Roenneberg et al. 2004). Bezüglich des Schlaf-Wach-Rhythmus von Frauen besteht ein Zusammenhang mit dem Menstruationszyklus (Shechter et al. 2010). Schlafbeschwerden bei Frauen hängen häufig auch mit dem Menstruationszyklus zusammen (Alzueta et al. 2023; Ishikura et al. 2023). In diesem Bereich müssen noch weitere Studien folgen.

3.11.2 Altersunterschiede

Die Melatonin-Freisetzung variiert mit dem Lebensalter. Ein circadianer Melatonin-Rhythmus tritt ab dem 2. bis 3. Lebensmonat auf (Kennaway et al. 1992). Säuglinge besitzen in den ersten Wochen nach der Geburt in der Regel einen ultradianen Rhythmus (Rivkees 2003). Der Schlaf-Wach-Rhythmus verfestigt sich im ersten Lebensjahr, was sich in einer erhöhten Melatonin-Freisetzung bei Sonnenuntergang widerspiegelt (Rivkees, 2003). Die Melatonin-Werte erreichen bei präpubertären Kindern Maximalwerte. Mit zunehmendem Alter erfolgt eine stetige Abnahme (Kennaway et al. 1992). Mit über 90 Jahren zeigt sich eine um 20 % niedrigere Melatonin-Konzentration als bei jungen Erwachsenen (Scholtens et al. 2016). Der Rückgang der Melatonin-Konzentration im Alter wird auf unterschiedliche Gründe zurückgeführt. Zum Beispiel kann dies an einer Verkalkung der Zirbeldrüse liegen (Tan et al. 2018). In einer Studie von Czeisler et al. (1992) wurde berichtet, dass andere circadiane Outputs, wie die Körperkerntemperatur, bei älteren Menschen (65 bis 85 Jahre) im Vergleich zu jüngeren Erwachsenen (18 bis 31 Jahre) eine geringere Amplitude aufweisen. Das Minimum der endogenen Phase trat bei älteren Menschen circa 2 Stunden früher auf als bei jüngeren Teilnehmenden (Czeisler et al. 1992; Logan et al. 2019). Die Ursachen für die Verringerung der Amplitude mit dem Alter ist nicht abschließend geklärt (Logan et al. 2019). In einigen Studien konnte gezeigt werden, dass die Anzahl der Vasopressin-exprimierenden Zellen im SCN mit zunehmendem Alter abnimmt und damit den SCN-Output verändert (Logan et al. 2019).

Eine altersbedingte Veränderung der Augen kann einen (indirekten) Einfluss auf die Abnahme der Melatonin-Konzentration haben. Eine Vergilbung (gelb-bräunliche Verfärbung) der Linse kann nach Kessel et al. (2011) dazu führen, dass die Übertragung von blauem Licht auf die Netzhaut vermindert ist, da diese als Farbfilter für blaues Licht wirken kann. In einer Studie von Herljevic et al. (2005) zeigte sich eine verringerte Melatonin-Suppression nach Exposition gegenüber kurzwelligem Licht bei älteren Probandinnen im Vergleich zu jüngeren. Es wird daher eine verminderte Stimulation von Melanopsin erwartet und somit kann der Alterungsprozess der Augenlinse ein wichtiger Faktor für eine Störung des Entrainments des circadianen Systems darstellen und Schlafstörungen im Alter hervorrufen. Laut einer Studie von Turner et al. (2008) ist im Alter ab 45 Jahren die nicht-visuelle, circadiane Phototransduktion nur halb so hoch, wie bei einem zehnjährigen und im Alter von 95 Jahren zehnmal niedriger. In der Kombination mit der Tatsache, dass ältere Menschen mit einer höheren Wahrscheinlichkeit weniger hellem Licht ausgesetzt sind als jüngere Menschen (Mishima et al. 2001) ergibt sich für diese Altersgruppe ein höheres Risiko für Schlafstörungen (Kessel et al. 2011).

Die Ergebnisse einer im Sommer durchgeführten Studie von Hartstein et al. (2022) weisen darauf hin, dass Kinder im Vorschulalter (Stichprobe: 36 gesunde Kinder im Alter von 3,0-4,9 Jahren) in der Stunde vor dem Schlafengehen sehr empfindlich auf Lichteinwirkung reagieren. Bei <40 Lux gab es eine geringere Unterdrückung als bei den höheren Lichtintensitäten, die bei ca. 70 % lag. Auch 50 Minuten nach Ende der Lichtexposition war der Melatonin-Spiegel noch <50 % unter dem Ausgangsmelatonin. Die Autoren der Studie vermuteten als Grund größere Pupillen und stärkere Lichtdurchlässigkeit bei Kinderaugen (Hartstein et al. 2022).

Auch eine Studie von Eto et al. (2021) lieferte Hinweise darauf, dass die Melatonin-Unterdrückung bei Kindern deutlich höher ist als bei Erwachsenen. Sie untersuchten Kinder im Alter zwischen 7 und 12 Jahren sowie ihre Eltern im Alter zwischen 36 und 45 Jahren. Die Autor:innen fanden heraus, dass

die Pupillengröße bei Kindern im Vergleich zu Erwachsenen sowohl unter dunklen als auch unter hellen Bedingungen größer ist. Die nicht-visuelle Photorezeption war 1,48-mal und die Melatonin-Unterdrückung 1,52-mal höher als bei Erwachsenen. In einer Studie von Higuchi et al. (2014) wurde die Melatonin-Konzentration im Speichel bei gesunden Grundschulkindern und Erwachsenen gemessen. Einmal wurde sie nachts bei schwachem Licht mit einer Stärke (<30 Lux) und bei mäßigem Licht mit (580 Lux) im Labor gemessen sowie bei Raumlicht zu Hause (Mittelwert $140 \text{ Lux} \pm 82,7 \text{ Lux}$). Die Melatonin-Konzentration war sowohl bei den Kindern als auch bei den Erwachsenen (bei <30 Lux und 580 Lux) verringert. Bei Raumlicht zu Hause wurde bei Kindern im Vergleich zu den Erwachsenen die Melatonin-Freisetzung unterdrückt. Die Melatonin-Unterdrückung bei Raumlicht war bei Kindern fast doppelt so hoch wie bei Erwachsenen.

Crowley et al. (2015) untersuchten den Einfluss der Lichtempfindlichkeit während der Pubertät. Hierzu wurden prä- bis mittelpubertäre Jugendliche (9,1 bis 14,7 Jahre) mit spät- bis postpubertären Jugendlichen hinsichtlich der Melatonin-Unterdrückung verglichen. Sie erhielten eine Lichtexposition mit unterschiedlichen Lichtstärken. Eine Gruppe unterzog sich einer Abendlichtintervention, die andere Gruppe einer Morgenlichtintervention. Die prä- bis mittelpubertäre Gruppe zeigte eine höhere Melatonin-Unterdrückung auf die unterschiedlichen Lichtstärken als die andere Gruppe bezüglich des Abendlichts. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass früh- bis mittelpubertäre Kinder empfindlicher auf Abendlicht reagieren, so dass Licht am Abend (oder in der Nacht) für diese Altersgruppe besonders störend sein könnte. Die Ergebnisse werden durch eine Studie von Nagare et al. (2019) unterstützt. In einer Studie von Figueiro et al. (2010) mit Schüler:innen im Alter von 13 bis 14 Jahren führte ein Mangel an kurzweiligem Licht am Morgen (während der Schulzeit) zu einer Verzögerung der circadianen Uhr, was zeigt, wie wichtig die Lichtexposition tagsüber ist.

3.12 Zusammenfassung des Stands der Forschung

Licht ist ein Zeitgeber für das circadiane System. Die nicht-visuelle Wirkung von Licht kann in akute und chronische Wirkungen unterteilt werden. Es konnte festgestellt werden, dass vor allem die spektrale Zusammensetzung, Lichtintensität, Expositionsdauer, der Zeitpunkt der Lichtexposition, die räumliche Verteilung des Lichts und der Lichteinfallswinkel ins Auge sowie die vorherige Lichtgeschichte eine Rolle spielen. Es wurde deutlich, dass diese Einflussfaktoren nie unabhängig voneinander betrachtet werden können. So müssen in Studien, die beispielweise die Lichtintensität untersuchen, auch gleichzeitig alle anderen Einflussfaktoren der Lichteigenschaften mitberücksichtigt werden. Zudem sollten interindividuelle Unterschiede bezüglich der Melatonin-Freisetzung berücksichtigt werden. Eine Unterteilung in Altersklassen könnte zudem hilfreich sein, da zum Beispiel die Melatonin-Synthese mit dem Alter variiert.

Nach neuen Erkenntnissen wird vermutet, dass nicht allein blaues Licht, sondern auch grünes und orangefarbenes Licht einen Einfluss haben könnten. Eine Konzentration der Forschung nur auf blaues Licht ist daher nicht mehr ausreichend. Es lässt sich festhalten, dass eine Lichtwirkung vielfältigen physikalischen Faktoren unterliegt. Hinzukommt, dass sich Menschen biologisch unterscheiden, inwieweit eine nicht-visuelle Lichtwirkung auftritt. Diese Kombination der Umstände erschwert gegenwärtig das Erstellen von einheitlichen Empfehlungen für eine optimale Lichtexposition. Zukünftige Empfehlungen werden detaillierter ausgearbeitet sein müssen, um die folgenden Fragen zu beantworten: (i) für welche Person (Alter, Geschlecht, arbeitet tagsüber oder nachts) soll eine Beleuchtung angepasst werden und (ii) zu welchem Zweck (akut, chronisch)?

4 Rahmenbedingungen und Veränderungen des Alltags

4.1 Alltagspraxis

In diesem Kapitel widmen wir uns dem Alltag der Menschen und der Frage, wie sich die täglichen Strukturen seit Beginn der Pandemie verändert haben. Alltagspraktiken gehören zu den sozialen Praktiken (Reckwitz 2003). Speziell geht es um die Art und Weise, wie Menschen ihren Alltag gestalten und strukturieren. Mit diesen Praktiken beschäftigt sich die Soziologie, aber auch eine spezielle Forschungsrichtung, die "Praxeologie" genannt wird. Zuweilen ist von einem "practice turn" oder "practical turn" die Rede (Bongaerts 2007; Schatzki 2002). Hierbei handelt es sich um eine soziologische und philosophische Sozial- und Kulturtheorie (bzw. eine Gruppe sozialtheoretischer Überlegungen), die das Soziale als vom Körper ausgehende Praktiken Gebildetes versteht (Latour 2006; Schatzki 2002).

Die Praxeologie ist damit eine Mikrosoziologie in dem Sinne, dass sie das Soziale („Gesellschaft“ und Kultur) nicht mit Bezug auf „entkörperlichte“ Strukturen denkt (klassischer Strukturalismus), sondern dessen Gemachtheit in alltäglichen Handlungen betont, als etwas, das „getan“ werden muss („doing culture“ Reckwitz 2004; Schulz-Schaeffer 2010, vgl. auch Handlungstheorie). Sie gehört zu den konstruktivistischen Kulturtheorien, wendet sich aber auch gegen die in den Kultur- und Sozialwissenschaften sonst häufig anzutreffenden Vorstellungen, die das Soziale von – immateriellen – Ideen, Weltbildern, Normensystemen oder sprachlicher Kommunikation her verstehen (Bourdieu 1993; Hörning 2004), und damit auch gegen den "linguistic turn" (Leontjew 1984). Für die Praxeologie ist die Körperlichkeit der Praktiken und die Materialität der Kontexte einschließlich ihrer Artefakte entscheidend – Praktiken sind Aktivitäten des Körpers in einer materiellen Umwelt (vgl. auch "material turn" und neuer Materialismus).

Praktiken müssen vom Handelnden nicht notwendigerweise beabsichtigt werden, sondern erstrecken sich auch auf dasjenige alltägliche Verhalten, das nicht oder nicht mehr bewusst reflektiert wird, weil es mithilfe von implizitem Wissen oder Körperwissen mehr oder weniger automatisch, routiniert abläuft (Hahn 2010), wie beispielsweise die Fingergriffe beim Schreiben auf einer Computertastatur. Damit wendet sich die Praxistheorie von vor allem in den Wirtschaftswissenschaften häufig formulierten rationalistischen und subjektivistischen Modellen³ ab, die von rationalen, bewusst und intentional handelnden Akteuren ausgehen (rational choice). Weil die meisten dieser Praktiken trotzdem erlernt sind, geht die Praxeologie von der historischen und kulturellen Spezifität von Praktiken – und damit des Sozialen – aus. Praktiken wandeln sich beständig.

Die wichtigsten verhaltensbedingten Praktiken, die circadiane Rhythmen bestimmen, sind solche, die mit der Nutzung von Licht, Lichtquellen oder dem Unterschied des Aufenthaltsorts in Räumen oder unter freiem Himmel einhergehen. Diese Faktoren nehmen durch Lichteinwirkung Einfluss auf die innere Uhr, da Licht den bedeutendsten Einflussflussfaktor für das circadiane System darstellt. Von besonderem Interesse sind dabei diejenigen Verhaltensweisen, die regelmäßig Anwendung finden, denn sie können das circadiane System dauerhaft stören. Wird beispielsweise lichtemittierende Technik nur einmal im Monat vor dem Schlafengehen angewendet, so kann dies vernachlässigt werden, da die Auswirkungen nur von kurzer Dauer sind. Kommt dies jedoch häufig vor, können chronische Störungen des circadianen Systems entstehen.

³ wie der zufällig ebenfalls als „Praxeologie“ bezeichneten Konzeption von Ludwig von Mises und auch dem Modell des homo oeconomicus generell

Daher werden an dieser Stelle konstante Rahmenbedingungen oder regelmäßig wiederkehrende Verhaltensweisen analysiert. Betrachtet werden zudem Verhaltensweisen, die den Schlaf beeinflussen oder sich auf das Nutzungsverhalten von lichtemittierender Technik auswirken können. Unterschiedliche Persönlichkeitsfaktoren haben Einfluss auf das (Nutzungs-)Verhalten. Im Projekt CIR-CADIA wird zwischen verschiedenen Techniken unterschieden. Zum einen werden Techniken betrachtet, die einen indirekten Einfluss auf circadiane Abläufe haben, da sie das Nutzungsverhalten und Alltagsroutinen verändern können und zum anderen Techniken, die dazu beitragen können, die Tagesgestaltung besser an chronobiologische Rhythmen anzupassen (wie beispielsweise Selbstvermessungs-Apps).

4.2 Tageslichtexposition im Alltag

Eine Studie von Klimek et al. (2022) aus Deutschland, untersuchte den Zusammenhang zwischen Wetterbedingung und der im Freien verbrachten Zeit von Teilnehmenden aus Ulm (>65 Jahre). Die Studie kam zu dem Ergebnis, dass höhere Temperaturen, Sonneneinstrahlung und eine hohe Anzahl an Sonnenstunden zu einem Anstieg der Gehdauer und der im Freien verbrachten Zeit führte. Niederschläge und Feuchtigkeit sowie eine erhöhte Windgeschwindigkeit führten dagegen zu einem Rückgang der im Freien verbrachten Zeit. Frauen verbrachten insgesamt mehr Zeit im Freien. Bei Erwachsenen im jungen bis mittleren Alter betrug nach Kawinska et al. (2005) die durchschnittliche Tageslichtexposition ca. 90 Minuten. Eine Studie aus der Türkei von Sansal (2021) mit Proband:innen über 65 Jahre während der Corona-Pandemie ergab, dass ein längerer Aufenthalt im Freien (durchschnittlich 49,13 Minuten pro Tag) positiv mit Schlafqualität und psychischem Wohlbefindens korrelierte. Menschen aus modernen Industriegesellschaften verbringen insgesamt bis zu 90 % ihrer Zeit in Innenräumen (Knoop et al. 2020). Dabei können sich die in der Natur verbrachten Zeiten zwischen Wochentag und Wochenende sowie hinsichtlich der Urlaubszeit und Arbeitszeit unterscheiden (Diffey 2011).

In einer Studie von Cleland et al. (2010) wurden individuelle, soziale und physische Umwelteinflüsse im Hinblick auf die im Freien verbrachte Zeit bei Stadtkindern im Alter von 5 bis 6 Jahren und 10 bis 12 Jahren untersucht. Durchgeführt wurden die Studien im Jahre 2001, 2004 und 2006. Die im Freien verbrachte Zeit nahm im Laufe der Jahre ab. Die elterliche Ermutigung zur Aktivität prognostizierte die im Freien verbrachte Zeit bei jüngeren und älteren Mädchen positiv. Eine Reduzierung an elterlicher Aufsicht für aktives Spielen im Freien nach der Schule sagte die Zeit im Freien bei älteren Mädchen und Jungen vorher. Ältere Kinder, die nach der Schule weniger von Erwachsenen beaufsichtigt wurden, verbrachten weniger Zeit im Freien.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass unterschiedliche Bedürfnisse in Hinblick auf die im Freien verbrachte Zeit je nach Alter und Geschlecht zu berücksichtigen sind. Bei Kindern kann der Einfluss der Eltern eine wichtige Rolle spielen, um die Zeit unter freiem Himmel zu verlängern. White et al. versuchte die Beziehung zwischen der pro Woche in der Natur verbrachten Zeit und der selbstberichteten Gesundheit sowie dem Wohlbefinden zu verstehen (White et al. 2019). Teilnehmende der Studie (Stichprobe aus England), die berichteten, dass sie mehr als 120 Minuten der letzten Woche im Freien verbracht haben, hatten ein höheres Maß an Wohlbefinden und fühlten sich gesünder als Personen, die 1 bis 119 Minuten pro Woche in der Natur verbrachten. Die Autor:innen der Studie schlugen daher 120 Minuten als Mindestwert vor, die pro Woche im Freien verbracht werden sollte. Laut dieser Studie spielt es keine Rolle, wie die 120 Minuten pro Woche in der Natur aufgeteilt werden (z. B. durch mehrere kurze oder einen längeren Aufenthalt pro Woche).

Eine Studie von Nioi et al. (2017) an Pflegeheimbewohnenden ergab, dass die Tageslichtexposition von über 1.000 Lux im Sommer im Durchschnitt bei 46 Minuten und im Winter bei durchschnittlich drei Minuten pro Tag lag. Ältere Menschen sind besonders anfällig für Schlafstörungen, so dass Tageslicht wichtig ist, um den circadianen Rhythmus und den Schlaf zu optimieren (Elder et al.

2022). Zudem lieferten einige Studien Hinweise darauf, dass Störungen des circadianen Rhythmus nicht nur ein Symptom von Neurodegeneration sein können, sondern auch ein potenzieller Risikofaktor für die Entwicklung degenerativer Erkrankungen (Anders et al. 2013; Leng et al. 2019).

Burns et al. (2021) untersuchten die Tageslichtexpositionsdauer und den Einfluss auf die Stimmung, den Schlaf und den Chronotyp bei der UK Biobank-Kohorte (502 000 Teilnehmende). Die Teilnehmenden gaben an, sich täglich im Durchschnitt 2,5 Stunden im Tageslicht zu bewegen. Jede zusätzliche Stunde, die tagsüber im Freien verbracht wurde, war mit einer geringeren Wahrscheinlichkeit einer Depression und Antidepressiva-Einnahme, einer verringerten Wahrscheinlichkeit für Anhedonie und für eine schlechte Stimmung, einem größeren Glücksgefühl und geringeren Neurotizismus-Werten (unabhängig von demographischen-, Lebensstil- oder Beschäftigungsvariablen) verbunden. Zudem war jede Stunde Tageslicht mit einem leichteren Aufstehen, weniger Müdigkeit, weniger Schlaflosigkeit und einem früheren Chronotypen assoziiert. Um die Forschung zum Tageslicht voranzutreiben, hat die Velux-Stiftung 2016 die Daylight Academy (DLA)⁴ gegründet. Die DLA bündelt Expertise rund um das Thema Tageslicht.

4.3 Strukturierter Tagesablauf

Nach Monk et al. (1997) können regelmäßige Verhaltensrhythmen zu Gesundheit und Wohlbefinden beitragen. Sie fanden mittels Social Rhythm Metric (SRM) heraus, dass die Regelmäßigkeit des Lebensstils (als Reaktion auf biologische und psychosoziale Veränderungen) mit dem Alter zuzunehmen scheint. Zudem deuten Ergebnisse einer Studie von Monk et al. (2004) darauf hin, dass Frühtypen einen regelmäßigeren Lebensstil haben als Spättypen. 2003 untersuchten Monk et al. den Zusammenhang zwischen einem regelmäßigen Lebensstil und der subjektiven Schlafqualität. Sie konnten einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Regelmäßigkeit des Lebensstils (gemessen mittels SRM) und der Schlafqualität (gemessen mittels PSQI) feststellen. Besonders stabile und regelmäßige Schlafenszeiten scheinen sich positiv auf die Schlafqualität auszuwirken (Soehner et al. 2011).

Eine Studie von Zubek et al. (2021) während der COVID-19-Pandemie zeigte, dass stabile Routinen wie körperliche Betätigung, Hobbys, regelmäßige Schlafenszeiten und wenig Zeit vor Computern mit einer besseren Stimmung einhergingen. Darüber hinaus waren Arbeit und Studium im Zusammenhang mit längeren Computerstunden negativ mit der Stimmung assoziiert. Die Studie schlägt vor, flexible Arbeits- und Zeitpläne einzuführen. Vermehrte Pausen (mit körperlicher Aktivität) könnten sich positiv auswirken. Erklärt wurden diese Ergebnisse mit der Drive-to-Thrive-Theorie von Hou et al. (2018), in der die Mitarbeitenden die menschliche Reaktion auf Stress mit der Elastizität von Stoffen vergleichen (Zubek et al., 2021). Wird der Stoff durch ein straffes Gewebe aus Alltagsroutinen gestrafft, ist die Widerstandsfähigkeit des Materials unter Belastung hoch. Auch wenn einige Fäden im Stoff (also alltägliche Aktivitäten) reißen, kann dies durch andere Fäden gefestigt oder durch neue Fäden (also durch die Einführung neuer Aktivitäten) kompensiert werden. Hou et al. (2018) kategorisieren die Aktivitäten in primäre Routinen (Essen, Schlafen und Körperpflege) und sekundäre Routinen (Arbeit, Hobby, soziales Leben). Bei hoher emotionaler Belastung ist die Regulierung des Tagesablaufs und eine Priorisierung primärer Routinen ein wichtiger Faktor, um eine gesunde Reaktion auf Stress zu gewährleisten.

⁴ <https://daylight.academy> (Zugriff 25.6.2024)

4.3.1 Aufschiebung des Zubettgehzeitpunktes

Es konnte in mehreren Studien gezeigt werden, dass eine Aufschiebung des Zubettgehzeitpunktes besonders bei Studierenden vorkommt (Cheng et al. 2012; Herzog-Krzywoszanska et al. 2019; Kang et al. 2009). Als Grund geben die Autor:innen der Studie an, dass Angstzustände und Depressionen dafür verantwortlich sein könnten, aber auch schlechte Gesundheits- und Essgewohnheiten und ein Konsum von Freizeitdrogen können die Schlafhygiene beeinflussen (Herzog-Krzywoszanska et al. 2019). Wichtig könnte die Fähigkeit der Selbstregulation in diesem Zusammenhang sein. Unregelmäßige Schlaf-Wach-Zeiten erfordern eine höhere Anstrengung zur Regulierung des Schlafverhaltens. Besonders abends scheinen die Ressourcen dafür jedoch erschöpft zu sein (Herzog-Krzywoszanska et al. 2019). Eine Selbstkontrolle ist wichtig, um Bedürfnisse und Freizeitaktivitäten aufschieben zu können.

Exelmans und van den Bulck (2017) fanden positive Korrelationen zwischen abendlichem Fernsehen und Aufschieben der Schlafenszeit sowie zwischen Aufschieben der Schlafenszeit und einer reduzierten Selbstregulation. Der späte Chronotyp vermittelte in der Studie von (Kadzikowska-Wrzosek, 2018) teilweise die Beziehung zwischen Selbstregulierungsfähigkeiten und Aufschieben der Schlafenszeit. Hill et al. (2022) fanden in einer Übersichtsarbeit eine mäßige Korrelation zwischen abendlichem Chronotyp und dem Aufschieben der Schlafenszeit sowie einen mäßig negativen Zusammenhang mit der Selbstbeherrschung. Zudem gab es negative Assoziationen mit der Schlafdauer, der Schlafqualität und der Tagesmüdigkeit. Die Ergebnisse der Studie Shen und Li (2021) deuten ebenfalls darauf hin, dass der Spättyp mit Prokrastination korreliert. Eine Selbstregulierung ist also notwendig, um die Nutzung elektronischer Medien abends beenden zu können.

Die Nutzung des Smartphones scheint mit der Bettzeitprokrastination zusammenzuhängen (Hammoudi et al. 2021). Fernsehen oder die Nutzung elektronischer Medien führen ebenfalls häufig zum Aufschieben des Zubettgehens. Herzog-Krzywoszanska et al. (2019) konnten Zusammenhänge zwischen sozialem Jetlag und Bildschirmzeit sowie dem nächtlichen Schreiben von Textnachrichten bei 13 bis 15-jährigen Jugendlichen gefunden werden (Hena et al. 2020). Ein weiterer wichtiger Faktor, der zu einem Herausögern der Zubettgehzeit führen könnte, kann ein Mangel an Freizeit während des Tages sein, so dass die Freizeitaktivitäten am Abend nachgeholt werden. Roenneberg et al. (2019) schlagen vor, das 2-Prozess-Modell der Schlafregulation, um einen dritten Faktor der **sozialen Komponente** zu erweitern. Dieser sollte Aspekte umfassen, die das Einschlafen beeinflussen und mit gesellschaftlichen und beruflichen Zeitplänen zu tun haben, aber auch menschliches Verhalten, wie späte Fernsehsendungen, Gruppendruck oder soziale Kommunikation.

Viele der oben genannten Studien basieren auf einer subjektiven Schlafmessung. Zhenghao et al. (2022) verwendeten eine objektive Schlafmessung (Aktigraphie) und untersuchten die Schlafqualität in Schulnächten getrennt von Nächten an schulfreien Tagen bei 121 Jugendlichen im Alter von 14 bis 19 Jahren. Höhere Werte bezüglich der Bettzeitprokrastination (gemessen mittels Fragebogen) waren mit einem schlechteren subjektiven Schlaf, einer erhöhten Tagesmüdigkeit und höheren Angst/- sowie Depressionswerten verbunden. Zudem war auch hier die Bettzeitprokrastination mit dem Abendtypen assoziiert. Die objektive Schlafmessung ergab bei denjenigen mit höheren Angaben zur Bettzeitprokrastination eine spätere Schlafenszeit und eine kürzere Schlafdauer in Schulnächten (auch wenn der Chronotyp kontrolliert wurde). An schulfreien Nächten war bei Abendtypen mit späteren Schlafenszeiten zu rechnen, aber nicht mit Bettzeitprokrastination. Es ist also davon auszugehen, dass das Herausögern des Zubettgehzeitpunktes besonders an Schultagen den Schlafmangel von Jugendlichen (neben weiteren Faktoren) erhöhen könnte.

Magalhães et al. (2021) geben die persönliche Bedeutung des Schlafs als einen wichtigen Faktor an, der die Bettzeitprokrastination mitbestimmen kann. Die Mechanismen hinter dem Aufschieben der Zubettgehzeitpunkte sind noch nicht gänzlich verstanden. Es kann zum einen vermutet werden, dass es sich um einen freiwillig gewählten Mechanismus handelt, um sich beispielsweise nach einem stressigen Arbeitstag die notwendige Erholung abends zu holen („Revenge bedtime procrastination“), zum anderen kann eine Bettzeitprokrastination mit einer Abendpräferenz verwechselt werden. Spättypen haben oft Schwierigkeiten, sich an die vorgegebenen Zeiten der Frühtypen anzupassen. Weitere Forschungsarbeiten sind jedoch notwendig, um kausale Zusammenhänge identifizieren zu können.

4.3.2 Mittagsschlaf

Kinder und ältere Menschen machen im Vergleich zu mittleren Altersgruppen häufiger einen Mittagsschlaf (zur Übersicht siehe z. B. Zhang et al. 2021). Studien konnten zeigen, dass dies die kognitive Leistungsfähigkeit verbessern kann (Dutheil et al. 2021). Ein Mittagsschlaf kann das Einschlafen am Abend, durch den Wegfall des Schlafdrucks aufgrund des Schlafs am Tage, beeinflussen, da sich der Schlafdruck danach erst wieder langsam aufbaut und somit die Einschlafzeit am Abend erhöhen könnte. Gerade bei Kindern scheint der Mittagsschlaf einen Einfluss auf den Nachtschlaf zu haben. Akacem et al. (2015) konnten zeigen, dass Kinder, die einen Mittagsschlaf machten, einen signifikant späteren Melatonin-Anstieg aufwiesen als Kinder, die nicht tagsüber schliefen. Je häufiger die Kinder in der Woche Mittagsschlaf machten, desto später erfolgte der Melatonin-Anstieg. Eine spätere Einschlafzeit am Abend durch den Mittagsschlaf kann wiederum zu einer erhöhten Lichtexposition am Abend führen. In diesem Zusammenhang muss der Chronotyp berücksichtigt werden. Laut Doi et al. (2014) sind ca. 11 % im Kleinkindalter Spättypen. In den ersten Lebensjahren (ca. bis 3 Jahre) scheint der Mittagsschlaf eine wichtige Rolle für die kognitive und emotionale Entwicklung zu spielen.

Ein (längerer) Mittagsschlaf im späteren Alter scheint eher negative Konsequenzen zu haben (Kirchhoff 2016). Hier spielt aber auch die Dauer des Mittagsschlafs sowie der Zeitpunkt eine Rolle. Eine Dauer von 45 Minuten wird als ausreichend angesehen (Friedrich et al. 2015). Bei Erwachsenen sollten es laut Brooks et al. (2006) nicht mehr als 10 Minuten sein. In einer Studie von Dautovich et al. (2012) wurde neben der Dauer auch die individuelle Variabilität der Mittagsschlafdauer auf die Anzahl der Gesundheitsprobleme bei älteren Erwachsenen berücksichtigt. Eine Studie von Wiesner et al. (2017) fand heraus, dass ein Mittagsschlaf (30 Minuten) im Dunkeln während des Tages zu einer Freisetzung von Melatonin führen kann. Ähnliche Ergebnisse wurden in anderen Studien zum Tagesschlaf nach Schicht- bzw. Nachtarbeit postuliert. Welchen Einfluss dies auf den regulären Schlaf-Wach-Rhythmus haben könnte, ist noch unbekannt.

4.4 Arbeits- und Schulzeiten

Bei einer Betrachtung von Schlaftagebüchern ist Kühnle (2006) aufgefallen, dass sich der Zeitpunkt des Schlafs an Arbeitstagen von freien Tagen unterschied. Dieses Phänomen haben Wittmann et al. (2006) "Sozialer Jetlag" genannt. Dieses Konzept beschreibt die chronische Diskrepanz von der biologischen Uhr eines Individuums und der sozialen Uhr bzw. gesellschaftlichen Aktivitäten. Besonders problematisch ist dies für späte Chronotypen, wenn sie aufgrund der sozialen Zeitpläne (z. B. früher Arbeitsbeginn), frühmorgens durch einen Wecker geweckt werden müssen. Die innere Uhr regelt natürlicherweise, dass vor dem morgendlichen Erwachen die Körpertemperatur und das Hormon Kortisol steigen, um die körperliche und mentale Leistungsfähigkeit zu steigern und den Körper auf die Wachperiode einzustellen (Archer et al. 2015). Verlassen Menschen vor ihrer natürlichen Aufwachzeit das Bett, so ist die Schlafdauer verkürzt und ihr Körper bleibt zunächst in

Teilen im Schlafmodus, was sich wiederum durch Unaufmerksamkeit und erhöhte Müdigkeit bemerkbar macht (Goel et al. 2013). An freien Tagen stehen Spättypen (ohne vorgegebene Verpflichtungen/Zeitpläne) in der Regel später auf (auch aufgrund der an Arbeitstagen aufgebauten Schlafschuld). Frühe Chronotypen haben hingegen eher Schwierigkeiten zu einer für sie passenden frühen Uhrzeit ins Bett zu gehen, was in Kombination mit frühem Erwachen ebenfalls zu Schlafschulden führen kann. Deutliche Auswirkungen des sozialen Jetlags erleben Teenager, da der Schulbeginn in der Regel nicht auf den späten Chronotypen abgestimmt ist und die vom Altersverlauf her eher späten Typen im Teenageralter somit häufig an chronischem Schlafmangel leiden.

Åkerstedt et al. (2019) fanden heraus, dass Menschen mit einer kürzeren Schlafdauer an Werktagen und am Wochenende, die den erwirtschafteten Schlafverlust nicht nachholen, eine höhere Sterblichkeitsrate aufwiesen, als wenn sie eine Möglichkeit hatten, diesen nachzuholen (siehe auch Roenneberg et al. 2019). Vermutlich reicht aber auch der nachgeholt Schlaf an freien Tagen nicht aus, um Folgen von unzureichendem Schlaf zu verhindern (Depner et al. 2019; Roenneberg et al. 2019). Es gibt Hinweise darauf, dass der verlängerte Schlaf an freien Tagen zu einer Phasenverzögerung führen kann (Burgess et al. 2006; Crowley et al. 2010; Ghotbi et al. 2020; Stothard et al. 2017). Einen abschließenden Konsens über Assoziationen von sozialem Jetlag und den daraus resultierenden Gesundheitsproblemen gibt es noch nicht, da zum Teil heterogene Methoden in den Studien verwendet wurden. Zudem sollten Längsschnittstudien folgen (Roenneberg et al. 2019).

4.5 Lichtexposition während der Arbeitszeit

Die Lichtexposition während der Arbeitszeit kann ebenfalls eine Rolle in Bezug auf circadiane Rhythmen spielen (siehe dazu Kapitel 4.1 „Tageslichtexposition“ und Kapitel 3) und ist Gegenstand laufender Forschung (Lowden et al. 2019; Rabstein et al. 2019). Dass sich der Einsatz von künstlichem Licht auf die innere Uhr des Menschen auswirkt, zeigte beispielsweise eine Studie mit Arbeitskräften aus dem Amazonas von Moreno et al. (2015), bei der eine Gruppe ohne und die andere Gruppe mit elektrischem Licht lebte. Die Studie konnte zeigen, dass Personen mit elektrischem Licht kürzer schliefen (30 Min./Tag weniger) als solche ohne elektrisches Licht. Ein späteres Einsetzen von Melatonin bei Arbeitskräften mit elektrischem Licht im Vergleich zu denen ohne elektrisches Licht konnte ebenfalls gezeigt werden (Moreno et al. (2015). Vorteilhaft dem entgegen zu wirken ist eine hohe Exposition gegenüber Tageslicht (Blume et al. 2019; Burns et al. 2021; Burns et al. 2023; Hébert et al. 2002). Roenneberg et al. (2003) fanden in ihrer Fragebogenstudie heraus, dass jede zusätzliche im Freien verbrachte Stunde den Schlaf um ca. 30 Minuten vorverlegt (Blume et al. 2019).

Viola et al. (2008) untersuchten die Auswirkungen einer Exposition mit blau angereichertem weißem Licht während der Tagesarbeitszeit in einer Büroumgebung. Bei 104 Büroangestellten wurden nach einer, unter bestehenden Lichtbedingungen (als Baseline), durchgeführten Lichtexposition, in zwei neue Lichtbedingungen getestet, die jeweils 4 Wochen andauerten. Die erste Lichtbedingung bestand aus blau angereichertem weißem Licht (17.000 K) und die zweite Lichtbedingung aus weißem Licht (4.000 K). Es wurden Aufmerksamkeit, Stimmung, Schlafqualität, Leistung, kognitive Leistungsfähigkeit, Kopfschmerzen und Augenbelastung während einer achtwöchigen Intervention bewertet. Verglichen mit weißem Licht (4.000 K) verbesserte blau angereichertes weißes Licht (17.000 K) die Aufmerksamkeit, Stimmung, Leistungsfähigkeit und die Konzentration, linderte die Abendmüdigkeit sowie Reizbarkeit und reduzierte Augenbeschwerden. Zudem wurde die Tagesschläfrigkeit reduziert und die Qualität des subjektiven nächtlichen Schlafs verbessert. Das Thema der angewandten Chronobiologie im Kontext der Arbeitsplatzbeleuchtung (inkl. Nachtarbeit) ist Gegenstand weltweit laufender Forschungen.

Eine dynamische Arbeitsplatzbeleuchtung kann die Melatonin-Freisetzung nach vorne zu verschieben (Benedetti et al. 2022). Zudem zeigte sich in einer anderen Studie (Boubekri et al. 2020), dass ein optimiertes Licht am Arbeitsplatz zu verlängerten Schlafzeiten und zu einer besseren kognitiven

Leistungsfähigkeit bei Büroangestellten führen kann. Eine dynamische Beleuchtung hat vermutlich gegenüber statischem Licht einen enormen Vorteil, so dass die Wachsamkeit reduziert und die Schlaflatenz verkürzt werden kann (Stefani et al. 2021). In einer Studie aus Dänemark (Daugaard et al. 2019) wurde die Lichtexposition an Tagen mit Innen-, Außen- und Nachtarbeit sowie arbeitsfreien Tagen beurteilt. Bei Arbeitenden in Innenräumen während der Tagesarbeitszeit überstieg die durchschnittliche Lichtexposition im Sommer nur zeitweise 1.000 Lux, im Winter erreichten sie diesen Wert nie. Während der Tagesarbeitszeit waren jedoch die meisten Außendienstmitarbeitenden >2.500 Lux im Sommer und >1.000 Lux im Winter ausgesetzt. Nacharbeitende in Nachtschichten verbrachten im Durchschnitt 10-50 min bei >80 Lux. An arbeitsfreien Tagen waren Innen- und Nacharbeitende höheren Lichtintensitäten ausgesetzt als an Arbeitstagen. Zudem wurden nur geringe Unterschiede zwischen Innen-, Außen- und Nacharbeitenden festgestellt.

Die spektrale Zusammensetzung des Lichts war für diese Personengruppen während des Tagesdienstes und außerhalb der Arbeit ähnlich. Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass eine optimale Arbeitsplatzbeleuchtung besonders bei Arbeitenden in Innenräumen eine hohe Bedeutung zugeschrieben werden kann. Es konnte darüber hinaus gezeigt werden, dass Menschen Tageslicht dem elektrischen Licht (auch bei der Arbeit) vorziehen. Boyce et al. geben einen Überblick der Vorteile von Tageslicht in Innenräumen (Boyce et al. 2003). Fenster und Tageslicht werden von den meisten Arbeitenden gewünscht und tragen zur Gesundheit und zum Wohlbefinden bei (Veitch et al. 2012).

Eine Übersicht zum Einfluss der Beleuchtung am Arbeitsplatz ist bei Fostervold et al. (2022) zu finden. Interessant dabei könnte auch die Gestaltung von Pausen sein. Eine Studie von Radwan et al. (2022) ergab, dass 2-3 Minuten Pause mit integrierten körperlichen Übungen (alle 30 Minuten) förderlich für das körperliche und geistige Wohlbefinden sein kann. Welche Auswirkungen eine Lichtexposition in den Pausen (z. B. durch einen Aufenthalt im Freien) sein kann, wurde bisher noch nicht erforscht. Einige Studien deuten zumindest darauf hin, dass Lichtexpositionen in Pausen während der Nachtschicht eine Schläfrigkeit unterdrücken oder zumindest reduzieren kann (z. B. Karchani Mohsen et al. 2011; Khammar et al. 2017; Lowden et al. 2004; Lowden et al. 2019). Arbeitgebende sollten aus den oben genannten Gründen vermehrt auf eine angemessene Beleuchtung achten. Lichtverhältnisse bei gestiegenen Home Office-Möglichkeiten sind ebenso wichtig und sollten daher Gegenstand zukünftiger Untersuchungen sein (McKee et al. 2022).

4.6 Schichtarbeit

Schichtarbeit wird unterschiedlich definiert. Mit Schichtarbeit können wechselnde Tages- und Nachtzeiten oder konstante Zeiten aber zu ungewöhnlichen Arbeitszeiten gemeint sein (DGAUM 2020). In Deutschland gibt es den Begriff der „Nachtarbeit“. Dieser wird durch §2 des Arbeitsgesetzes definiert als „jede Arbeit, die mehr als zwei Stunden der Nachtzeit umfasst“. Die Nachtzeit beschreibt den Zeitraum zwischen 23.00 und 06.00 Uhr. Neben permanenten Schichtsystemen (z. B. Dauerfrühschicht, Dauerspätschicht, Dauernachtschicht) gibt es in Deutschland Wechselschichtsysteme, d. h. Systeme ohne Nachtarbeit und ohne Wochenendarbeit, mit Nachtarbeit und ohne Wochenendarbeit und ohne Nachtarbeit mit Wochenendarbeit. Dabei kann sich die Rotationsrichtung und die Rotationsgeschwindigkeit ändern. Die Arbeitsabläufe können diskontinuierlich (impliziert arbeitsfreie Tage) und kontinuierlich („Arbeit rund um die Uhr“) organisiert sein. In Deutschland arbeitet die Mehrheit (80 %) im Zeitrahmen zwischen 07.00 und 19.00 Uhr, 8 % arbeiten in versetzten Arbeitszeiten und 5 % in Wechselschichten ohne Nachtanteil, 7 % in Wechselschichten mit Nachtanteil oder in Dauernachtschichten (DGAUM 2020).

Studien in realen Arbeitsbedingungen bei Schichtarbeit, die die Wirkung von Licht am Arbeitsplatz untersuchten, sind noch sehr selten. Die meisten Studien finden oder fanden unter Laborbedingungen statt. Schichtarbeit birgt Krankheitsrisiken, was mit hoher Wahrscheinlichkeit mit Veränderungen im circadianen Rhythmus zusammenhängen kann. Schlafstörung und/oder eine ausgeprägte

Tagesmüdigkeit/Fatigue oder Tagesschläfrigkeit, die in Zusammenhang mit Schichtarbeit stehen, werden als „Schichtarbeit-Störung“ oder „Schichtarbeitersyndrom“ bezeichnet und stellen in schlaf- und psychiatriespezifischen Klassifikationssystemen eine eigenständige Diagnose dar. International laufen Forschungsprojekte zu den Ursachen und Folgen von Schichtarbeit sowie Möglichkeiten einer Folgenreduktion (Lowden et al. 2019; Moreno et al. 2019; Ritonja et al. 2019; Roach et al. 2018).

Bei kontinuierlichen Spät- bzw. Nachtschichten scheint die Schlafdauer weniger unterschiedlich zu sein (Sallinen et al. 2010). Bezüglich der Schlafqualität lieferten einige Untersuchungen Hinweise darauf, dass bei kontinuierlichen Nachtschichten weniger Schlafstörungen berichtet wurden als bei einem 3-Schichtsystem (Sallinen et al. 2010). Schichtarbeit scheint besonders im höheren Alter negative Auswirkungen zu haben (Ritonja et al. 2019; Sack et al. 2007). Zudem wird vermutet, dass Männer hinsichtlich Schlafproblemen, Tagesschläfrigkeit oder Fatigue durch Schichtarbeit toleranter sind als Frauen (Saksvik et al. 2011). Insgesamt ist die Datenlage aber noch inkonsistent, so dass davon auszugehen ist, dass in diesem Zusammenhang mehrere Parameter eine Rolle spielen und weitere Forschung notwendig ist. Zumindest scheint das Merkmal Chronotyp interindividuelle Unterschiede besser zu erklären als beispielsweise das Alter (van de Ven et al. 2016). Einige Studien deuten darauf hin, dass ein späterer Chronotyp vor allem bei jüngeren Personen mit einer erhöhten Schichttoleranz verbunden ist (Saksvik et al. 2011). Aber auch hier existieren teilweise gegenteilige Ergebnisse, so dass keine abschließende Aussage getroffen werden kann. Eine Studie von (Härmä et al. 2019) deutet darauf hin, dass unregelmäßige Schichtarbeit ein Risikofaktor für langen Schlaf und erhöhte Müdigkeit ist, was wahrscheinlich einen höheren Erholungsbedarf widerspiegelt. Für eine genauere Übersicht bezüglich Schichtarbeit wird auf DGAUM 2020 verwiesen.

Einige Studienergebnisse deuten darauf hin, dass sich die Melatonin-Freisetzung durch Schichtarbeit bzw. Nachtarbeit ändern kann. Schlafen in einem dunklen Raum tagsüber (z. B. nach einer Nachtschicht) kann den Melatonin-Spiegel erhöhen (van Cauter et al. 1998) und zu einem Tagesanstieg von Melatonin führen. Auch eine aktuelle Studie von Qian et al. (2022) konnte einen Melatonin-Anstieg während des Tagesschlafs nachweisen. Dieser Anstieg korrelierte signifikant positiv mit der zeitlichen Änderung des nächtlichen Melatonin-Peaks aber nicht mit dem Grad der lichtinduzierten Änderung des Peaks während des Wachzustandes in der Nacht. Die Effekte waren nach wiederholten Expositionen gegenüber einer simulierten Nachtarbeit größer. Es ist davon auszugehen, dass sowohl Schlaf als auch Schlafentzug zum Anstieg des Melatonins (auch am Tag) führen können. Schichtarbeit könnte daher die gravierendsten Folgen auf das circadiane System darstellen.

4.7 Schulanfangszeiten

Mehrere Studien seit den 1990er Jahren zeigen, dass **Schulkinder aufgrund ihres späten Chronotyps, der mit frühen Schulbeginnzeiten kollidiert, ständig unter Schlafmangel leiden**. Dies wirkt sich negativ auf ihre Gesundheit und Leistungsfähigkeit aus (van der Vinne et al. 2015; Zerbini et al. 2017b; Zerbini et al. 2017a; Zerbini et al. 2019; Zerbini et al. 2022). Weitere Studien geben Anlass dazu, Schulzeiten nach hinten zu verschieben (Owens 2014; Wahlstrom et al. 2017; Wheaton et al. 2016). Eine Verzögerung des circadianen Rhythmus beginnt in der Regel zwischen dem 11. und 13. Lebensjahr (Crowley et al. 2014; Meltzer et al. 2021; Russo et al. 2017). Kinder in der Grundschule scheinen biologisch in der Lage zu sein, früher einzuschlafen und damit auch mit einem früheren Schulbeginn zurecht zu kommen. Daher hängt der Schlafmangel in diesem Alter vermutlich eher mit den Routinen innerhalb der Familie und den durch die Eltern vorgegebenen Bettzeiten zusammen (Meltzer et al. 2021). Veränderungen der Schulzeiten sind vermutlich eher für Haupt-, Realschulen und Gymnasien (bzw. Ganztagschulen) relevant. Insgesamt fehlt es hierzu jedoch noch an Längsschnittstudien.

Nicht nur die Schulzeiten sind für das circadiane System von Interesse, sondern auch die Lernumgebung. Es gibt sogenannte Outdoor-Education-Programme. Bildung und Erfahrungen in der Natur

werden dabei miteinander verknüpft. Es zeigen sich in einigen Studien positive Effekte auf die Gesundheit der Kinder, wenn diese vermehrt im Freien unterrichtet wurden. Die wenigen existierenden Studien untersuchten dabei aber hauptsächlich die Effekte in Bezug auf Stress und den Cortisolspiegel. Eine Studie von Dettweiler et al. (2017) beispielsweise konnte zeigen, dass Kinder von Outdoor-Klassen einen verringerten Cortisolspiegel über den Tag verteilt zeigten als Kinder in Indoor-Klassen. Der Effekt war über das Schuljahr konstant. Die Daten stützen die Vermutung, dass der Unterricht draußen einen positiven Effekt auf die Stressreaktionen der Kinder haben kann. Dies ist ein interessanter Ansatz für weitere Forschung. Einige Ergebnisse von Studien weisen darauf hin, dass fehlendes (kurzweiliges) Licht (besonders am Morgen) den DLMO bei älteren Kindern verzögern kann (Figueiro et al. 2010). Licht am Morgen kann also besonders bei älteren Schülern wichtig sein, um die Phase des circadianen Rhythmus nach vorne zu verschieben.

4.8 Hobby und Freizeitgestaltung

Bei der Freizeitgestaltung ist besonders die Nutzung technischer Geräte interessant, die Licht emittieren, Melatonin unterdrücken und somit möglicherweise den Schlaf-Wach-Rhythmus negativ beeinflussen. Aber nicht nur Geräte nehmen Einfluss auf die Melatonin-Freisetzung, sondern besonders auch Freizeitaktivitäten, die bis (spät) in den Abend oder die Nacht zu Zeiten natürlicher Dunkelheit stattfinden oder zu Zeiten, in denen der Körper normalerweise auf Nacht programmiert wäre. Da die nicht-visuelle Lichtwirkung unter anderem von der Tageszeit abhängt, ist es wichtig alle Aktivitäten am Tage, am Abend sowie in der Nacht im Blick zu behalten. Kurze Aktivitäten in der Nacht, bei denen das Licht eingeschaltet wird, kann vermutlich zumindest kurzfristig die Melatonin-Freisetzung unterbrechen. Findet dies regelmäßig statt, können Störungen des Schlaf-Wach-Rhythmus angenommen werden. Genauere Studien dazu sind uns allerdings nicht bekannt. In den folgenden Abschnitten werden einige Freizeitaktivitäten, die Einfluss auf circadiane Rhythmen haben können, genauer erläutert.

4.9 Kaffee und Alkoholkonsum

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass besonders die Nutzung von Technik in der Freizeit einen Einfluss auf den Schlaf und den Schlaf-Wach-Rhythmus haben kann. Aber auch andere regelmäßige Aktivitäten und alltägliche Routinen dürfen nicht vernachlässigt werden. Besonders der Konsum von Koffein (besonders am Nachmittag und in den Abendstunden) kann den Schlaf beeinflussen. Koffein verlängert typischerweise die Schlaflatenz, reduziert die Gesamtschlafdauer und die Schlafeffizienz und verschlechtert die wahrgenommene Schlafqualität (Clark et al. 2017). Insgesamt zeigen eine Vielzahl von Studien, dass Koffein die Schlaflatenz verlängern kann (Drapeau et al. 2006; Robillard et al. 2015; Youngstedt et al. 2000) und sich die Schlafeffizienz reduziert (Bonnet et al. 2003; Drapeau et al. 2006; Landolt et al. 1995b; Landolt et al. 1995a; Reichert et al. 2022). Schlaf älterer Erwachsener kann im Vergleich zu jüngeren Erwachsenen empfindlicher auf Koffein reagieren. Insgesamt existieren aber ausgeprägte individuelle Unterschiede. Koffeinkonsum besonders am Nachmittag und Abend wirkt sich auf mehrere Aspekte der Schlafgesundheit von Jugendlichen aus (Lunsford-Avery et al. 2022). Morgendlicher Konsum von Koffein könnte ebenfalls Auswirkungen auf den Schlaf haben (Landolt et al. 1995b).

Shilo et al. (2002) fanden heraus, dass ein Kaffeekonsum Auswirkungen auf die Melatonin-Freisetzung in der Nacht haben kann, so dass sich diese verringert. Besonders Menschen mit Schlafproblemen sollten daher auf einen Kaffeekonsum ab dem späten Nachmittag verzichten. In einer neuen Studie von Reichert et al. (2022) wurde zwischen akutem Konsum von Kaffee und chronischem Konsum unterschieden. Zudem überprüften sie den Adenosinpiegel (schlafregulierende Substanz) und untersuchten, ob die Schlafhomöostase und die circadiane Uhr möglicherweise durch adenosinerge Signale interagieren. Koffein ist ein potenter Adenosinrezeptorantagonist, steigert die

Wachheit und scheint den zentralen circadianen Schrittmacher zu verlangsamen und die Wirkung von Licht auf die circadiane Uhr zu verstärken.

Meyrel et al. (2020) untersuchten in einer Übersichtsarbeit die Veränderungen des circadianen Rhythmus nach Alkoholkonsum. Sowohl nach einmaligem akuten Alkoholkonsum als auch während einer Alkoholkonsumstörung und dem Alkoholentzug, zeigten sich Veränderungen im circadianen Rhythmus. Nach einem einmaligen akuten Alkoholkonsum (von mehr als 0,5 g/kg) sind Änderungen der biologischen Rhythmen bezüglich der Melatonin- und Cortisol-Freisetzung sowie der Körperkerntemperatur dosisabhängig. Diese Veränderungen normalisieren sich am nächsten Morgen wieder. Die Veränderungen sind während Alkoholkonsumstörung schwerwiegender und bleiben im Laufe der Zeit bestehen. Die Schwere der Alkoholentzugssymptome und Entzugskomplikationen wie Delirium tremens während des Alkoholentzugs korrelierten mit der Desynchronisation des circadianen Rhythmus. Während der Abstinenz trat bei den meisten Untersuchten eine Resynchronisation der circadianen Rhythmen von Cortisol und Körperkerntemperatur nach einem Monat auf. Die Störung des circadianen Rhythmus hinsichtlich des Melatonins kann hingegen sogar nach 3 bis 12 Wochen Abstinenz noch bestehen bleiben.

Aber nicht nur der Koffein- und Alkoholkonsum kann Auswirkungen auf den Schlaf haben, sondern auch alle täglichen Aktivitäten, die bis in die (späten) Abendstunden stattfinden. Neben der Ablenkung vom Schlaf durch technische Geräte, spielt die Angst, außen vor zu bleiben, und die Geselligkeit eine Rolle (Adams et al. 2017). So ist davon auszugehen, dass besonders Jugendliche und junge Erwachsene ihre sozialen Aktivitäten bis in den späten Abend hinein verlegen, was wiederum zu einer Verschiebung des Schlaf-Wach-Rhythmus führen kann. Jugendliche unterliegen normativen Entwicklungsverschiebungen im Schlaf-Wach-Prozessen, so dass die Schläfrigkeit erst am späten Abend beginnt (Hamilton et al. 2021). Schulische Anforderungen spielen neben einer erhöhten Bedeutung, sich mit Gleichaltrigen zu beschäftigen und soziale Kontakte zu knüpfen, ebenfalls eine Rolle bei der Verschiebung der Schlafzeit nach hinten (Hamilton and Lee, 2021).

4.10 Sportliche Aktivitäten

Studien unter kontrollierten Laborbedingungen gaben Hinweise darauf, dass morgendliche Trainingseinheiten oder Einheiten am frühen Nachmittag dazu führen, dass sich die Phase des circadianen Rhythmus nach vorne verschiebt. Abendliches Training führte hingegen dazu, dass sich der circadiane Rhythmus verzögerte (Thomas et al. 2020). In der Studie von Thomas et al. (2020) wurden die Auswirkungen von zeitgesteuertem Training auf den circadianen Rhythmus bei jungen Erwachsenen außerhalb des Labors untersucht. 52 junge Erwachsene bekamen fünf Tage hintereinander ein Laufbandtraining entweder morgens (10 Stunden nach DLMO) oder abends (20 Stunden nach DLMO). Die Phasenverschiebungen wurden als Unterschied im DLMO vor und nach dem Training berechnet. Ein morgendliches Training führte zu einer größeren signifikanten Phasenverschiebung als abendliche Trainingseinheiten. Bei späteren Chronotypen führten sowohl Trainingseinheiten am Morgen als auch am Abend zu einer Phasenverschiebung nach vorne.

Bei frühen Chronotypen führten Übungen am Morgen zu einer Vorverlagerung der Phase, Abendübungen hingegen zu einer Phasenverzögerung. Ein auf den Chronotypen basierender Trainingsplan könnte daher vermutlich bei circadianen Fehlanschiebungen vorteilhaft sein. Der gleichen Meinung sind auch Vitale et al. (2017). Sporttrainer:innen sollten in Zukunft sowohl die Tageszeit als auch den individuellen Chronotypen im Trainingsplan berücksichtigen. Sie untersuchten in ihrem Review die Wirkung des Chronotyps auf die sportliche Leistung. Frühtypen empfanden bei Trainingseinheiten am Morgen weniger Anstrengung und ihre sportlichen Leistungen als besser als Spättypen oder Menschen, die dem intermediären Bereich zugeordnet werden könnten. Der Mechanismus dahinter konnte noch nicht gänzlich geklärt werden.

Da das Licht den größten Einflussfaktor auf das circadiane System darstellt, kann das Licht zum Zeitpunkt des Trainings (oder das Tageslicht auf dem Weg zum Training) auch ein entscheidender Faktor sein. Youngstedt et al. (2016) kombinierten die phasenverschiebenden Effekte von hellem Licht und Bewegung von gleicher Dauer und gleicher Tageszeit miteinander. Die Teilnehmenden erhielten entweder nur helles Licht (5.000 Lux) von 22.10 bis 23.40 Uhr oder nur ein Laufbandtraining zur gleichen Zeit oder aber erst helles Licht von 22.10 bis 23.40 Uhr und anschließend ein Training in der Nacht von 04.10 bis 05.40 Uhr. Die Ergebnisse deuteten darauf hin, dass Bewegung ein ähnlich starker Zeitgeber wie Licht sein kann. Die Phasenverschiebung nach hellem Licht allein ($56,6 \pm 15,2$ min) war zwar größer als bei Bewegung allein ($47,3 \pm 21,6$ min), dieser Unterschied war jedoch nicht signifikant. Helles Licht in der späten Nacht, gefolgt von frühmorgendlichen Trainingseinheiten hatte einen additiven circadianen Phasenverschiebungseffekt ($80,8 \pm 11,6$ min). In einer früheren Studie von Youngstedt et al. (2002) konnten die Mitarbeitenden einen mäßigen, nicht signifikanten phasenverzögernden Effekt von hellem Licht spät in der Nacht/am frühen Morgen in Kombination mit einem gleichzeitig stattfindenden Training (Verschiebung von 68 ± 10 min) im Vergleich zu hellem Licht allein (20 ± 19 min) finden (zitiert nach Youngstedt et al., 2016). Insgesamt müssen jedoch weitere Forschungsarbeiten zu diesem Thema folgen, um genauere Aussagen zum Einfluss von Bewegung auf das circadiane System machen zu können.

Es gibt zumindest Hinweise darauf, dass körperlich aktivere Menschen ein geringeres Risiko haben, eine Einschlafstörung zu entwickeln und sich morgens weniger erschöpft fühlen als Personen, die sich weniger bewegen (Gerber et al. 2017). Dies war unabhängig davon, ob die Teilnehmenden der Studie nächtliche Schichtarbeit leisteten. Eine regelmäßige körperliche Aktivität könnte daher präventiv wirken. Rusch et al. (2021) untersuchten, ob die körperliche Aktivität in der Freizeit die nachteilige Beziehung zwischen hoher Arbeitsanforderung und nicht erholsamem Schlaf abmildern kann. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass körperliche Aktivitäten in der Freizeit den Anteil von nicht erholsamem Schlaf für Arbeitnehmende mit Jobs mit extremen körperlichen Anforderungen reduzieren kann.

4.11 Nutzungsverhalten von Bildschirmmedien

Von besonderem Interesse im Projekt CIRCADIA sind Techniken, die durch eine lichtemittierende Funktion direkt den circadianen Rhythmus beeinflussen können. Zunächst wird ein Überblick über die Nutzung dieser Technologien (lichtemittierender Bildschirme) in den verschiedenen Altersklassen gegeben. Anschließend erfolgt eine Auseinandersetzung mit den verschiedenen Arten von lichtemittierenden Bildschirmen und den dahinterliegenden Gründen für dessen Nutzung.

ARD und ZDF führen in Deutschland seit 25 Jahren Studien zur Internetnutzung durch (ARD ZDF Forschungskommission). Im November 2022 wurde eine Onlinestudie herausgebracht, wobei 70 % der Teilnehmenden per Telefon und 30 % mit einem Online-Access-Panel im Zeitraum von 07.03.22 bis 10.04.22 befragt wurden (was sich von der reinen Telefonbefragung in den Jahren zuvor unterschied). Von den 1500 befragten Personen aus der deutschen Bevölkerung (ab 14 Jahre) nutzten insgesamt 95 % das Internet. In der Altersgruppe 14 bis 49 Jahre nutzte dies 100% und von 50 bis 69 Jahre 95 %. Die Altersgruppe ab 70 nutzte das Internet zu 80 %. Vier von fünf Personen nutzten das Internet täglich. Die Altersgruppe 14-29 Jahre war täglich online. Genutzt wurde das Internet vor allem für Suchmaschinen und das Lesen und Schreiben von E-Mails. Das Internet wurde häufig auch unterwegs genutzt, besonders im Alter von 14-49 Jahren. An einem Durchschnittstag verwendeten 72 % das Internet für Bewegtbilder (51 %), Audio (42 %) und Texte (45 %).

Im Durchschnitt lag die mediale Internetnutzung über alle Altersgruppen hinweg pro Tag bei 2 Stunden und 40 Minuten, wobei die Dauer mit dem Alter abnahm. Teilnehmende im Alter von 14 bis 29 Jahren waren durchschnittlich 4 Stunden und 44 Minuten pro Tag im medialen Internet unterwegs, was sechsmal so lang war wie die Dauer bei älteren Menschen. 51 % sahen täglich Videos

im Internet. Am beliebtesten waren Streaming-Dienste. Im Vergleich zu den letzten Jahren stiegen Streaming-Dienste zusammen mit Videos auf Youtube und Videos in sozialen Medien deutlich an. Auch die Audionutzung konnte einen Zuwachs verzeichnen. Von jeweils 30 % wurden täglich oder wöchentlich Podcasts und Livestreams von Radioprogrammen genutzt. Artikel im Internet wurden von 45% täglich gelesen, wobei diese in Social-Media-Plattformen (25 %) und in Zeitschriften und Zeitungen im Internet (22 %) am häufigsten genutzt wurden⁵. Die Hälfte der Befragten nutzten Social Media regelmäßig. Die regelmäßige Nutzung war besonders im Alter von 14 bis 29 Jahre (88 %) und 30 bis 49 Jahre (69%) hoch. Facebook und Instagram wurden am häufigsten verwendet. Viele Messengerdienste wurden täglich (72 %) verwendet, besonders in der Altersgruppe 14 bis 29 Jahre (90 %). WhatsApp lag mit insgesamt 82 % der täglichen bis wöchentlichen Nutzung vorn. Zusätzlich wurden die Teilnehmenden nach einem Digital Detox befragt. Knapp die Hälfte hat bereits eine digitale Auszeit genommen. Bei der Altersgruppe unter 30 Jahren haben zwei Drittel bisher mindestens einmal ihre Medienzeit bewusst eingeschränkt.

Eine Studie von Schmidt et al. (2020) untersuchte die Bildschirmzeit von Kindern und Jugendlichen vor und während des COVID-19-Lockdowns in Deutschland im Alter von 4 -17 Jahren. Insgesamt sahen die Kinder im Alter von 4-17 Jahren 46.2 Minuten pro Tag fern, spielten 37 Minuten Videospiele und nutzen 51,1 Minuten das Internet für Freizeitaktivitäten. Die gesamte Bildschirmzeit in der Freizeit lag bei 133,3 Minuten durchschnittlich pro Tag. Während des ersten COVID-19-Lockdowns war das Fernsehen um 21,2 Minuten, das Spielen um 21,5 Minuten, die Freizeitnutzung des Internets um 18,5 Minuten und die Gesamtmenge an Bildschirmzeit um 61,2 Minuten pro Tag angestiegen. Eine Studie mit US- Kindern ergab, dass die Hälfte der Kinder unter 8 Jahren Bildschirmmedien nutzen⁶ (Rideout et al. 2020). Kinder unter zwei Jahren nutzen im Durchschnitt 49 Minuten pro Tag Bildschirmmedien, Kinder von zwei bis vier 2.30 Stunden pro Tag und fünf bis acht-Jährige 3.05 Stunden pro Tag. Fernsehen schauen nahm in allen Altersklassen die meiste Zeit in Anspruch. Videospiele waren mit 40 Minuten pro Tag im Durchschnitt in einem Alter von fünf bis acht Jahren beliebt. Dabei spielten einige Kinder auch online mit anderen Kindern zusammen.

4.12 Mediennutzung und Schlaf

Eine Studie mit Säuglingen im Alter von 0 bis 18 Monaten zeigte, dass Säuglinge, die tagsüber einem Touchscreen ausgesetzt waren, weniger Zeit für ein Nickerchen hatten und nachts länger schliefen. Es wird vermutet, dass es aufgrund der Unterdrückung des Tagesschlafs zu einer Akkumulation des homöostatischen Schlafdrucks gekommen sein könnte, was wiederum einen festeren Nachtschlaf ermöglicht hat (Kahn et al. 2021).

Eine Studie von McManus et al. (2021) untersuchte, inwieweit unterschiedliche Bildschirmmedien über einen Zeitraum von drei Monaten einen unterschiedlichen Einfluss auf die Schlafqualität von 16-Jährigen männlichen und weiblichen Jugendlichen hat. Mittels Online-Umfrage wurden Schlafqualität, Mediennutzung und depressive Symptome erfasst. Die Bildschirmmedien wurden unterteilt in Medien mit keiner bis wenig Peer-to-Peer-Interaktion und Medien mit vorherrschenden Komponenten der Peer-to-Peer-Interaktion. Die Schlafqualität nahm während des 3-monatigen Studienzeitraums im Durchschnitt ab. Je nach Geschlecht war die Schlafqualität 3 Monate später unterschiedlich, wobei die interaktive Bildschirmzeit mit einer besseren Schlafqualität bei Männern verbunden war als bei den Frauen. Die Bildschirmzeit steht je nach Medienart unterschiedlich stark in Konkurrenz mit der Schlafzeit. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass sich die Schlafqualität im

⁵ Diese und die folgenden Daten sind vom RKI, allerdings nicht ganz aktuell: https://www.rki.de/DE/Content/Gesundheitsmonitoring/Studien/Adipositas_Monitoring/Verhaeltnisse/HTML_Themenblatt_Familie_Bildschirmmedien.html (Zugriff 28.3.2024)

⁶ https://www.common sense media.org/sites/default/files/research/report/2020_zero_to_eight_census_final_web.pdf (Zugriff 28.3.2024)

Laufe der Zeit in Abhängigkeit von der interaktiven Bildschirmzeit bei Männern und Frauen unterschiedlich verändert: der Effekt bei Männern scheint geringer zu sein. Dies könnte an der Unterscheidung zwischen passiver und aktiver Nutzung liegen.

Eine Studie von Hisler et al. (2020) untersuchte die Art der Bildschirmnutzung im Zusammenhang mit dem Schlaf bei 11.361 Kindern im Alter von 13 bis 15 Jahren. Dabei berücksichtigten sie ebenfalls den Chronotypen. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass sich die stärksten Zusammenhänge bei der Nutzung von Bildschirmmedien und Schlafproblemen (kürzere Schlafdauer, längere Einschlaf latenz, Wachwerden in der Nacht) ergaben, wenn diese für soziale Medien verwendet wurden. Der Zusammenhang war am stärksten bei Kindern mit einem intermediären Chronotyp.

Eine Studie von Sampasa-Kanyinga et al. (2022) untersuchten den bidirektionalen Zusammenhang der Bildschirmzeit (von Fernsehen und Computer in der Freizeit) und dem (selbstberichteten) Schlaf (z. B. Insomnie-Werte, Schnarchen, Tagesmüdigkeit, Schlafdauer) in der erwachsenen Bevölkerung. Eine erhöhte Bildschirmzeit zu Beginn führte zu schlechteren Schlafparametern. Aber schlechte Schlafparameter führten auch zu einer längeren Bildschirmzeit, so dass davon ausgegangen werden kann, dass ein bidirektionaler Zusammenhang besteht. Auch Lakerveld et al. (2016) fanden, basierend auf einer Studie mit mehr als 6.000 Erwachsenen aus fünf städtischen Regionen in Europa, heraus, dass eine kurze Schlafdauer mit einer erhöhten Bildschirmzeit verbunden war.

Bisher gibt es wenig Längsschnittstudien, die die Auswirkungen der Schlafenszeit (besonders bei Kindern) auf die Bildschirmzeit einige Jahre später untersucht haben. Die meisten Studien überprüften lediglich die Bildschirmzeit auf die Schlafgewohnheiten, jedoch nicht umgekehrt. Kato et al. (2018) fanden heraus, dass verspätete Schlafenszeiten (21 bis 22 Uhr, 22 bis 23 Uhr und nach 23 Uhr im Vergleich zu vor 21 Uhr) im Alter von 6 Jahren mit einer übermäßigen Nutzung elektronischer Geräte im Alter von 12 Jahren verbunden war. Auch hier scheint es eine bidirektionale Beziehung zwischen Schlafverhalten und Technologienutzung bei Jugendlichen zu geben. Eine Studie von Richardson et al. (2021) kam zu dem Ergebnis, dass die Nutzungsdauer von Technologien eine kürzere Schlafdauer und eine erhöhte Tagesmüdigkeit im Jugendalter vorhersagte und umgekehrt, dass eine Abendpräferenz und eine kürzere Schlafdauer zu einer erhöhten Technologienutzung im Laufe des Alters führten.

Es gibt auch Hinweise darauf, dass die Nutzung von Technologie den Schlaf nicht beeinflusst (Gumpert et al. 2021). Es wird vermutet, dass dies mit dem Grund der Nutzung zusammenhängt. Einige Techniken werden verwendet, um sich von den alltäglichen Sorgen und Grübeleien, die Einfluss auf das Schlafverhalten haben können, abzulenken (Gumpert et al., 2021). Eine neue Studie berichtete sogar von einem positiven Einfluss von Mediennutzung vor dem Schlafengehen auf die Gesamtschlafdauer und die Einschlafzeit (gemessen mittels EEG-Schlafmessung), wenn diese im Bett stattfindet und keine parallele Verwendung mehrerer Medien vorkommt (Ellithorpe et al. 2022). Ausgeschlossen wurde hier die Nutzung sozialer Medien. Es handelte sich um die Nutzung von Medien um Filme oder Videos zu schauen, im Internet zu surfen oder Musik zu hören. Es ist zusammenfassend zu vermuten, dass in folgenden Studien von besonderem Interesse sein könnte, wie und wofür Medien genutzt werden. Die unterschiedlichen Ergebnisse machen deutlich, dass in diesem Bereich noch viel Forschung notwendig ist. Vermutlich spielen die Art, die Gründe für und der Zeitpunkt der Techniknutzung sowie mit Sicherheit auch Persönlichkeitsmerkmale und der Gesundheitszustand eine Rolle.

Ergebnisse deuten darauf hin, dass Männer durch Bildschirmmedien weniger emotional erregt werden als Frauen. Nach Cain et al. (2010a) erhöht die Bildschirmzeit die emotionale Erregung und verzögert damit den Schlafbeginn. Es gibt zudem Hinweise darauf, dass eine längere Bildschirmzeit mit einem höheren Maß an Angstzuständen und Depressionen verbunden ist (Boers et al. 2020). Diese Studie liefert Längsschnittdaten, die darauf hindeuten, dass Jugendliche, die häufig und lange Bildschirmmedien nutzen, in einem Zeitraum von vier Jahren einen Anstieg ihrer Depressionen oder

Angustzustände aufweisen. Allerdings ist dies kein Beweis dafür, dass eine erhöhte Bildschirmzeit psychische Störungen verursacht. Es ist auch möglich, dass die Medien zunächst genutzt werden, um diese Symptome zu lindern (Bonnette et al. 2019). Eine Übersichtsarbeit von Hale et al. (2015), in der 67 Studien von 1999 bis 2014 zum Thema Bildschirmzeit und Schlaf bei Kindern und Jugendlichen überprüft wurden, zeigte, dass die Bildschirmzeit in 90 % der Studien negativ mit den Schlafergebnissen (hauptsächlich einer verkürzten Dauer und verzögertem Schlafbeginn) verbunden war.

Die Ergebnisse einer Studie von Sanders et al. (2019) zeigt, dass die Nutzung von Bildschirmen im Bereich der Bildung separat zu anderen Zwecken betrachtet werden sollte. An der Studie nahmen Kinder im Alter von 11 bis 12 Jahren teil. Sie unterschieden das Bildschirmzeitverhalten in passive, interaktive, soziale und bildungsbezogene Nutzung und untersuchten es im Zusammenhang mit der schulischen Leistung, der körperlichen Gesundheit und der gesundheitsbezogenen Lebensqualität. Eine passive Bildschirmzeit wie Fernsehen war durchweg mit schlechteren Ergebnissen verbunden. Bildschirmzeit im Bereich der Bildung (z. B. für Hausaufgaben) war hingegen mit positiven Ergebnissen hinsichtlich der Bildung assoziiert und hatte keine negativen Auswirkungen. Eine interaktive Bildschirmzeit (z. B. Videospiele) hatte nur positive Assoziationen mit Bildungsergebnissen. Dieses Beispiel macht deutlich, dass die Art der Nutzung von Bildschirmen von entscheidender Bedeutung sein könnte.

4.13 Fokus Fernsehen

Einen Überblick über die Auswirkungen der Nutzung elektronischer Medien bei Jugendlichen bieten unter anderem Gumpert et al. (2021) und Tsouklidis et al. (2020). Beispielhaft sei hier eine verkürzte Gesamtschlafzeit bei Fernsehkonsum (Bartel et al. 2015; Hysing et al. 2015; Gumpert et al., 2021), eine spätere Schlafenszeit (Gumpert et al., 2021) und eine längeren Einschlafzeit (Gumpert et al., 2021) genannt. Wagnild et al. (2021) konnten zwei Studien an Erwachsenen (> 18 Jahre) identifizieren, die von negativen Auswirkungen des Fernsehens auf den Schlaf berichteten, indem das Licht der Bildschirme Melatonin unterdrückt und die Schlafenszeit verzögert. Die Mehrzahl der Studien in diesem Zusammenhang wird jedoch an Kindern- und Jugendlichen durchgeführt, da diese lichtempfindlicher sind.

Brockmann et al. (2016) berichteten von einem Zusammenhang zwischen dem Vorhandensein eines Fernsehers in den Kinderzimmern bei Vorschulkindern und der Schlafqualität. Auch das abendliche Fernsehen war mit einer schlechteren Schlafqualität verbunden. Louzada et al. (2004) konnten zeigen, dass Kinder/Jugendliche (in ländlichen Regionen Brasiliens), die einen Fernseher zu Hause hatten, im Vergleich zu Kindern ohne Fernseher eine spätere Schlafenszeit während der Schulzeit und am Wochenende aufwiesen. Sie verglichen ebenfalls Kinder ohne und mit Elektrizität zu Hause. Kinder/Jugendliche mit Strom (und damit Zugang zu künstlichem Licht) zu Hause wachten an Schultagen und am Wochenende später auf und hatten spätere Schlafenszeiten.

Die Ergebnisse der Übersichtsarbeit von Hale et al. (2015) deuten darauf hin, dass sich Fernsehen vor dem Schlafengehen negativ auf den Schlaf auswirken könnte. 32 von 42 Studien (76 %) fanden einen Zusammenhang zwischen Fernsehen und negativen Schlafergebnissen bei Kindern und Jugendlichen, während 10 Studien keinen Zusammenhang fanden. Von den 32 Studien ergaben 25 (78 %), dass das Fernsehen mit signifikant verzögerter Schlafenszeit oder verkürzter Schlafdauer verbunden war. Einige Studien ergaben, dass Fernsehen an Wochentagen im Vergleich zu Fernsehen am Wochenende mit kürzerer Schlafdauer verbunden war (Hale et al. 2015; Nuutinen et al. 2013). Dies scheint besonders bei älteren Jugendlichen im Vergleich zu jüngeren Kindern eine Rolle zu spielen (Hale und Guan, 2015). Zwei Studien fanden nur einen Zusammenhang zwischen Fernsehen und Schlafdauer, wenn parallel noch andere Bildschirmmedien verwendet wurden (Calamaro et al. 2009; Calamaro et al. 2012; Hale et al. 2015).

Eine Studie, die sich auf objektiv gemessene Schlafdauer (mittels Aktigraphie) stützte, konnte keinen signifikanten Zusammenhang feststellen (Nixon et al. 2008). Es kann vermutet werden, dass weitere Faktoren im Zusammenhang mit dem Fernsehkonsum eine Rolle spielen. Eine Studie von Seo et al. (2010), dass Jugendliche an Tagen, an denen sie weniger gestresst waren, mehr fernsahen (Hale et al. 2015). Es ist zu vermuten, dass Fernsehen mit der Entspannung zusammenhängt, so dass nicht allein die Melatonin-unterdrückende Wirkung von Licht für eine Störung im Schlafverhalten verantwortlich ist, sondern die kognitive Erregung während des Fernsehens.

Vier von sieben Studien fanden einen signifikanten Zusammenhang zwischen Fernsehnutzung und einem späteren Einschlafzeitpunkt (identifiziert von Hale and Guan 2015), während die anderen drei Studien keine Assoziationen feststellen konnten (identifiziert von Hale and Guan 2015). Auch eine Studie von Baselgia et al. (2023) konnten keinen Zusammenhang zwischen spannenden Fernsehserien und subjektiven und objektiven Schlafparametern finden. Sie untersuchten das Anschauen spannender TV-Serien (3 Stunden lang) auf die Schlafqualität im Schlaflabor. Sie konnten nur geringe Auswirkungen auf Schlafparameter wie Schlaffeffizienz, Anteil an Schlafstadien, Gesamtschlafzeit, Aufwachen nach dem Einschlafen im Vergleich zum Anschauen eines Dokumentarfilms finden. Eine andere Studie zeigte, dass die Einschlafzeit bei spannenden Serien kürzer war als beim Dokumentarfilm, obwohl die Herzfrequenz und der Cortisolspiegel beim Einschlafen erhöht waren (Seo et al. 2010).

4.14 Fokus Internetnutzung

Billari et al. (2018) konnten in ihrer Studie aus Deutschland nicht nur feststellen, dass das Spielen von Videospiele, die Verwendung von Computern oder Smartphones und das Ansehen von Fernsehen oder Filmen mit einer kürzeren Schlafdauer korrelierte, sondern auch, dass die Bereitstellung von Hochgeschwindigkeitsinternet (DSL) die Schlafdauer und die Schlafzufriedenheit reduzierte. Es konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen Videospiele oder abendlichem Fernsehen und Schlafentzug bei Teenagern (13 bis 19 Jahre) und jungen Erwachsenen (bis 30 Jahre) gefunden werden. Bei älteren Erwachsenen (31 bis 59 Jahre) war die Nutzung von PCs und Smartphones am Abend stark mit einer kürzeren Schlafdauer assoziiert. Der Zugang zum schnellen Internet fördert nach Billari et al (2018) die übermäßige Nutzung elektronischer Medien, was wiederum den Schlaf stören kann.

In einigen Studien konnte ein Zusammenhang zwischen Internetsucht und unterschiedlichen Schlafparametern festgestellt werden (z. B. Kang et al. 2015; Yen et al. 2008; Choi et al. 2009; Cheung et al. 2011; Canan et al. 2013; Alimoradi et al. 2019). Chen et al. (2016) untersuchten den bidirektionalen Zusammenhang zwischen Schlafstörungen und Internetsucht bei Kindern und Jugendlichen. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine Internetsucht mit einer verringerten Schlafdauer und einem erhöhten Schlafbedürfnis assoziiert ist. Zudem vermuten sie, dass eine übermäßige Internetnutzung zu einem gestörten circadianen Rhythmus führt. Nichtorganische Schlafstörungen (sog. Dyssomnien) sagten wiederum eine übermäßige Internetnutzung voraus. Es wird vermutet, dass Menschen, die Schwierigkeiten haben abends oder nachts einzuschlafen, das Internet nutzen, und im Verlauf dann eine Schlafstörung entwickeln (Tavernier et al. 2014).

Asarnow et al. (2021) untersuchten in ihrer Studie 172 Jugendliche im Alter von 10 bis 18 Jahren in Bezug auf internalisierende Störungen. Die Teilnehmenden gaben im Durchschnitt an, das Internet 3,81 Stunden an Wochentagen und 5,44 Stunden am Wochenende zu nutzen. Die Mehrheit der Jugendlichen nutzt das Internet von 16 bis 20 Uhr (71 %) und von 21 bis 23 Uhr (62 %), um Musik zu hören (77 %), Videos anzusehen (64 %), mit anderen zu kommunizieren (64 %) und Hausaufgaben zu erledigen (58 %). Eine späte abendliche Internetnutzung (21 bis 23 Uhr) war mit mehr Symptomen einer internalisierenden Störung verbunden. Nutzten die Jugendliche das Internet nachts

(Mitternacht bis 5 Uhr morgens) war dies mit einer späteren Schlafenszeit, einer kürzeren Gesamtschlafzeit und mehr Symptomen einer internalisierenden Störung assoziiert. Gründe für die Nutzung des Internets waren die Erfüllung sozialer Bedürfnisse, die Vermeidung oder Bekämpfung von Langeweile oder andere maladaptive Aktivitäten. Die Nutzung des Internets für soziale Interaktion oder Vermeidung von Langeweile war mit mehr Symptomen der internalisierenden Störung verbunden. Die Nutzung des Internets aus maladaptiven Gründen war mit einer häufigeren späten oder nächtlichen Nutzung verbunden. Eine Verwendung von Computern (zur Internetnutzung) kann physiologische Auswirkungen auf die Nutzenden haben, da sie der Lichtquelle ausgesetzt sind, die Melatonin unterdrückt (Asarnow et al. 2021). Dies kann zu einer Verschiebung der Schlafphase in spätere Stunden führen (Arsarnow et al. 2021).

4.15 Fokus Smartphone-Nutzung

Die Nutzungsdauer von Smartphones am Abend und nachts stieg in den letzten Jahren an (z. B. National Sleep Foundation 2006). Einige Forschende nennen das Smartphone „affektive Technik“ (z. B. Vincent et al. 2009; Silva 2012). Jin et al. (2010) untersuchten die Motive (wie Zuneigung, Zugehörigkeit, Vergnügen) für die Nutzung von Mobiltelefonen an College-Studierende. Sie fanden heraus, dass Zuneigung, Zugehörigkeit und Vergnügen starke Motive im Vergleich zu Flucht, Entspannung und Kontrolle waren. Die Ergebnisse stützen die Annahme, dass zwischenmenschliche Bedürfnisse mit Hilfe des Smartphones befriedigt werden sollen. Die zwischenmenschlichen Motive waren für Textnachrichten insgesamt stärker als für Anrufe.

Die meisten Studien in diesem Zusammenhang beschäftigen sich mit der problematischen Nutzung des Smartphones bzw. mit der Smartphone-Sucht. Hierzu muss angemerkt werden, dass Smartphone-Sucht nicht definiert ist. Wang et al. (2017) konnten zeigen, dass das Bedürfnis nach Zugehörigkeit signifikant positiv mit jugendlicher Smartphone-Sucht assoziiert war. Das Selbstwertgefühl vermittelte teilweise den Zusammenhang zwischen der Beziehung der Kinder und der Smartphone-Sucht, so dass ein hohes Selbstwertgefühl für Jugendliche mit einem hohen Zugehörigkeitsbedürfnis ein Schutzfaktor gegen die Entwicklung einer Smartphone-Sucht sein kann. Eine Abhängigkeit vom Smartphone führte in der Studie von Rathakrishnan et al. (2021) zu einer schlechteren Schlafqualität und zu schlechteren Leistungen im Studium. Sie vermuteten, dass das Zeitmanagement verloren gehen könnte, so dass wichtige Dinge vernachlässigt werden.

Besonders die abendliche bzw. nächtliche Nutzung der Smartphones hat durch die direkte Wirkung auf den Schlaf-Wach-Rhythmus negative Folgen (Exelmans et al. 2016). Teilnehmende der Studie waren 844 flämische Erwachsene. Die Hälfte der Teilnehmenden nahm das Smartphone mit ins Schlafzimmer. Das Senden und Empfangen von Textnachrichten und Telefonanrufen, nachdem das Licht ausgemacht wurde, stand unter anderem in Verbindung mit einer längeren Schlaflatenz, einer schlechteren Schlafeffizienz, mehr Schlafunterbrechungen und Beeinträchtigungen am Tag. Auch andere Studien konnten ähnliche Ergebnisse liefern (Klein Murdock et al. 2017; Rod et al. 2018). Laut Dissing et al. (2021) ist besonders die Nutzung des Smartphones während der Schlafphase ein Faktor, der stark mit Schlafstörungen in Verbindung steht, im Vergleich zur Nutzung des Geräts zu anderen Zeitpunkten. Christensen et al. (2016) stellten fest, dass eine längere durchschnittliche Bildschirmzeit am Smartphone mit einer kürzeren Schlafdauer und einer schlechteren Schlafeffizienz verbunden war.

He et al. (2020) führten eine Interventionsstudie durch, bei der eine Gruppe von Teilnehmenden für 4 Wochen vor dem Schlafengehen das Smartphone nicht benutzen durften. Bei dieser Gruppe reduzierte sich die Einschlafzeit, verlängerte sich die Gesamtschlafdauer, verbesserte sich die Schlafqualität und die Erregung vor dem Schlafengehen nahm ab. Ähnliche Ergebnisse lieferte eine Studie mit 14 bis 18-Jährigen (Bartel et al. 2019). Die Einschränkung der Nutzung von Mobiltelefonen eine Stunde vor dem Schlafengehen für eine Schulwoche, verlängerte die Gesamtschlafzeit um

21 Minuten. Allerdings war hier die Stichprobe sehr klein. Eine Verlängerung des Schlafs von Jugendlichen mit chronischer Schlafreduktion um 13 Minuten kann nach Dewald-Kaufmann et al. (2013) zu einer Verbesserung von kognitiven Aufgaben führen. Die Teilnehmenden wurden angewiesen schrittweise ihre Zubettgehzeitpunkte um 5 Minuten vorzuverlegen und Verschiebungen von Zubettgehzeitpunkten am Wochenende zu vermeiden. Die Jugendlichen in der Schlafverlängerungsgruppe hatten im Vergleich zum Zeitpunkt vor der Intervention frühere Schlafenszeiten, früheres Einschlafen, verbrachten mehr Zeit im Bett und schliefen länger als die Jugendlichen in der Kontrollgruppe.

In einer Studie von Höhn et al. (2021) wurden 14 männliche Teilnehmer drei Nächte hintereinander im Schlaflabor untersucht. Sie lasen Texte entweder auf einem Smartphone (mit vs. ohne Blaulichtfilter) oder gedrucktes Material vor dem Schlafengehen. Sie fanden heraus, dass das Cortisol am Morgen nach dem Lesen auf dem Smartphone ohne Filter erhöht war, was zu einer reduzierten Aufwachreaktion führte. Zudem verringerte sich die subjektive Schläfrigkeit beim Lesen auf dem Smartphone. Die Melatonin-Konzentration war beim Lesen auf gedrucktem Material höher als in den beiden anderen Bedingungen. Der Tiefschlaf war nach dem Lesen auf dem Smartphone ohne Filter reduziert. Diese Ergebnisse zeigen, dass kurzweiliges Licht nicht nur den circadianen Rhythmus und die abendliche Schläfrigkeit beeinflussen, sondern auch weitere Auswirkungen auf die Schlafphysiologie und die Wachsamkeit am Morgen haben kann. Die Verwendung eines Blaulichtfilters am Abend könnte diese negativen Auswirkungen vermutlich teilweise reduzieren. Weitere Forschungsarbeiten zu diesem Thema sind jedoch notwendig, da eine Reduzierung auf blaues Licht vermutlich nicht sinnvoll ist und weitere Faktoren eine Rolle spielen.

Bei der Verwendung des Smartphones vor dem Schlafengehen ist vermutlich nicht nur die unterdrückende Wirkung von Licht auf Melatonin ausschlaggebend, sondern der Grund für die Smartphone-Nutzung selbst kann sich auf den Schlaf auswirken. Die Verwendung von mobilen Telefonen kann Druck und Stressempfinden auslösen, da man theoretisch immer und überall erreichbar ist (Hall et al. 2012). Dieser Stress kann wiederum den Schlaf beeinträchtigen. Eine zwanghafte Smartphone-Nutzung und eine Informationsüberflutung standen mit "Technostress" in Verbindung, der sich u.a. negativ auf die Schlafqualität auswirkte (Yao et al. 2023).

Der Art der Nutzung kann von Bedeutung sein. So ist davon auszugehen, dass besonders die Nutzung von sozialen Medien über das Smartphone schlafhinderlich wirken kann. Aber auch die Gesamtbildschirmnutzung von portablen Geräten kann Auswirkungen haben. Besonders bei kleinen Kindern (unter 3 Jahren) könnten tragbare elektronische Geräte einen Einfluss auf die Schlafdauer und Einschlafzeit haben und sich auf das Schlafverhalten im späteren Alter auswirken (Nishioka et al. 2022). Der Zusammenhang mit einer verkürzten Schlafdauer und einer verzögerten Einschlafzeit ist bei portablen Geräten höher als z. B. bei Fernsehern (Zhang et al. 2022; Kahn et al. 2021). Andersherum kann, wie bereits erwähnt, auch eine Schlafstörung zu einer problematischen Smartphone-Nutzung beitragen. Jugendliche mit Schlafproblemen und Stress versuchen Sorgen und Grübeln zu unterdrücken, indem sie ihr Smartphone im Bett verwenden (Kater et al. 2020).

Eine Studie untersuchte den Zusammenhang circadianer Rhythmen mit der Nutzung mobiler Apps (Murnane et al. 2016). Insgesamt war die Nutzung mobiler Apps am Morgen am niedrigsten und stieg über den Tag bis zum Abend an. Am häufigsten wurden Social-Media-Apps mit einem maximalen Nutzungsniveau zwischen 19 Uhr und Mitternacht verwendet. Andere Studien fanden ebenfalls eine stärkere Nutzung sozialer Medien in den späten Abendstunden (Murnane et al., 2016). Die Nutzung von Kommunikations-Apps war zwischen dem späten Vormittag und Mitternacht am höchsten. Apps zum Zweck der Unterhaltung wurden am häufigsten am frühen Morgen, mittags und spät am Abend/in der Nacht sowie am Wochenende und am Mittwoch verwendet. Weniger Schlaf korrelierte mit einer höheren Nutzung von Unterhaltungs-Apps. Frühtypen nutzten Unter-

haltungs-Apps abends weniger als Spättypen. Bemerkenswert ist, dass 50 % der Schlafunterbrechungen auf die Nutzung von sozialen Medien zurückzuführen waren. Eine Studie von Griffioen et al. (2021) macht deutlich, dass die Nutzungsprofile von Jugendlichen sehr unterschiedlich sind, so dass es nicht sinnvoll erscheint, die Bildschirmzeit als homogenes Phänomen anzusehen und die Zusammenhänge mit dem Wohlbefinden und der Gesundheit zu untersuchen. Die Mechanismen dahinter scheinen komplexer zu sein als bisher vermutet.

4.16 Fokus Soziale Medien

In einem Review von Alonzo et al. (2021) wurde der Zusammenhang zwischen der Nutzung sozialer Medien und der Schlafqualität sowie der psychischen Gesundheit untersucht. Es zeigten sich signifikante Zusammenhänge zwischen übermäßiger Nutzung sozialer Medien und schlechter psychischer Gesundheit sowie schlechter Schlafqualität. Eine Studie von Shimoga et al. (2019) untersuchte den Zusammenhang zwischen der Nutzung sozialer Medien und dem Gesundheitsverhalten. Das Gesundheitsverhalten (körperliche Aktivität und mindestens 7 Stunden Schlaf), sowohl am oberen als auch am unteren Ende des Spektrums, wird durch häufigere Nutzung sozialer Medien weiter verstärkt, während moderates Gesundheitsverhalten eine nichtlineare Beziehung zur Häufigkeit der Nutzung sozialer Medien aufwies.

Hamilton und Lee (2021) fanden einen Zusammenhang zwischen Mediennutzung und Tagesmüdigkeit. Die Ergebnisse ihrer Studie deuten darauf hin, dass die Häufigkeit der Nutzung sozialer Medien und die wahrgenommene Wichtigkeit sozialer Interaktionen mit Tagesmüdigkeit bei Jugendlichen assoziiert war. Zudem nutzen Jugendliche, die keine elterlichen Regeln für die Nutzung von Technologie zur Schlafenszeit erhielten, eher sozialer Medien und die Bedeutung dafür war höher.

Bisher konnte nicht eindeutig festgestellt werden, ob die Nutzung sozialer Medien zu Schlafproblemen führt oder ob die Schlafprobleme zu einer erhöhten Nutzung von sozialen Medien beitragen. Bei einer Studie mit Jugendlichen zwischen 12 und 18 Jahren war die abendliche Nutzung sozialer Medien mit späteren Schlafenszeiten, erhöhter kognitiver Erregung vor dem Schlafengehen, längeren Einschlafzeiten und kürzere Schlafdauer assoziiert. Dabei sagte die Angst, etwas zu verpassen (engl.: fear of missing out, kurz FOMO) eine kürzere Schlafdauer voraus. Dafür werden zwei Mechanismen verantwortlich gemacht. Zum einen treibt FOMO die abendliche Nutzung auf der Verhaltensebene voran und zum anderen wird die kognitive Erregung vor dem Schlafen erhöht, was das Einschlafen verzögert (Scott et al. 2018).

Eine Studie von Blachnio et al. (2015) untersuchte den Zusammenhang zwischen der Facebook-Nutzung und dem Chronotypen. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass Spättypen Facebook intensiver nutzten. Der Spättyp und ein junges Alter, sagten die Intensität der Facebook-Nutzung voraus. Es gibt Hinweise, dass die sozialen Netzwerke von Spättypen größer sind als von Morgentypen und diese eine zentrale Rolle im Netzwerk einnehmen (Aledavood et al. 2018). Dies liegt vermutlich darin begründet, dass die meisten sozialen Aktivitäten in den (späten) Abendstunden stattfinden. Diesen Zeiten können sich Spättypen einfacher anpassen als Morgentypen, die vermutlich weniger Zeit für soziale Interaktionen haben.

4.17 Fokus Video- und Computerspiele

Videospiele gehören zu den populärsten Freizeitaktivitäten und sowohl die Anzahl der aktiven Spieler:innen als auch Zuschauer:innen (z. B. über Streams) steigt jährlich an (Tholl et al. 2022). In einem Review von Hale et al. (2015) wurde berichtet, dass Videospiele meist nach der Arbeit oder der Schule am Abend oder sogar in der Nacht gespielt werden. In 90 % der Studien korrelierte die

Bildschirmzeit negativ mit Schlafparametern (hauptsächlich mit einem verzögerten Einschlafzeitpunkt und einer verkürzten Dauer). Dworak et al. (2007) fanden heraus, dass Computerspiele zu einer signifikanten Verringerung des Tiefschlafs sowie zu einer signifikanten Abnahme der verbalen Gedächtnisleistung führte. Gleichzeitig erhöhte sich die Einschlaflatenz. Eine Studie untersuchte die Auswirkungen von Videospiele vor dem Schlafengehen im Vergleich zum Anschauen von DVDs bei 13 Jungen im Teenageralter. Die Einschlaflatenz war bei den Spielern größer und die selbstberichtete Schläfrigkeit nach dem Spielen eines Videospieles geringer als nach dem Ansehen eines Films (Weaver et al. 2010).

Eine Übersichtsarbeit von Peracchia et al. (2018) untersuchte die Auswirkungen von Videospiele auf den Schlaf und die kognitiven Fähigkeiten nach dem Schlaf. Es zeigten sich eine Verkürzung der Gesamtschlafzeit, eine Zunahme der Einschlaflatenz, eine Modifikation des REM-Schlafs und des Tiefschlafs sowie eine erhöhte Schläfrigkeit und selbstberichtete Müdigkeit. Nach dem Schlafen scheinen zudem das verbale Gedächtnis und die Daueraufmerksamkeit beeinträchtigt zu sein. Das Spielen von Videospiele kann somit ein Risiko für die Entwicklung von Schlafproblemen darstellen, besonders wenn es sich um problematisches Videospiele handelt (Kristensen et al. 2021).

4.18 Mangel an Tageslicht in Innenräumen

Ein Zugang zum Tageslicht ist aufgrund der Stadtarchitektur in der bebauten Umgebung nicht immer vorhanden. Oft reichen die Eigenschaften der künstlichen Beleuchtung am Arbeitsplatz oder zuhause nicht aus, um ausreichend Tageslicht zu tanken, so dass der Bedarf an circadian wirksamem Licht immer größer wird. Daraus hat sich ein Ansatz der Human-Centric Lighting (HCL) entwickelt (Alkhatatbeh et al. 2021), die sich mit diesem Thema beschäftigen, um geeignete Beleuchtungssysteme angepasst an den circadianen Rhythmus der Nutzenden in Innenräumen zu entwickeln. Die Erkenntnis der Wichtigkeit des richtigen Lichts, geht sogar so weit, dass eine Zimmerei⁷ bereits Häuser entwickelt hat, die dem Sonnenlicht/dem Sonnenstand folgen können (drehbare Häuser). Eine Erweiterung der Städte um mehr Grünflächen könnte ebenfalls zu einer Verbesserung hinsichtlich der Tageslichtexposition ihrer Einwohner führen (Song et al. 2020).

Nicht nur der Innenraumbelichtung kommt eine große Bedeutung zu, sondern auch der Anzahl der Fenster. Boubekri et al. (2014) konnten zeigen, dass Arbeiter mit Fenster am Arbeitsplatz während ihrer Arbeitswoche eine höhere Lichtexposition, mehr körperliche Aktivität und eine längere Schlafdauer aufwiesen als Angestellte ohne Fenster im Büro. Fehlendes Tageslicht in Schulräumen (durch Mangel an Fenster) führte bei Kindern in einer Studie von Küller et al. (1992) ebenfalls zu einem erhöhten Cortisolspiegel, was wiederum Auswirkungen auf die Gesundheit haben kann. Auch die Ergebnisse von Boyce et al. (2003) deuten darauf hin, dass Zugang zu Tageslicht Stress reduzieren und die Produktivität steigern kann.

Die Gestaltung von Räumen mit Tageslicht spielt besonders bei Menschen eine Rolle, die das Haus/das Gebäude nicht mehr selbstständig verlassen können. Das durch das Fenster fallende Tageslicht ist in der Intensität und spektralen Zusammensetzung anders als das natürliche Tageslicht unter freiem Himmel. Zum Beispiel zeigten sich bei Menschen die langfristig in medizinischen Einrichtungen aufhielten, veränderte Melatonin-Freisetzungen, je nachdem wieviel Blaulichtanteile die Fenster in die Innenräume durchließen (Hraška et al. 2014). Der moderne Lebensstil bietet weniger Möglichkeiten für eine angemessene Tageslichtexposition. Wie wichtig die Wahl der richtigen Fenster in Gebäuden ist, konnten Nagare et al. (2021) zeigen. In einer Studie verbrachten 20 Teilnehmende eine Woche in ihren Wohnungen mit elektrochromen Glasfenstern und eine weitere Woche mit

⁷RINN XI GmbH, siehe <https://www.drehhaus.de/de/start.php> (28.3.2024)

funktionsüblichen Fenstern mit Jalousien. Lichtsensoren zeigten in der Bedingung mit den elektrochromen Glasfenstern höhere circadian-effektive Lichtniveaus am Tag. Bei den Teilnehmenden zeigten sich positive Effekte auf das Melatonin und den Schlaf.

4.19 Lichtverschmutzung in der Nacht

Laut Hölker et al. (2010) nimmt die künstliche Beleuchtung im Außenraum weltweit um 6 % pro Jahr zu. Neuere Messungen haben ergeben, dass 99 % der europäischen Bevölkerung in lichtverschmutzten Gebieten (d. h. Gebieten, die nachts durch künstliche Beleuchtung erhellt sind) leben (Falchi et al. 2016). In der Regel wird eine Beleuchtung der Straßen und Städte aus Sicherheitsgründen vorgenommen (helleres Licht wird als sicherer empfunden (Arup 2015), was besonders bei Verkehrsknotenpunkten wichtig ist (Hess 2012), und aus ästhetischen Gründen angebracht oder um bestimmte Emotionen zu erzeugen (eine Übersicht dazu ist bei Cortés et al. 2016 zu finden). Die Zusammenhänge zwischen nächtlicher Beleuchtung und Sicherheitsbedenken ist umstritten (Perkins et al. (2015); Pothukuchi 2021). Zur Bestimmung der Lichtverschmutzung gibt es einen Weltatlas (Cinzano et al. 2001). China hat in den letzten Jahren den größten Anstieg von ALAN erlebt (Hu et al., 2022).

Eine Studie aus Deutschland mit 1.507 Jugendlichen aus dem Jahr 2011 von (Randler et al. 2012) ergab, dass es einen Zusammenhang zwischen dem künstlichen Licht nachts im Freien (Outdoor artificial light at night, kurz ALAN) und dem Chronotypen gibt. Jugendliche aus hell erleuchteten Stadtteilen wiesen eine stärkere abendliche Orientierung auf als Jugendliche aus ländlichen (dunkleren) Gebieten. Dieses Ergebnis blieb bestehen, wenn in der Studie die Zeit der Nutzung elektronischer Bildschirmmedien, die Einnahme von Stimulanzien, die Schulart, das Alter, der Pubertätsstatus, Zeitpunkt des Sonnenaufgangs, Geschlecht und Bevölkerungsdichte kontrolliert wurden.

In einer Studie von Xiao et al. (2020) zur Lichtverschmutzung wurden künstliches Licht nachts im Freien (ALAN) und die selbstberichtete Schlafdauer untersucht. Künstliches Licht in der Nacht wurde mittels Satellitenbilddaten gemessen. Die Daten stammten vom Operational Linescan System des US Defense Meteorological Satellite Programm. Die Studienpopulation umfasste 333.365 Männer und Frauen mittleren bis höheren Alters. Teilnehmende, die mehr Lichtverschmutzung ausgesetzt waren, schliefen kürzer. Auch Koo et al. (2016) stellten fest, dass Lichtverschmutzung, gemessen anhand von Satellitenbildern, mit einer kürzeren Schlafdauer verbunden war. Teilnehmende in der Gruppe mit hoher Lichtverschmutzung schliefen im Durchschnitt 0,5 Stunden weniger und gaben mit 20 % höherer Wahrscheinlichkeit an, weniger als 6 Stunden Schlaf bekommen zu haben (Koo et al., 2016).

Eine kürzlich durchgeführte Studie aus China von Hu et al. (2022) untersuchte den Einfluss von Licht bei Nacht im Freien an einer älteren Bevölkerungsstichprobe. In der Regel wird eine Beleuchtung der Straßen und Städte aus Sicherheitsgründen vorgenommen (helleres Licht wird als sicherer empfunden (Arup 2015), was besonders bei Verkehrsknotenpunkten wichtig ist (Hess 2012), und aus ästhetischen Gründen angebracht oder um bestimmte Emotionen zu erzeugen (eine Übersicht dazu ist bei Cortés et al. 2016 zu finden). Die Ergebnisse der Studie deuten darauf hin, dass höhere ALAN-Werte im Freien bei älteren Menschen mit einer kürzeren Schlafdauer verbunden ist. Auch Ergebnisse aus anderen Studien (z. B. aus Amerika) deuten darauf hin, dass ALAN zu einer Verzögerung der Schlafenszeit, erhöhten Tagesmüdigkeit und kürzeren Schlafdauer führen kann (Ohayon et al. 2016). Die Unzufriedenheit mit der Schlafqualität und Schlafdauer war in Gebieten mit mehr ALAN niedriger als in Gebieten mit weniger ALAN.

Die Zeit, die mit der Nutzung elektronischer Bildschirmmedien verbracht wird, korreliert zusätzlich mit dem Spättypen sowie der Einnahme von Stimulanzien, dem Alter und dem Pubertätsstatus. Eine adäquate städtebauliche Gestaltung und eine abendliche Einschränkung der Nutzung elektronischer Bildschirmmedien durch die Eltern könnten demnach sogar dazu beitragen, den Zeitgeber der Jugendlichen an die fröhschulischen Stundenpläne anzupassen. In dem einem Übersichtsartikel von Cho et al. (2015) wurde ebenfalls berichtet, dass ALAN die Melatonin-Freisetzung unterdrücken kann, sich die Einschlafzeit erhöht und ALAN die Wachsamkeit potentiell steigern kann. Eine chronische ALAN-Exposition verursacht circadiane Fehlausrichtungen, was dann negative Auswirkungen auf die psychologischen, kardiovaskulären und metabolischen Funktionen haben kann.

Eine weitere Studie aus Deutschland (Berlin) untersuchte die Auswirkung des COVID-19-Lockdowns auf das städtische Licht (Jechow et al. 2020). Es wurde die Helligkeit des Nachthimmels von März 2020 mit dem Nachthimmel von März 2017 verglichen. Aufgrund der Zunahme von LED-Beleuchtung erwarteten sie eine Zunahme der Helligkeit. Im Gegensatz dazu fanden sie jedoch während des Lockdowns einen Rückgang des künstlichen Himmelslichts im Zenit um 20 % im Stadtzentrum und um mehr als 50 % in 58 km Entfernung vom Zentrum. Die Autor:innen vermuten, dass die Hauptursache für die Reduzierung des künstlichen Himmelslichts in der verbesserten Luftqualität durch weniger Flug- und Straßenverkehr begründet liegt, was durch statistische Daten und Satellitenbildanalysen gestützt werden konnte. Die Studie gibt Hinweise darauf, dass nicht nur ALAN bei der Desynchronisation des circadianen Rhythmus spielt, sondern auch die Umweltverschmutzung durch Kohlendioxid-Emissionen.

Licht in der Nacht steht mit Erkrankungen des Herz-Kreislaufsystems (Münzel et al. 2021; Xu et al. 2022) einer erhöhten Inzidenz von Krebs- und Stoffwechselerkrankungen und Stimmungsveränderungen in Verbindung (Walker et al. 2020). Daher spielt die Lichtgestaltung besonders abends und nachts eine große Rolle (siehe Kapitel 3). Lichtgestaltung ist darüber hinaus ein Diskussionspunkt hinsichtlich der Energieverschwendung und des Klimawandels (Pothukuchi 2021), so dass dringender Handlungsbedarf gegeben ist. Owens et al. (2020) postulieren, dass die Lichtverschmutzung zudem verantwortlich für das Insektensterben ist.

Es wird häufig argumentiert, dass nächtliches Licht in der Stadt zu mehr Sicherheit im Straßenverkehr und zur Kriminalitätsprävention beitragen würde. Einige Studien haben einen Zusammenhang zwischen der nächtlichen Beleuchtung und der Kriminalität und der Unfallrate untersucht. Eine Studie von Perkins et al. (2015) aus England hatte zum Ziel, die Auswirkung reduzierter Straßenbeleuchtung auf die Kriminalität und die Anzahl an Verletzten/Toten im Straßenverkehr zu überprüfen. Es wurden verschiedene Beleuchtungsszenarien untersucht. Zum einen wurde das Licht ganz abgeschaltet oder es gab eine Nachtbeleuchtung zwischen 0.00 und 6.00 Uhr oder es gab gedämpftes weißes Licht/ Leuchtdioden (LED). Zudem führten Perkins et al. (2015) eine Befragung der Einwohner durch, um das Wohlbefinden einschätzen zu können.

Es gab sehr unterschiedliche Meinungen zur Abschaltung des Lichts oder zur Nachtbeleuchtung. Bedenken betrafen hauptsächlich die Auswirkungen auf die persönliche Sicherheit beim Gehen in der Nacht, die Angst vor Kriminalität und die potenzielle Zunahme von Verletzungen im Straßenverkehr. Dies waren, neben dem Faktor „Orientierung“, auch in anderen Befragungen die wichtigsten Bedenken (Pothukuchi 2021). Positiv wurden hingegen Vorteile beim Schlafen mit weniger Lichtverschmutzung, Auswirkungen auf die Umwelt durch Reduzierung der Kohlenstoffemissionen und verbesserte Fähigkeit, den Nachthimmel zu sehen eingeschätzt. Tatsächliche Änderungen der Straßenbeleuchtung in weißes Licht oder ein Dimmen des Lichts wurde von vielen jedoch gar nicht bemerkt. Die Studie lieferte keine Hinweise darauf, dass eine reduzierte Straßenbeleuchtung mit nächtlichen Unfällen in Verbindung gebracht werden konnte. Die geschätzten Auswirkungen auf die Kriminalität aus polizeilicher Sicht waren sehr unterschiedlich, wobei es insgesamt keine Hinweise darauf gab, dass eine reduzierte Straßenbeleuchtung mit Kriminalität in Verbindung gebracht

werden kann. Es gab schwache Beweise für eine Verringerung der Kriminalität im Zusammenhang mit dem Dimmen des Lichts oder einer Änderung in weißes Licht. Studien kamen zu dem Ergebnis, dass mehr Licht nicht zwangsläufig zu mehr Sicherheit führt (Pothukuchi 2021).

Die Datenlage zu Straßenbeleuchtung und Kriminalität ist nicht einheitlich, so dass weitere Forschung zu diesem Thema wichtig wäre (eine Übersicht ist bei der Deutschen Lichttechnischen Gesellschaft e.V.² zu finden). Eine Vielzahl an unterschiedlichen Faktoren scheint diesbezüglich eine Rolle zu spielen (z. B. gebaute Umgebung, Verhalten und physiologische Voraussetzungen des Opfers, Vorhandensein von Zeugen, Verfassung und Verhalten des Täters), die nur schwer unabhängig voneinander zu untersuchen sind. Der Einfluss von Beleuchtung auf die Kriminalität konnte bislang nicht empirisch ausreichend belegt werden. Besser belegt ist ein Zusammenhang zwischen Beleuchtung und Kriminalitätsangst. Nach Schweitzer et al. (1999) können die Folgen der Angst sogar größer sein als die der Kriminalität an sich, da Angst dazu führen könnte, dass Menschen ihr eigenes Zuhause nicht mehr verlassen (zitiert nach LitG, Deutsche Gesellschaft für LichtTechnik und Licht-Gestaltung e.V.). Fisher et al. (1992) ließen Teilnehmende im Rahmen einer Studie auf einem Universitätscampus im Dunkeln nach einer vorgeschriebenen Route entlanglaufen. Mit einem Diktiergerät sollten sie Ortseindrücke festhalten. Ein Eindruck von Angst entstand besonders an Orten von Dunkelheit und schattigen Plätzen. Beleuchtung hatte einen positiven Einfluss auf das Sicherheitsempfinden (zitiert nach LitG).

Fotios et al. (2015) kamen mit einer anderen Methode zu ähnlichen Ergebnissen (zitiert nach LitG). Genauere Angaben zur Beleuchtungsstärke sind ebenfalls der o. g. Übersicht zu entnehmen und werden aufgrund des hier begrenzten Rahmens nicht weiter ausgeführt. Zusammenfassend deuten erste Ergebnisse darauf hin, dass $E_m = 9,0 \text{ lx}$ Beleuchtungsstärke für ein "gutes" Sicherheitsgefühl ausreichend ist und $E_m = 5,0 \text{ lx}$ für ein "ausreichendes" Sicherheitsempfinden (LitG). Für den Einfluss anderer Variablen, wie z. B. Farbwiedergabe, Größe der Lichtquelle, vertikale oder halbzyklindrische Beleuchtungsstärke (an Treppen und Bergen beispielsweise) bedarf es noch weiterer Forschung. Es gibt erste Ergebnisse zur adaptiven Beleuchtung und dem subjektiven Sicherheitsgefühl. Zusammenfassend scheint eine adaptive Beleuchtung auf Akzeptanz zu stoßen (LitG), auch Interview im Rahmen des Horizon Scanning).

4.20 Familienkonstellationen

Die aktuellen Lebensbedingungen, wie beispielsweise das Zusammenleben mit anderen Personen/Familienmitgliedern, haben ebenfalls einen Einfluss auf den Schlaf-Wach-Rhythmus.

In einer Studie von Walters et al. (2020) über das Teilen des Betts mit einem Partner oder einer Partnerin hat ergeben, dass Paare, die zu ähnlichen Zeitpunkten ins Bett gehen (Unterschied von maximal 30 Minuten) häufiger nachts durch ihre Partner geweckt werden, als wenn Paare zu unterschiedlichen Zeitpunkten ins Bett gehen. Zum einen wurde festgestellt, dass alleine schlafen zu einem selteneren nächtlichen Erwachen führte (Andre et al. 2021) und zum anderen, dass Schlafen alleine zu einer geringeren Schlafdauer und Schlaffeffizienz im Vergleich zum Teilen des Bettes führt (Andre et al., 2021). Spiegelhalder et al. (2017) kamen zu dem Ergebnis, dass Männer länger schliefen, wenn sie sich das Bett mit ihrer Partnerin teilten. Eine ähnliche Wirkung bei Frauen konnte nicht gefunden werden. Dittami et al. (2007) fanden heraus, dass Frauen einen geringeren Anteil an Schlaffragmentierungen aufwiesen, wenn sie alleine schliefen. Subjektive Messungen deuten darauf hin, dass Paare ihren Schlaf besser beurteilen, wenn sie das Bett miteinander teilen (Spiegelhalder et al. 2017; Andre et al. 2021). Insgesamt ist die Studienlage zum Teilen von Betten bei Paaren aber noch wenig ergiebig und wenn, dann gibt es zum Teil sehr widersprüchliche Ergebnisse.

Besonders große kulturelle Unterschiede in der Prävalenz gibt es beim Teilen des Bettes mit Kindern (zur Übersicht siehe Andre et al., 2021). Die bisherige Studienlage deutet darauf hin, dass das Teilen

des Bettes mit den Kindern eher nachteilige Effekte sowohl für das Kind als auch für die Eltern mit sich bringt. Beim Teilen des Bettes mit Säuglingen liegen inzwischen viele Studien vor, wobei es darauf ankommt, ob das Kind im eigenen Bett neben den Eltern oder mit im Bett der Eltern liegt. Dies ist entscheidend bei der Vorsorge vor dem plötzlichen Kindstod, ein eigenes großes Themenfeld, auf das im Folgenden nicht weiter eingegangen wird (einen genaueren Überblick bieten Andre et al. 2021 und Mileva-Seitz et al. 2017).

Kinder können den Schlaf-Wach-Rhythmus der Mutter ebenfalls beeinflussen (Leonhard et al. 2009). Andersherum haben aber auch Eltern einen Einfluss auf den Schlaf-Wach-Rhythmus ihrer Kinder, z. B. indem sie die Schlafenzeiten ihrer Kinder festlegen, was zu einem verzögerten Zubettgehzeitpunkt der Kinder am Wochenende beitragen könnte (Randler et al. 2012). Es ist auch davon auszugehen, dass durch Kinder der Einfluss von Tageslicht auf die Familienmitglieder anders ist. Wir haben keine Studien gefunden, die einen Einfluss von Kindern auf die Tageslichtexposition der Eltern oder Großeltern untersuchten. Bei Haustieren gibt es Hinweise darauf, dass sich Menschen mit Hunden mehr bewegen (Westgarth et al. 2019) und daher vermutlich dem Tageslicht länger ausgesetzt sind, als Menschen ohne Hund als Haustier.

Eine Schwangerschaft kann Auswirkungen auf den Schlaf der Schwangeren haben. In einer Studie von Quin et al. (2022) wurde berichtet, dass 16 % im frühen und 19,8 % der Schwangeren und späten Trimester unter einer Insomnie leiden, auch wenn ausreichend Schlafmöglichkeiten bestehen. Bei 5,3 % - 11,7 % blieb dies auch nach der Geburt noch bestehen. Auch ungünstige Faktoren während der Schwangerschaft (z. B. aufgrund von Schlafmangel) können gesundheitliche Folgen sowohl für die Mutter bedeuten (Matsuo et al. 2022) als auch für den Nachwuchs. Schlafstörungen gehören zu den häufigsten Problemen in der Schwangerschaft (Pien et al. 2004). Eine Studie von Baird et al. (2009) konnte einen Zusammenhang zwischen einer Stressexposition der Mutter und Schlafschwierigkeiten des Neugeborenen feststellen. Mütterliche Schlafprobleme vor und während der Schwangerschaft wurden mit Frühgeburten, Schlafproblemen und dem Temperament des Kindes in Verbindung gebracht. Säuglinge, deren Mütter vor der Schwangerschaft weniger als 6 Stunden geschlafen haben, neigten dazu, intensiv zu weinen (Nakahara et al. 2020). Zudem kann der Cortisolspiegel im Erwachsenenalter bei Kindern von Müttern mit Schichtarbeit, also einem unregelmäßigen Schlaf-Wach-Rhythmus, erhöht sein (Nehme et al. 2019).

Aber nicht nur der Schlaf der Mutter ist ein entscheidender Faktor, sondern auch der Schlaf des Kindes bzw. der Kinder in der Familie. Wenn in der Familie Kinder leben, die schlecht schlafen, hat dies mit hoher Wahrscheinlichkeit einen Einfluss auf die Gesundheit der Eltern, das Stresserleben der Eltern und auf die Paarbeziehung (Meltzer et al. 2007).

4.21 Stress, Persönlichkeitsmerkmale und Einstellungen zum Schlaf

Drake et al. (2014) haben einen Prozess, der das Ausmaß, in dem eine bestimmte Menge an Stress (kognitiv, physiologisch) das Schlafsystem stört, als Schlafreaktivität beschrieben. Sie untersuchten in einer Längsschnittstudie, mittels „Ford Insomnia to Stress Test“ (FIRST) den Zusammenhang zwischen Stress und Schlafreaktivität. Die Anzahl der stressigen Ereignisse war ein signifikanter Prädiktor für das spätere Auftreten einer Insomnie ein Jahr später. Moderiert wurde dieser Effekt durch stressbedingte kognitive Intrusionen. Die Tendenz, auf Stress mit Schlafstörungen zu reagieren, ist individuell verschieden. Personen mit erhöhter Schlafreaktivität haben ein höheres Risiko, eine Schlafstörung zu entwickeln, wenn sie Stress ausgesetzt sind. Der Prozess wird ebenfalls beeinflusst durch die individuelle Tendenz sich gedanklich mit dem stressauslösenden Ereignis zu beschäftigen und darüber zu grübeln (Hertenstein et al. 2015).

Richardson et al. (2016) untersuchten für ein Review, ob kognitive Prozesse bei der Entstehung und Aufrechterhaltung des verzögerten Schlaf-Wach-Phasen-Syndroms beteiligt sein könnten. Die Ergebnisse von 12 Studien deuten auf einen Zusammenhang hin, so dass weitere Forschungsarbeiten in diesem Bereich sinnvoll sind. Guarana et al. (2021) fanden heraus, dass die Schlafqualität und die Schlafdauer mit der Fähigkeit der Selbstbeherrschung zusammenhängen. Persönlichkeitseigenschaften können prädisponierende Faktoren für eine Schlafstörung sein. Darunter gehören ein maladaptiver Perfektionismus, Neurotizismus und ängstliche Besorgnis (Hertenstein et al. 2015).

Einstellungen bzw. schlafbezogene Überzeugungen können ebenfalls den Schlaf beeinflussen, indem beispielweise die Einschlafzeit erhöht wird und die Schlafeffizienz abnimmt (Ballot et al. 2021). Auch Palagini et al. (2016) kamen zu dem Ergebnis, dass schlafbezogene Metakognitionen eine Rolle spielen und zu einer Erregung vor dem Schlafen führen. Besonders schlafbezogenes Grübeln (Palagini et al. 2017) und maladaptive Emotionsbewältigungsstrategien spielen dabei eine Rolle.

Arslan et al. (2015) untersuchten in ihrer Studie den Zusammenhang zwischen kulturellen Überzeugungen in Bezug auf den Schlaf und die Schlafdauer im Alter von 18-65 Jahre. Die Schlafdauer wurde signifikant negativ durch die Überzeugungen beeinflusst, dass die Schlafenszeit eine Zeitverschwendung sei und dass bei Schlaflosigkeit abgewartet werden sollte, bis man von selbst wieder einschläft –ohne aufzustehen. Positiv wirkten sich hingegen Überzeugungen, wie „Frühes Schlafen und frühes Aufstehen macht gesund“ und „Schlaf erfrischt/macht den Kopf frei“ aus. Eine Reduzierung von maladaptiven Einstellungen zum Schlaf und ein verbessertes Wissen über Schlafhygiene können sich positiv auf den Schlaf auswirken (z. B. durch eine Verkürzung der Einschlafzeit (Kloss et al. 2016) oder die Schlafeffizienz (Morin et al. 2002)).

5 Ergebnisse der repräsentativen Befragung

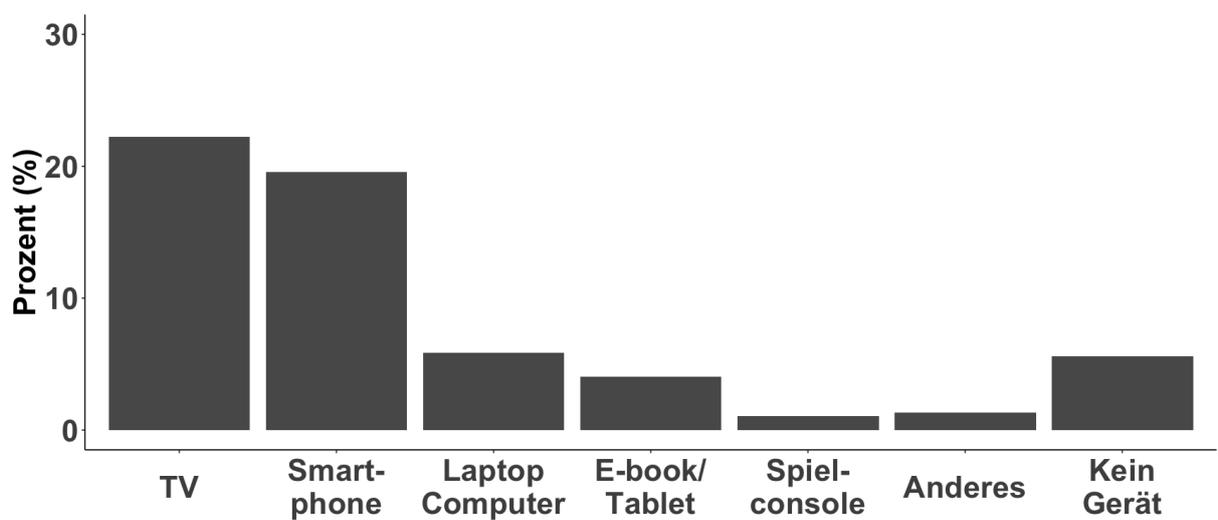
Final waren Daten von 1922 Teilnehmenden (976 Frauen, 935 Männer, 11 nicht-binäre Personen, im Alter von 18-85 Jahren) für Analysen geeignet. Von den 1922 Befragten waren 59,3 % der Personen erwerbstätig, 3,6 % erwerbslos (arbeitssuchend) und 36,1 % waren nicht erwerbstätig (z. B. in Rente, Schülerinnen und Schüler, Studierende ohne Nebenerwerbstätigkeit). Die meisten Teilnehmenden waren in Vollzeit beschäftigt (34,6 %) oder in Rente ohne Nebentätigkeit (27,7 %). 246 Personen waren teilzeitbeschäftigt (12,7 %).

Die hier präsentierten Ergebnisse basieren auf Analysen einer Stichprobe aus berufstätigen und nicht im Schichtdienst tätigen Teilnehmenden mit regelmäßigen Arbeits- und arbeitsfreien Tagen ($n = 790$; 50,8 % weiblich; Alter 18-80 Jahre, Durchschnittsalter $45,5 \pm 15,3$ SD). An dieser Stelle werden nicht alle Ergebnisse der Befragung referiert, weil diese den Rahmen sprengen würden. Wir weisen darauf hin, dass diese für weitere wissenschaftliche Publikationen ausgewertet und andernorts publiziert werden (z. B. Cuhls et al. 2024b).

5.1 Die abendliche Nutzung von Bildschirmmedien

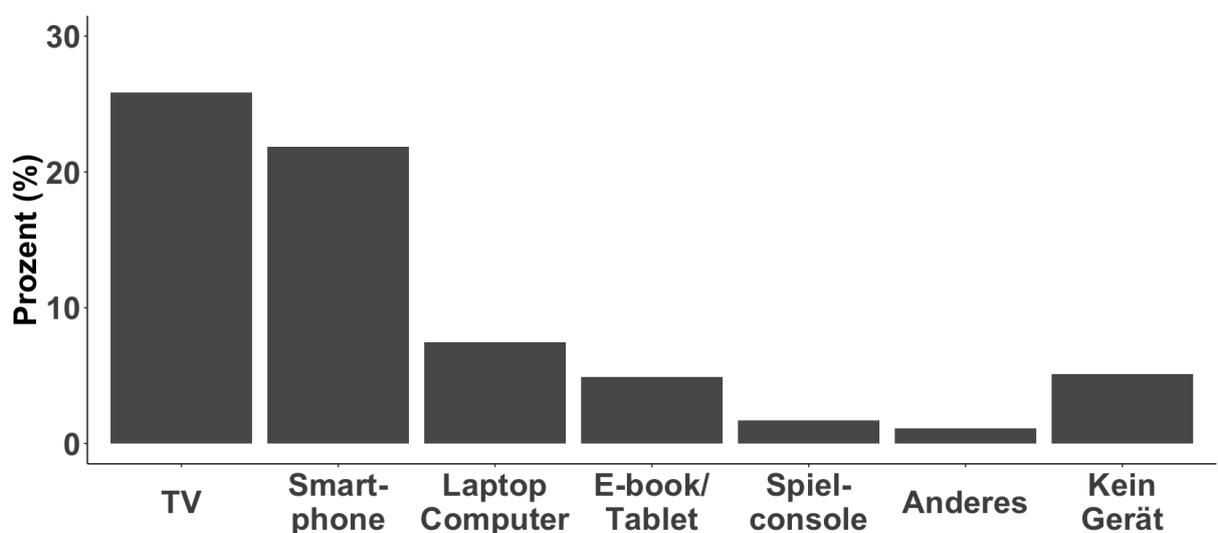
An Arbeitstagen nutzten 14,2 % der Befragten keine Bildschirmmedien und an arbeitsfreien Tagen waren es 12,3 %. Über alle Teilnehmenden hinweg zeigte sich, dass die meisten vor dem Schlafengehen an Arbeitstagen (56,3 %) und arbeitsfreien Tagen (62,0 %) den Fernseher nutzen, gefolgt vom Smartphone (49,5% bzw. 52,5 %) und Laptop/Computer (14,8 % bzw. 17,8 %) (Abbildungen 6 und 7). Das E-Book/Tablet haben 10,3 % an Arbeitstagen bzw. 11,8 % an arbeitsfreien Tagen und die Spielekonsole 2,7 % an Arbeitstagen bzw. 4,1 % an arbeitsfreien Tagen genannt. Ältere Personen gaben häufiger an, keine Geräte zu nutzen als jüngere Personen. Ältere nutzten eher den Fernseher als jüngere und jüngere Personen eher Smartphone, Laptop oder Spielekonsole (siehe hierzu auch Cuhls et al. 2024a).

Abbildung 6: Verteilung abendlicher Techniknutzung eine Stunde vor dem Schlafengehen an Arbeitstagen



Quelle: Fraunhofer ISI und FOM, repräsentative Befragung 2021

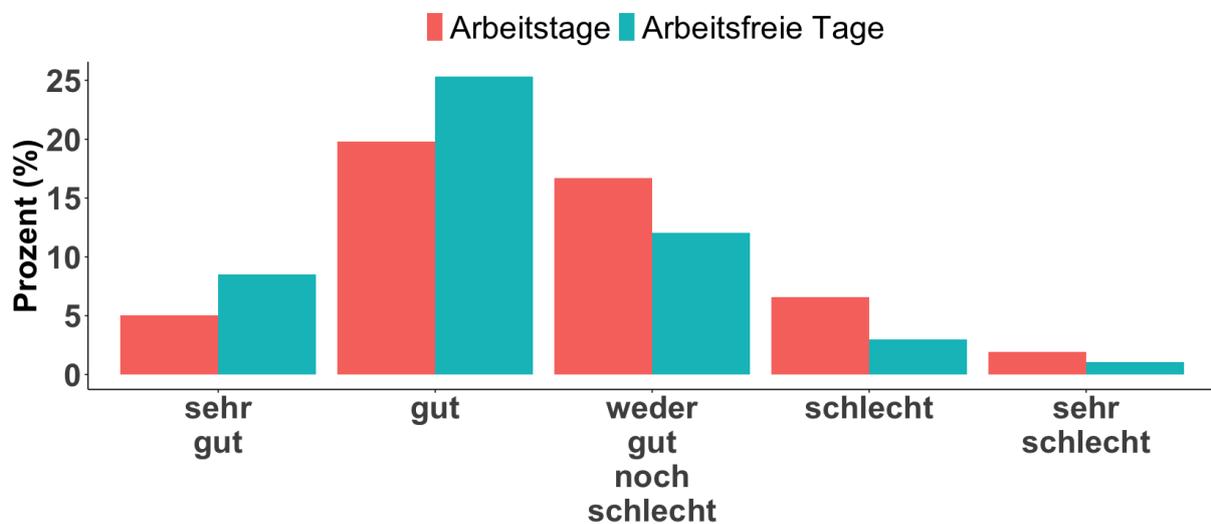
Abbildung 7: Verteilung abendlicher Techniknutzung eine Stunde vor dem Schlafengehen an arbeitsfreien Tagen



Quelle: Fraunhofer ISI und FOM, repräsentative Befragung 2021

Die Teilnehmenden brauchten an Arbeitstagen länger zum Einschlafen (im Durchschnitt 19,2 Minuten) als an arbeitsfreien Tagen (durchschnittlich 17,1 Minuten). Die Schlafqualität (Abbildung 8) bewerteten die meisten Befragten an Arbeitstagen als „gut“ (39,4 %) oder als „weder gut noch schlecht“ (33,2 %). 13,0 % gaben an, dass ihre Schlafqualität „schlecht“ sei. Für 3,8 % war ihre Schlafqualität „sehr schlecht“ und für 10,0 % „sehr gut“. Die Schlafqualität an arbeitsfreien Tagen wurde insgesamt besser bewertet als an Arbeitstagen. Die meisten empfanden die Schlafqualität an freien Tagen ebenfalls als „gut“ (50,3 %) oder als weder gut noch schlecht (24,0 %). „Sehr gut“ gaben 16,8 %, „schlecht“ 6,0 % und „sehr schlecht“ 2,2 % der Befragten an. Als Gründe für eine schlechte Schlafqualität wurden von den Teilnehmenden angegeben, dass „sie von allein wach wurden“ (Arbeitstage 24,8 %; arbeitsfreie Tage 17,0 %) oder „Schwierigkeiten hatten einzuschlafen“ (Arbeitstage 17,8 %; arbeitsfreie Tage 11,0 %).

Abbildung 8: Verteilung der Bewertung der Schlafqualität an Arbeitstagen und arbeits-freien Tagen



Quelle: Fraunhofer ISI und FOM, repräsentative Befragung 2021

An Arbeitstagen gaben zudem viele an, „am nächsten Tag unter Müdigkeit zu leiden“ (21,5 %), an arbeitsfreien Tagen waren es weniger (9,6 %). Die angegebene durchschnittliche Schlafdauer war an Arbeitstagen kürzer (Mittelwert 6,9 ± SD 1,2 Stunden) als an arbeitsfreien Tagen (Mittelwert 7,8 ± SD 1,5 Stunden). Die meisten Personen benötigten zum Einschlafen keinerlei Hilfsmittel (61,5 %). Wurden jedoch Hilfsmittel genutzt, dann waren dies technische Geräte mit Bildschirm (wie z. B. Laptop/Fernseher um Filme/Serien zu schauen) (17,8 %) oder technische Geräte ohne Bildschirm (13,7 %). Darauf folgten Schlafmittel und andere Medikamente (5,4 %) sowie Melatonin-Präparate (4,8 %).

Auf die Frage, was Teilnehmende machen, wenn sie nachts wach werden, gaben nur wenige Befragte an, dass sie Bildschirmmedien nutzen. Ein Anteil von 4,3 % (an Arbeitstagen) bzw. 2,0 % (an arbeitsfreien Tagen) schaltete nachts den Fernseher ein oder nutzte das Smartphone (2,4 % bzw. 4,2 %). An arbeitsfreien Tagen nutzten etwas mehr Teilnehmende Bildschirmmedien nachts, wenn sie wach wurden, als an Arbeitstagen. Am häufigsten gaben Teilnehmende an, dass sie liegen bleiben und probierten wieder einzuschlafen (Arbeitstage 23,7 %; arbeitsfreie Tage 14,3 %).

Auf die Frage nach Veränderungen seit der COVID-19-Pandemie gaben 17,7 % der Teilnehmenden an, dass sie mindestens teilweise länger zum Einschlafen brauchten und 18,0 %, dass sie mindestens teilweise nachts häufiger wach wurden. Als Grund für eine Einschlafzeit von mehr als 30 Minuten wurde „ich kann nicht abschalten, meine Gedanken kreisen“ (Arbeitstage 18,6 % bzw. 13,5 % der Personen mit einer Einschlafzeit von mehr als 30 Minuten), „ich bin unruhig oder nervös“ (Arbeitstage 9,0 % bzw. 5,9 %) und „ich bin nicht müde“ (Arbeitstage 4,6 % bzw. 5,6 %) genannt.

5.2 Bettzeit-Prokrastination und Technik

Im Anschluss wollten wir genauer wissen, ob sich seit Beginn der COVID 19-Pandemie in der Techniknutzung und im Schlafverhalten viel verändert hat. Seitdem, d. h. seit 2020, ist der Austausch mit Freunden oder Bekannten über einen Bildschirm für mehr als die Hälfte der Befragten (52,3 %) mindestens teilweise angestiegen. Bei der Gesamtbildschirmdauer gaben dies 47,6 % der Teilnehmenden an. Die Zeiten für Videokonferenzen (54,9 %) und Webinare (51,1 %) haben sich für einige Personen verlängert. Mit Videospiele verbrachten 30,1 % mehr Zeit.

Den Teilnehmenden wurde folgende Frage gestellt: „Manchmal kommt es vor, dass Menschen noch länger wach bleiben, als sie ursprünglich wollten, obwohl sie wissen, dass es ihnen nicht unbedingt guttut (z. B., weil sie dann zu wenig schlafen). Wie ist das bei Ihnen für gewöhnlich?“ Die Prozentsätze derjenigen, die an Arbeitstagen und arbeitsfreien Tagen bis zur Schlafenszeit prokrastinierten, betrugen 42,3 % bzw. 40,6 %.

Als Gründe nannten sie, dass sie etwas Spannendes im Fernsehen zu Ende schauen wollten (21,9 % an Arbeitstagen bzw. 26,1 % an arbeitsfreien Tagen), sie nicht müde waren (17,6 % bzw. 15,2 %), im Internet surften (16,5 % bzw. 17,6 %) oder aufgrund von Stress und Sorgen nicht abschalten konnten (16,6 % bzw. 12,3 %). Der Austausch mit Freunden oder Bekannten war einigen ebenfalls so wichtig (13,7 % bzw. 15,3 %), dass der Zeitpunkt ins Bett zu gehen herausgezögert wurde. Die Angst, etwas in sozialen Medien verpassen zu können, wurde selten angegeben (3,3 % bzw. 3,2 %).

5.3 Was bedeuten diese Ergebnisse?

Aus den Ergebnissen der CIRCADIA-Studie lässt sich erkennen, dass Bildschirmmedien ein fester Bestandteil des Alltags vieler Menschen sind, bis in die Zeit vor dem Zubettgehen hinein. Kommt es durch Techniknutzung zu einem Aufschieben des Schlafanfangs, kann eine Verkürzung der Schlafdauer erfolgen. Ein solche Verkürzung des Nachtschlafs gewinnt vor allem an Arbeitstagen aufgrund des frühen Klingelns eines Weckers an Relevanz, wenn dadurch nicht ausreichend lang geschlafen werden kann. Passiert dies regelmäßig, so kann bei einigen Betroffenen chronischer Schlafmangel entstehen.

An den Ergebnissen unserer Studie wird deutlich, dass **an Arbeitstagen die Schlafdauer geringer ist als an arbeitsfreien Tagen**. Die Ergebnisse unserer Befragung deuten darauf hin, dass die abendliche Techniknutzung zum Schlafmangel beitragen kann. Zum einen, weil das emittierende Licht zu einer Unterdrückung der Melatonin-Freisetzung⁸ führen und damit Einfluss auf die circadiane Rhythmik haben kann, und zum anderen, weil erregende Inhalte zu einer fehlenden Grundvoraussetzung des Einschlafens, der Entspannung, führen können. Das Verschieben der Bettgehzeit kommt, wie unsere Studie zeigte, als Grund ebenfalls in Frage.

Aus unseren Ergebnissen und Schlussfolgerungen lässt sich ein klarer Appell sowohl an die Forschung als auch an (politische) Entscheidungsträger ableiten: Bei einer Integration chronobiologischer Prinzipien in die Gestaltung von Arbeit und Freizeit muss die Wechselwirkung von Biologie und individuellem Verhalten berücksichtigt werden. **Weniger Bildschirmmedien sowie weniger künstliche Beleuchtung am Abend und nachts** wären demnach erstrebenswert, um soziale und gesundheitliche Herausforderungen zu mildern, die vor allem für Menschen entstehen, bei denen es zu einer Spätverschiebung kommt. Dies umfasst auch Forschung zu den Ursachen und zum Umgang mit Stress und Sorgen vor dem Schlafengehen, um möglichen chronischen Schlafstörungen vorzubeugen. Widmen wir uns diesen Fragen nicht, riskieren wir als Gesellschaft, dass immer mehr Menschen mit ihren Gesundheitsproblemen das Gesundheitssystem belasten. Wir riskieren abnehmende Leistungsfähigkeit im Arbeitsleben und damit ansteigende volkswirtschaftliche Kosten (siehe auch Policy Brief 1). Derartige Entwicklungen sollten näher untersucht werden (nicht nur im Rahmen von Bildschirmmediennutzung), denn wir gehen davon aus, dass die Nutzung von Bildschirmmedien in unserem Alltag weiter steigen wird, wie sich dies in den letzten Jahren bereits abgezeichnet⁹ hat. Wir plädieren für mehr Forschung bezüglich der Ursachen der Mediennutzung, vor allem im Kontext einer Beeinflussung des circadianen Rhythmus. Die Forschung geht dabei

⁸ Melatonin ist ein hauptsächlich in der Zirbeldrüse produziertes Hormon, das für die Steuerung des Schlaf-Wach-Rhythmus zuständig ist und vor allem in der Dunkelheit ausgeschüttet und bei Licht unterdrückt wird.

⁹ <https://www.zdf.de/nachrichten/panorama/onlinestudie-2022-ard-zdf-100.html>

idealerweise über Fragebögen hinaus und bezieht prospektive Feldstudien (z. B. Aktigraphie, Speichel- oder Blutproben, Lichtmessungen usw.) sowie Experimente in Reallaboren mit ein.

Wir sehen die Notwendigkeit für ein nachhaltiges Verhalten im Umgang mit Technik. Eine Möglichkeit ist die Entwicklung von **Empfehlungen für einen chronobiologisch informierten Umgang mit Bildschirmmedien und Beleuchtungsquellen** aller Art. Dies gilt gleichermaßen **für Arbeit und Freizeit**. Wichtig in diesem Zusammenhang scheint die Aufklärung der jüngeren Bevölkerung zu sein, da der Stand der Forschung darauf hindeutet, dass besonders Kinder und Jugendliche sowie junge Erwachsene vulnerabel für Störungen des Schlaf-Wach-Rhythmus im Zusammenhang mit Techniknutzung, Bildschirmmedien sowie Sorgen und Stress sind.

6 Circadiane Rhythmen und nicht-invasive Technologien

Technologien – insbesondere mit Licht verbundene oder Licht emittierende Geräte – können die circadianen Rhythmen des Menschen beeinflussen. Doch wie genau das passiert, welche Geräte einen Einfluss haben und wie stark dieser ist, bleibt noch zu klären. Ob und wann Techniken eine negative Wirkungskraft haben, neutral oder sogar hilfreich sind, muss für jede einzelne Technik untersucht werden. Besonders interessant scheint die Frage zu sein, zu welchen Tageszeiten eine bestimmte Technik welche Wirkung auf die Nutzenden hat. Das Projekt CIRCADIA fokussierte sich auf nicht-invasive Technologien, was unter anderem Medikamente und Implantate ausschließt. Einige Fragen der repräsentativen Befragung im Projekt CIRCADIA, die Ende 2022 durchgeführt wurde, befassten sich mit Techniknutzung (siehe Kapitel 5).

Auch wenn es vielen Menschen nicht bewusst ist, so sind sie meist im Besitz von Geräten, die das persönliche Schlafverhalten verfolgen (tracken) können: Apple Watches und Smartphones sind mit den richtigen Applikationen in der Lage, Angaben über Aktivitätsmuster, und damit indirekt auch über den circadianen Rhythmus eines Nutzenden zu machen. Entsprechend haben wir recherchiert, was bereits verfügbar ist, und konzentrieren uns in diesem Kapitel auf Technologie bzw. technische Geräte zur Lichtmanipulation und/oder Selbstoptimierung in der Privatnutzung. Technik wird gruppiert, analysiert und hinsichtlich ihres Einflusses auf circadiane Rhythmen eingeschätzt. Zur Technik gehören auch Algorithmen als essenzieller Bestandteil der genannten Messverfahren. Sie bilden die Grundlage für eine nicht-invasive Modellierung des circadianen Rhythmus.

6.1 Technologien zur Lichtoptimierung

Die in diesem Kapitel beschriebenen Technologien, von denen angenommen wird, dass sie einen positiven oder sogar „optimierenden“ Einfluss auf circadiane Rhythmen haben können, gliedern wir in folgende Einsatzbereiche:

- **Stationäre Lichtgeräte:** Sie beinhalten Indoor-Geräte, die Licht emittieren. Dazu zählen beispielsweise therapeutische Leuchten mit einem manipulierbaren Lichtwellenspektrum.
- **Lichtmanagementsysteme:** Dies umfasst Hard- und Software, in Sinne von Apps und einer Koppelung an externe Geräte.
- **Lichtfilter:** Sie umfassen mobile und stationäre Low- und Hightech Lösungen, die auf lichtemittierenden Oberflächen aufliegen oder mit ihnen verbaut sind. In der Hightech-Variante passen sie das eigens ausgesandte Lichtspektrum dem jeweiligen Benutzerbedürfnis an.
- **Eye-Wearables:** Sie umfassen sowohl Low-Technologie wie Brillen, die bestimmte Spektren herausfiltern, als auch smarte Wearables, die Licht eines gewünschten Spektrums emittieren.

6.1.1 Stationäre Lichtgeräte

Energy Lights

Geräte zur Substitution des Sonnenlichts insbesondere in den dunklen Herbst- und Wintermonaten sind im Alltag vieler Menschen angekommen. Die ursprünglich rein klinisch eingesetzte Lichttherapie bzw. Phototherapie ist dabei keine neue Entdeckung: Lichttherapien werden bereits seit den 1920er Jahren in verschiedenen Formen eingesetzt. Die heute als „SAD“-Lampen (Seasonal Affective Disorder/saisonal-abhängige Depression) weit verbreiteten Geräte, werden seit 1980 erforscht. Richtig eingesetzt sollen Energy Lights wie SAD-Leuchten die Stimmung verbessern. Der richtige zeitliche Einsatz ist aber zu beachten, denn die Gesundheit der Personen kann bei azyklischer, und damit falscher Nutzung massiv leiden und zu Migräne oder dauerhaften Schäden am Sehnerv und

an der Netzhaut führen. Dabei wirkt die Handhabe auf den ersten Blick wenig komplex: Man stellt das passende Licht ein, je nachdem, ob man aktiviert werden möchte oder nicht. Um eine richtige Nutzung zu erleichtern, bieten einige Hersteller zusätzlich zum Lichtgerät selbst begleitende Applikationen an, die die Benutzung der Geräte anleiten, dokumentieren und auswerten.

Beispiele: Phillips Sleep and Wake-up Light, Phillips Energy Light, Lumie Vitamin L, Lumie Desklamp

Adaptive Lighting Systems und Smart Lights

Unter diesen englischsprachigen Begriffen finden sich verschiedene Lichtsysteme. Ursprünglich als dekorative Leuchten entwickelt, haben Adaptive Lighting Systems ihre Wirkung auf die Gesundheit erst im Laufe der Benutzung manifestiert. In Kopplung mit mehreren Geräten können Adaptive Lighting Systems die Lichtwellen im häuslichen Bereich synchronisieren und dadurch eine individuelle Lichtstimmung erzeugen. Da diese Produkte nicht selten ohne eine medizinische Anleitung vertrieben werden, werden solche Geräte in erster Linie nach den eigenen Vorlieben eingestellt und nicht auf den circadianen Rhythmus der nutzenden Personen abgestimmt.

Im Smarthome-Bereich wird das technische Potential vor allem dekorativ genutzt – warmes Licht wird mit Gemütlichkeit assoziiert, und kaltweiße LEDs werden mit einer sterilen, ungemütlichen Umgebung in Verbindung gebracht. Bei adaptiven Lichtsystemen ist nicht nur die Zusammensetzung des Lichts aus unterschiedlichen Lichtwellen relevant, sondern vor allem die zeitliche Ausgestaltung ihrer Benutzung. Eine zeitlich abgestimmte Lichtexposition kann zu einer Vor- oder Nachverschiebung der inneren Uhr führen (siehe Kapitel 3). Viele technikaffine Nutzende möchten in ihrem biologischen Rhythmus etwas aktiv zum Positiven mitgestalten, und bilden eine wachsende Community, die sich zu circadianen Rhythmen in Internetforen austauscht. Dabei werden von Anleitungen zur gesundheitsfördernden Nutzung von Smart Lights bis zu Produktempfehlungen inklusive vollständiger Open Source Software viele Nutzererfahrung ausgetauscht.

Beispiele: Phillips Hue sind Raumbelichtungssystem ohne klinischen Fokus, Apple verfügt über ein ähnliches System im HomeKit, Nanoleaf's circadian light lässt sich ebenfalls durch Open Source Software steuern¹⁰.

6.1.2 Lichtmanagement

Unter dem Begriff „Indoor-Lichtmanagement“ sind verschiedene Smarthome-Technologien zusammengefasst, die sich zentral über mobile Endgeräte steuern lassen. In Bezug auf den circadianen Rhythmus von Menschen sind diese Systeme noch nutzerorientierter als herkömmliche Smarthome-Devices, die sich eher nach dekorativen Nutzerwünschen ausgestalten lassen. Im folgenden Teil werden die Lichtmanagementsysteme in Hardware und Software unterteilt, wobei die Hardware sowohl tragbare als auch stationäre Infrastrukturen umfassen kann, während die Software sich auch als Applikationen für das Mobiltelefon verstehen lässt.

Hardware-Systeme und Infrastrukturen

Unter den stationären Hardwaresystemen finden sich auch sogenannte „smarte Lichtschalter“. Dies „Smart Switches“ können meist vom Nutzenden selbst installiert werden, schalten stufenlos, unterstützen daher das zeitlich genaue Dimmen und bilden eine wichtige Komponente der Infrastruktur, um circadiane Lichtsysteme zu verwenden. Zudem lassen sich Smart Switches manuell am Schalter selbst einstellen oder mithilfe zusätzlicher Software und Apps auf den circadianen Rhythmus abgestimmt synchronisieren. Smart Switches sind höchst flexibel und erfordern die Auseinandersetzung mit ihnen, wenn die Schalter zugunsten des circadianen Rhythmus eingestellt werden sollen. Eine

¹⁰ <https://github.com/basnijholt/adaptive-lighting> (Zugriff 20.3.2023)

wichtige Abgrenzung der Infrastruktur gegenüber dem klassischen Leuchtmittel ist die Adaptierbarkeit mithilfe von Open Source Software.

Beispiele: Lutron Caseta Smart Switches, Modelle ZigBee und Z-Wave, Shelly Smart Switch, Adesso Smart Switch und Sonoff Smart Switch.

Lichttechnologie-steuernde Software oder Apps

Als dritte Komponente neben dem Leuchtmittel und der dazugehörigen Infrastruktur kommen Software, bzw. Applikationen hinzu, die meistens in Form von Apps für Mobilfunkgeräte vorliegen. Unter den Apps, die für den circadianen Rhythmus relevant sind, sind drei Typen häufig auffindbar: Zum einen die Apps, die für die Steuerung der Lichttechnologie im Haushalt zuständig sind, zum anderen Apps zum Licht-Monitoring (diese zeichnen auf, welche Beleuchtung geschaltet war) und schließlich Apps, die beide Funktionalitäten verbinden. Exemplarisch werden pro Kategorie zunächst einige Beispiele aufgeführt und anschließend ihre Funktionalitäten und Besonderheiten beschrieben.

Apps zur Steuerung der Lichttechnologie: Home Assistant.io, Apple Homekit, eWeLink App, Smart life – Smart living App, Kasa Smart, Tasmota und viele weitere.

Die App eWeLink¹¹, ist eine Smart-Home-Steuerungs-App, die Hausautomationsgeräte einer bestimmten Firma und kooperierende Produkte synchron steuern kann. Es ist dem Nutzenden möglich, intelligente Geräte verschiedener Marken mit einer App fernzusteuern und zu verwalten. Die Smart-Home-Geräte verbinden sich über WLAN mit Haushaltsgeräten und anderen elektronischen Geräten, so dass sie über die APP eWeLink ferngesteuert werden können. Die Anzahl der Geräte, die verknüpft werden können, ist unbegrenzt.

Apps zum Monitoring des Lichts: Circadian Light Meter App, f.luxometer Software.

Apps wie das Circadian Light Meter¹² kommen ursprünglich aus der Fotografie und waren dort unter dem Sammelbegriff der Lichtmesser bekannt. Solche Anwendungen messen zusätzlich zur Lichtstärke die Zusammensetzung der Strahlung. Dazu muss manuell die Lichtquelle eingegeben werden. Die Software f.luxometer¹³ benötigt diese manuellen Angaben nicht, ist dafür aber auf einen externen Sensor angewiesen, der als zusätzliche Hardware an den PC zur Messung am Arbeitsplatz angeschlossen wird. Alternativ lässt sich das Gerät transportieren, um die Beleuchtung im Außenbereich aufzuzeichnen.

Apps sowohl zur Steuerung von Lichttechnologie als auch zum Monitoring des Lichts

Diese Apps verbinden Funktionen, indem sie Zugriff auf das Leuchtmittel und die Daten der Nutzenden erhalten und zwischen den Anwendungen vermitteln oder sie synchronisieren. Beispiele sind Homeassistant.io mit Open Source Erweiterungen wie HASS and AppDaemon, Nanoleaf.me mit Nanoleaf Geräten, Smart Life App, SleepMapper. Diese Apps sollen beispielsweise Licht so regeln, dass guter Schlaf möglich ist.

Die für die Therapie von Schlafapnoe entwickelte App SleepMapper¹⁴ von Phillips lässt sich neben medizinischen Atemmasken auch mit lichtemittierenden Geräten synchronisieren. Manuell werden in der App Schlafphasen erfasst (diese müssen also bekannt sein) und gespeichert, um die Therapie zu unterstützen. Andere Applikationen aus der Hue-Kategorie von Philips steuern, je nach Zweck,

¹¹ <https://ewelink.cc/> (Zugriff 20.3.2023)

¹² <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.litecontroller.clm&hl=gsw&gl=US> (Zugriff 20.3.2023)

¹³ <https://fluxometer.com/> (Zugriff 20.3.2023)

¹⁴ <https://www.philips.de/healthcare/consumer/sleep-apnea/products/sleepmapper> (Zugriff 20.3.2023)

zum Beispiel als Wecker, das Lichtspektrum und die Lichtintensitätsstufen¹⁵. Die Homeassistant.io App ist Open Source erweiterbar und misst mit den entsprechenden Geräten mithilfe von Sensoren den Bedarf nach Lichtoptimierung. Gemeinsam mit dem Tracking von Schlafgewohnheiten können die lichtemittierenden Geräte sich der Raumumgebung anpassen¹⁶. Das daraus entstehende Ökosystem manipuliert die Lichtkulisse damit ganzheitlich.

6.1.3 Lichtfilter für Monitore

Eine Technologiefamilie, deren Ausprägung vom Low-Tech-Segment bis zum High-Tech-Segment rangiert, sind Lichtfilter. In Form von Blaulichtfiltern aus Glas oder Polycarbonat können sie modular an Bildschirmen und Panels befestigt werden, kommen als orange-schattierte Brille (siehe Abschnitt zu Eye-Wearables unten) vor, oder können als hybride Softwarelösung eigens im technischen Gerät verbaut werden. Selbst Folien, die sich an Bildschirme auftragen lassen, können hierbei Blaulicht filtern.¹⁷ Allerdings werden viele der Folien den ganzen Tag über genutzt, d. h. sie steuern die menschlichen Rhythmen nicht, sondern **filtern permanent das blaue Licht aus, auch zu Zeiten, in denen Menschen blaues Licht „gebrauchen“ könnten** (morgens). Blaulichtfilterbrillen zum Aufsetzen sind in diesem Zusammenhang ebenfalls in der Nutzung (siehe Horizon Scanning).

Eine Frage lautet, wie lange am Tag ein Mensch vor einem Bildschirm verbringen und wie lange er einen derartigen Filter nutzen sollte oder zu welchen, für das Individuum relevanten Tageszeiten. Relevant ist diese Technik, weil Monitore Lichtquellen sind, deren emittiertes Spektrum große Anteile im kurzwelligen Bereich um 480nm aufweisen, welche das circadiane System beeinflussen können (siehe Kapitel 3). Monitore, die je nach Tageszeit Lichtwellen filtern, verfügen über Flüssigkristall-Technologie und LCD-Backlight. Das Display besteht aus einem Panel und einem Lichtmodul mit einem doppelseitigen Rand. Bestehend aus Millionen von steuerbaren Flüssigkristall-Pixeln, adaptieren rote, grüne und blaue Lichter ihre Zusammensetzung, um ein Bild zu erzeugen. Das LED-Licht soll in der Regel vor allem effizient sein sowie Strom und Hitze sparen. Einige Effekte dieser Displays sind bereits bekannt: So soll durch blaues Licht die Konzentrationsfähigkeit gesteigert werden, und die Benutzer sollen wach bleiben.

Wie bereits in Kapitel 3 erwähnt, wurden Testpersonen in einer Studie von Cajochen et al. (2011) fünf Stunden vor ihrer gewohnten Schlafenszeit vor einen Monitor gesetzt, der entweder eine LED-Hintergrundbeleuchtung hatte oder nicht – dabei mussten diverse kognitive Aufgaben erfüllt werden. Jeder Proband wurde während der zweiwöchigen Laborphase mit beiden Displays getestet, wusste aber nicht, vor welchem er sich gerade befand. Die Forschenden kontrollierten währenddessen die Ermüdung der Testpersonen, ihre Merkfähigkeit und die Ausschüttung des Hormons Melatonin. Fazit: Die LED-Gruppe schnitt in den kognitiven Tests um rund 20 Prozent besser ab. Außerdem war der abendliche Anstieg ihres Melatonins um bis zu eine Stunde verzögert (Cajochen et al. 2011).

Beispiele für Monitor-Anpassungen:

- Auf Seiten der Anwendungen ist die Open Source Software f.lux von Stereopsis nennenswert: Sie passt die Farbtemperatur des PC-Monitors automatisch an die Tageszeit an. Das kann auch das Browser Add-On von Google Chrome „Night Light“¹⁸. Es erlaubt das Micromanagement der Lichtfrequenz des Bildschirms.

¹⁵ <https://www.philips-hue.com/de-de/explore-hue/apps/bridge> (Zugriff 20.3.2023)

¹⁶ <https://www.home-assistant.io/> (Zugriff 20.3.2023)

¹⁷ <https://klardigital.de/blaulichtfilter-monitor-test/> (Zugriff 20.3.2023)

¹⁸ <https://chrome.google.com/webstore/detail/night-light/aioneabdognkieabomemdegmjedkced> (Zugriff 20.3.2023)

- Phillips hat eine Hardware entwickelt, das bildschirmähnliche Gerät goLite blu. Es imitiert das Licht eines blauen Himmels, um so auf einer Frequenz von 50-60 Hz und bei 200 Lux zu simulieren, dass morgens ist. Damit sollen Menschen stimuliert werden. Wachheit wird erzeugt und einer Winterdepression vorgebeugt.
- Modulare Hardware, die ohne Technologie Licht filtert, ist beispielsweise das von chinesischen Milchglasfenstern inspirierte, getönte Glasrahmenset von Tai und Hsien aus dem Interaktionslabor der National Taipei University of Technology NTUT (Tai et al. 2022). Ihre Ergebnisse mit der Low-Tech-Filterung zeigen, dass trotz der Abnahme an Leuchtdichte der mit einem physischen Rahmen überlagerte Prototyp ein ähnliches Lichtspektrum wie ein erprobtes Therapielicht erzeugt. Dies legt nahe, dass ihr Prototyp als modifiziertes Therapielicht funktionieren könnte.

6.1.4 Eye-Wearables

Durch die Messung des Lichteinfalls am Auge können Muster in der Lichtexposition mithilfe von Eye-Wearables analysiert, abgebildet und somit optimiert werden. Die Modellierung dieser Exposition bietet eine Grundlage für die Mechanismen aufkommender Beleuchtungstechnologien. Eye-Wearables haben durch ihre hohe Präzision in der Lichtmessung die Möglichkeit, Lichtwellen an die Umgebung und zu Gunsten der Nutzenden anzupassen. Die Wearables gibt es in Form von Sensoren, wie einem Anstecker an der Kleidung, oder in Form einer Brille mit smarten Gläsern.

Beispiele: Daysimeters, Luminette 3, Ayo, Re-Timer, Pegasi, Sula Glasses, Propeaq

Das Lighting Research Center (LRC) am Rensselaer Polytechnic Institute hat zu Forschungszwecken das Daysimeter zur Messung der persönlichen circadianen Lichtexposition und des Aktivitätsniveaus entwickelt. Durch die Verwendung des Daysimeters und der zugehörigen Software sind LRC-Forschende in der Lage, Licht als Stimulus für das circadiane System zu interpretieren, um Lichtbehandlungen zur Anpassung der circadianen Phasen zu entwickeln. Die Auswertung der Daten, die durch das Gerät generiert wurden, diente der Weiterentwicklung von Eye-Wearables. Marktreife Geräte, wie die Brille Re-Timer¹⁹, strahlen den Nutzenden direkt vor dem Auge ein grünlich-blaues Licht auf einer Wellenlänge von 500 nm entgegen. Menschen, die eine portable, leichte und günstigere Alternative zu Lichttherapieboxen und Smarthome-Systemen suchen, können zu solchen Wearables greifen. Aber auch hier wiederholen wir die Bedenken, dass die Nutzenden wissen sollten, wann am Tag sie sie nutzen.

Beispiele: Circadian Eyewears Orpheus Brille, TrueDark 24h Brille, Keldik

Im Bereich der nicht digitalen Wearables sind getönte Brillen ein verbreiteter Standard. Anders als Digitaltechnologie-gestützte Exemplare sind diese Modelle nicht grün-blau. Aktuelle Studien vergleichen nach wie vor Filter und Tönungen unterschiedlicher Farben, dabei stellen sie immer wieder fest, dass orangefarbene Gläser bezüglich des Erhalts des circadianen Rhythmus am besten abschneiden. Auch hier gilt wieder, dass die Brillen dem Tageslauf des Nutzenden angepasst sein müssen, sonst filtern sie Licht zu Zeiten heraus, in denen es genutzt werden sollte.

¹⁹ <https://www.re-timer.com/> (Zugriff 20.3.2023)

6.2 Technologien zur Selbstoptimierung

Selbstoptimierungstechnologien sind eine Kombination von Vermessungs-, Monitoring- und Optimierungstechnologien. Sie sind in der Regel an Applikationen gekoppelt, die dabei helfen sollen, im Alltag drei Faktoren in Einklang zu bringen: Erstens die äußeren Lichtverhältnisse, die einer Messung unterliegen. An zweiter Stelle steht die Feststellung des eigenen Chronotypen und schließlich, drittens, das Monitoring der individuellen Verhaltensweisen im Alltag, insbesondere das Schlafverhalten. Dementsprechend sind mit Blick auf Selbstoptimierungstechnologien auch Technologien der Lichtmessung sowie Algorithmen zur Analyse und Modellierung circadianer Rhythmen relevant. Einzelne Unternehmen haben nun Apps zur Selbstoptimierung entwickelt. Zusammen mit klassischen Self-Tracking-Daten zu Schlaf und Bewegung werden weitere Daten von eigens entwickelten Apps verarbeitet, um Nutzenden Hinweise zur Anpassung und Optimierung ihres Verhaltens geben zu können. Dieser Teil gliedert sich in die drei Oberkategorien: (i) Technologien zur Lichtmessung (stationär/mobil), (ii) Algorithmen zur Analyse und Modellierung von circadianen Rhythmen und (iii) Apps zum Tracking des persönlichen circadianen Rhythmus und zur Selbstoptimierung.

6.2.1 Lichtmessung

Techniken zur Messung von Licht innerhalb von geschlossenen Räumen werden unter anderem durch Photodetektoren bzw. optoelektronische Sensoren betrieben. Diese bergen Innovationspotential im Bereich der genauen Lichtmessung. Diese Messungen können, ebenso wie die Bemessung von Bewegungs- und Präsenzsignalen, zur Steuerung von lichtemittierenden Geräten, den Schlaf- und Wachrhythmus eines Nutzenden bestimmen helfen. Optische und opto-elektronische Sensoren sind aus dem Konsumentenbereich bekannt: Belichtungsmesser, vor allem im Fotografiebereich, sind ein verbautes Feature, das ebenfalls im Smarthome-Bereich mehr Beachtung findet. Signale an lichtemittierende Geräte können hierbei direkt weitergegeben werden, um so für eine optimale Beleuchtung zu sorgen.

Beispiele: Kombinationen aus Licht- und Bewegungs- bzw. Präsenzsensoren für den Heimbereich wurden ursprünglich hergestellt, um Energiekosten zu sparen und die Beleuchtung im Innenbereich zu steuern. Diese Techniken wurden weiterentwickelt und in der Schlafforschung bzw. immer mehr auch im Alltag zur Beobachtung des eigenen Körpers genutzt (s.o. Wearables).

Der LYS Button ist ein flexibel ansteckbarer Knopf, der in der Nähe des Gesichts angebracht werden kann, um mobil und kontinuierlich die Lichtexposition zu messen, der das Individuum ausgesetzt ist. Der Nutzende kann selbst auf die eigenen Daten zugreifen oder diese durch die LYS-eigene App analysieren lassen. Besonders für wissenschaftliche Zwecke ist dieses Tool aufgrund seiner genauen Messung nützlich.

Im Konsumentenbereich ist die Apple Watch Marktführer und verfügt mit zusätzlichen Apps wie „UV Index Widget“ über ein niedrigschwelliges Lichtmessgerät, das Daten über die individuelle Lichtexposition liefert. Diese UV-Strahlungsmessung wird dann relevant, wenn man neuere Forschungsergebnisse in Betracht zieht, die versuchen, die Wechselwirkungen zwischen circadianen Rhythmen, UV-Strahlung und Schlafdauer zu verstehen.

Andere zu diesem Bereich gehörende Applikationen, die Menschen mit sich herumtragen (wearables), wie „Pillow“ oder „AutoSleep“ sind dagegen auf die Analyse der Schlafstadien ausgerichtet. Ein Vergleich zwischen Apple Watches und Fitbits zur Messung circadianer Rhythmen ergab, dass Fitbits fehleranfälliger ist als andere Wearables und daher nicht als einzige Datenquelle genutzt werden sollte. Mögliche Add-ons aus dem Bereich der Schlafphasenbestimmung können hierbei wichtige Daten zur Modellierung der Schlaf-Wachrhythmen ergänzen.

6.2.2 Algorithmen zur Modellierung circadianer Rhythmen

Allen Apps liegen Algorithmen zu Grunde. Die stetige Weiterentwicklung bis zum heutigen Nutzen in unterschiedlichen Technologien dient als wichtige Grundlage zur Datensammlung und -analyse. Aufgrund des kommerziellen Charakters der meisten Applikationen ist es aber leider oftmals nicht möglich, darüber Aussagen zu treffen, welche App welche Algorithmen verwendet. Daher dient dieser Teil als Überblick über den Stand der Technik in diesem Bereich und damit über die technologische Grundlage.

- Der auf Periodizität basierende Algorithmus **Fast Fourier-Transformation (FFT)** wurde erstmals zur Analyse des circadianen Profils des Blutdrucks verwendet. Aus Blutdruckwerten, die während einer 24-Stunden-Blutdruckmessung bei einer Stichprobe von 50 normotensiven Personen (mit normalem Blutdruck) im Alter von 25 bis 80 Jahren gemessen wurden, wurden mittels Fourier-Analyse kontinuierliche Funktionen generiert (Li et al. 2021) und damit Zusammenhänge mit circadianen Rhythmen hergestellt. Aus den 50 Profilen wurde dann ein gemeinsames Referenzprofil konstruiert und schließlich der Algorithmus abgeleitet. Diese Art der Analyse basiert auf Untersuchungen seit 1989, die 1993 zu dem Algorithmus (Cannata et al. 1993). Die Referenzwerte stehen für Vergleiche zur Verfügung.
- Die Weiterentwicklung dieses FFT Algorithmus ist **der Penalized Multiband Learning (PML) Algorithmus**, ein Algorithmus, der zur Analyse circadianer Rhythmen in Wearable Devices verwendet wird. Dieser Algorithmus wurde auf Actiwatch-Daten angewendet, um dann von einer Kohorte von 262 gesunden Säuglingen im Alter von 6, 12, 18 und 24 Monaten erprobt zu werden. Damit konnte nachgewiesen werden, dass Säuglinge einen circadianen Rhythmus haben und dass dieser sich schon früh zu erkennen gibt.
- **BioClock** (2016) ist ein Algorithmus, der tiefe neuronale Netze verwendet, um die physiologische Zeit aus einer Reihe von Genen abzuleiten (Agostinelli et al. 2016). Er basiert einerseits auf dem Algorithmus BIO_CYCLE zur robusten Schätzung der Signale in circadianen Perioden und andererseits auf BIO_CLOCK, dem Deep-Learning Algorithmus. In den meisten Fällen kann BIO_CLOCK die physiologische Zeit zuverlässig innerhalb von etwa 1 h vorhersagen, indem es die Expressionsniveaus von nur einer kleinen Anzahl von Kern-Uhr-Genen verwendet. Bisher wurde er nur erfolgreich auf gut kontrollierte Mausdaten angewendet (Agostinelli et al. 2016).
- **ZeitZeiger** (2017) ist ein circadianer Algorithmus, der auf maschinellem Lernen basiert und die Genauigkeit menschlicher Daten verbessert, die manuell hinzugefügt wurden oder durch Wearable Devices gemessen wurden (Hughey et al. 2016). Er kann jedoch nicht auf eine neue Probe angewendet werden, ohne die gesamte Maschine neu zu trainieren, wodurch die Reproduzierbarkeit und Interpretierbarkeit geopfert werden.
- **Haystack** ist ein Algorithmus, der auf die Analyse von Gensequenzen spezialisiert ist (Mockler et al. 2007). Die RNA-Sequenz, die bestimmt, über welches circadiane Profil man verfügt, kann damit festgestellt werden. Dieser Algorithmus wird in invasiven Technologien verwendet.
- Ein neueres Verfahren unter Verwendung der **partiellen Regression der kleinsten Quadrate (PLSR)** (2017) weist eine verbesserte Genauigkeit als z. B. ZeitZeiger auf, erfordert jedoch die Untersuchung eines Komplements von etwa 26.000 Transkripten, um die 100 Gene zu standardisieren, die im PLSR-Modell verwendet werden (Laing et al. 2017).
- **TimeSignature** (2018) ist ein Algorithmus, der die circadiane Zeit zuverlässig aus der Genexpression ableitet (Braun et al. 2018). Die Einschätzungen der physiologischen Zeit durch TimeSignature dienen der Vorhersage von Krankheitsrisiken und verfeinern Behandlungsprotokolle. Die Ergebnisse der unten angeführten Studie zeigen, dass TimeSignature genauer und effizien-

ter ist als konkurrierende Methoden wie die Analyse von Melatonin, Cortisol, Kernkörpertemperatur, Aktigraphie und Kernuhr-Genexpression. Diese Effizienz wird durch den Wegfall von serieller Probenentnahme bei Patient:innen erreicht, die belastend und fehleranfällig sein kann. Zudem soll TimeSignature auf unbekannte Proben und Datensätze anwendbar sein, wohingegen Vorgänger des Algorithmus' nur auf den jeweiligen Patienten und seine entnommenen Daten anwendbar waren. TimeSignature übertrifft damit in Bezug auf Effizienz, Genauigkeit und Generalisierbarkeit die Algorithmen (Braun et al. 2018).

- **JTK_CYCLE** (2010), wurde entwickelt, um die Variablen des circadianen Zyklus in großen Datensätzen effizient zu identifizieren und zu charakterisieren (Boyett et al. 2016; Hughes et al. 2010). Die erhöhte Resistenz von JTK_CYCLE gegenüber Ausreißern führt zu einer erheblich höheren Sensitivität und Spezifität. Darüber hinaus misst JTK_CYCLE genau die Periode, Phase und Amplitude von zyklischen Transkripten, was nachgelagerte Analysen erleichtert. JTK_CYCLE führte zur Identifizierung eines neuartigen Clusters von RNA-interagierenden Genen, deren Häufigkeit einer klaren circadianen Regulierung unterliegt.
- **Sleep-Inference Algorithm:** Der Algorithmus leitet circadiane Rhythmen ab, indem er Nutzungsprotokolle von Social-Media-Apps und Facebook-Posts analysiert – um Schlafereignisse gemäß den längsten nächtlichen Nutzungslücken zu modellieren, verarbeitet er Eingaben von Sensoren, zwischen 22 Uhr und 7 Uhr und filtert diese. Nach einem Schwellenwert eliminiert er Ausreißer in diesem Datenset (Abdullah et al. 2014).

Algorithmen für die Chronotypen- und Phasenbestimmung:

Für die Bestimmung des individuellen Chronotypen können Haartests und Speicheltests verwendet werden. BodyClock (www.bodyclock.eu) zum Beispiel ist ein Lifestyle-Produkt, mit dem per Haartest der Chronotypen bestimmt werden kann. Dahinter liegt einerseits der Müncher Chronotyp-Fragebogen (MCTQ, Roenneberg et al. 2003) für die subjektive Bestimmung der Chronotypen und andererseits ein objektiver Gen-Test (RNA-Test). Zur Berechnung wird ein Algorithmus verwendet (Interview). Den Teilnehmenden wird eine genaue Auswertung inklusive Empfehlungen für die Nutzung der Erkenntnisse zugeschickt, z. B. wann am Tag Cardio- oder Kraftsport am besten ist oder was die idealen Schlafzeiten sind.

Timeteller (www.timeteller.eu) macht Phasentests für den Einsatz im medizinischen Bereich. In der Medizin muss die Bestimmung der Phase, in der sich Patient:innen befinden, wesentlich genauer bestimmt und im klinischen Umfeld vorgenommen werden. Danach kann sich die Medikamentierung richten (siehe auch Dose et al. 2023). So werden häufig kleinere Medikamentendosen verabreicht und auch die Chemotherapie zur Krebsbehandlung kann wesentlich schonender sein. Da Menschen in diesem Umfeld häufig Haarverlust haben, ist eine Speichelprobe einfacher zu nehmen, benötigt aber Expertise.

Weitere Algorithmen zur Feststellung und Modellierung des circadianen Rhythmus: Lomb-Scargle (Glynn et al. 2006), ARSER (Yang et al. 2010), CircWaveBatch (Oster et al. 2006), RAIN (Thaben et al. 2014), eJTK (Hutchison et al. 2015), ABSR (Ren et al. 2016). **Weitere Bio-inspirierte Algorithmen zur Modellierung des circadianen Rhythmus:** der Gradient Descent Algorithmus zur Imitation des circadianen Rhythmus' in Lichtgeräten (Yin et al. 2021) und die Analyse mobiler App Daten zur Feststellung und anschließenden Nutzung des circadianen Rhythmus' (Lin et al. 2019b).

6.2.3 Apps zum Tracking des persönlichen circadianen Rhythmus und zur Selbstoptimierung

Applikationen und Software sind die Basis für die Funktion der lichtemittierenden oder lichtanalyisierenden Hardware in Verbindung mit der Infrastruktur. Viele Apps sind Open Source verfügbar. Die meisten mobilen Apps, die im folgenden Teil behandelt werden, messen dabei über Sensoren, wann jemand schläft, wie diese Phase in den circadianen Rhythmus einzuordnen ist und ob dies mit dem persönlichen Rhythmus übereinstimmt. Die Daten werden über Sensoren erhoben, die Berechnung erfolgt automatisch und die App gibt auf dieser Basis Handlungsempfehlungen weiter. Kritisch anzumerken ist bei einigen der Apps die Verarbeitung persönlicher Daten. Wenige der Anbieter geben hier im Detail Auskunft, was wann, wie und wo verarbeitet wird.

Eine weitere, die App Best Effort Sleep, verwendet einen sensorbasierten Inferenzalgorithmus, der Smartphone-Nutzungsmuster mit Umgebungshinweisen wie Licht und Umgebungsgeräuschen kombiniert, um auf die Schlafdauer des Nutzenden zu schließen. Toss 'N' Turn misst Geräusche aus der Umgebung, Licht, Bewegung, Bildschirmstatus, App-Nutzung und Batteriestatus, um Schlafstatus und -qualität zu klassifizieren. Die Apps iSleep und wakeNsmile verwenden ein eingebautes Telefonmikrofon, um Körperbewegungen und Geräusche wie Husten und Schnarchen zu erkennen und um Schlafphasen zu bestimmen. Solche mobilen Apps bewerten zwar typischerweise die Schlafzeit oder Schlafphasen, aber nicht den circadianen Rhythmus. Nur wenige mobile Apps haben den Anspruch, die Schlafzeit und den circadianen Rhythmus ausschließlich auf der Grundlage von Smartphone-Nutzungsmustern zu berechnen. Evaluierende Studien hierzu liegen nicht vor.

Beispiele, die exklusiv auf der Analyse des circadianen Rhythmus basieren:

- My Circadian Clock erfasst individuelle Lebensumstände, wie z. B. Familienkonstellationen, Berufe und mehr, und wird manuell wie ein Tagebuch geführt. Nutzende tragen hier ihre Ernährung, inklusive der Uhrzeiten, Bewegungszyklen und Schlafzyklen ein und bewerten sie.
- Die App Circadian: Your Natural Cycle- Diese App ist als eine Kombination aus Tagebuch, To-Do-Liste und Wecker, bzw. Erinnerungsapp zu betrachten. Interessant sind hierbei die zugrundeliegenden Analysen: In Verbindung mit Smartphone-Daten soll diese App in der Lage sein, circadiane Rhythmen auf „zuverlässige“ Art zu erfassen und abzugleichen. Ähnlich funktionieren die Apps Circadia Track, My Circadian Clock, Circadian Lifestyle Rhythm.

RHYTHM²⁰ ist ein Smartphone-basiertes automatisches Schlafaufzeichnungssystem (Lin et al. 2019a). Es verfolgt Smartphone-Nutzungsmuster, um Schlafzeiten abzuleiten, und analysiert Änderungen in Schlafmustern. Es behauptet eine Genauigkeit von 90,4 % für die Schätzung der Schlafzeit und eine Konsistenz von 87 % für Schwankungen des circadianen Rhythmus (Lin et al. 2019b), was die Zuverlässigkeit der App demonstrieren soll, aber von uns nicht überprüft werden kann. Es zeigt auch Schlafmuster grafisch an und stellt fest, wie sich Schlafmuster zwischen Wochentagen und Wochenenden unterscheiden, um den Benutzern zu helfen, sozialen Jetlag zu verringern.

Toss'n'Turn, wakeNsmile, Best Effort Sleep und iSleep Toss 'N' Turn verwendet Ton, Licht, Bewegung, Bildschirmstatus, App-Nutzung und Batteriestatus, um Schlafzustand und -qualität zu klassifizieren (Min et al. 2014). Best Effort Sleep verwendet einen sensorbasierten Inferenzalgorithmus, der Smartphone-Nutzungsmuster mit Umgebungshinweisen wie Licht und Umgebungsgeräuschen kombiniert, um auf die Schlafdauer eines Benutzers zu schließen. Die Systeme iSleep und

²⁰ <https://www.yuhsuanlinlab.app/rhythm/> (Zugriff 20.3.2023)

wakeNsmile verwenden ein eingebautes Telefonmikrofon, um Körperbewegungen und Geräusche wie Husten und Schnarchen zu erkennen, um Schlafphasen vorherzusagen (Lin et al. 2019b).

Right Light at the Right Time²¹ Eine App, die anders als andere funktioniert soll das richtige Licht zur richtigen Zeit bereitstellen. Nutzende sollen in dieser App To-Do-Listen erstellen. Diese werden mit zusätzlichen Parametern (z. B. eine Deadline, die zu erwartende Arbeitszeit, die verfügbare Arbeitszeit pro Tag) zur Klassifikation ausgestattet, um dann manuell den benötigten Lichtbedarf im Haushalt zu definieren z. B. auf Basis dieser Bewertung zur benötigten Konzentrations- und Arbeitsdauer werden smarte Lichtsysteme im Haushalt gesteuert und Lichtimpulse gesetzt. Nach Eingabe der präferierten Schlafenszeit, werden den Nutzenden Empfehlungen für Schlaf- und Wachrhythmen gegeben. Diese Applikation impliziert, dass der ideale Schlaf-Wachrhythmus durch die Analyse von benötigten Konzentrationsgraden definiert werden kann.

Weitere Applikationen mit Funktionen zur Erhebung circadianer Rhythmen: Electric Sleep²², Pillow, AutoSleep, Solar Clock: Circadian Rhythm²³, Rise²⁴, Sunlight²⁵, Hue Essential App, Sleep Cycle²⁶, iSleep²⁷.

²¹ <https://ieeexplore.ieee.org/document/9258041> (Zugriff 20.3.2023)

²² <https://code.google.com/p/electricsleep/> (Zugriff 20.3.2023)

²³ https://www.aqreadd.com/apps/Solar_Clock_Circadian_Rhythm (Zugriff 20.3.2023)

²⁴ <https://www.risescience.com> (Zugriff 20.3.2023)

²⁵ <https://sunlight.com/app/>, <https://apps.apple.com/us/app/entrain/id844197986> (Zugriff 20.3.2023)

²⁶ sleepcycle.com (Zugriff 20.3.2023)

²⁷ Hao, T., Xing, G., and Zhou, G. iSleep: Unobtrusive sleep quality monitoring using smartphones. In Proceedings of the 11th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, SenSys '13, ACM (New York, NY, USA, 2013), 4:1–4:14.

7 Mögliche zukünftige Entwicklungen

In unserem Projekt CIRCADIA war das Ziel, mittels Horizon Scanning (Cuhls 2019) aufzuspüren, wo Zukunftsthemen rund um die circadianen Rhythmen, neue Entwicklungen in der Gesellschaft oder im Zusammenhang mit Technologie liegen. Entsprechend war die Suche sehr offen. Das methodische Vorgehen im Horizon Scanning erfolgte in zwei Stufen:

1. **Offene Suche:** Hierzu wurde die Literaturrecherche des Projektes genutzt. Für einige der dort diskutierten Themen wurde mit Blick auf die Zukunft weitergesucht. Die Annahme dahinter ist, dass viele der aufgefundenen Themen auch in Zukunft Brisanz aufweisen werden, stark mit der Zukunft des menschlichen Umgangs mit den eigenen circadianen Rhythmen verknüpft sein werden, besondere Technologieansätze beinhalten oder andere gesellschaftliche Entwicklungen aufzeigen, die in Zukunft die menschlichen Rhythmen beeinflussen dürften. Im folgenden Text ist gekennzeichnet, welche Themen zum Stand der Forschung ausführlich dargestellt wurden und welche in einer sehr offenen Suche ebenfalls aufgefunden wurden. Zu letzteren Themen gehören solche, die in anderen Foresight-Projekten, neuen Publikationen oder in Gesprächen bzw. Interviews benannt wurden.

2. **Systematische semi-automatisierte Suche:** Dieses etablierte Horizon-Scanning-Verfahren startete mit einer Schlagwortsammlung, die aus Literaturrecherche, Gesprächen und Erfahrungen der Konsortialpartner generiert wurde. Die darauf basierenden Abfragen zu Schlagwortkombinationen erfolgten in zwei Wellen in der Datenbank Dimensions.ai. Aus den Funden wurden meistzitierte Artikel herausgezogen, analysiert, zusammengefasst und dort, wo notwendig, durch weitere Recherchen in derselben Datenbank, im Internet und in Gesprächen mit Fachleuten (offene Interviews) ergänzt.

Aus den so gefundenen Themen wurden vier Bereiche für die Vertiefung ausgewählt (Deep Dives). Von diesen wurden drei während des Zukunftsworkshops im März 2023 diskutiert und vertieft.

7.1 Themen der offenen Suche

Die folgenden Themen wurden während der Literaturrecherche (siehe Stand der Forschung AP 1) oder in anderen Zusammenhängen aufgefunden und erscheinen im Zusammenhang mit circadianen Rhythmen in der Zukunft wichtig. Wir betrachten hier die mittelfristige Zukunft von 10 Jahren. Bereits erläutert wurden die Rahmenbedingungen zu den folgenden Themen und sollen an dieser Stelle nur noch einmal hypothetisch benannt, aber nicht noch einmal ausgeführt werden. Die über die ersten Funde hinausgehenden Themen wurden in Kapitel 3 teilweise angesprochen und werden hier weiter ausgeführt, wenn sie eine andere Richtung, eine andere Stärke oder neue Aspekte bekommen haben und anzunehmen ist, dass sie in der Zukunft für circadiane Rhythmen, für die Gesellschaft oder Individuen relevant sein werden. Themen zu Ernährung und medikamentösen Behandlungen wurden bewusst ausgeklammert.

Die grundlegenden Themen und Zukunftsannahmen lauten:

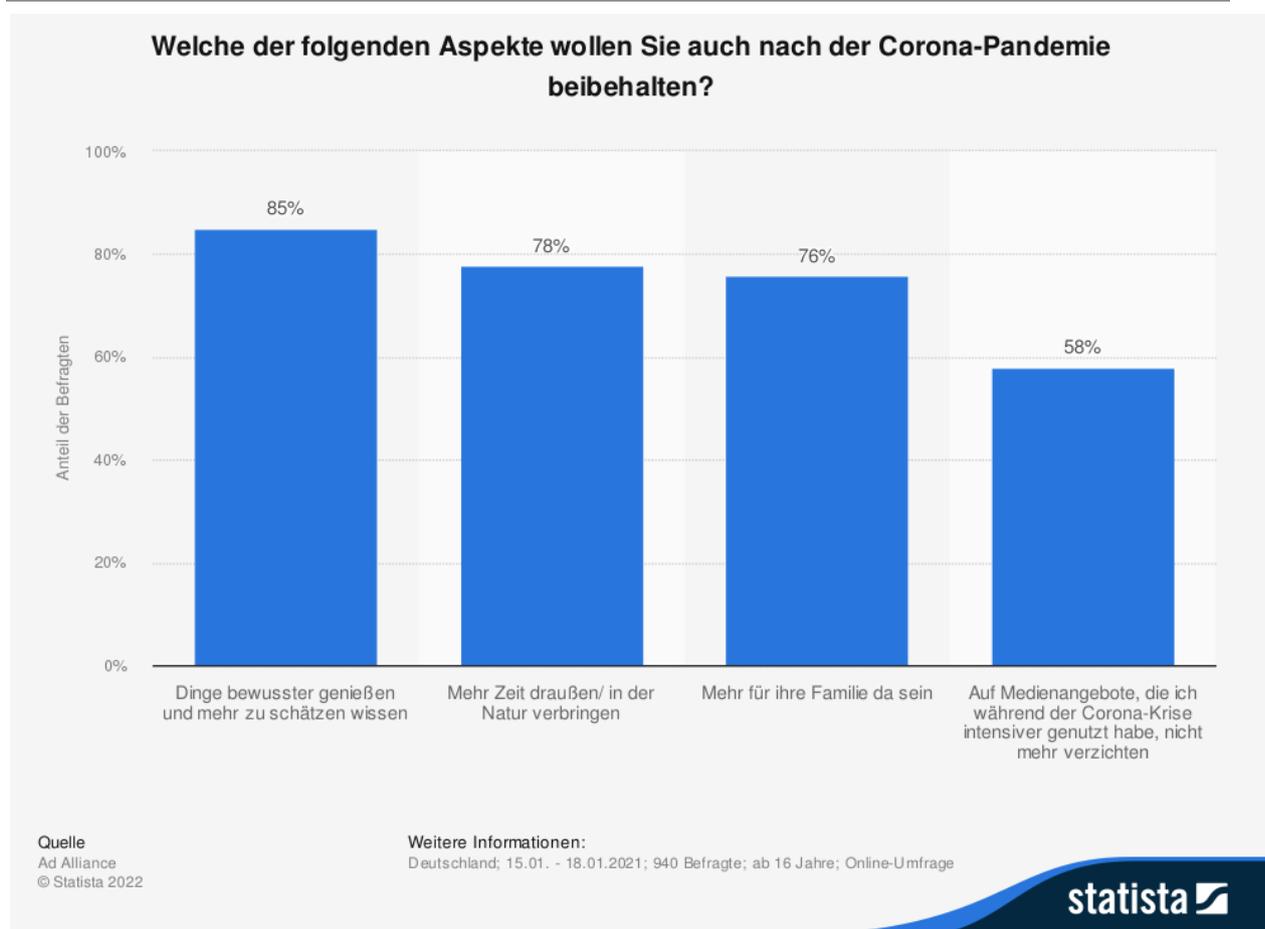
- **Tageslichtexposition:** Menschen halten sich immer weniger draußen im Freien ohne Dach über dem Kopf und direkt dem Licht ausgesetzt auf. Dieser Trend ist ungebrochen und es ist anzunehmen, dass er weiter anhalten wird.
- **Strukturierter Tagesablauf:** Viele Menschen haben keine strukturierten Tagesabläufe mehr (jeder Tag ist anders) oder haben in der Zeit seit 2020 einen starken Wechsel der gewohnten Strukturen erlebt. Die Ergebnisse der repräsentativen Befragung lassen uns annehmen, dass dies in der Zukunft wahrscheinlich nicht strukturierter werden wird, im Gegenteil.

- **Mittagsschlaf:** Mit Blick auf die längerfristige Zukunft und die Entwicklungen zu erhöhten Temperaturen in vielen Teilen der Welt (Stichwort: Klimawandel) ist vorstellbar, dass auch in Deutschland Änderungen hin zu einer Art „Siesta-Kultur“ mit weniger Aktivitäten und Mittagsschlaf zu den wärmsten Zeiten des Tages möglich sind. Noch sind Anzeichen nicht messbar.
- Hobby und **Freizeitgestaltung** finden schon heute nur noch bedingt draußen im Freien statt. Hier gibt es für die Zukunft unterschiedliche Pfade, die angedacht werden können. Ein Pfad sieht Menschen wieder mehr draußen im Freien ihren Hobbies und Sport nachgehen. Dies war während und teilweise nach der Pandemie der Fall. Aber ein anderer Befund ist die immer größer werdende Unsportlichkeit und Unbeweglichkeit der Menschen in einer Gesellschaft, in der sich Menschen immer mehr in Gebäuden aufhalten und dort immer mehr Zeit vor Bildschirmen verbringen. Dies hätte große Auswirkungen auf die circadianen Rhythmen und würde immer weniger Möglichkeiten für ein Entrainment bieten, weil sich Menschen immer weniger dem variierenden Tageslicht aussetzen, das für eine Rhythmisierung erforderlich ist.
- Für **sportliche Aktivitäten** gilt ähnliches. Auch diese finden immer weniger im Freien statt, und es sind immer weniger Aktivitäten, die nur aus Freude an Bewegung und Spiel stattfinden. Immer mehr sportliche Aktivitäten finden in Innenräumen statt (z. B. Fitness-Studios). Sich draußen sportlich zu bewegen gilt als ausgleichender bzw. abmildernder Faktor (Sugiyama et al. 2023). Je mehr die Zusammenhänge von sportlichem Training und circadianen Rhythmen bekannt sind, desto mehr werden Trainingspläne nach den Rhythmen ausgerichtet. In der Regel dient dies dem effektiven (professionellen oder semi-professionellen) Training, nur in wenigen Fällen dem reinen Wohlbefinden. Beides hat großes Potenzial.
- Die **Nutzung von Bildschirmmedien** nimmt weiter zu; dies ist in der repräsentativen Befragung bestätigt worden. Die Nutzung von Medien verändert sich zwar mit den technischen Möglichkeiten, wird aber auch in einigen Bereichen zum Zwang (z. B. in den meisten Berufen, beim Online-Banking, Einkaufen usw.), dem sich niemand entziehen kann. Entsprechend ist eine Abnahme der Nutzung nicht zu erwarten, sondern eine größere Nutzung oder paralleler Einsatz unterschiedlicher Medien.
- **Städtebau und Architektur** berücksichtigen zwar in einigen Fällen, aber immer noch nicht ausreichend, den Lichteinfall in Gebäude. Derzeit stehen Wohnungsmangel und möglichst schneller Neubau sowie Nachverdichtungen in Städten auf der Agenda. Diese sind häufig stark an Kosten orientiert, weniger an Mensch-zentrierten Ansätzen. Daher wird eine der Zukunftsaufgaben sein, Gebäude bereits so zu bauen, dass ausreichend Licht, möglichst in Tageslichtqualität, in die Innenräume gelangt.
- **Lichtverschmutzung** in der Nacht nimmt weiter zu. Wirklich dunkle Räume auf der Erde und auch dunkle Innenräume werden immer seltener. Auch die Innenraumverdunklung wird häufig nicht beachtet. Ohne Umdenken kann Lichtverschmutzung zu einem großen Problem werden – insbesondere in Städten.
- **Lärm** – auch in der Nacht – nimmt zu. Menschen werden durch Lärm vom Schlafen abgehalten, außerdem gilt Lärm als Stressfaktor, der Herz-Kreislauf-Probleme auslösen kann, warnt zum Beispiel das Umweltbundesamt²⁸. Aufgrund der steigenden Temperaturen insbesondere in Städten und der längeren Hitzeperioden schlafen Menschen häufig mit offenem Fenster, was nicht nur den störenden Lichteinfall, sondern auch den Einfall von Lärm begünstigt. Nur wenigen ist bisher bekannt, wie gravierend die Lärmproblematik ist.

²⁸ <https://www.umweltbundesamt.de/themen/laerm/laermwirkungen/stressreaktionen-herz-kreislauf-erkrankungen#auswirkungen-des-larms-auf-die-gesundheit> (Zugriff 20.3.2024)

Eine weitere Aufgabe des Projektes CIRCADIA ist die Untersuchung von Veränderungen seit Beginn der Pandemie im Jahr 2020 und die Frage, ob diese auch in Zukunft Bestand haben oder sich weiter verändern könnten. Werden Menschen danach gefragt, dann wollen sie auch in Zukunft einige der in der Pandemiezeit entstandenen Veränderungen beibehalten (Abbildung 9). In den folgenden Abschnitten finden sich einige Beispiele für wahrscheinliche Veränderungen.

Abbildung 9: Was Menschen beibehalten möchten



Quelle: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1237712/umfrage/vorstellbare-lebensweisen-nach-der-corona-pandemie/>

Die folgenden Themen wurden in der offenen Suche aufgefunden. Die Überschrift benennt nur das Themengebiet, die herausgearbeitete Annahme wird als "These" fett gedruckt formuliert. Es bedeutet nicht, dass diese bereits komplett belegbar ist, sondern sie ist eine aus den bisherigen Funden abgeleitete Annahme, die zu neuen Forschungsfragen im Sinne der BMBF-Insight-Projekte führen kann.

7.1.1 **Arbeits- und Schulzeiten und Arbeitsbedingungen**

Dieses Thema ist in Kapitel 3 und 4 bereits aufgegriffen worden, hat sich aber während und nach der COVID-19-Pandemie verändert und besondere Aufmerksamkeit erfahren.

Arbeits- und Schulzeiten werden unregelmäßiger, verlagern sich häufig in die Nachtstunden (z. B. das Lernen) und sind sehr oft online oder mit häufigen Bildschirmzeiten verbunden. Dies kann ähnliche negative Effekte haben, wie sie bei Schichtarbeit bereits beobachtet wurden.

In diesem Thema steckt sehr viel Dynamik – Arbeitszeiten sowie Homeoffice und Bürozeitenwechsel werden neu verhandelt und erscheinen für viele Arbeitende immer unstrukturierter. Selbstorganisiertes Arbeiten nimmt zu, aber gleichsam auch das Arbeiten rund um die Uhr und eine permanente Erreichbarkeit – auch spätabends oder sogar nachts und an Urlaubstagen.

Die noch vor der COVID-19-Pandemie geltenden Arbeitszeiten wurden während der Lockdowns unterbrochen, und auch die Schulzeiten wurden im Homeschooling teilweise auf andere, manchmal sogar von den Lernenden selbstbestimmte Zeiten verlegt. Dies hatte neue Tagesstrukturen für viele Beteiligte zur Folge, die zum Teil beibehalten, zum Teil zurückgeändert oder noch einmal völlig neugestaltet wurden. Insbesondere Homeoffice, das während der Lockdowns für viele angeordnet wurde, ist in einigen Sektoren beibehalten worden. Es ist aber ungeklärt, wie sich diese Situation weiter entwickeln wird und ob die Freiheit der eigenen Zeiteinteilung in Zukunft positiv auf die täglichen Rhythmen und Alltagsstrukturen der Menschen wirken oder ob sie Menschen nicht noch mehr unter Zeitdruck und damit Stress setzen werden. Hinzu kommt, dass Menschen soziale Kontakte benötigen – dies ist einer der Gründe, warum 2023 nach dem Wegfall aller Pandemie-Beschränkungen auch flexibles Arbeiten/Homeoffice von Unternehmen neu geregelt wird.

Schüler:innen und Studierende haben ebenfalls eine Aufweichung der festen Stundenplanstrukturen erlebt. Einige empfanden es in der Pandemie als sehr positiv, ihre Lernzeiten selbst bestimmen zu können, andere kamen mit der Freiheit nicht gut zurecht. Mit der Rückkehr zum klassischen Schulunterricht und zu Präsenzveranstaltungen an der Universität/Hochschule ist das Thema jedoch nicht erledigt, sondern immer häufiger wechseln sich seitdem Präsenz- und virtuelle Phasen ab. Dies stellt alle Lernenden vor große Herausforderungen, insbesondere der Ortswechsel zwischen den Veranstaltungen ist schwierig, weil die Zeit für den Ortswechsel häufig (zu) knapp bemessen ist oder keine Mittags- oder sonstigen Pausen mehr möglich sind.

Daher stellen wir hier die Annahme auf, dass sich eine **"neue Art der Schichtarbeit oder Wechselarbeit" im Sinne von Wechselschichten ergeben hat und noch weiter ergeben wird**, die Strukturen verändert und damit die circadianen Rhythmen von Lernenden und Lehrenden massiv stört und in Zukunft auch stören wird. Da auch die Anzahl der Menschen zunimmt²⁹, die beruflich in wechselnden Schichten arbeiten (von Pflegeberufen über die Polizei bis zur Produktion), nimmt die Anzahl der Betroffenen nicht ab, auch wenn die offiziell erfassten Schichtarbeitendenzahlen leicht rückläufig sind³⁰.

7.1.2 Schlaf: Änderungen in Quantität und Qualität

Schlafenszeiten und Schlafbedingungen ändern sich und dadurch auch Quantität und Qualität des Schlafes. Immer mehr Menschen schlafen zu wenig.

Der circadiane Rhythmus wird mit dem Hell-Dunkel-Wechsel aus dem geophysikalischen Tag-Nacht-Rhythmus synchronisiert und soll beim Menschen in der Dunkelphase ein Optimum an Schlaf und Erholung und in der Hellphase ein Optimum an Leistung ermöglichen. Die Verwendung von Technologien und assoziierte Verhaltensweisen können dazu führen, dass Menschen zu wenig nach draußen gehen und somit unzureichend dem Zeitgeber Tageslicht ausgesetzt sind. Dies führt dazu, dass die innere Uhr nicht mit dem 24-Studentag synchron läuft, was für die meisten Menschen bedeutet, dass sie in ihren Schlafzeiten später werden. Dies wiederum kollidiert oftmals mit dem Gebrauch eines Weckers am Morgen, mit dem Ergebnis eines verkürzten Nachtschlafs. Hinzukommt

²⁹ https://www.destatis.de/Europa/DE/Thema/Bevoelkerung-Arbeit-Soziales/Arbeitsmarkt/Qualitaet-der-Arbeit/_dimension-3/05_abend-nachtarbeit.html (Zugriff 9.3.2023)

³⁰ <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/360921/umfrage/anteil-der-erwerbstaetigen-in-deutschland-die-schichtarbeit-leisten/> (Zugriff 9.3.2023)

eine mögliche Verstärkung der Spätverschiebung durch die Exposition gegenüber künstlicher Beleuchtung am Abend und in der Nacht. Bedingende Faktoren, die darauf Einfluss haben können, dass Menschen zu wenig Tageslicht bekommen und zu viel künstliche Beleuchtung, sind in diesem Bericht dargelegt (z. B. Arbeitszeiten, Schulzeiten, Schichtarbeit, Lichtverschmutzung, und der persönliche Lebenswandel). Viele der genannten Faktoren nehmen zu, insbesondere Lichtverschmutzung, Lärm und andere äußere Störungen werden immer häufiger.

Wenn Schlafen und Wachsein nach dem individuellen Schlaf-Wach-Rhythmus nicht zu den vom Umfeld akzeptierten Zeiten und nicht passend zum Hell-Dunkel-Wechsel und dem Rhythmus der Umgebung stattfindet, treten Probleme auf (Lu et al. 2006). Neben dem allgemeinen Konfliktpotential können bei den Betroffenen gesundheitliche Störungen entstehen, wenn die zum individuellen Schlaf-Wach-Rhythmus passenden Zeiten für das Einschlafen und Aufwachen aufgrund von Anforderungen aus Schule, Beruf, Familie und Freundeskreis über längere Zeit hinweg nicht eingehalten werden. Typische Folgen sind insomnische und hypersomnische Beschwerden. Bei dauerhaft gestörtem Schlaf können u.a. chronische Krankheiten, Stoffwechselstörungen, Störungen des Immunsystems, Demenzen oder Konzentrationsprobleme die Folgen sein.

Besonders in Zukunft kann die Zunahme neuer Alltagspraktiken mit immer mehr Technik zu neuen Phänomenen bezüglich des Schlafs, zu neuen Störungen und ggf. auch zu immer weniger Schlaf führen (Kaur et al. 2021). Die durchschnittliche Schlafdauer hat in den letzten Jahren bereits abgenommen (s.o., auch Walker 2018)³¹, wurde in den COVID-19Lockdown-Zeiten stark beeinflusst (siehe unsere Befragung oder Blume et al. 2020) und es ist schwer abzuschätzen, ob sie noch weiter eingeschränkt werden kann, ohne noch größere Schäden zu verursachen.

7.1.3 Kaffee, Tee und andere Wachmacher

Kaffee- und Teekonsum werden in Zukunft wahrscheinlich nicht abnehmen. Wenn nicht besser darauf geachtet wird, wann am Tag Kaffee oder Tee konsumiert werden, ist eine Verschlechterung des Schlafes in Menge und Qualität möglich.

Koffein als Wachmacher ist auch im semi-automatisierten Scanning aufgefunden worden (siehe unten). Die Forschung hat gezeigt, dass Koffein einen großen Einfluss auf die Modulation der biologischen Uhr hat (Reichert et al. 2021; Reichert et al. 2022; Weibel et al. 2020, 2021). Kaffee und Tee werden in westlichen Ländern in großen Mengen getrunken, Tendenz steigend (Aepli et al. 2015). Häufig wird insbesondere der Tee hier ausgeblendet und viele denken, grüner, weißer oder schwarzer Tee hätten nicht dieselbe starke Wirkung wie Kaffee. Es konnte jedoch nachgewiesen werden, dass Koffein und Tein Wachheit fördern und damit den Schlaf nach hinten verschieben (Einschlafprobleme, Schlafdruck wird erst später aufgebaut), was in den vielen Fällen fatal ist, wenn Personen früh am Morgen aufstehen müssen. Der circadiane Rhythmus dieser Menschen kann ggf. auch verschoben bzw. gestört und auch die Schlafqualität kann beeinträchtigt werden (Weibel et al. 2020). Der Tiefschlaf kann ebenfalls betroffen sein (Aepli et al. 2015).

Während Koffein bei Erwachsenen zu einer verminderten Schlafqualität führt, gibt es kaum Studien, die untersuchen, wie sich der Koffeinkonsum auf den Schlaf von Kindern und Jugendlichen auswirkt. Aepli et al. (2015) untersuchten die Auswirkungen von regelmäßigem Koffeinkonsum auf das Schlafverhalten und das Schlaf-Elektroenzephalogramm (EEG) bei Kindern und Jugendlichen (10-16 Jahre). Während bei den Koffeinkonsumenten im Vergleich zur Kontrollgruppe spätere Schlafenszeiten und eine kürzere Verweildauer im Bett festgestellt wurden, war die morgendliche Müdigkeit unbeeinflusst. Darüber hinaus wiesen Menschen, die Koffein konsumieren, zu Beginn der Nacht

³¹ <https://www.snoozeproject.de/weltstatistiktag-so-schlaeft-deutschland/> (Zugriff 9.3.2023)

eine geringere EEG-Slow-Wave-Aktivität auf als die Kontrollgruppe, was auf eine veränderte Schlafqualität hindeutet. Reichert et al. (2022) weisen darauf hin, dass Jugendliche häufig unter zu kurzem und unregelmäßigem Schlaf leiden. Um der daraus resultierenden Tagesmüdigkeit entgegenzuwirken, konsumieren sie häufig Koffein. Der Koffeinkonsum kann jedoch die Schlafprobleme verstärken, indem er den Schlaf und den circadianen Rhythmus stört. So könnten sich die koffeinbedingten Schlafstörungen mit der Reifung des Schlafbedürfnisses verändern (Souissi et al. 2015).

7.1.4 Immunsystem

Die genauen Zusammenhänge zwischen circadianen Rhythmen und Immunsystem sind noch wenig erforscht. Ein besseres Verständnis könnte in Zukunft zeitlich angepasste Medikamentengaben und Therapien sehr unterschiedlicher Erkrankungen sowie eine bessere Einschätzung der Infektionszeiten bei Infektionserkrankungen ermöglichen.

Bisher ist bekannt, dass es einen großen, wahrscheinlich wechselseitigen Einfluss zwischen Immunsystem und circadianem Rhythmus von Lebewesen geben muss.

Studien haben eine circadiane Regulierung des Immunsystems bei Nagetieren aufgedeckt, doch ist nur wenig über die Rhythmen der Immunfunktionen beim Menschen bekannt und darüber, wie sie durch circadiane Störungen beeinflusst werden. Bekannt ist, dass Jahreszeiten und Tageszeiten bezüglich Immunfunktion relevant sind, die in allen Studien zu Immuno-Prophylaxe oder Krankheitsübertragungen beachtet werden sollten. Wyse et al. (2021) haben mit Hilfe großer Datenmengen der UK Biobank Kohorte untersucht, welche Rolle jahreszeitliche und tageszeitliche Schwankungen bei mehreren Immunparametern (Entzündungsmarker, Anzahl der weißen Blutkörperchen und Antikörpertiter) spielen. Sie haben auch Zusammenhänge mit einer Vielzahl von Umwelt- und Lebensstilfaktoren geprüft.

In einer weiteren Studie wurden die Rhythmen der Zytokinsekretion durch Immunzellen untersucht und ihre Reaktion auf simulierte Nachtschichten getestet (Cuesta et al. 2016). Nobis et al. (2021) illustrieren Prinzipien, die beachtet werden müssen, wenn circadiane Rhythmen in immunologischen Experimenten untersucht werden. Sie zeigen zwei Protokolle dafür auf. Die Einflüsse circadianer Rhythmik auf Immunantworten sind inzwischen gut belegbar (Milling 2020) und können in Zukunft sicherlich besser abgeschätzt werden.

Es gibt zudem Hinweise, dass eine Störung der circadianen Rhythmen beim Menschen negative Auswirkungen auf die Entwicklung und das Fortschreiten chronischer Entzündungskrankheiten haben kann. Gray et al. (2022) untersuchten das derzeitige Verständnis der Wechselwirkungen zwischen innerer Uhr und Immunsystem im Zusammenhang mit diesen Entzündungskrankheiten. Auch scheinen Menschen sehr unterschiedlich auf Infektionen zu reagieren – manche infizieren sich rasch, andere zeigen erst verzögerte Infektionsanzeichen. Verschiedene Aspekte der Immunantwort weisen 24-Stunden-Schwankungen auf, was darauf hindeutet, dass sowohl die Anfälligkeit für Infektionen als auch die Wirksamkeit der Behandlung je nach Tageszeit variieren können (Rahman et al. 2015). Allerdings hängen die Dynamiken bei Infektionen und ihre Ausbreitung in Populationen sowohl von den menschlichen Interaktionsmustern, den Ansteckungsprozessen als auch von der Pathogenese in den Wirten ab (Du et al. 2020).

Gerade in einer Zeit nach einer Pandemie werden Fragen rund um das Immunsystem häufiger aufgegriffen. **Es wird angenommen, dass in Zukunft zeitbasierte, individualisierte Behandlungen möglich sein werden** (Diallo et al. 2020). Dies gilt auch für Krebserkrankungen, siehe zum Beispiel Gabriel et al. 2023), was nicht nur schnellere Heilung ermöglichen könnte, sondern auch weniger teuer wäre, wenn Medikamente zeitlich und in Dosis gezielter gegeben oder andere Ansätze verfolgt werden könnten. Auch ließe sich die Infektionsausbreitung einer zukünftigen Pandemie viel-

leicht besser einschätzen. Es gibt die Vermutung, die Nutzung von Wirtsrhythmen oder die Unterbrechung von Parasitenrhythmen könnten für den klinischen Einsatz genutzt werden. Westwood et al. 2019 schlagen daher interdisziplinäre Zusammenarbeit vor, um dieses aufstrebende Gebiet voranzutreiben.

7.1.5 Long Covid

Long Covid könnte Auswirkungen auf den Schlaf-Wach-Zyklus haben und damit die täglichen Rhythmen der Betroffenen nachhaltig stören. Damit ist zu erwarten, dass viele der im Zusammenhang mit circadianen Rhythmen genannten Folgen auch hier auftreten werden.

Die COVID-19-Erkrankungen stehen im Zusammenhang mit Schlafstörungen, insbesondere auch Long Covid. Dabei ist der Zusammenhang zu circadianen Rhythmen noch nicht geklärt. Es ist unklar, ob das SARS-CoV2-Virus direkt Störungen des Schlafes und der täglichen Rhythmen auslöst, ob es Sekundäreffekte sind oder ob die unterschiedlichen Symptome wie Müdigkeit, Energielosigkeit usw. dazu beitragen, einen Teufelskreis aus gestörten Rhythmen aufzubauen. Hier sind noch viele Studien erforderlich (Frommhold 2022), die jetzt in der Zeit nach der Pandemie folgen können.

7.1.6 Übergewicht

Immer mehr Menschen sind übergewichtig. Werden die persönlichen circadianen Rhythmen ignoriert, ist eine noch größere Zunahme des Problems zu erwarten.

Ein Befund der letzten Jahre ist, dass immer mehr Menschen, besonders in Industrieländern, an Übergewicht leiden. In der COVID-19-Pandemie haben Menschen in Deutschland angeblich durchschnittlich 5 kg zugenommen³², das RKI ist hier vorsichtiger (Schienkiewitz et al. 2022). Dies liegt sicherlich am Bewegungsmangel und an ungünstiger Ernährung. Übergewicht kann aber auch auf eine Störung der circadianen Rhythmen oder mangelnden Schlaf zurückzuführen sein (Roenneberg et al. 2012). Der Energiestoffwechsel wird durch die circadiane Rhythmik gesteuert, so dass Zusammenhänge hier offensichtlich sind (Brouwer et al. 2020; Martorina et al. 2019) und insbesondere für den Bereich Schichtarbeit belegt wurden. Auch eine Verfettung der Leber steht im Zusammenhang mit dem circadianen Rhythmus (Bernsmeier et al. 2015). Wie genau die Mechanismen aussehen, die dahinterstehen, ist nur teilweise geklärt.

7.1.7 Schmerz

Schmerzhafte therapeutische Behandlungen könnten in Zukunft an circadiane Rhythmen angepasst werden. Schmerztherapien nutzen Wissen über circadiane Rhythmen für schonende Behandlungen (z. B. weniger Wirkstoffe notwendig).

Schmerzen, insbesondere chronische Schmerzen, sind in der Bevölkerung weit verbreitet (Mansfield et al. 2016). Für Schmerzen gibt es unterschiedliche, oft multi-kausale, Ursachen. Der Zusammenhang zwischen Schmerzempfinden und Tageszeit ist bekannt (Bumgarner et al. 2021; Carvalho et

³² Hier gibt es sehr unterschiedliche Angaben, z. B. <https://www.ukm.de/aktuelles/ueber-gewichtszunahme-in-der-pandemie-und-abnehmstrategien-die-im-kopf-beginnen>, oder unterschiedliche Interpretationen derselben Studie: <https://www.ekfs.de/aktuelles/presse/umfrage-35-prozent-haben-seit-beginn-der-corona-pandemie-zugenommen>, eine Korrektur unter: <https://idw-online.de/de/news773534>; im Spiegel sogar besonders reißerisch interpretiert: <https://www.ekfs.de/aktuelles/presse/umfrage-35-prozent-haben-seit-beginn-der-corona-pandemie-zugenommen>, wobei 15% der Befragten in der Pandemie abgenommen haben. Von einer Gewichtszunahme berichteten laut Studie vor allem Menschen mit einem höheren Ausgangsgewicht, mit weniger Bewegung als vor der Pandemie sowie diejenigen, die sich durch die Pandemie seelisch belastet gefühlt haben. Auch Kinder sollen zugenommen haben, <https://adipositas-gesellschaft.de/forsachfrage-zeigt-folgen-der-corona-krise-fuer-kinder-gewichtszunahme-weniger-bewegung-mehr-suesswaren-jedes-sechste-kind-ist-dicker-geworden/> (Zugriff alle 9.3.2023).

al. 2019; Knezevic et al. 2023). Wer allerdings wann am schmerzempfindlichsten ist, unterscheidet sich individuell und ist vom endogenen circadianen System abhängig, weniger direkt vom Schlaf (Daguet et al. 2020). Im Durchschnitt sind Menschen morgens schmerzempfindlicher als abends. Dies kann in Zukunft praktische Konsequenzen, z. B. für chirurgische Operationen, Zahnbehandlungen und vieles mehr haben, doch dafür müssen die Zusammenhänge zwischen Rhythmus und Auftreten des Schmerzes besser verstanden werden.

In Zukunft könnte es daher eine bessere circadiane Kontrolle des Schmerzes (Segal et al. 2018) und effektivere Behandlungen für Menschen mit chronischen Schmerzen geben, wenn das Verständnis vorhanden ist, oder auch Präventionsprogramme (siehe auch Mun et al. 2022). Behandlungen könnten besser abgestimmt und auch bisher nicht verstandene Schmerzsymptome ernst genommen werden. Allerdings sind die vorliegenden Erkenntnisse noch nicht ausreichend verbreitet bzw. vertieft, um z. B. Arzttermine besser auf individuelles Schmerzempfinden (zumindest für besonders schmerz sensible Patientengruppen) abzustimmen. Eine weitere Möglichkeit sehen Mun et al. (2022) darin, mit Interventionen in circadianen Rhythmen chronische Schmerzen zu durchbrechen. Kattermann et al. haben 2012 den Zusammenhang von Fibromyalgie (einer chronischen Schmerzkrankung) und dem Chronotypen thematisiert. Wir sehen seit Jahren einen ungebrochenen Anstieg an Schmerzpatienten in deutschen Arztpraxen³³ – aus sehr unterschiedlichen Gründen – und wir sehen einen Anstieg an Menschen mit Fibromyalgie, ein Syndrom, das immer noch nicht als wirkliche Erkrankung anerkannt ist und für das es noch keine ausreichende Therapiemöglichkeit gibt. Es wird angenommen, dass die Anzahl der Menschen mit Schmerzkrankungen in Zukunft weiter ansteigen wird.³⁴

7.1.8 Stoffwechseleränderungen

Es ist zu erwarten, dass mit einer weiteren Derhythmisierung der circadianen Rhythmen in Zukunft mehr Menschen an Stoffwechseleränderungen und entsprechenden Symptomen leiden könnten.

Die Störung circadianer Rhythmen kann zu Stoffwechseleränderungen und bis zur völligen Entkopplung der unterschiedlichen Stoffwechselphasen kommen. Dies geht mit gesundheitlichen Störungen und schweren Einschränkungen einher.

7.1.9 Wahrnehmungs- und Aufmerksamkeitsstörungen

Wahrnehmungs- und Aufmerksamkeitsstörungen (auch ADS/ADHS) nehmen zu. Es wird vermutet, dass auch circadiane Rhythmen und zeitliche Störungen dabei eine Rolle spielen.

Es gibt Annahmen, dass 7 % aller Kinder und Jugendlichen sowie etwa 5 % der Erwachsenen von ADS bzw. ADHS betroffen sind (Willcutt 2012). Die Aufmerksamkeitsstörungen werden zudem häufiger diagnostiziert. Diese Zunahme von Wahrnehmungs- und Aufmerksamkeitsstörungen (Überblick bei Coogan et al. 2017) ist nicht nur auf bessere Diagnostik zurückzuführen, sondern auch auf einen offeneren Umgang mit diesen Störungen innerhalb der Gesellschaft. Wie weit Wahrnehmungs- und Aufmerksamkeitsstörungen auch auf circadiane Rhythmen und zeitliche Störungen zurückzuführen sind, ist nicht abschließend geklärt, wird aber stark vermutet (Bijlenga et al. 2022), weil der Dopamintransport in den vorderen Stirnlappen circadianen Einflüssen unterliegt. Außerdem haben Kinder mit ADS/ADHS häufiger eine gestörte Zeitwahrnehmung (Noreika et al. 2013; Yang et al. 2007), weshalb sie von ihrer Umwelt häufig als Trödelnde und Zuspätkommende wahrgenommen werden. Viele Menschen mit ADS/ADHS und Personen mit einer autistischen Störung

³³ <https://www.anaesthesisten-im-netz.de/aktuelles/artikel/zahl-der-schmerzpatienten-nimmt-zu/> (Zugriff 9.3.2023)

³⁴ <https://www.paracelsus-kliniken.de/pandemie-laesst-zahl-der-schmerzpatienten-steigen/> (Zugriff 9.3.2023)

(autism spectrum disorder, ASD) haben Schlafprobleme (Richdale et al. 2009), und Erwachsene mit ADHS berichten häufig über erhöhte Lichtempfindlichkeit (Kooij et al. 2014).

Eine Diagnose von ADS bzw. ADHS ist nicht einfach – und erst in den letzten Jahren ist man auf einen Zusammenhang mit der circadianen Rhythmik aufmerksam geworden (Coogan et al. 2017), insbesondere aufgrund von circadianen Auffälligkeiten, die auf einen Zusammenhang mit dem Dopamin-Level hinweisen (Huang et al. 2015). ADHS hat umgekehrt einen Einfluss auf die circadiane Rhythmik und wird stärker mit späteren Chronotypen assoziiert (Coogan et al. 2017; Lindita Imeraja et al.; McGowan et al. 2016). Coogan und McGowan geben in ihrem zusammenfassenden Paper von 2017 einen Überblick über die Kenntnisse. Auch wenn Details noch nicht ausreichend erforscht sind, so findet sich in der circadianen Rhythmik ein Ansatzpunkt für zukünftige Interventionen, um entweder den störenden Effekten von ADHS zu begegnen oder zumindest zu verhindern, dass die Veranlagung zu ADHS sich negativ auf den Schlaf der betroffenen Menschen auswirkt.

7.1.10 Virtual oder Augmented Reality

Immer mehr Menschen verbringen ihre Zeit in virtuellen Welten.

Viele Menschen tauchen in virtuelle Welten ab, um die physische Welt zu vergessen oder um in Spielen zu entspannen. Dies kann bedeuten, dass sie sich in Spielen verlieren, Virtual Reality oder Augmented Reality Technologien (z. B. VR/ AR Brillen) anwenden³⁵ oder auch sehr lange ohne Zeitempfinden und damit ohne Rücksicht auf die persönlichen Rhythmen in der virtuellen Welt verbleiben. Es kann sich dabei um Spiele handeln, aber auch andere Unterhaltung findet mehr und mehr in virtuellen Welten statt. Das "Metaverse"³⁶ wird noch mehr Menschen in seinen Bann ziehen – so die Annahme. In der Regel findet dieses Abtauchen drinnen statt, d. h. unter künstlichem Licht und vermehrt auch nachts.

7.1.11 Optimierungstechniken

Immer mehr Gadgets, Devices, Tracker und andere technische Möglichkeiten zur Messung am und zur Optimierung des Menschen werden entwickelt und auch genutzt.

Hiermit sind Techniken zur menschlichen Optimierung gemeint. Dazu gehören auch Schlaf-Tracker, die messen sollen, wie lange Menschen schlafen und anhand von diversen Parametern die Schlafqualität bestimmen sollen. Aber auch Techniken zur Optimierung der menschlichen Leistungsfähigkeit fallen unter diese Rubrik. Vielfach ist nicht klar, was genau die Geräte wirklich messen und damit auch nicht, was sie beeinflussen. Der Grund dafür ist, dass das Gros der Anbieter keine Validierungsstudien zu den angebotenen Techniken durchführen. Ein Überblick über die neuen Entwicklungen findet sich in dem Kapitel 6 zur Technologie.

³⁵ Beispielsweise: <https://webcare.plus/virtuelle-realtaeten-werden-zunehmend-realtaet/> (Zugriff 3.5.2023); <https://www.zdf.de/dokumentation/terra-x/plus-schule-abtauchen-in-die-virtuelle-realtaet-100.html> (Zugriff 3.5.2023); <https://www.rnd.de/digital/metaverse-der-aufbruch-in-eine-virtuelle-welt-in-3d-AQQAASGBCDZF2DI2YV27AU6I.html> (Zugriff 3.5.2023); <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1292266/umfrage/nutzung-und-nutzungsinteresse-metaversum-deutschland/> (Zugriff 3.5.2023); neben euphorischen Behauptungen gibt es aber auch kritische Stimmen: <https://www.nzz.ch/meinung/auf-ein-metaversum-fuer-die-arbeit-hat-niemand-gewartet-ld.1732911> (Zugriff 3.5.2023).

³⁶ <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1292266/umfrage/nutzung-und-nutzungsinteresse-metaversum-deutschland/> (Zugriff 3.5.2023)

7.1.12 Kurzsichtigkeit (Myopie)

Die Zahl von Kurzsichtigkeit betroffener Personen scheint global zuzunehmen. Um 2050 könnte bereits etwa die Hälfte der Weltbevölkerung kurzsichtig sein. Kurzsichtigkeitsprävention kann bereits bei Kindern ansetzen und auch circadiane Rhythmen einbeziehen.

Myopie, auch bekannt als Kurzsichtigkeit, ist ein Zustand, bei dem entfernte Objekte verschwommen erscheinen, während nahe Objekte klar sind. Sie wird durch einen Brechungsfehler im Auge verursacht, bei dem die Lichtstrahlen nicht richtig auf der Netzhaut gebündelt werden. Dies kann auf eine zu lange Form des Auges oder eine zu starke Krümmung der Hornhaut zurückzuführen sein. Kurzsichtigkeit kann in bestimmten Fällen zur Erblindung führen. Es gibt Hinweise darauf, dass die Kurzsichtigkeit mit der Zeit zusammenhängt, die ein Mensch in geschlossenen Räumen verbringt, und dass der Aufenthalt in natürlichem Licht dazu beitragen kann, die Entwicklung von Kurzsichtigkeit zu verhindern (Knoop et al. 2020). Um dies zu bestätigen, sind jedoch weitere Untersuchungen erforderlich (Muralidharan et al. 2021).

Mehrere Studien deuten darauf hin, dass der derzeitige starke Anstieg der Zahl an Kurzsichtigen, der zuerst in Ostasien auffiel (China, Korea), inzwischen aber auch in Europa beobachtet (Schweiz oder Großbritannien³⁷) wurde, nicht nur damit zusammenhängt, dass sich die Menschen insgesamt weniger im Freien aufhalten und das „in die Ferne sehen“ trainieren (Akkommodation), sondern dass auch andere Gründe beteiligt sind (vgl. die in Spitzer (2019) genannten Studien). Eine häufig genannte Theorie ist, dass das Längenwachstum des Augapfels im Teenageralter zu stark ausfällt und es deshalb zu einer Fehlanpassung des Auges kommt. Als Grund wird genannt, dass junge Menschen sehr viel Zeit vor kleinen Bildschirmen, insbesondere Smartphones, verbringen, und dadurch ihre Augen nur an die kurzen Sehweiten anpassen (Spitzer 2019). Die Augen wachsen also länger, als wenn sie auch an das Sehen in die Ferne kalibriert werden würden. Diese Theorie scheint jedoch nicht weit genug zu greifen, denn bereits in früher Kindheit scheint die Ausbildung und Prägung des Auges stark über das Licht stattzufinden. In einigen europäischen Parlamenten wird das Thema Kurzsichtigkeit bereits thematisiert (UK Parliament POST 2020).

7.1.13 Einnahme von Melatonin

Die Einnahme von Melatonin steigt in Deutschland. Die Folgen sind unbekannt.

Inzwischen ist Melatonin (Skeldon et al. 2021) auch in Europa (Deutschland) als Nahrungsergänzungsmittel zugelassen und in Drogerien frei verkäuflich, sei es als Tee, Spray, in Tablettenform oder sogar als Zusatz in Gummibärchen. Dies erweckt den Eindruck, Menschen könnten nach der Einnahme von Melatonin besser schlafen und nehmen das Hormon unkritisch ein, ohne sich über die eigentlichen hormonellen Funktionen zu informieren, die nicht nur mit dem Schlaf zusammenhängen. Einige Mechanismen sind inzwischen bekannt und werden weiter untersucht, aber die Vorgänge bei der Einnahme von Melatonin und die Kommunikation zwischen Darmmikrobiom und Host sind noch nicht gut erforscht (Rong et al. 2021). Schlafstörungen beseitigt Melatonin nicht, und es wird therapeutisch nur kurzzeitig eingesetzt. Langfristig ist unbekannt, was unkritische und hohe Melatonin-Gaben – schon im Kindesalter – bewirken können bzw. für Folgen haben.

³⁷ <https://www.natureworldnews.com/articles/48987/20220120/myopia-epidemic-near-sightedness-observed-adults-late-baby-boomers.htm> (Zugriff 23.3.2023)

7.1.14 Lichtemissionen und Lichtverschmutzung

Lichtemissionen und Lichtverschmutzung nehmen zu.

Immer mehr Lichtquellen erhellen an immer mehr Orten auf der Erde den Himmel³⁸ und immer mehr LEDs erzeugen rund um die Uhr Licht (Cinzano et al. 2001; Falchi et al. 2023). Es gibt immer weniger Möglichkeiten, in völliger Dunkelheit zu schlafen oder sich dem Licht zu entziehen. Lichtverschmutzung wird als Umweltproblem klassifiziert (Kyba et al. 2020; Kyba et al. 2023) und es wird vielfach gefordert, sich des Problems anzunehmen und die Lichtemissionen zu drosseln. Einige argumentieren, dass Menschen sich nachts nicht häufig draußen aufhalten, sondern sich in Häusern befinden, und es daher den Menschen nicht primär beträfe, aber dies ist nicht grundsätzlich der Fall. Insbesondere im Sommer, wenn bei offenen Fenstern geschlafen wird/werden muss (z. B. aufgrund von Hitze), können Lichtquellen außerhalb des Gebäudes den Innenraum erhellen. Andere erforschen die Folgen von Lichtverschmutzung, z. B. die Entstehung von Krebs (Walker et al. 2020). Zu den besonderen Folgen der Lichtverschmutzung gehören humanmedizinisch relevante Wirkungen der Lichtverschmutzung (Kantermann 2018).

7.1.15 Tageslicht in Innenräumen versus Energiesparen

In Zukunft könnte künstliches Tageslicht in Innenräumen eingesetzt werden, so dass es nicht mehr notwendig ist, nach draußen zu gehen. Das hätte den Vorteil, dass dieses Licht besser steuerbar und auf die Individuen anwendbar ist als das Tageslicht draußen.

Seit Beginn der Lockdowns in der COVID-19-Pandemie haben mehr Menschen im Homeoffice (in Innenräumen) gearbeitet und es scheint eine gespaltene Gesellschaft zu geben, in diejenigen, die während der Lockdowns die Zeit genutzt haben, um nach draußen zu gehen (siehe ReZeitKon-Projekt³⁹ und die CIRCADIA-Befragung) und diejenigen, die im Homeoffice waren und keine Zeit hatten, um nach draußen zu gehen. Letztere verbrachten wesentlich mehr Zeit in Innenräumen und auch vor Bildschirmen. Diese Trennung kann auch aus Ergebnissen unserer repräsentativen Befragung abgelesen werden.

In einigen Branchen hat sich der Trend zum Homeoffice fortgesetzt und viele Menschen kehren nicht oder nur widerwillig in ihre Büros zurück. In anderen Branchen wurde die Anzahl der Büros drastisch reduziert, weil Kosten gespart werden können. In jedem Fall verbringen Menschen mehr Zeit in Innenräumen. Hier setzen verschiedene Versuche an, herauszufinden, wieviel Lichtexposition für Individuen notwendig oder auch optimal ist. Wie kann künstliches Tageslicht in Innenräumen so optimiert werden, dass es in Farbe, Qualität, Intensität und Timing den individuellen Ansprüchen gerecht wird und ggf. auch die Aufmerksamkeit bei der Arbeit erhöht (Rolf et al. 2023). So könnte in Zukunft mit variantenreichem Licht in Innenräumen Individuum-spezifisch gearbeitet werden.

Dem steht gegenüber, dass die durch den Krieg in der Ukraine ausgelöste Energiekrise und damit einhergehenden Energiespar-Ansätze Debatten ausgelöst haben, möglichst wenig Licht (=Energie) zu nutzen und damit auch möglichst den höheren Energieverbrauch durch Nutzung von Tageslicht in Innenräumen am Tag zu vermeiden. Auch wenn Licht nur einen Teil des Energieverbrauchs ausmacht, ist es doch der Bereich, bei dem zuerst gespart wird, weil er so offensichtlich ist. Das bedeutet, mehr künstliches Licht und damit ein möglicherweise höherer Energieverbrauch ist gegen ein höheres Wohlbefinden und geringere Störungen der circadianen Rhythmen abzuwägen. Vielleicht sind neue LED-Techniken inklusive der adaptiven Systeme so energiesparend, dass diese Abwägung in Zukunft nicht mehr notwendig sein muss.

³⁸ <https://www.globeatnight.org> (Zugriff 20.3.2023)

³⁹ <https://www.isi.fraunhofer.de/de/competence-center/foresight/projekte/rezeitkon.html> (Zugriff 20.3.2023)

7.1.16 Fensterlosigkeit und "aus dem Fenster schauen"

Fensterlosigkeit nimmt weiter zu, obwohl erwiesen ist, dass "aus dem Fenster schauen" allein durch den Tageslichteinfall zur Stressreduktion und zum Wohlbefinden von Menschen beitragen kann.

Es gibt mehr Räume und Arbeitsplätze, die keine Fenster haben und in die somit kein Tageslicht eindringt. Auch in der Architektur und Städteplanung hat Tageslicht nicht immer Vorrang und in großen Städten ist es nicht selten, dass ein noch höheres Gebäude seinen Schatten wirft, so dass Menschen – selbst wenn Fenster vorhanden sind – nur bedingt Zugang zu Tageslicht haben. Damit entfernen sich Menschen nicht nur immer weiter von der Natur (Young et al. 1979), sondern haben auch keinen Zugang zu ausgleichenden Farben, z. B. Naturfarben wie Grüntönen.

Manche Menschen versuchen dies mit Dekoration auszugleichen (Heerwagen et al. 1986). Der Blick aus dem Fenster kann hoch gewertet werden, wenn es um Produktivität bei der Arbeit und Wohlbefinden der Menschen geht (Butler et al. 1989; Matusiak et al. 2016). Das Vorhandensein von Fenstern kann vermeiden, dass künstliches Licht notwendig ist, was nicht nur Energie spart, sondern auch den circadianen Rhythmen dient.

7.1.17 Zeit vor dem Schlafengehen vor Bildschirmen

Menschen verbringen mehr Zeit vor Bildschirmen, auch direkt vor dem Schlafengehen oder nachts.

Blaues Licht am Abend, das von Bildschirmen emittiert wird, kann bei bestimmten Menschen den Schlaf beeinflussen, zu Einschlafstörungen beitragen, die Schlafqualität mindern, die Melatonin-Freisetzung beeinflussen und Wachheit verstärken (siehe z. B. Schöllhorn et al. 2023). Wie mehrfach erwähnt, verbringen immer mehr Menschen viel Zeit vor Bildschirmen (Exelmans et al. 2015; Exelmans et al. 2019), einige sogar vorwiegend nachts am Computer mit Menschen in anderen Zeitzonen. Ansätze, diese Phänomene näher zu beleuchten, existieren in vielen Ländern (Bartel et al. 2015; Bartel et al. 2019; Munezawa et al. 2011; Tang et al. 2021).

Es gibt berechtigte Annahmen, dass hier Abhängigkeiten entstehen und "Bildschirmsucht" wird immer häufiger als Krankheitsbild und mit allen Folgen untersucht. Auch Zusammenhänge zwischen Smartphone-Sucht, Schlafqualität und akademischer Leistung sind beispielsweise ein Thema (Rathakrishnan et al. 2021). Im Alltag spielen Bildschirme bis kurz vor dem Schlafengehen eine große und eher noch zunehmende Rolle – siehe CIRCADIA-Befragung. Dies hat bereits jetzt und wird auch in Zukunft vermutlich weitere Auswirkungen haben. Primärauswirkungen werden den Schlaf betreffen, aber die Folgen durch zu wenig, unterbrochenen oder qualitativ schlechten Schlaf werden viele Menschen mit zunehmendem Alter spüren. Die Anzahl derjenigen, die starke Störungen entwickeln und krankheitsbedingt ausfallen, wird wahrscheinlich zunehmen.

7.1.18 Blaulichtfilter in Brillen

Hilfsmittel mit Lichtfiltern (z. B. Blaulichtfilter-Brillen) werden immer häufiger angeboten und häufig unkritisch genutzt – die Folgen sind unklar.

2022 waren Blaulichtfilter in gewöhnlichen Brillen fast der Standard. Optiker:innen bieten diese Filter (siehe auch Kapitel 6) an und Kund:innen wissen in der Regel nicht, dass Blaulichtfilter nicht den ganzen Tag getragen werden sollten. Das Argument der Optiker:innen, diese Brillen anzubieten, ist häufig, dass Bildschirmarbeit die Menschen zu stark dem Blaulicht aussetzt und Kopfschmerzen bzw. Migräne auslösen kann. Allerdings ist bekannt, dass Menschen sowieso zu wenig nach draußen gehen, d. h. am Tag (morgens) eher zu wenig Blaulicht bekommen, dafür abends vor dem Schlafengehen zu viel. Eine Brille, die den ganzen Tag Blaulicht filtert, ist folglich kontraindiziert und sollte

nur später am Tag – entsprechend den individuellen Zeiten und Arbeiten bzw. Verhaltensweisen – getragen werden. Wie viele Menschen betroffen sind und welche Folgen die durchgehende Nutzung von Blaulichtfilterbrillen hat, ist nicht bekannt.

7.2 Themen aus dem semi-automatisierten Scanning

Die Themen Immunsystem, Koffeinkonsum sowie Schmerz und Fibromyalgie im Besonderen sind bereits bei der offenen Suche thematisiert worden, wurden aber auch bei der semi-automatisierten Suche gefunden. Die entsprechenden Literaturliteraturfunde sind bereits oben eingefügt worden. In der semi-automatisierten Suche wurden besonders Störungen, Erkrankungen und damit Folgen einer Störung der circadianen Rhythmen gefunden. Es gibt aber auch Zusammenhänge zum Sport oder anderen positiv konnotierten Themen sowie die Hoffnung, durch Klärung der Zusammenhänge von Erkrankungen und circadianen Rhythmen zu ihrer Vermeidung oder Heilung beitragen zu können.

7.2.1 Diabetes

Die Anzahl von Menschen mit Diabetes nimmt zu. Diabetes hat sich in Industrieländern zu einer Art Epidemie entwickelt, die in Zukunft große gesellschaftliche Probleme und auch Probleme im Gesundheitssystem bereiten wird.

Die Anzahl an Menschen, die an Diabetes leiden, nimmt weltweit – besonders in den Industrieländern – zu (Cho et al. 2018). Es wird angenommen, dass 2019 etwa 463 Millionen Menschen betroffen waren und diese Zahl auf 578 Millionen im Jahr 2030 und 700 Millionen im Jahr 2045 steigen könnte (Saeedi et al. 2019). Der Zusammenhang zwischen Diabetes und Schlafstörungen ist belegt, aber in welche Richtung er geht, ist unklar. Entsprechend wird angenommen, dass es einen direkten Zusammenhang zwischen der Destrukturierung des Tages, dem Essverhalten der Menschen und damit auch den circadianen Rhythmen gibt, die möglicherweise zu einem Anstieg der Fallzahlen beitragen. Einige Studien stellen diese Zusammenhänge her (Brouwer et al. 2020; Liu et al. 2020a; Martorina et al. 2019; Zhai et al. 2021a, 2021b), wobei insbesondere schlechter und unterbrochener Schlaf als wichtige Ursachen genannt werden (Brouwer et al. 2020). In einer randomisierten und Placebo-kontrollierten Studie wurde herausgefunden, dass drei Monate Melatonin-Behandlung die Insulinsensitivität bei Typ 2-Diabetes reduziert (Lauritzen et al. 2022). Da wir den Aspekt der Ernährung in diesem Projekt ausgeklammert haben, sollte dies in einem Folgeprojekt genauer betrachtet werden.

7.2.2 Migräne

Migräne als „Volkskrankheit“ wird auch in Zukunft viele betreffen. Derzeit ist die Tendenz der Betroffenenzahlen steigend. Erkenntnisse zum Zusammenhang zwischen Migräne und circadianen Rhythmen oder Schlafrhythmen könnten Migräne-Betroffenen helfen. Migräne und andere Arten von Kopfschmerzen (z. B. Clusterkopfschmerz) werden mit circadianen Rhythmen in Verbindung gebracht (Burish et al. 2019). Migräne scheint zeitlich immer ähnlich abzulaufen, auch wenn Ursachen, das Schmerzempfinden und die Symptome individuell verschieden sind (Belin et al. 2023). Daten deuten darauf hin, dass Patient:innen tendenziell in den frühen Morgenstunden schwerere Migräne-Attacken erleben, insbesondere bei Patient:innen mit längerer Krankheitsdauer oder schlechter Schlafqualität (Liu et al. 2020b; Liu et al. 2020a). Dies deutet darauf hin, dass es einen Zusammenhang zwischen Migräne, Schlaf und einer Störung der circadianen Rhythmen gibt (Gori et al. 2015).

Allerdings sind die Informationen über circadiane Schwankungen in der klinischen Forschung von Migräne sehr begrenzt. Park et al. (2018) untersuchten die circadianen Schwankungen bei der klinischen Präsentation von Migräne mithilfe eines Smartphone-Kopfschmerztagebuchs. Jugendliche mit Migräne, die Gymnasien (High-Schools) besuchen, die Empfehlungen für spätere Anfangszeiten

befolgen und sich damit mehr an ihren circadianen Rhythmen ausrichten, geben selbst an, weniger häufig Kopfschmerzen zu haben (Gelfand et al. 2021). Insbesondere späte Chronotypen scheinen häufiger von Migräneattacken betroffen zu sein, was auf eine ungünstige Konstellation der gesellschaftlichen und Arbeitsgewohnheiten hindeutet (Viticchi et al. 2019, S. 1843). Knezevic et al. (2023) sowie Nebojsa et al. (2023) geben einen Überblick über circadiane Schmerzen im Allgemeinen.

7.2.3 Epilepsie

Epilepsie könnte in Zukunft verstärkt auftreten. Bei der Behandlung von Epilepsie könnte es hilfreich sein, den circadianen Rhythmus des Individuums mit in Betracht zu ziehen.

Die Zusammenhänge zwischen Epilepsie und circadianen Rhythmen scheinen in der Vergangenheit unterschätzt worden zu sein (Milikovsky et al. 2017; Mirzoev et al. 2012). Viele physiologische Prozesse wie Schlaf, Hormonausschüttung oder Wärmeregulierung laufen in täglichen Rhythmen ab, die durch das circadiane Zeitsystem gesteuert werden. Einige der pathologischen Prozesse, die sich im Gehirn und im Körper entwickeln, unterliegen einer circadianen Modulation. Die Epilepsie ist eine der Krankheiten, deren Symptome sich häufig zu einer ganz bestimmten Tageszeit verschlimmern. Eine Auswirkung der Epilepsie auf die circadiane Rhythmik ist bekannt (Möller et al. 2019). Gefunden wurden nicht nur tägliche Zusammenhänge, sondern die Anfälle können auch in subjekt-spezifischen mehrtägigen Perioden oszillieren (Chang 2018). Gehirnaufzeichnungen deuten darauf hin, dass das Anfallsrisiko nicht einheitlich ist, sondern in Abhängigkeit von täglichen (circadianen) und mehrtägigen (infradianen) Zyklen systemisch variiert (Gregg et al. 2021). Bekannt ist inzwischen, dass die zentralen circadianen Gene BMAL1 und CLOCK, die für Transkriptionsfaktoren kodieren, nachweislich die Erregbarkeit und die Anfallsschwelle beeinflussen (Khan et al. 2018).

Trotz der Fortschritte bei der Entwicklung von Medikamenten gegen Krampfanfälle tritt bei einem Drittel der Patienten eine arzneimittelresistente Epilepsie (DRE) auf. DRE ist mit einer schlechten Lebensqualität und einem erhöhten Risiko eines plötzlichen, unbemerkten Todes verbunden (Potruch et al. 2020). Eine circadiane Hygiene, die ausreichenden Schlaf und die Vermeidung von innerer Desynchronisation oder Schlafverlust einschließt, kann für Epilepsiepatienten bei der täglichen Bewältigung von Anfällen von Nutzen sein (Smyk et al. 2020). Für die Behandlung von Menschen mit Epilepsie und die Vermeidung von Anfällen könnten daher die genauen Bestimmungen und Nutzung der circadianen Rhythmen einen Beitrag leisten (Milikovsky et al. 2017).

7.2.4 Kardiovaskuläre Erkrankungen und Bluthochdruck

Kardiovaskuläre Erkrankungen sind weiter auf dem Vormarsch und gehören bereits heute zu den häufigsten Todesursachen. Sie sind teilweise auf den Lebensstil zurückzuführen und damit auch auf eine entrhythmierte Lebensweise.

Die molekularen Uhren, die den circadianen Rhythmus steuern, erweisen sich als wichtige Regulatoren von Physiologie und Krankheit (Crnko et al. 2019). Im kardiovaskulären System steuert die circadiane Rhythmik die Herzfrequenz, den Blutdruck, den Herzstoffwechsel, die Kontraktilität und die Blutgerinnung (Lecour et al. 2022). So schwanken die Herzfrequenz und der Blutdruck über einen Zeitraum von 24 Stunden, wobei die Werte morgens höher sind und gegen Abend abnehmen (Rabinovich-Nikitin et al. 2019). Die circadianen Blutdruckzyklen stehen höchstwahrscheinlich im Zusammenhang mit dem regulierenden Einfluss von Melatonin. Wenn jedoch bei Patient:innen mit Bluthochdruck die Melatonin-Freisetzung sinkt, wird keine entsprechende Senkung des Blutdrucks während des Schlafs festgestellt (Budnevsky et al. 2020). In einer Studie wurden auch ein höheres Stressempfinden, belastende Ereignisse und Stress sowie eine geringere Resilienz mit kürzerem Schlaf, schlechterer Schlafqualität und stärkeren Schlaflosigkeitssymptomen in Verbindung gebracht (St-Onge et al. 2020). Was hier Ursache und Wirkung ist, bleibt aber schwierig zu beurteilen.

Die Schlafqualität ist ein wichtiger Aspekt des Schlafs, aber der Zusammenhang mit dem Blutdruck bzw. Bluthochdruck konnte noch nicht mittels Meta-Analyse geklärt werden. Festgestellt wurde auch bei Lo et al. (2018), dass Patient:innen mit Bluthochdruck signifikant schlechtere Werte für die Schlafqualität haben.

Es gibt Hinweise darauf, dass Unterschiede in der Schlafrhythmik, einem Marker für Störungen des Tagesrhythmus, zu Unterschieden beim Bluthochdruck beitragen. Die Datenlage – in der Studie von Rique et al. (2014) – ist jedoch begrenzt. Rique et al. (2014) untersuchten die Assoziationen von Schlafregelmäßigkeit und Chronotyp mit Bluthochdruck bei Menschen afroamerikanischer Ethnizität. Erhöhte Variabilität des Schlafbeginns und extreme Chronotypen wurden in dieser Studie mit Bluthochdruck in Verbindung gebracht. Inzwischen wurde auch festgestellt, dass das Auftreten des plötzlichen Herztods in Zusammenhang mit der Tageszeit steht, d. h. Kammerflimmern tritt am ehesten zwischen 24 und 6 Uhr morgens auf, wobei 18 bis 24 Uhr die nächsthäufigere Zeitspanne ist. Infolgedessen ist man sehr daran interessiert zu verstehen, wie die Herztätigkeit von der circadianen Uhr beeinflusst wird, d. h. von zeitlichen Oszillationen der physiologischen Aktivität mit einer Periode von annähernd 24 Stunden, die mit dem Tag-Nacht-Zyklus synchronisiert sind. Obwohl Studien die genetische Grundlage des circadianen Rhythmus auf intrazellulärer Ebene identifiziert haben, sind die Mechanismen, durch die sie kardiale Pathologien beeinflussen, noch nicht vollständig verstanden. Es gibt Hinweise darauf, dass tageszeitliche Schwankungen in den Leitwertschiffen von Ionenkanalproteinen, die die Erregungsdynamik von Herzzellen steuern, die entscheidende Verbindung darstellen könnten (Seenivasan et al. 2016).

Eine Störung des circadianen Rhythmus verschlechtert das Ergebnis nach einem Herzinfarkt. Außerdem ist eine circadiane Störung ein kausaler Faktor in der Pathogenese von Herzerkrankungen. Diese Entdeckungen haben tiefgreifende Auswirkungen auf die kardiovaskuläre Gesundheit von Schichtarbeitern, Personen mit circadianen und Schlafstörungen oder allen, die den vielfältigen Anforderungen der modernen Gesellschaft rund um die Uhr ausgesetzt sind. Die aktuellen Leitlinien zur Hypertonie geben keine Empfehlungen zur Behandlungsdauer ab, so dass relevante circadiane Rhythmen, die den Blutdruck und die 24-Stunden-Muster sowie die Pharmakokinetik und Pharmakodynamik von Medikamenten regulieren, nicht berücksichtigt werden (Hermida et al. 2021).

Bekannt ist, dass unter Berücksichtigung circadianer Rhythmik die Wirkung der Behandlung verbessert werden kann, z. B. durch die Einnahme von Cholesterinsenkern vor dem Abendessen/Bettgezeit (Smolensky et al. 2021). Daraus eröffnen diese Studien neue Bereiche für die translationale Forschung: (1) circadiane Rhythmen und das kardiale Sarkomer (kleinste Einheit der Muskulatur), was ein neues Licht auf unser Verständnis der Myofilamentstruktur, der Signalübertragung und der Elektrophysiologie wirft; und (2) die Wissensumsetzung, die die Entdeckung von Biomarkern (Chronobiomarker), die zeitliche Abstimmung von Therapien (Chronotherapie) und andere neue vielversprechende Ansätze zur Verbesserung des Managements und der Behandlung von Herz-Kreislauf-Erkrankungen umfasst. Die Berücksichtigung circadianer Rhythmen im klinischen Umfeld kommt den Reparaturmechanismen zugute und bietet den Patienten neue Möglichkeiten (Alibhai et al. 2015; Martino et al. 2021).

7.2.5 Mikrobiom und Darmtätigkeit

Da auch die Darmtätigkeit circadianer Rhythmik unterliegt, kann es dort zu Störungen und krankhaften Auswirkungen kommen, wenn die innere Uhr gestört ist. Hier ist noch einiges unbekannt, aber es wird angenommen, dass auch die Rhythmen der Viren, Bakterien und Pilze im Darm eine Rolle bei der Verdauung des Menschen und seiner Rhythmik spielen. In Zukunft werden wir Menschen das Zusammenwirken vielleicht besser verstehen und bei Störungen Gegenmaßnahmen treffen können.

Neue Erkenntnisse haben gezeigt, dass es eine Wechselwirkung zwischen den circadianen Rhythmen des Wirts und dem Darm-Mikrobiom gibt (Tran et al. 2021). Die Mikrobiota-Darm-Hirn-Achse umfasst einen bi-direktionalen Kommunikationsmodus zwischen den Mikroorganismen, die sich in unserem Darm befinden, und Gehirnfunktion und Verhalten. Die Zusammensetzung der Darm-Mikrobiota unterliegt tageszeitlichen Schwankungen und wird von den circadianen Rhythmen des Wirts, also des Menschen, beeinflusst (Teichman et al. 2020). Die circadiane Taktung wie bei einem Metronom (Frazier et al. 2020) und das Darmmikrobiom spielen eine wesentliche Rolle bei der Aufrechterhaltung der metabolischen Homöostase (Zhao et al. 2022). Eine auf pflanzlichen Lebensmitteln basierende Ernährung, die reich an Nicht-Stärke-Polysacchariden und Polyphenolen ist, sowie eine auf die circadiane Tageszeit beschränkte Nahrungsaufnahme scheinen die mikrobiellen Darmrhythmen positiv zu regulieren und die Chancen für eine bessere metabolische Gesundheit und einen besseren Schlaf zu maximieren (Voigt et al. 2016).

Müdigkeit ist ein belastendes, mehrdimensionales und multifaktorielles Symptom, das mit einer Vielzahl von chronischen Erkrankungen einhergeht und insbesondere bei fast 50 % der Betroffenen mit entzündlichen Darmerkrankungen auftritt. Obwohl es weit verbreitet ist, wird dieses Symptom aufgrund seiner subjektiven Natur von Ärzten oft unterschätzt und unterbehandelt (Nocerino et al. 2020). Übersichtsstudien deuten darauf hin, dass Schlaf und entzündliche Darmerkrankungen offenbar in einer bi-direktionalen Beziehung zueinander stehen, wobei die aktive Erkrankung Schlafstörungen fördert und schlechter Schlaf die anhaltende und sich verschlimmernde Entzündung begünstigt (Qazi et al. 2019). In der geriatrischen Bevölkerung wurde schlechter Schlaf mit einer erhöhten Morbidität und Mortalität in Verbindung gebracht. Die Ursachen für schlechten Schlaf bei älteren Menschen sind allerdings multifaktoriell und Zukunftsentwicklungen schwer einzuschätzen. Chakradeo et al. 2018 fassen in ihrer Studie zusammen, dass ein späterer Chronotyp und Marker für eine Fehlanpassung des circadianen Rhythmus (sozialer Jetlag, Schlafdefizit und inkonsistente Essenszeiten) mit krankheitsspezifischen Komplikationen einer chronischen Darmentzündung und/oder einer geringeren Lebensqualität einhergehen. Ähnliches scheint für das Reizdarmsyndrom (irritable bowel syndrome, IBS) zu gelten (Yang et al. 2021).

Störungen der Darm-Hirn-Schranke spielen eine wesentliche Rolle bei der Entstehung psychischer Störungen. Es gibt Belege dafür, dass das Darmmikrobiom nicht nur die Verdauungs-, Stoffwechsel- und Immunfunktionen des Wirts Mensch beeinflusst, sondern über die Mikrobiota-Darm-Hirn-Achse auch den Schlaf und den psychischen Zustand des Wirts reguliert (Wagner-Skacel et al. 2020). Entzündliche Darmerkrankungen scheinen auch circadianen Rhythmen zu unterliegen (Canakis et al. 2020; Hao et al. 2020). Obwohl durch Melatonin vermittelte positive Wirkungen auf viele physiologische Bereiche nachgewiesen wurden, sind die regulierenden Wirkungen von oralem Melatonin auf die Kommunikation zwischen dem Darm-Mikrobiom und dem Wirt Mensch noch nicht klar.

7.2.6 Epigenetik und DNA-Methylierung

Noch weitgehend unerforscht sind die Zusammenhänge circadianer Rhythmik in der Epigenetik und wie DNA-Methylierung zeitlich gesteuert wird. Dies könnte ein wichtiges Forschungsfeld in der Zukunft werden.

Lahtinen et al. 2021) untersuchten zeitliche Veränderungen der DNA-Methylierung (DNAm) im Verhältnis zur Erholung von einer Schichtarbeitsstörung (SWD) über eine gepaarte Epigenom-weite Analyse in einer Berufskohorte von 32 Schichtarbeitenden (darunter 25 Männer im Alter von $43,8 \pm 8,8$ Jahre, darunter 21 SWD Fälle). Sie fanden heraus, dass die Auswirkung des Urlaubs auf die DNAm in der SWD-Gruppe im Vergleich zu den Kontrollgruppen stärker ausgeprägt war (in Bezug auf die Menge der signifikant unterschiedlich methylierten Positionen).

Die molekularen Mechanismen, die den negativen gesundheitlichen Auswirkungen von Schichtarbeit zugrunde liegen, sind noch nicht ausreichend bekannt. Kämen hier neue Erkenntnisse hinzu, könnten neue Interventionsstrategien zum langfristigen Schutz der Gesundheit von Menschen in Schichtarbeit entwickelt werden. Adams et al. (2017) beispielsweise untersuchten genomweite Unterschiede in der DNA-Methylierung (gemessen im Blut). Reszka et al. (2018) untersuchten den Methylierungs-Status der circadianen Gene, um zu einem besseren Verständnis der schichtarbeitsbedingten circadianen Störung bei Personen beizutragen, die nachts künstlichem Licht ausgesetzt sind. In der Studie von 2017 untersuchten Adams et al. den Methylierungs-Status der circadianen Gene, die mit der Schichtarbeit von Krankenschwestern und Hebammen in Verbindung gebracht werden. Die Ergebnisse zeigten, dass die CpG-Methylierung des PER2-Promotors bei Krankenschwestern und Hebammen, die derzeit in Wechselschichten arbeiten, im Vergleich zu Krankenschwestern und Hebammen, die tagsüber arbeiten, signifikant verringert war.

Außerdem wiesen Frauen mit einer längeren Lebensarbeitszeit im Schichtdienst einen niedrigeren Status der PER1-Methylierung auf. Bukowska-Damska et al. (2018) folgerten in ihrer darauf aufbauenden Analyse, dass chronischer Schlafmangel den Stoffwechsel, die Hormonsekretionsmuster und Entzündungsreaktionen beeinflussen kann und dass begrenzte Berichte auch auf epigenetische Auswirkungen hindeuten, wie z. B. Veränderungen der DNA-Methylierungs-Profile. Bei Krankenschwestern und Hebammen, die tagsüber arbeiten, wurde ein Zusammenhang zwischen kürzerer Schlafdauer und einem erhöhten Methylierungs-Grad von CDKN2A festgestellt.

In einer anderen Studie fanden Sulkava et al. (2017) eine gemeinsame genetische Variation in der Nähe des Melatonin-Rezeptor 1A-Gens, das in Verbindung mit arbeitsbedingter Erschöpfung bei Menschen in Schichtarbeit steht. Um herauszufinden, warum nur ein Teil der Schichtarbeitenden unter Schlafstörungen, Müdigkeit und arbeitsbedingter Erschöpfung leidet, wurden hier molekulargenetische Risikofaktoren für Intoleranz gegenüber Schichtarbeit untersucht. Die Forschenden untersuchten die Methylierung in Blutzellen mit dem Illumina HumanMethylation450K BeadChip und die Genexpressionswerte in den öffentlich zugänglichen eGWAS-Mayo-Daten. Ergebnisse deuten darauf hin, dass es eine Verbindung einer Variante in der Nähe von MTNR1A mit berufsbedingter Erschöpfung bei Schichtarbeitern geben könnte. Die Risikovariante könnte ihre Wirkung über epigenetische Mechanismen entfalten, die möglicherweise zu einer verminderten Melatonin-Signalisierung im Gehirn führen (Sulkava et al. 2017). 2019 konnten Lahtinen et al. bestimmte DNA-Methylierungs-Muster bei unzureichendem Schlaf nachweisen.

7.2.7 Fettleber und Leberzirrhose

Lebererkrankungen nehmen zu. Störungen von Schlaf und circadianen Rhythmen könnten dabei eine Rolle spielen.

Die Fettlebererkrankung entsteht durch eine unverhältnismäßige Ablagerung von Triglyceriden in den Hepatozyten, die mehr als 5-10 % des Lebergewichts ausmachen, bei gleichzeitiger starker makrovesikulärer Steatose. Die Fettleber ist nicht auf übermäßigen Alkoholkonsum zurückzuführen, sondern auf Zuckerstoffe in Lebensmitteln und Getränken, und sie ist die häufigste Lebererkrankung in den Industrieländern (Kanwal et al. 2016). Eine Fettleber erhöht das Risiko für Leberzirrhose, Pforten-Hypertonie und Leberzellkarzinome. Ein ungesunder Lebensstil trägt zur Entwicklung einer Fettlebererkrankung bei. Circadiane Rhythmen bzw. ihre Störungen (Chronodisruption) scheinen bei der Entwicklung einer Fettleber eine Rolle zu spielen, wobei angenommen wird, dass die innere Uhr als eine Art Netzknotenpunkt wirkt (Mazzoccoli et al. 2018). Auch Schlafstörungen und -unterbrechungen bei einer nicht Alkohol-bedingten Fettleber treten auf. Die Frage nach der Rolle des Lebensstils und bestimmter Ernährungsweisen stellt sich daher genauso wie die nach den circadianen Rhythmen und ob bestimmte Chronotypen stärker betroffen sein könnten (Akram et al. 2021; Bernsmeier et al. 2015; Kumar et al. 2021). Neuere Studien versuchen die Schlafcharakteristika und

Lebensqualität (health-related quality of life, HRQOL) bei Patient:innen mit chronischer Leberzirrhose zu bewerten (Plotogea et al. 2021). Auch Therapien mit Licht werden in diesem Zusammenhang bereits erforscht (Rui et al. 2015).

7.2.8 Ramadan – Fasten

Noch wenig untersucht sind religiöse oder kulturelle indirekte Einflüsse auf circadiane Rhythmen.

Eine Annahme in unserer Horizon Scanning-Suche war zum Beispiel, dass rituelles Fasten einen Einfluss auf die circadianen Rhythmen haben könnte.

Masismadi et al. (2017) untersuchten den Einfluss des Ramadans. Bekannt ist der Einfluss veränderter Essenszeiten und Schlaf-Wach-Zyklen, die zu Schlafstörungen und Stimmungsschwankungen führen können. Folglich wird das Fasten im Ramadan mit einer niedrigeren Glukosekonzentration während des Tages, Dehydrierung, verminderter Schlafqualität und -quantität, Stimmungsschwankungen und einem erhöhten subjektiven Gefühl von Müdigkeit und Unwohlsein in Verbindung gebracht. Masismadi et al. (2017) zeigen in einer Übersicht, dass das Fasten im Ramadan aufgrund der unabhängigen und/oder kombinierten Auswirkungen dieser Faktoren potenziell zu Lernschwierigkeiten führen kann. Wie weit dies in Zukunft vermeidbar ist, bleibt noch zu untersuchen.

7.2.9 Fahrtüchtigkeit

Fahren rund um die Uhr – insbesondere im Lastverkehr – wird mehr zu einer Belastung der Menschen und auch zur Gefahr für die allgemeine Sicherheit.

Die menschliche Fahrtüchtigkeit hängt von der Tageszeit ab. Der morgendliche Heimweg ist für Arbeitnehmer:innen, die in der Nachtschicht arbeiten, eine besonders gefährliche Zeit, da das Risiko, in Schläfrigkeit zu fahren, erhöht ist (Liang et al. 2019). Die Menge an Schlaf, die ein Mensch bekommt, sowie die individuelle, rhythmisch gesteuerte Leistungsfähigkeit können bei der Fahrtüchtigkeit eine Rolle spielen. Zum Beispiel untersuchte eine Studie im Jahr 2012, ob die Fähigkeiten zur Handhabung von Motorrädern – gemessen anhand der Effizienz von Notfallmanövern – von vorherigem Schlafentzug und der Tageszeit abhängig sind (Bougard et al. 2012). Entsprechend wichtig wäre es, dieses Wissen auch für die tägliche Mobilität anzuwenden und insbesondere im LKW-Verkehr zu beachten, denn dort sind die Fahrenden "rund um die Uhr" im Einsatz und können damit eine Gefahr für sich und andere werden.

7.2.10 Sport und circadiane Rhythmen

In Zukunft kann Training sowohl im Amateur- als auch im Profibereich davon profitieren, dass mehr über die circadianen Rhythmen der Trainierenden bekannt ist und ihr Training darauf abgestimmt wird.

Es gibt Untersuchungen zu den Zusammenhängen von Sport und der Zeit am Tag, zu der Sport am sinnvollsten betrieben wird (Ayala et al. 2021). Dies wird teilweise bereits beachtet, sei es bewusst oder unbewusst. Bewusst stellen Trainer:innen die Programme für das Training zusammen, wobei aber viele noch nicht auf die individuellen Chronotypen eingehen, sondern eher generelle Zeitanpassungen vornehmen. Besonders wird nur dann darauf geachtet, wenn Wettkämpfe an anderen Orten stattfinden, an denen die Sporttreibenden mit einem Jetlag zu kämpfen haben. Dann wird häufig das Training umgestellt. In Zukunft erwarten sich die Trainer:innen viel von Technologie, die dabei unterstützt (Frevel et al., 2022). Ein Zusammenhang zwischen Kaffeetrinken entweder morgens oder abends und Trainingseffekten konnte ebenfalls festgestellt werden (Boyett et al. 2016).

Selbst beim Motorsport (insbesondere das Motorradfahren) konnten große Unterschiede in Performance und Reaktionsfähigkeit, z. B. beim Bremsen, zur Gefahrenabwehr usw. festgestellt werden (Boyett et al. 2016).

7.2.11 Uhrenumstellung im März und Oktober

In Zukunft wird im März und Oktober jeden Jahres die Uhr in Deutschland nicht umgestellt.

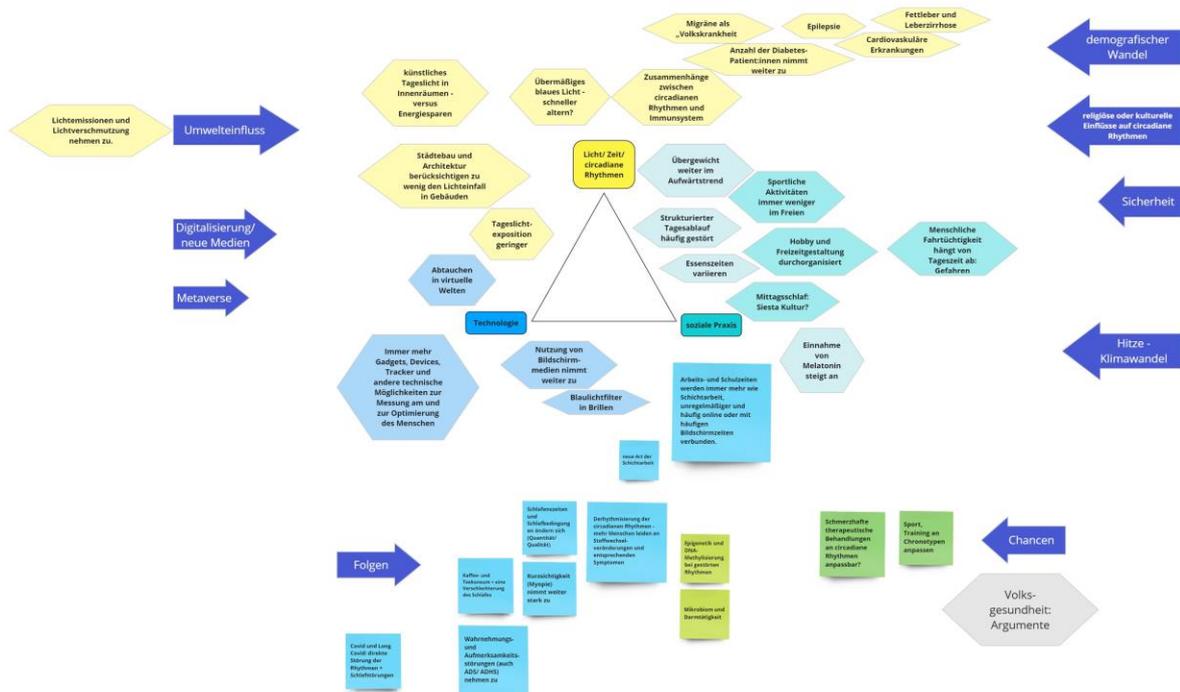
Die **Uhrumstellung** im März (Stichwort: „Sommerzeit“) und im Oktober wurde ursprünglich eingeführt, um Energie zu sparen, indem die zusätzliche Stunde Licht pro Tag im Sommer genutzt wird. Diese Umstellung stört den Schlaf und circadiane Rhythmen bei vor allem späten Chronotypen. Es gibt keine Studie, die effektive Energieeinsparung belegen kann, der Zweck wurde also nicht erreicht, aber die Zeitumstellung dennoch beibehalten. Viele Menschen genießen die langen Sommerabende, gehen dadurch aber auch später ins Bett und müssen trotzdem morgens früh aufstehen. Die Umstellung ist vergleichbar eines Wechsels in eine andere Zeitzone bei Beibehaltung des Orts – und das zweimal im Jahr. Obwohl es nur eine Stunde ist, die wir die Uhren im Frühjahr vorstellen, so ist diese eine Stunde ein nachweislicher Störfaktor für Gesundheit, Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit (Kantermann et al. 2007, Deutscher Bundestag 2016, Roenneberg et al. 2019, Čulić and Kantermann 2021, Reis et al. 2023). Gerade für Menschen, die bereits einen gestörten Schlaf haben, ist die Uhrumstellung nicht zuträglich und in der Woche nach der Umstellung sind statistisch signifikant mehr Unfälle, insbesondere Wildunfälle (Winnebeck 2022), zu verzeichnen⁴⁰. Es gab eine europaweite Umfrage zum Thema, bei der sich die Mehrheit der Befragten für eine Abschaffung der Uhrumstellung ausgesprochen hat (European Commission 2018), aber der politische Prozess zur Umsetzung des Ergebnisses ist nicht gestartet worden. Das Technikfolgenabschätzungsbüro des deutschen Bundestags (TAB) hat eine Bilanz der Sommerzeit veröffentlicht (Caviezel et al. 2016). Dies ist ein Thema, das in der Zukunft aufgegriffen werden muss. Hier steht eher eine Frage am Ende: **Wann** wird die Uhrumstellung endlich (wieder) abgeschafft? Die Uhr im März nicht umzustellen, dürfte nicht so schwierig sein.

7.3 Themenauswahl Deep Dives

Fassen wir die gefundenen Themen und Hypothesen zusammen, so gehen diese einerseits von Licht und seinen direkten Wirkungen, von sozialen Praktiken und von Technologien aus. Alle direkten Einflüsse auf das circadiane System werden wiederum von externen Faktoren beeinflusst, z. B. Umwelteinflüssen oder einer zunehmenden Digitalisierung der Arbeitswelt und -tools, aber auch durch den Klimawandel oder demografische Veränderungen. Die Abbildungen 10 und 11 wurden genutzt, um diese Themen auf dem **Zukunftswerkshop im März 2023** vorzustellen und mögliche Zukunftsentwicklungen anzudeuten.

⁴⁰ Dieses Bild verdeutlicht gut, was gemeint ist: <https://www.goslar-institut.de/recherche-tipps/verkehrssicherheit/nach-zeitumstellung-steigt-unfallrisiko/>. Es gibt aber auch andere Warnungen, z. B. <https://www.landesjagdverband.de/detail/artikel/achtung-zeitumstellung-wildunfallgefahr-steigt/a/detail/c/News/>; <https://www.mdr.de/wissen/zeitumstellung-fuehrt-zu-mehr-toedlichen-verkehrsunfaellen100.html> (Zugriff 28.3.2024)

Abbildung 10: Zukunftsthemen aus dem Horizon Scanning



Quelle: Fraunhofer ISI

Abbildung 11: Auswahl der Deep Dives



Quelle: Fraunhofer ISI

Auf unserem ersten Workshop wählten wir – getriggert durch eine mentale Zeitreise ins Jahr 2028 – die folgenden Themencluster für eine vertiefende Betrachtung aus (Deep Dives). Kriterien für die Auswahl waren Relevanz für circadiane Rhythmen sowie der Zusammenhang mit gesellschaftlichen Veränderungen und technischen Möglichkeiten. Aus dem Dreiklang Gesundheit – Soziales – Technologie wurden sowohl Themen einbezogen, die grundlegender Natur sind, als auch solche, die eher bottom-up und anwendungsbezogen sind. Die folgenden Themen waren Grundlage der Diskussionen auf dem Zukunftsworkshop im März 2023 und auch die Eingangsthemen für die Folgenforschung:

1. Schlaf: Änderungen in Quantität und Qualität
2. Gebundene versus ungebundene Zeit (Arbeitstitel lautete: "Schichtarbeit in neuem Gewand", weil es nicht nur um Arbeitszeit, sondern auch um Schulzeit ging: Strukturen und Auswirkungen, Homeoffice, multiple Arbeitsorte, Homeschooling)
3. Lichttechnologie: neue Entwicklungen und Möglichkeiten
4. Sicherheit – z. B. Fahrtüchtigkeit und Aufmerksamkeit in sicherheitsrelevanten Berufen und Bereichen

8 Folgenabschätzung: Konsequenzen unterschiedlicher Umgangsweisen mit der inneren Uhr

Die vertiefte Auseinandersetzung mit den vier Themenclustern Schlaf, (un)gebundene Zeit, Lichttechnologie und Sicherheit (Deep Dives, siehe Kapitel 9) hat die große Bandbreite und Heterogenität möglicher zukünftiger Entwicklungen sichtbar gemacht. In einem nächsten Schritt galt es, die möglichen Folgen dieser Entwicklungen zu systematisieren und zu bewerten, um damit eine Grundlage für die angestrebte Identifikation von Gestaltungsspielräumen und Entwicklung von Handlungsempfehlungen zu schaffen (siehe dazu Kapitel 9).

Für die Systematisierung wurden zwei kontrastierende Zukunftsszenarien formuliert, die kontrastierende gesellschaftliche Umgangsweisen mit der inneren Uhr und dem chronobiologischen Erkenntnisstand zum Ausdruck bringen (siehe grau hinterlegte Boxen). Dabei tauchen die vier Themencluster der Deep Dives in den Szenarien wieder auf. Die Zukunftsszenarien dienten als Ausgangspunkt für die Diskussion und Abschätzung möglicher Folgen auf einem Workshop mit Expert:innen aus Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft im Mai 2023 (online).

Szenario 1: Chronobiologisch aufgeklärte Gesellschaft 2033

Die Gesellschaft in Deutschland im Jahr 2033 ist in weiten Teilen chronobiologisch aufgeklärt und berücksichtigt dementsprechend Erkenntnisse der Chronobiologie in Politik, Wirtschaft, Bildung und Alltagsleben. Die meisten Menschen kennen ihren individuellen Chronotyp (im Spektrum zwischen einem frühen und einem späten Typ). Gerade für junge Erwachsene gehört es zum Standard, ihren Chronotyp über entsprechende Tests früh in ihrem Leben in Erfahrung zu bringen, regelmäßig zu überprüfen und beim Aufbau von Alltagsroutinen zu berücksichtigen. Arbeitgebende und Bildungseinrichtungen machen den Menschen bezüglich der Arbeits- und Lernzeiten Angebote, die auf verschiedene Chronotypen abgestimmt sind. Schichtarbeit findet nur noch in gesellschaftlich notwendigen Bereichen statt (Sicherheit und Medizin), wobei die Taktung auf den Chronotyp der Beschäftigten Rücksicht nimmt und mit technischen Mitteln (geeignetes künstliches Licht) etwaigen negativen Konsequenzen entgegengewirkt wird. Tageslichtexposition gilt zudem als zentrales Gesundheitsthema, auf das sich alle Gesellschaftsbereiche eingestellt haben. So werden Freizeitaktivitäten verstärkt draußen durchgeführt, die Anzahl von Begegnungsräumen außerhalb von Gebäuden ist explodiert, und bei Neubauten hat die Nutzung von Tageslicht marktrelevante Priorität erreicht. Zusätzlich hat sich eine chronobiologisch sinnvolle technische Verbesserung der Lichtverhältnisse in Innenräumen durchgesetzt. Darüber hinaus werden Lichttechnologien eingesetzt, um die unerwünschten Wirkungen der Lichtemissionen von Monitoren zu kompensieren. Gleichzeitig achten immer mehr Menschen auf einen gesunden Schlaf und den Schutz der für sie und ihre Familienmitglieder richtigen Schlafzeiten.

Szenario 2: Vollkommen desynchronisierte Gesellschaft 2033

Die Gesellschaft in Deutschland ist im Jahr 2033 in weiten Teilen chronobiologisch indifferent und vollkommen desynchronisiert. Erkenntnisse der Chronobiologie werden weder im Alltag der Menschen noch in den Entscheidungsprozessen von Politik, Wirtschaft und Bildung auch nur ansatzweise berücksichtigt. Durch die weitreichende Flexibilisierung der Arbeitszeit können die Beschäftigten ihre Arbeitszeiten zwar relativ frei wählen, in der Praxis hat sich aber aufgrund der Heterogenität von Interessen und Lebenslagen die Erwartung permanenter Erreichbarkeit und Verfügbarkeit durchgesetzt. Um auch zu Nachtzeiten verfügbar zu sein, zum Beispiel für Meetings mit Personen aus anderen Zeitzonen, schlafen immer mehr Menschen für ein paar Stunden auch tagsüber. Sowohl geschäftliche als auch private Verabredungen sind somit jederzeit möglich, nach individueller Absprache. In Arbeitsfeldern, in denen eine solche Flexibilisierung nicht sinnvoll ist, ist Schichtarbeit in vielfältiger Ausprägung gängige Praxis. Auch die Schulen halten an den etablierten Standards von einheitlichen, früh am Morgen beginnenden Unterrichtszeiten fest. Insgesamt verbringen die Menschen die meiste Zeit in Innenräumen und vor Bildschirmen. Lichttechnologien werden vor allem eingesetzt, um Innenräume unabhängig von der Tageszeit taghell zu beleuchten. Draußen halten sich die meisten Menschen nur auf, um von einem Ort zum anderen zu kommen, oder zum Sonnenbaden. Schlafprobleme gelten als individuelles Versagen und werden entsprechend verschwiegen bzw. stigmatisiert. Wettbewerbe, wer am längsten ohne zu schlafen durchhält, sind in manchen Kreisen nicht unüblich.

Auf dem Workshop wurden in einem ersten Schritt für jedes Szenario dessen potenzielle Folgen auf folgende fünf Dimensionen zusammengetragen und diskutiert:

- 1) Gesundheit
- 2) Sicherheit
- 3) Umwelt und (ökologische) Nachhaltigkeit
- 4) Ökonomie und Arbeitsorganisation
- 5) Lebenswelt und Gesellschaft

In einem Folgeschritt wurden die gesammelten Ergebnisse für jedes Szenario getrennt bewertet. Die Bewertung erfolgte zum einen danach, ob sie für eine bestimmte Gruppe von Menschen positiv oder negativ sind, und zum anderen nach ihrer allgemeinen Relevanz. Abschließend konnten die Teilnehmenden vermerken, bei welchen Aspekten sie den größten Handlungsbedarf sahen. Spezifische Fragen, die auf dem Workshop mit der vorhandenen Expertise nicht seriös beantwortet werden konnten, wurden im Nachgang im Rahmen von Interviews mit einschlägigen Expert:innen diskutiert.

Im Folgenden werden die auf dem Workshop identifizierten Folgen für jede der fünf Folgendimensionen kurz zusammengefasst und zentrale Herausforderungen skizziert, die sich für das entsprechende Handlungsfeld ergeben. In einem abschließenden Fazit werden vier Ansatzpunkte für eine Gestaltung der zukünftigen Entwicklung identifiziert. Diese dienen als Input für den dritten Workshop zur Diskussion von Gestaltungsspielräumen und Handlungsempfehlungen (siehe Kapitel 9).

8.1 Gesundheit

Schlaf hat eine zentrale Bedeutung für die Gesundheit der Bevölkerung. Gesunder Schlaf führt nicht nur zu niedrigeren Krankheitsprävalenzen, sondern auch zu mildereren Krankheitsverläufen bezüglich physischer und psychischer Erkrankungen, insbesondere sogenannter Zivilisationskrankheiten. Zudem kann erwartet werden, dass sich durch gesunden Schlaf der Konsum von schlaf- und aufmerksamkeitsbezogenen Medikamenten und Stimulanzien verringert und es zu weniger Unfällen im Alltag kommt. Umgekehrt hat schlechter Schlaf bzw. Müdigkeit und Stress höhere Krankheitsprävalenzen (insbesondere Krebs) und kann eine höhere Nahrungsaufnahme über das gesunde Maß hinaus (Adipositas-Risiko), einen höheren Konsum von Medikamenten, Drogen, Melatonin-Pillen und Aufputschmitteln sowie eine höhere Unfallanfälligkeit bzw. häufigere Unfälle zur Folge haben.

Dabei können Schlafdefizite bzw. Müdigkeit und Stress vielfältige Ursachen haben, unter anderem eine Entrhythmisierung im Alltag, eine Desynchronisierung mit der inneren Uhr, Arbeiten/Studieren rund um die Uhr oder mehr künstliches Licht in Innenräumen zur falschen Zeit (evtl. sogar als Licht-Doping eingesetzt). Des Weiteren führt auch weniger Tageslichtexposition, Vereinsamung und desynchronisiertes Arbeiten und Lernen zu einem höheren Aufkommen von Depressionen. Schließlich lässt sich durch die Berücksichtigung der Chronobiologie bei der zeitlichen Planung von Operationen (Chronomedizin genannt) eine schnellere Gesundung im Anschluss an die Operation erreichen.

Insgesamt zeigt sich, dass insbesondere gesunder Schlaf und eine dafür chronobiologisch angepasste Alltagsstruktur erhebliche positive Auswirkungen auf die Gesundheit der Menschen haben können. Mit Blick auf eine zukünftige Gestaltung stellt sich somit die Frage, wie sich dieser Effekt fördern lässt.

Da die Aufrechterhaltung einer chronobiologisch aufgeklärten Alltagsstruktur und eines gesunden Schlafverhaltens ein hohes Maß an Eigenverantwortung, Gesundheitskompetenzen, Zeitsouveränität und Ressourcen voraussetzt, liegt hier eine zentrale Herausforderung für die zukünftige Gestaltung des Handlungsfelds Gesundheit. Wie lassen sich Eigenverantwortung, Kompetenzen und Ressourcen auch bei den Menschen fördern, die diesbezüglich keine guten Voraussetzungen haben (u.a. vulnerable Gruppen, Alleinerziehende, Menschen mit Vorbelastungen, Depressionen etc.)? Wie lässt sich eine gespaltene/polarisierte Gesellschaft verhindern – mit Menschen, die sich eigenverantwortlich um Schlaf und Gesundheit kümmern, und solchen, die das nicht tun (können)? Inwiefern braucht es hier unterstützende Strukturen für bestimmte Zielgruppen?

8.2 Sicherheit

Gesunder Schlaf wirkt sich positiv auf sicherheitsbezogene Aspekte aus. So wird erwartet, dass gesunder Schlaf die Fehleranfälligkeit und damit die Anzahl an Unfällen im Straßenverkehr, am Arbeitsplatz oder beim Betrieb technischer Anlagen (Kraftwerke, Produktionsanlagen etc.) reduziert. Unfälle am Arbeitsplatz ließen sich womöglich auch durch den Einsatz eines chronobiologisch geschulten Sicherheitsbeauftragten („ChronoController“) in der Organisation verringern. Unfälle im Straßenverkehr ließen sich außerdem reduzieren, indem Menschen je nach ihrem Chronotyp früh oder spät zur Arbeit fahren und sich damit das Verkehrsaufkommen gleichmäßiger verteilt.

Dagegen gibt es chronobiologisch sinnvoll erscheinende Maßnahmen, die mit Blick auf Sicherheit kritisch betrachtet werden müssen. So könnten Unfälle zu Hause häufiger werden, wenn die Beleuchtung zu bestimmten Tageszeiten mit Blick auf die innere Uhr reduziert wird. Außerdem kann die Reduzierung der Beleuchtung im öffentlichen Raum das subjektive Sicherheitsgefühl der Menschen verringern und auch aus objektiver Perspektive problematisch sein, wenn die dadurch entstehenden Defizite nicht anderweitig kompensiert werden.

Schließlich hätte es sicherheitsrelevante Implikationen, wenn erheblich mehr Menschen deutlich mehr Zeit draußen verbringen würden. Es gäbe vielfältigen Anpassungsbedarf, beispielsweise mit Blick auf größere Menschenansammlungen, die höhere Nutzung von Verkehrswegen oder Nutzungskonflikte bzgl. öffentlicher Räume. Insgesamt zeigt sich, dass gesunder Schlaf auch auf die Reduzierung von Unfällen (im Straßenverkehr, am Arbeitsplatz, bei technischen Anlagen) positive Auswirkungen hat und sich somit auch für das Handlungsfeld Sicherheit die Frage stellt, wie sich dieser Effekt fördern lässt.

Dabei gilt es zwei zentrale Herausforderungen zu berücksichtigen. Zum einen stellt sich die Frage, welche Arbeitszeitmodelle für Beschäftigte in sicherheitsrelevanten Bereichen (Feuerwehr, Polizei) denkbar sind, damit eine chronobiologische Optimierung auch bei ihnen möglich ist. Zum anderen besteht die Herausforderung darin, wie mit den sich abzeichnenden Spannungsfeldern bzw. Zielkonflikten zwischen Chronobiologie und Sicherheit umgegangen werden kann: 1. zwischen einer chronobiologisch angemessenen (und energiesparenden) Beleuchtung im öffentlichen Raum (außen und innen) und den sicherheitsrelevanten Erfordernissen sowie 2. zwischen einer chronobiologisch angemessenen Beleuchtung in privaten Innenräumen und entsprechenden Unfallgefahren andererseits.

8.3 Umwelt und Nachhaltigkeit

Viele chronobiologisch sinnvolle Maßnahmen und Praktiken können zu einer Reduzierung des Ressourcen- bzw. Energieverbrauchs beitragen. Dazu zählt insbesondere die gleichmäßigere Verteilung der Nutzung von Ressourcen und Infrastrukturen, die sich durch eine flexiblere Anpassung an unterschiedliche Chronotypen ergeben würde. So würden zum Beispiel durch die Vermeidung von Stoßzeiten im Berufsverkehr weniger Staus entstehen, was einen geringeren Energiebedarf zur Folge hätte. Ebenso bedeutsam ist in diesem Zusammenhang die allgemeine Verlagerung von Aktivitäten nach draußen (bei entsprechender Reduzierung des Energieverbrauchs) und der Umstieg aufs Fahrradfahren, um mehr Tageslicht abzubekommen (insb. falls der Arbeitsweg mit dem Fahrrad absolviert wird). Des Weiteren könnten die geringere Beleuchtung vor dem Schlafengehen und eine geringere Beleuchtung in öffentlichen Außenräumen zu einem geringeren Energieverbrauch beitragen (letzteres würde zudem die sog. Lichtverschmutzung reduzieren).

Allerdings könnte ein höherer Bedarf, sich draußen aufzuhalten, auch zu einem höheren Ressourcenverbrauch führen, beispielsweise, wenn dadurch mehr Menschen mit umweltschädlichen Verkehrsmitteln weiter entfernte Orte oder Erholungsgebiete aufsuchen, um dort Tageslicht zu konsumieren.

Inwiefern smarte Beleuchtungssysteme zu einem geringeren Ressourcen- bzw. Energieverbrauch beitragen können, ist umstritten. Bei einem intelligenten Einsatz besteht hierzu einerseits Potenzial, andererseits werden unter anderem die Konnektivität solcher Systeme sowie Fragen der Lebensdauer und des Recyclings kritisch bewertet.

Insgesamt hat ein chronobiologisch angepasster Umgang mit künstlichem Licht und Tageslicht erhebliche Energieeinsparpotenziale, wenngleich die Effekte zum Teil sehr unklar und mögliche Rebound-Effekte nicht auszuschließen sind. Am wenigsten umstritten scheint der Energieeinsparereffekt (plus geringere Lichtverschmutzung) bei einer geringeren Beleuchtung von öffentlichen Außenräumen, die stärkere Nutzung von Tageslicht bei Gebäuden sowie der Ressourcen-Einsparereffekt bei einer stärkeren Nutzung des Fahrrads und einer gleichmäßigeren Nutzung der Verkehrsinfrastrukturen sein. Hier ließe sich mit Blick auf eine Förderung ansetzen (vgl. allerdings Folgendimension Sicherheit).

Zentrale Herausforderungen, die sich für die Gestaltung dieses Handlungsfelds ergeben, betreffen zum einen die Flächenkonkurrenz, die sich verschärfen könnte, wenn mehr Flächen für das Draußen Sein benötigt werden (dabei sind zudem die Erfordernisse des Klimawandels zu berücksichtigen). Welche Implikationen hätte dies für den Zugang unterschiedlicher sozialer Gruppen zu den Flächen, gerade in Städten? Zum anderen stellt sich die Frage, wie sich eine ressourcenschonende Nutzung von smarten Beleuchtungssystemen im Sinne einer Kreislaufwirtschaft umsetzen lässt.

8.4 Ökonomie und Arbeitsorganisation

Gesunder Schlaf bzw. Schlafdefizite und Müdigkeit haben auch vielfache Auswirkungen auf Arbeitsleistung und damit zusammenhängende Kosten. So fördert ein gesunder Schlaf die Konzentrationsfähigkeit und damit die Lernleistungen, bessere Schulnoten sowie eine höhere Arbeitsqualität und -quantität. Zugleich werden die Krankheitstage durch gesunden Schlaf, bessere Gesundheit und weniger Unfälle reduziert (vgl. Folgendimension Gesundheit). Damit entstehen weniger Kosten sowohl für Arbeitgeber als auch das Gesundheitssystem.

Eine den individuellen Chronotyp berücksichtigende Flexibilisierung oder Neuverteilung der Arbeitszeit könnte zudem die Arbeitszufriedenheit und die Arbeitseffizienz der Beschäftigten erhöhen. Gleichzeitig könnte damit mehr freie Zeit, mehr Selbstbestimmung und mehr Entspannung auf Seiten der Arbeitenden entstehen.

Auf der anderen Seite könnte eine solche chronobiologisch bedingte Flexibilisierung zu Kooperationsproblemen in Arbeitsteams bzw. Schulklassen führen sowie zu zeitlich diffusen Erwartungen, wann jemand für Arbeitsbelange erreichbar zu sein hat. Eine zu starke Flexibilisierung der Arbeitszeiten könnte zudem zur Folge haben, dass Arbeitnehmer:innen die Einstellung entwickeln, dem Arbeitgeber nur die „zweitbeste“ Zeit zu geben (die „beste“ für die Freizeit), mit entsprechend negativen Folgen für die Arbeitsqualität und -quantität. Außerdem könnte sich der Nebeneffekt einstellen, dass sich ungesunde 24/7-Arbeitszeiten dort weiterverbreiten, wo auf den Chronotyp der Arbeitnehmenden keine Rücksicht genommen wird (ggf. im Niedriglohnsektor). Schließlich könnte sich der Versuch, Schichtarbeitszeiten zu reduzieren, nachteilig auf die Menschen auswirken, die auf die höhere Vergütung von Schichtarbeit angewiesen sind.

Insgesamt zeigt sich, dass gesunder Schlaf und eine bessere Gesundheit auch ökonomisch positive Folgen haben. Dies betrifft die Arbeitgeberseite (bessere Arbeitsergebnisse, weniger Krankheitstage) sowie die für das Gesundheitssystem entstehenden Kosten. Folgeprobleme können allerdings dann entstehen, wenn der bessere Schlaf bzw. die bessere Gesundheit über eine stärkere Flexibilisierung bzw. Synchronisierung mit dem Chronotyp erreicht werden soll. In diesem Fall können sich nämlich Koordinierungsprobleme bei den Arbeitsprozessen, Rebound-Effekte bei den Arbeitnehmenden (verlängerte/diffusere Verfügbarkeiten) und Interessenskonflikte (auch auf Seiten der Arbeitnehmenden: Gesundheit versus Vergütung) ergeben.

Zentrale Herausforderungen für die Gestaltung dieses Handlungsfelds betreffen dementsprechend vor allem folgende Fragen: Was sind geeignete Arbeitszeit- und Schulzeitmodelle, um einerseits ein gesundes, chronotyp-entsprechendes Schlafverhalten zu ermöglichen und andererseits allgemeine, komplexitätsreduzierende und Orientierung bietende Strukturen aufrechtzuerhalten? Wie lässt sich erreichen, dass chronotyp-angepasste flexible Arbeitszeitmodelle allen Bevölkerungsschichten zugutekommen, nicht nur den gut ausgebildeten und gutverdienenden „Kopfarbeitern“? Wie lässt sich damit umgehen, dass ungesunde (nicht chronotyp-konforme) Arbeit durch die gerade deshalb gewährte höhere Vergütung womöglich attraktiver für manche Arbeitnehmenden ist? Welche weiteren Risiken bestehen, wenn Arbeitnehmende ihrem Arbeitgeber den individuellen Chronotyp mitteilen, damit dieser bei der Arbeitszeitgestaltung berücksichtigt werden kann?

8.5 Lebenswelt und Gesellschaft

Gesunder Schlaf hat mit Blick auf Familie und Freizeitaktivitäten positive Auswirkungen, da er die Konzentrationsfähigkeit erhöht, Lernleistungen verbessert und den Griff nach Melatonin als Alltagsdroge (vergleichbar mit Koffein) verhindert.

Eine den individuellen Chronotyp berücksichtigende Flexibilisierung des Alltagslebens könnte durchaus zu einem höheren Freiheitsempfinden und einer höheren Lebenszufriedenheit führen, insbesondere, wenn sie mit einer höheren gesellschaftlichen Akzeptanz von verschiedenen Lebensgeschwindigkeiten und -rhythmen bzw. einer „Vita Contemplativa“ einhergeht. Eine denkbare Lebenseinstellung, seine „beste“ Zeit für Familie, Freizeit, Muße etc. zu verwenden (während der Arbeitgeber nur die „zweitbeste“ Zeit bekommt), könnte hier ebenfalls eine Rolle spielen.

Gleichzeitig können sich auch bei Freizeitaktivitäten, Familie, Freundeskreis, Vereinsarbeit, Veranstaltungen etc. Koordinierungs- und Synchronisierungsprobleme ergeben, wenn sowohl die Arbeitszeiten als auch die Zeiten für private Aktivitäten (u.a. Mannschaftssport, Musizieren, Events) flexibilisiert werden. Manche Menschen könnten zudem mit einer solchen Flexibilisierung überfordert sein, da mit den höheren Freiheitsgraden eine geringere Orientierung bei der Lebensgestaltung einhergeht. Sollte eine konkrete Familie aus tendenziell inkompatiblen Chronotypen bestehen, könnte eine zu starke Rücksichtnahme auf die Chronotypen dazu führen, dass Mahlzeiten und andere Familienaktivitäten nicht mehr gemeinsam erfolgen. Zudem könnten sich institutionelle Kinderbetreuungszeiten etablieren, die zwar den Chronotyp der Eltern berücksichtigen, für das Kindeswohl aber problematisch sind. Schließlich ist zu bedenken, dass eine gesteigerte Flexibilisierung und Individualisierung für verschiedene Bevölkerungsgruppen ungleiche Implikationen haben könnte (z. B. mehr freie Zeit versus mehr Nacharbeit, Hilflosigkeit bei größeren Freiheitsgraden, Menschen mit niedrigem Einkommen sind anderen Zwängen ausgesetzt).

Darüber hinaus könnte sich gesellschaftlich ein Erwartungs- und Rechtfertigungsdruck entwickeln, sich chronobiologisch korrekt oder seinem Chronotyp entsprechend zu verhalten (z. B. auch Lebenspartnerschaften nach Chronotyp auszuwählen), mit problematischen Folgewirkungen.

Insgesamt ist festzuhalten, dass gesunder Schlaf auch in diesem Handlungsfeld zur Vermeidung negativer Effekte beiträgt. Dagegen sind die Folgen einer Flexibilisierung ambivalent. Bis zu einem gewissen Grad scheinen die positiven Effekte zu überwiegen, ab einem bestimmten Punkt ergeben sich jedoch erhebliche Synchronisierungs- und Koordinationsprobleme. Hinzu kommt, dass die Effekte verschiedene Bevölkerungsgruppen unterschiedlich stark betreffen können.

Die zentralen Herausforderungen für die Gestaltung dieses Handlungsfeldes ergeben sich dementsprechend aus den folgenden Fragen: Was sind geeignete Tagesstrukturen, um einerseits ein gesundes, chronotypgerechtes Schlafverhalten und entsprechend flexible Tagesabläufe zu ermöglichen und andererseits allgemeine, komplexitätsreduzierende und Orientierung bietende Strukturen (in Familie, Freizeit, Gesellschaft) aufrechtzuerhalten? Wie könnte der Entstehung eines zu hohen Erwartungsdrucks, sich immer seinem Chronotyp entsprechend zu verhalten, entgegengewirkt werden? Und wie lässt sich verhindern, dass nur bestimmte Bevölkerungsgruppen von einer stärkeren Flexibilisierung bei den Tagesstrukturen profitieren? Inwiefern bräuchte es unterstützende Strukturen für bestimmte Zielgruppen?

8.6 Zwischenfazit

Aus der Analyse der fünf Folgendimensionen lassen sich zusammenfassend vier Kernpunkte bzw. Kernfragen ableiten, die als Ansatzpunkte für eine zukünftige Gestaltung dienen können.

- **Gesunder Schlaf** spielt eine Schlüsselrolle, um gleich in mehreren Handlungsfeldern positive Effekte zu erzielen (v.a. Gesundheit und Sicherheit, aber auch in Ökonomie/Arbeitsorganisation und Lebenswelt/ Gesellschaft). **Wie kann gesunder Schlaf gefördert werden, insbesondere unter Berücksichtigung chronobiologischer Erkenntnisse?**
- Eine stärkere **Berücksichtigung des individuellen Chronotyps** und eine entsprechende **Flexibilisierung** (mit dem Zweck, gesunden Schlaf zu ermöglichen), findet eine Grenze in Koordinations- und Synchronisierungsproblemen insbesondere in den Handlungsfeldern Ökonomie/ Arbeitsorganisation sowie Lebenswelt/Gesellschaft. **Was könnten geeignete Mischmodelle sein, die einerseits die individuellen chronobiologischen Bedürfnisse stärker berücksichtigen, andererseits aber eine angemessene zeitliche Koordination von Zusammenarbeit (auch Schule), Familie und sozialem Leben ermöglichen?**
- Eine stärkere **Berücksichtigung chronobiologischer Erkenntnisse** (u.a. bzgl. Schlafverhalten, Tageslichtexposition, Nutzung geeigneter künstlicher Lichtquellen) kann zu einem gesünderen Schlaf entscheidend beitragen, läuft aber Gefahr, nur einem Teil der Gesellschaft zugute zu kommen (den Menschen mit vielen Ressourcen bzgl. Kompetenz, Finanzen, Zeit). **Wie können Bevölkerungsgruppen mit Vorbelastungen oder ungünstigen Voraussetzungen** (u.a. bzgl. Bildung, Finanzlage, Zeit, Beruf, körperliche/ geistige Einschränkungen, Desinteresse) **gezielt unterstützt werden, damit auch sie von einer stärkeren Berücksichtigung chronobiologischer Erkenntnisse profitieren?**
- Ein neuer, **chronobiologisch sinnvoller Umgang mit Tageslicht und künstlichem Licht** lässt teilweise klare Energieeinspareffekte erwarten (vor allem geringere Beleuchtung von öffentlichen Außenräumen, stärkere Nutzung von Tageslicht bei Gebäuden, stärkere Nutzung des Fahrrads), steht andererseits aber teilweise in Konflikt mit Sicherheitsaspekten (vor allem hinsichtlich geringerer Beleuchtung von öffentlichen Außenräumen und in privaten Innenräumen). **Welche Möglichkeiten gibt es, um (auf chronobiologisch sinnvolle Weise) künstliche Beleuchtung zu reduzieren, ohne dass dies die Sicherheit unverhältnismäßig gefährdet?**

9 Gestaltungsspielräume und Strategien

Der dritte Workshop zu Strategien und Gestaltungsspielräumen fand im Oktober 2023 statt und beschäftigte sich in vier Gruppensessions mit

1. Gesundheit und Schlaf,
2. Arbeit und Gesundheit,
3. spezifisches Gruppen und Bedarfen sowie
4. Energie und Sicherheit.

Das Vorgehen war offen und wurde auf einem virtuellen Board dokumentiert. Zuerst wurden jeweils mögliche Bereiche für Gestaltungsspielräume gesammelt (siehe die jeweiligen illustrierenden Abbildungen 12, 13 und 14), anschließend wurden diese Strategien oder Ideen im Detail ausdifferenziert und die beteiligten Akteure und ihre Rollen im Detail benannt. Nach dem Workshop wurden die Ergebnisse zusammengefasst und mit existierender Literatur gespiegelt. Es gab verschiedene Überlegungen, wie Strategien für einen besseren Umgang mit circadianen Rhythmen aussehen können.

Zum einen können die **Lichtverhältnisse** an den natürlichen Tag-Nacht-Rhythmus angepasst werden und zum anderen können die **Menschen ihr Verhalten** an ihren natürlichen Tag-Nacht-Rhythmus anpassen. Bei der ersten Variante müsste besonders das Licht an unseren circadianen Rhythmus angepasst werden. Wie im Kapitel zum Stand der Forschung beschrieben, spielen dabei viele unterschiedliche Faktoren eine Rolle, so dass eine Berechnung der genauen Beleuchtung zu unterschiedlichen Tageszeiten und in unterschiedlichen Gebäuden oder im Außenbereich sehr komplex ist. Da ein Großteil des Alltags in Innenräumen stattfindet, muss diesem Thema eine hohe Bedeutung beigemessen werden.

Bei der zweiten Variante scheint vor allem wichtig zu sein, zu bestimmen, wie viel natürliches Tageslicht für das Individuum wichtig ist, um den individuellen circadianen Rhythmus stabil zu halten. Das Verhalten sollte dementsprechend angepasst werden, was jedoch für eine Vielzahl der Menschen aufgrund von beruflichen und familiären Verpflichtungen gar nicht möglich ist, so dass im besten Fall für beide Varianten Lösungen gefunden werden müssen.

In den folgenden Kapiteln werden einzelne Gestaltungsspielräume diskutiert. Dabei werden Funde sowohl aus der Literatur als auch aus dem Workshop „Gestaltungsspielräume“ genannt, diskutiert und weitergedacht. Zunächst wird auf die Anpassung des Lichts in Innen- und Außenräumen eingegangen. Im Anschluss daran werden Anpassungen von Rahmenbedingungen und sozialen Praktiken diskutiert. Die Abbildungen sind die zugehörigen Überlegungen aus den Gruppenarbeiten.

9.1 Anpassung des Lichts

Lichtstrategien im Außenbereich

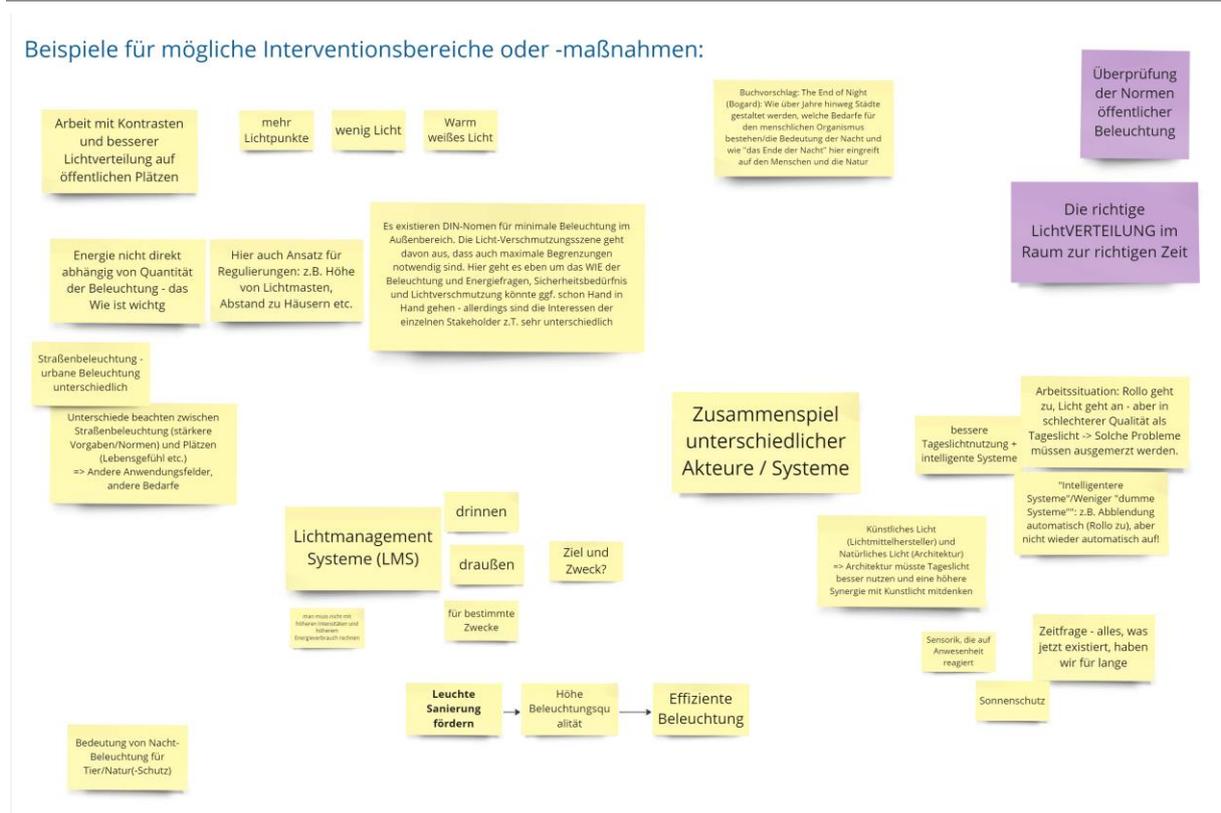
Bei Lichtstrategien im Außenbereich geht es um Licht zu Zeiten natürlicher Dunkelheit. Eine Möglichkeit, um Lichteinflüsse von außen in der Nacht zu reduzieren, ist eine Anpassung der Helligkeit (beispielsweise eine Reduzierung der Helligkeit um 70 %) von Straßenlaternen. Es ist aber auch möglich, nur jede zweite Laterne eingeschaltet zu lassen oder sie ganz abzuschalten. Empfehlungen dazu existieren.⁴¹ Eine andere Variante ist eine adaptive Einschaltung der Laternen je nach Straßen-

⁴¹ Sie sind unter DIN-EN 13201 und DIN SPEC 67600 sowie unter <http://www.lichtverschmutzung.de/seiten/strassenbeleuchtung1.php> zu finden.

und Fußgängerverkehr. Die Frage, ob dies nachteilige Effekte auf die Kriminalitätsrate bzw. die subjektiv empfundene Sicherheit haben könnte, konnte nicht abschließend beurteilt werden. Bisher gibt es für einen Zusammenhang zwischen Kriminalität und künstlicher Beleuchtung in der Nacht keine eindeutige Evidenz. Auch eine Umstellung der Straßenbeleuchtung auf LED oder adaptive Leuchten könnte sich positiv auf den circadianen Rhythmus auswirken (siehe auch Pagden et al. 2020). Ein weiterer Vorteil bei der Anpassung der Straßenbeleuchtung ist eine Energieeinsparung und damit ein positiver Einfluss auf das Klima.

Eine Beschränkung der Beleuchtung zu Werbezwecken sollte in Betracht gezogen werden. Beleuchtete Werbetafeln und Schaufenster sind für die beteiligten Unternehmen von Vorteil, bedeuten aber erhebliche Nachteile sowohl für dort wohnende Menschen als auch für das Klima (Zielinska-Dabkowska et al. 2019). Ein Verbot lichtemittierender Werbetafeln sowie ein Verbot von bestimmten Lichttechniken in der Nacht (wie z. B. Laser von Discotheken, Skybeamer) wären denkbare Optionen, um sowohl einen positiven Einfluss auf die Gesundheit der Menschen als auch Klimaschutz zu betreiben. Dazu gehört das Anstrahlen von Gebäuden und Hauswänden sowie das Verbot von Feuerwerkskörpern.⁴²

Abbildung 12: Ergebnisse aus dem Gestaltungsworkshop - Gruppe Energie und Sicherheit



Quelle: Fraunhofer ISI

Gruppe Energie und Sicherheit: Bei der Anpassung des Lichts im **Innenbereich** gibt es viele verschiedene Faktoren, die berücksichtigt werden müssen, was die Entwicklung von Handlungsempfehlungen erschwert. Wichtige Faktoren, die berücksichtigt werden müssen, sind unter anderem die Tageszeit, die Jahreszeit, die Örtlichkeit und die involvierten Menschen mit ihrem jeweiligen Arbeitsplatz. Dazu kann ein neues Lichtmanagement genutzt werden, das insbesondere die richtige

⁴² Beispiele finden sich hier: <http://www.lichtverschmutzung.de/seiten/werbebeleuchtung.php>; <http://www.lichtverschmutzung.de/seiten/skybeamer.php>; <http://www.lichtverschmutzung.de/seiten/gebäudeanstrahlung.php>

Lichtverteilung im Raum genauso wie die Lichtstärke und die anwesenden Personen berücksichtigt - der Komplexität sind hier keine Grenzen gesetzt.

Es gibt einige Forschungsergebnisse, aus denen sich Handlungsempfehlungen ableiten lassen. Tagsüber sollte das Licht idealerweise dem natürlichen Sonnenlicht angepasst sein. Besonders am Arbeitsplatz ist dies entscheidend, da wir dort für einen Großteil des Tages unsere Zeit verbringen. In der Verantwortung sind hier demnach in erster Linie die Arbeitgeber. Aufgrund der Möglichkeit zum Homeoffice sollten Empfehlungen jedoch auch zu Hause umgesetzt werden können. Eine Möglichkeit wäre, auch hier den Arbeitgeber einzubeziehen. **Ausgenommen wird hier zunächst das Licht für Menschen, die im Schichtdienst (Nacht- oder Wechselschicht) arbeiten. Für diese Gruppe von Menschen müssen Sonderregelungen erarbeitet werden.**

Eine optimale Platzierung des Arbeitsplatzes am Fenster, ohne eine Blendung der Arbeitnehmenden oder eine Überhitzung durch die Sonneneinstrahlung zu erzeugen, könnte eine Möglichkeit sein, optimale Lichtverhältnisse zu schaffen. Wenn Blendung vorliegt und ein Sonnenschutz angebracht werden muss, sollte dieser bestenfalls das Tageslicht filtern, anstatt es zu blockieren. Am Auge sollten nach Brown et al. (2022) mindestens 250 MEDI Lux (vertikale Ebene in 1,2 m Höhe) am Tag gemessen werden. Optimal wäre eine Erzielung dieser Werte mit Hilfe des Tageslichts, um gleichzeitig Energie einsparen zu können und das Klima zu schonen. Bei Notwendigkeit einer zusätzlichen elektronischen Beleuchtung sollte das polychromatische weiße Licht idealerweise ein Spektrum haben, das wie natürliches Tageslicht in kürzeren Wellenlängen nahe der Spitze des melanopischen Wirkungsspektrums liegt. Bei unzureichender Beleuchtung (am Arbeitsplatz oder privat) kann zudem eine Tageslichtlampe helfen. Diese sollte möglichst am Morgen und nicht in den Abendstunden eingesetzt werden (Cajochen et al. 2011; Chellappa et al. 2011; Doljansky et al. 2005). Zudem müssen die Beleuchtungslösungen auch saisonale Variationen des Tageslichts berücksichtigen (Adamsson et al. 2018; Cajochen et al. 2019; Stefani et al. 2021).

Eine vertikale Beleuchtung scheint vorteilhaft zu sein, da das Licht direkt ins Auge der betrachtenden Person fällt (Jarboe et al. 2020). Tageslichtlampen sind dafür besonders gut geeignet. Die europäische Norm EN 12464-1 (European Committee for Standardization. 2002) fordert eine vertikale Beleuchtung von ≥ 50 Lux in Aktivitätsbereichen und ≥ 150 Lux in Räumen, in denen eine visuelle Kommunikation unerlässlich ist (Büros, Unterrichtsräume) in einer Höhe von 1,2 m für sitzende Personen und 1,6 Meter für stehende Personen. Die Ausrichtung der Beleuchtung ist ebenfalls ausschlaggebend. Ein Lichtstrom, der nach oben gerichtet an eine weiße Wand gestrahlt wird, kann zu einer gleichmäßigen indirekten Hornhautbeleuchtung führen (Dai et al. 2018). Auch Ticleanu (2021) empfiehlt nach oben gerichtetes Licht.

Licht am Abend (direkt vor dem Schlafengehen) sollte angepasst werden. Mindestens drei Stunden vor dem Zubettgehen sollte das Licht maximal 10 MEDI Lux (gemessen am Auge in der vertikalen Ebene in etwa 1,2m Höhe) betragen (Brown et al. 2022). Insgesamt scheint dynamisches, dimmbares Licht in Räumlichkeiten sinnvoll zu sein (Alzahrani et al. 2020; Stefani et al. 2021). Es ist auch sinnvoll, das Licht automatisch an die Tageslichtverhältnisse anzupassen (Papinutto et al. 2022). Es wird angenommen, dass so insgesamt Energie eingespart werden kann (z. B. Onaygil et al. 2003). Ein automatisches Einschalten des Lichts durch Bewegungsmelder kann zusätzlich Energie einsparen (Xu et al. 2017). Alkhatatbeh et al. (2021) geben als Empfehlung an, dass das Morgenlicht (6.00 bis 9.00 Uhr) mehr Licht im blauen Spektralbereich und am späten Nachmittag mehr im orange-roten Bereich liegen sollte. Nach Rossi (2019) sollte mindestens zwei Mal am Tag Licht mit kurzen Wellenlängen vorherrschen, am frühen Morgen (6.00 bis 8.00 Uhr) und in der ersten Hälfte des Nachmittags (12.00 bis 15.00 Uhr). In dieser Zeit sollten höhere Lichtstärken verwendet werden, abends und in der Nacht hingegen niedrige Lichtstärken und warmes Licht.

Die **Beleuchtungssituation in der Nacht** sollte den natürlichen Helligkeitswerten der Nacht angepasst werden. Im besten Fall fällt kein Licht von außen ins Schlafzimmer. Die maximale melanopische Umgebungshelligkeit sollte nach Brown et al. (2020) 1 MEDI Lux betragen. Falls Aktivitäten während der Nacht Sehvermögen erfordern, wie z. B. der Gang zur Toilette, sollte das Licht nicht mehr als 10 EDI Lux (gemessen am Auge in der vertikalen Ebene in etwa 1,2 m Höhe) betragen.

Eine **saisonale Beleuchtung** sollte in Erwägung gezogen werden. Die Beleuchtung sollte im Winter anders sein als im Sommer. Es ist zu vermuten, dass Menschen im Sommer länger draußen sind, zumal es im Vergleich zum Winter früher hell und später dunkel wird, so dass die Tageslichtexposition höher ist. Im Winter sollte der Tageslichtgestaltung daher ein höherer Stellenwert beigemessen werden, vor allem um die negativen Folgen von Licht am Abend (aufgrund der frühen Dunkelheit) abzumildern. Insgesamt liegen zur saisonalen Beleuchtung noch wenig Forschungsarbeiten vor, so dass in diesem Bereich weitere Forschung vorangetrieben werden sollte.

Die Beleuchtung sollte nicht nur in den Innenräumen angepasst werden, sondern z. B. auch in öffentlichen Verkehrsmitteln. Bisher erscheint das Licht besonders abends und nachts für den circadianen Rhythmus **in Bus und Bahn** zu hell zu sein. Morgens hingegen erscheint es zu dunkel, da das Licht in den Abteilungen häufig bei Dämmerung schon ausgestellt wird. Hierzu scheint es auch noch wenig bis keine belastbaren empirischen Daten zu geben.

Beschäftigen wir uns mit der Frage der Anpassung des Lichts in Innenräumen dürfen **sensible Orte nicht vergessen** werden, wie z. B. Krankenhäuser, besonders Intensivstationen und Frühgeborenenstationen sowie Seniorenheime. Besonders Belastungen während der Nachtschicht können mit geeignetem Licht verringert werden (Rahman et al. 2022; Schledermann et al. 2023). Bei speziellen Erkrankungen kann eine gezielte Beleuchtung vorteilhaft sein (z. B. beim Delir oder bei Depressionen). Zu beachten ist hier (im Vergleich zur normalen Ausstattung von Büros und privaten Räumen), dass die Körperhaltung der Personen (z. B. im Krankenhaus) eine andere ist (meist liegend), so dass andere Eigenschaften des Lichts zu berücksichtigen sind (Acosta et al. 2019).

Neben einzelnen Lichtstrategien können auch **architektonische Veränderungen** zu besseren Lichtverhältnissen führen. Damit liegen Architekten in der Verantwortung, so dass der circadiane Rhythmus und Beleuchtungsstrategien im Architektur-Studium behandelt werden sollten. Bisher sind diese Themen nicht Teil des Architektur-Curriculums. Licht sollte nicht nur von oben kommen, sondern auch von der Seite, damit es direkt ins Auge fallen kann. Möglichkeiten, die in diesem Zusammenhang diskutiert werden können, sind eine Anpassung der Wandreflexion oder eine Anpassung der Bildschirmhelligkeit an die Tages- und Jahreszeit. In Japan und Rom dürfen beispielsweise Fenster nicht von anderen Parteien verdeckt werden. In Japan gilt dies auch für den Garten (Fernandez 2022). Aus diesem Grund sollten Gebäude nicht zu eng beieinander gebaut werden und die Position der Fenster der Himmelsrichtung angepasst gestaltet sein.

Nach Alkhatatbeh et al. (2021) erscheint es sinnvoll, große Fenster einzubauen (Al-Sallal 2016), da bei klarem Himmeln die Fenster im unteren Bereich mehr Tageslicht durchlassen und bei bedecktem Himmel im unteren Bereich. Typischerweise nimmt das Tageslicht mit zunehmender Entfernung vom Fenster ab. Etwa 3-4 Meter vom Fenster entfernt ist das Tageslicht auch an sonnigen Tagen eher als gering zu bewerten (Figueiro 2008). Nicht nur die Position der Fenster ist relevant, sondern bilaterale Beleuchtung (Gherri 2013; Wong 2017), eine geringe Raumtiefe (Altenberg Vaz et al. 2021) und die Verglasung der Fenster spielen eine Rolle (Chen et al. 2019; Hraska 2015; Saiedlue 2021). Eine elektrochrome (EC) Verglasung kann die Transparenz des Fensterglases durch Anlegen einer elektrischen Niederspannung verändern. Diese Transparenzveränderungen sind einstellbar, so dass Blendung minimiert und gleichzeitig die Menge an biologisch aktivem kurzwelligem Licht optimiert werden kann (Malekafzali et al. 2018).

Generell sollte bei Neubauten auf die richtige Ausrichtung der Räume geachtet werden (nach Möglichkeit Richtung Süden, Bäder und Küche Richtung Osten). Nach Zeng et al. (2021) könnten nach Osten ausgerichtete Büros am sinnvollsten sein. Eine Tischlerei in Deutschland hat drehbare Häuser entwickelt (die sich z. B. mit dem Sonnenstand drehen können). Dies bringt in erster Linie einen energetischen Vorteil, da die Sonnenenergie maximal ausgenutzt werden kann. Ob dies auch für den circadianen Rhythmus vorteilhaft ist, müssen Studien zeigen.

Besonders bei Schlafzimmern wird dem **Raumklima** eine wichtige Bedeutung beigemessen. Laut der TK-Studie (2017) empfanden 41 % der Befragten die Temperatur im Schlafzimmer als zu warm oder zu kalt. Durch den Klimawandel könnte sich diese Problematik verschärfen, so dass bei Neubauten nicht nur auf das Licht, sondern auch auf das Raumklima geachtet werden sollte. Dies kann ebenfalls erheblichen Einfluss auf den Schlaf und damit auf den Schlaf-Wach-Rhythmus haben. Trotzdem sollten Fenster am Tage nicht pauschal verdunkelt werden. Altenberg Vaz et al. (2021) konnten zeigen, dass Beschattungsvorrichtungen, die die Farbe und die Intensität des durch das Fenster fallende Tageslicht verändern, einen negativen Einfluss auf den circadianen Rhythmus haben können.

In Innenräumen kann auch die **Ausstattung der Büros und die Wandfarbe** eine Rolle spielen. Gelbe Wandfarbe kann dabei unterstützen den Blaulichtanteil des Tageslichts herauszufiltern (Hartman et al. 2014). Die Ergebnisse bezüglich der Wandfarbe scheinen jahreszeitenunabhängig zu sein (Hartman et al. 2016). Derzeit deuten die Ergebnisse einer Studie darauf hin, dass weiße Farbe, auch bei Möbeln laut Safranek et al. (2020), für die nicht-visuelle Wirkung am sinnvollsten zu sein scheint (Andersen et al., 2013). Zudem ist die Gestaltung der Räume mit Farbe energieeffizienter als zusätzliche Beleuchtungen anzubringen (Yao et al. 2020).

Lichtstrategien im Zusammenhang mit Bildschirmmedien

Die automatische Anpassung der Helligkeit von Bildschirmen an die Umgebung bzw. die Tageszeit könnte ebenfalls ein Ansatzpunkt sein, was besonders für die Abendstunden relevant erscheint. Das Tragen von Blaulichtfilterbrillen am Abend vor dem Schlafengehen könnte circadianen Rhythmen zuträglich zu sein, und wurde 2015 von van der Lely et al. (2015) postuliert. Eine Reduzierung der Helligkeit vor dem Schlafen (auch in Kombination mit Blaulichtfiltern) stellt eine weitere Möglichkeit dar (Heath et al. 2014). In beiden Studien verringerte sich allerdings nur die abendliche Wachsamkeit, bezüglich der Schlafvariablen konnten keine Veränderungen festgestellt werden. Einen positiven Einfluss auf die Schlafzeit wurde im Jahr 2020 in einer Studie aus den Niederlanden gezeigt (Zerbini et al. 2020). Weitere Forschung in diesem Bereich ist ratsam.

9.2 Anpassung von Rahmenbedingungen für Schule und Arbeit

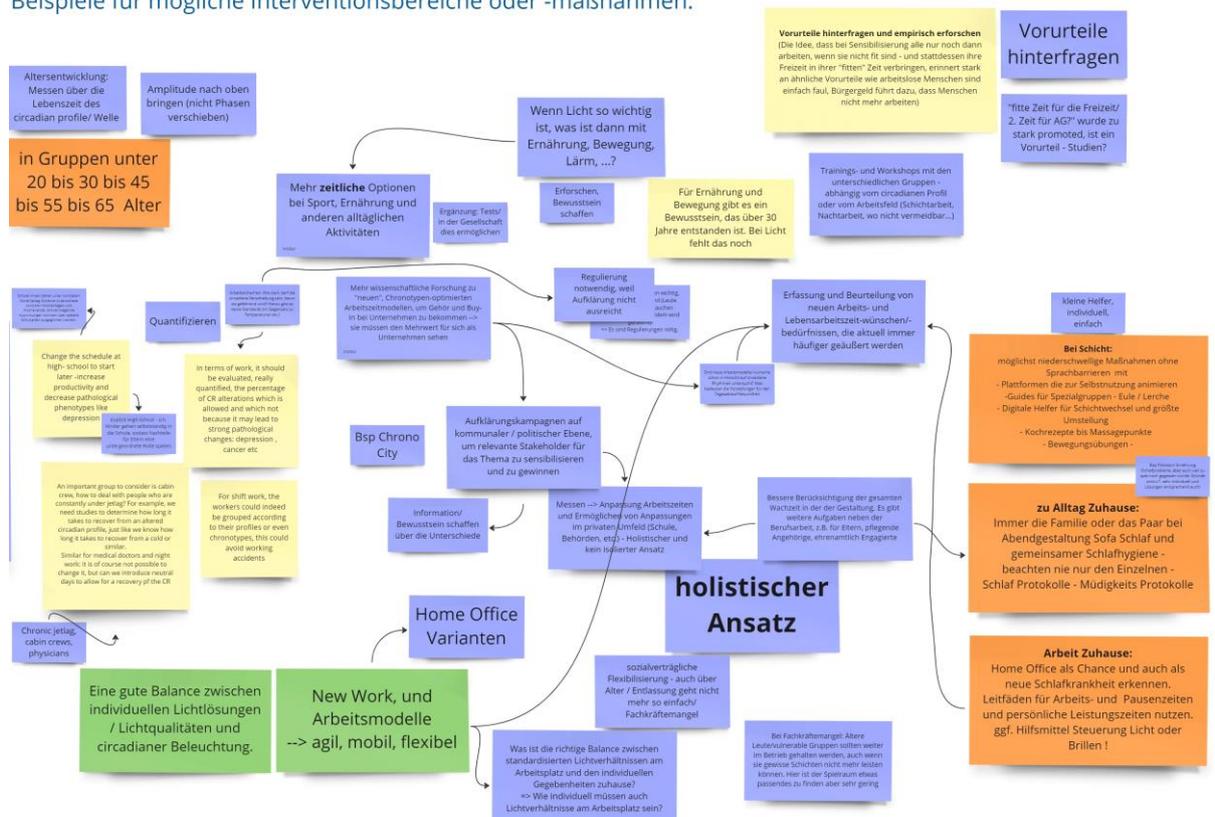
Durch eine Vielzahl an Forschungsarbeiten konnte belegt werden, dass Kinder und Jugendliche häufig unter Schlafmangel und Schlafstörungen leiden. Für eine große Mehrheit der Kinder beginnt zudem der Unterricht zu früh, da der individuelle circadiane Rhythmus nicht mit dem Schulbeginn übereinstimmt, so dass für einige die Schule zu ihrer natürlichen Schlafenszeit beginnt.

Eine Möglichkeit wäre, die Schulzeiten anzupassen bzw. nach hinten zu verschieben. Erste Schulen haben dies bereits eingeführt (Beispiele aus Berlin und Tuttlingen wurden im Workshop genannt). Besonders für Schüler:innen mit einem weiten Anreiseweg geht der frühe Schulbeginn häufig mit einem Schlafmangel einher (Zerbini et al. 2017a). Am Wochenende folgen Kinder und Jugendliche eher ihrem individuellen Chronotypen und schlafen am Wochenende länger als an Schultagen (Acebo et al. 2002; Andrade et al. 1996; Eliasson et al. 2002; Horzum et al. 2014). Goldin et al. (2020) konnten zeigen, dass die Schulleistungen der Kinder am besten sind, wenn sich der Schulbeginn an den individuellen Chronotypen ausrichten würde. Bei gleichem Schulbeginn können die Leistungen der Kinder nicht miteinander verglichen werden, da es einen direkten und indirekten Einfluss des

Chronotypen auf die Schulleistung gibt (Zerbini et al. 2017a). Die Kinder unterschieden sich besonders bezüglich Aufmerksamkeit, Gewissenhaftigkeit, Lernmotivation und Stimmung. Insbesondere die Aufmerksamkeit schwankt im Tagesverlauf, so dass bei Frühtypen die Aufmerksamkeit am frühen Morgen am besten ist, bei Abendtypen liegt die beste Aufmerksamkeitsleistung deutlich später am Tag. Verschiedene Studien konnten zeigen, dass der Spät-Typ mit schlechteren schulischen Leistungen assoziiert ist (zur Übersicht siehe Zerbini und Merrow (2017a)). Eine Übersicht zur Verschiebung der Schulzeiten ist bei Owens (2014) und Wahlstrom et al. (2014) zu finden. Zudem sollte in diesem Zusammenhang die Jahreszeit ebenfalls nicht vergessen werden. Im Winter könnte sich der Chronotyp möglicherweise weiter nach hinten verschieben (Dunster et al. 2023).

Abbildung 13: Ergebnisse aus dem Gestaltungsworkshop - Gruppe Arbeit und Schule

Beispiele für mögliche Interventionsbereiche oder -maßnahmen:



Quelle: Fraunhofer ISI

Gruppe Arbeit und Schule: Neben der Verschiebung der Schulzeiten nach hinten, könnten selbstgewählte Lehr- und Schulpläne eine Lösung sein, denn wenn einzelne Fächer an mehreren Tageszeiten angeboten werden, könnten die Kinder frei wählen. Wahlfächer zu unterschiedlichen Uhrzeiten zu unterrichten könnte sich gleichzeitig positiv auf die Lehrkräfte auswirken, da auch sie ihre Stundenpläne an den eigenen Chronotypen anpassen könnten. Horzum et al. (2014) konnten zeigen, dass selbstgewählte Stundenpläne die Schulleistungen verbessern konnten. Eine Verlegung von Schulstunden in den Nachmittag könnte dazu führen, dass es keine Leistungsunterschiede mehr zwischen Spät- und Frühtypen mehr gibt (Arrona-Palacios et al. 2018; Estevan et al. 2018; Goldin et al. 2020). Dass hierfür nicht ausreichend Lehrkräfte zur Verfügung stehen, scheint eine Ausrede zu sein, denn eine bessere Verteilung der Lehrkräfte sollte in aller Interesse sein.

Besonders das **Schreiben von Klausuren und Klassenarbeiten sollte tageszeitlich angepasst** werden (Itzek-Greulich et al. 2016; van der Vinne et al. 2015), damit Schulleistungen vergleichbar sind und die Spättypen keinen Nachteil haben. Denkbar wäre auch, bei Schulfächern, die eine hohe kognitive Leistung erfordern, eher eine Möglichkeit zur Wahl der Tageszeit zu schaffen (siehe dazu Wile et al. 2011), weniger als bei „kreativen Schulfächern“ (wie z. B. Kunst und Sport). Schulen mit Wahlfächern/Wahlmodulen gibt es bisher lediglich in den Niederlanden.⁴³

Die **Verlegung von Sport in frühe Schulstunden** könnte gleichzeitig zu einer gesteigerten Wachheit führen, besonders, wenn diese gleichzeitig **im Freien** stattfinden würden. Nach Richardson et al. (2017) könnte sich durch Sportstunden am Schulbeginn die circadiane Phase bei Jugendlichen nach vorne verschieben und sich die Schlafqualität verbessern. Besonders bei Mädchen scheint Sport am Morgen einen positiven Effekt zu haben (Jurić et al. 2022; Kalak et al. 2012). Eine frühe Tageslichtexposition könnte zu einer Verschiebung des Schlaf-Wach-Rhythmus nach vorne beitragen. Gleichzeitig konnte eine Studie von Dettweiler et al. (2017) zeigen, dass Outdoor-Unterricht mit einem niedrigeren Cortisol-Spiegel verbunden war als bei Indoor-Unterricht. Inzwischen gibt es sogar Wald- oder Freilichtschulen, die ihren Unterricht hauptsächlich im Freien abhalten. Licht am Morgen mit integrierten Bewegungsplänen je nach Chronotyp ist bei Thomas et al. (2020) zu finden. Studien mit Realbezug fehlen noch, und in derzeitigen Stundenplänen finden sich die Sportstunden häufig in und nach der Mittagszeit. Bei Hitzezeiten ist dies ungünstig.

Um die Schulzeiten an den individuellen Chronotypen anzupassen, muss zunächst der individuelle Chronotyp (und die Schwankungen im Alter) bekannt sein. Zudem wissen viele Menschen nichts über den circadianen Rhythmus, das Entstehen von Schlafstörungen und wie sie vermieden werden können. Circadiane Rhythmen und Schlafstörungen sollten bereits in der Schule in den Lehrplan integriert werden, zudem sollte der Chronotyp der Kinder ermittelt werden. Interventionsprogramme zu dem Thema in Schulen konnten zum Teil gute Effekte erzielen (Kira et al. 2014; Moseley et al. 2009; Wolfson et al. 2015). Mit den **Interventionsprogrammen** konnten jedoch nicht alle gleichermaßen erreicht werden. Vermutet wurde, dass einige Teilnehmende nicht motiviert genug waren, insbesondere wenn es beispielsweise um die Einschränkung der abendlichen Smartphone-Nutzung ging. Hier waren die individuellen Bedürfnisse möglicherweise größer als die Motivation, gute Schulleistungen zu erzielen. Daher kann ein anderer Ansatz darin bestehen, nicht die Techniknutzung der Jugendlichen einzuschränken, sondern kognitive Techniken (wie z. B. Achtsamkeit, konstruktive Sorge) mit den Kindern einzuüben, damit sich die Teilnehmenden von Sorgen und Ängsten ablenken können.

Der **Zugang zu Tageslicht** ist nicht nur für den Schlaf-Wach-Rhythmus wichtig, sondern auch für die Gesundheit und das Leistungsvermögen. Aufgrund von Schul- und Arbeitszeiten sind Menschen dem Tageslicht häufig nur in geringem Maße ausgesetzt. Neben baulichen Veränderungen (wie z. B. Balkone, Fenster zum Aufschieben) könnte ein Ansatz sein, Pausen anders zu gestalten und als Schule oder Arbeitgeber mitzuwirken. **Pausen sollten möglichst im Freien verbracht werden**, so dass hierfür Anreize geschaffen werden müssen. Angebote wie z. B. Sporteinheiten, kreative Angebote oder Entspannungsmöglichkeiten könnten dies ergänzen. Sportangebote vom Arbeitgeber aus sollten für alle Chronotypen möglich sein und auch in den frühen Morgenstunden (vor der Arbeit) stattfinden.

⁴³ <https://deschool.nl/> (Zugriff 20.3.2023)

Menschen benötigen Anreize, sich mehr draußen zu bewegen. Eine Erhöhung der Verfügbarkeit von Grünflächen und die Zufriedenheit der Stadtbewohner mit diesen Flächen/ Parks kann dazu führen, dass Menschen (besonders Kinder und Jugendliche) mehr Zeit im Freien verbringen (Veitch et al. 2021).

An **Arbeitsplätzen** sollte, wo möglich, eine flexible Arbeitszeitgestaltung gewährt werden. Eine Anpassung der Arbeitszeit an den Chronotypen ist empfohlen. Takahashi et al. (2011) konnten herausfinden, dass eine flexible Arbeitszeitgestaltung zu weniger Stressempfinden und einer verbesserten Stimmung führte. Als Grund gaben sie an, dass das Schlafbedürfnis besser an den individuellen Chronotyp angepasst werden konnte. Auch in anderen Studien konnte eine bessere Work-Life-Balance und eine höhere Arbeitszufriedenheit gemessen werden (z. B. Baltes et al. 1999; Costa et al. 2004; McNall et al. 2010; Nijp et al. 2012). Allerdings kann die Flexibilität auch zu Lasten der Arbeitenden gehen und zu genereller Mehrarbeit führen. Dies wurde während der drei CIRCADIA-Workshops immer wieder thematisiert.

Olson et al. (2015) fanden heraus, dass die Schlafenszeiten durch **mehr Flexibilität** verlängert werden konnten. Auch in unserer repräsentativen Befragung wurde deutlich, dass einige ihre Arbeitszeit an den Schlafrhythmus anzupassen scheinen. Eine spätere Schlafenszeit ging mit einem späteren Arbeitsbeginn einher. Zudem konnte die Produktivität und Kreativität durch flexible Arbeitszeiten gesteigert werden (Hunter et al. 2017). Neben der Möglichkeit zu flexiblen Arbeitszeiten kann das Einführen von zeitweisen Homeoffice-Phasen eine Alternative darstellen. Staller et al. (2021) gaben an, dass dies zu einer längeren Schlafdauer und einem niedrigen sozialen Jetlag (als Maß einer Herausforderung der inneren Uhr) führen würde. Zudem wäre auch hier eine bessere Vereinbarkeit von Beruf und Familie möglich. Bei den meisten Familien in Deutschland sind häufig beide Elternteile erwerbstätig.⁴⁴ Für das Arbeiten von zuhause aus, muss die geeignete Lichtinstallation beachtet werden. Eine Alternative dazu stellt die Möglichkeit dar in präkonfigurierten Coworking Spaces zu arbeiten. So kann der Arbeitsweg verkürzt werden und geeignete Lichtinstallationen einfacher verfügbar gemacht werden. Zumindest sollte dies beim Bau neuer Spaces bedacht werden (Stichwort: Architektur).

Die Gesunderhaltung der Mitarbeitenden sollte Aufgabe der Arbeitgeber sein. Eine gute Vereinbarkeit von Familie und Beruf ist dabei ein wichtiger Aspekt. Zudem sollte das Thema circadianer Rhythmus und Schlaf in das betriebliche Gesundheitsmanagement integriert werden. Die Frage ist häufig, ob ausreichend Fachkräfte engagiert werden (können), um Belastungen Einzelner abmildern zu können. Eine Wertschätzung des Arbeitgebers gegenüber seinen Mitarbeitenden kann ebenfalls zur Gesunderhaltung beitragen. Im Workshop wurde angesprochen, dass für (psychisch) erkrankte Mitarbeitende geeignete Regelungen getroffen werden sollten, wie diese zukünftig eingesetzt werden können. Insgesamt ist es notwendig, auf Individuen eingehen zu können.

9.3 Anpassung sozialer Praktiken

Eine Möglichkeit den circadianen Rhythmus zu stabilisieren, besteht darin, **regelmäßige Tagesabläufe und Routinen zu etablieren**. Hierzu gehört eine stärkere Beachtung der Nutzung von Technologie im Alltag und dabei insbesondere von Bildschirmen, d. h. auch Smartphones, Laptops und ein bewusster Umgang bei permanentem Gebrauch von Medien, die mit Bildschirmnutzung einhergehen (soziale Medien, Computerspiele usw.). Dies wird in Zukunft wichtiger werden.

Tägliche Zeitstrukturen: Insgesamt benötigen soziale Praktiken und ihre Zeitlichkeit mehr Aufmerksamkeit. Vieles tun Menschen, weil sie es gewöhnt sind und nicht darüber nachdenken, dass

⁴⁴ <https://www.bpb.de/kurz-knapp/zahlen-und-fakten/datenreport-2021/familie-lebensformen-und-kinder/329573/vereinbarkeit-von-familie-und-beruf/> (Zugriff 20.3.2023)

eine andere Zeit am Tag für bestimmte Tätigkeiten besser wäre. So könnten sie zu einer anderen Zeit ins Bett gehen oder die Ernährung zeitlich nicht so stark oder stärker an eine andere Zeit binden (Ernährung haben wir in CIRCADIA nicht im Detail betrachtet, sie wird aber immer wieder in die Debatten gebracht).

Verhaltensveränderungen in Bezug auf Bildschirmmedien: Tavernier et al. (2017) konnten in ihrer Studie zeigen, dass die Zeit, die (in Präsenz) mit Freunden oder der Familie verbracht wird, zu einem besseren Schlafergebnis führen könnte. Nach Twenge et al. (2018) wirkt sich die Bildschirmnutzung negativ aus, wenn diese persönliche Interaktionen verdrängen. Das Gefühl von sozialer Unterstützung steht ebenfalls mit einem geringeren Risiko für Schlafprobleme in Verbindung (Mestas et al. 2020), was besonders bei Jugendlichen wichtig ist (Maume 2013). Gerade zu Zeiten vermehrter Bildschirmnutzung und nach einer langen Phase der sozialen Isolation durch die COVID-19-Pandemie kommt diesem Thema eine hohe Bedeutung zu. Es scheint wichtig zu sein, Menschen langfristig auf einfacherem Wege soziale Kontakte zu ermöglichen. Genannt wurden hier niedrigschwellige Möglichkeiten, z. B. statt Kleingärten "gemeinsame Gärten" zu nutzen, um Kontakte im Freien zu erhöhen, die Schaffung von Treffpunkten im Freien, Treffpunkte junger Menschen fördern (Jugendtreff), "Co-Working-Spaces" oder Orte für die Freizeit mit gemeinsamem Kochen, geselligen Runden usw.

Uhrenumstellung im März und Oktober: Die **Uhrenumstellung** im März (Stichwort: „Sommerzeit“) und im Oktober wurde ursprünglich eingeführt, um Energie zu sparen, indem die zusätzliche Stunde Licht pro Tag im Sommer genutzt wird. Diese Umstellung stört den Schlaf und circadiane Rhythmen vor allem bei späten Chronotypen (Kantermann et al. 2007, Roenneberg et al. 2019, Čulić and Kantermann 2021, Reis et al. 2023). Es gibt keine Studie, die effektive Energieeinsparung belegen kann, der Zweck wurde also nicht erreicht, aber die Zeitumstellung dennoch beibehalten. Viele Menschen genießen die langen Sommerabende, gehen dadurch aber auch später ins Bett und müssen trotzdem morgens früh aufstehen. Die Umstellung ist vergleichbar eines Wechsels in eine andere Zeitzone bei Beibehaltung des Orts – und das zweimal im Jahr. Obwohl es nur eine Stunde ist, die wir die Uhren im Frühjahr vorstellen, so ist diese eine Stunde ein nachweislicher Störfaktor für Gesundheit, Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit. Gerade für Menschen, die bereits einen gestörten Schlaf haben, ist die Uhrenumstellung nicht zuträglich und in der Woche nach der Umstellung sind statistisch signifikant mehr Unfälle, insbesondere Wildunfälle (Winnebeck 2022), zu verzeichnen⁴⁵.

Es gab eine europaweite Umfrage zum Thema, bei der sich die Mehrheit der Befragten für eine Abschaffung der Uhrenumstellung ausgesprochen hat (European Commission 2018), aber der politische Prozess zur Umsetzung des Ergebnisses ist nicht gestartet worden. Das Technikfolgenabschätzungsbüro des deutschen Bundestags (TAB) hat eine Bilanz der Sommerzeit veröffentlicht (Caviezel et al. 2016). Es sollte stärker kommuniziert werden, dass wir nicht die Zeit umstellen, sondern nur die Uhren. Es gibt eine Standardnormalzeit und es gibt Zeitzonen. Menschen gehen in der „Sommerzeit“ sieben Monate kollektiv eine Stunde früher zur Arbeit oder in die Schule. Dies bedeutet formal einen Wechsel der Zeitzone. Wir merken es jedoch nicht, weil wir die Uhren umstellen. Wer in der Normalzeit um 6 Uhr aufsteht (aufstehen muss), steht in der „Sommerzeit“ um 5 Uhr auf (aus 7 Uhr wird 6 Uhr, aus 8 Uhr wird 7 Uhr, etc.). Der Begriff „Sommerzeit“ ist Marketing und fühlt sich gut an, weil viele Menschen den Begriff Sommer gegenüber Winter präferieren.

⁴⁵ Dieses Bild verdeutlicht gut, was gemeint ist: <https://www.goslar-institut.de/recherche-tipps/verkehrssicherheit/nach-zeitumstellung-steigt-unfallrisiko/>. Es gibt aber auch andere Warnungen, z. B. <https://www.landesjagdverband.de/detail/artikel/achtung-zeitumstellung-wildunfallgefahr-steigt/a/detail/c/News/>; <https://www.mdr.de/wissen/zeitumstellung-fuehrt-zu-mehr-toedlichen-verkehrsunfaellen100.html> (Zugriff 20.3.2023)

9.4 Wissenstand der Bevölkerung erhöhen

Ein grundlegendes Ziel besteht darin, den Wissensstand der Bevölkerung bezüglich circadianer Rhythmen zu erhöhen, damit Handlungsempfehlungen umgesetzt werden können. Die Integration in den Lehrplan der Schulen wurde bereits diskutiert. Weiterhin sollten Sportmediziner:innen oder Trainer:innen entsprechend geschult sein, um Sportpläne an z. B. den jeweiligen Chronotypen anpassen zu können. Ebenfalls sollte das Thema im Medizin-Studium fester Bestandteil sein, da viele Mediziner wenig darüber wissen, um geeignete Empfehlungen an die Patienten weiterzugeben.

Wichtig sind Informationen ebenfalls für (werdende) Eltern. In der Kinderarztpraxis könnten Information Broschüren zum Thema Kinderschlaf ausgelegt werden, in denen Empfehlungen an die Eltern weitergegeben werden (siehe z. B. Hale et al. 2019). Die Eltern sollten auf den Schlafzeitpunkt ihrer Kinder achten und diesen mitbestimmen (z. B. Short et al. 2019), allerdings nicht einfach nur ihren eigenen Bedürfnissen anpassen⁴⁶.

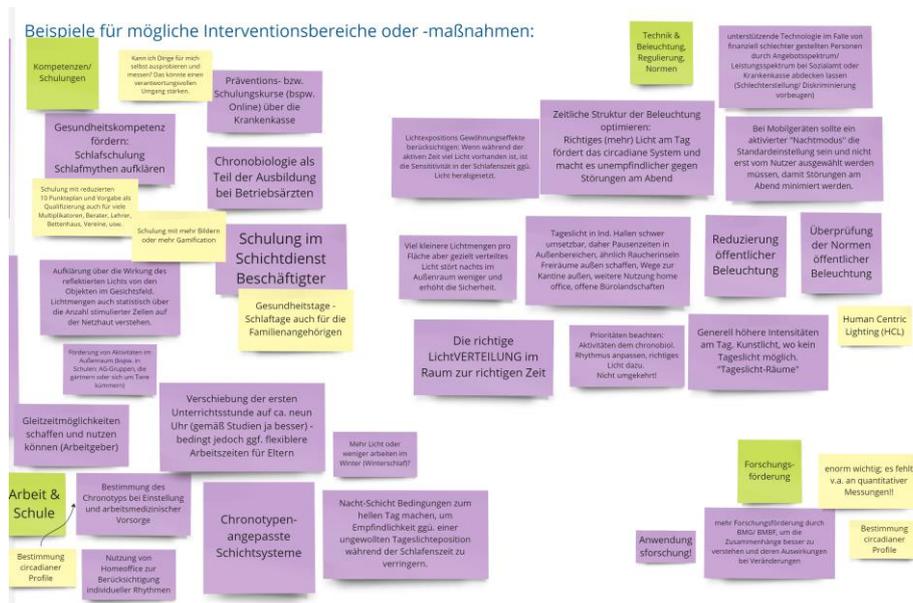
Zudem sollten Eltern (gerade bei kleineren Kindern) Einfluss auf die Bildschirmmediennutzung haben. Dafür stehen den Eltern z. B. geeignete Apps zur Verfügung, die über die Nutzungsart und Dauer der Medien informieren. Empfehlungen hierzu sind u.a. zu finden bei (Arundell et al. 2020; Hale et al. 2019; Nishioka et al. 2022; Piotrowski et al. 2015), aber die Bildschirmnutzung und ihre Einschränkung bleibt in Familien ein Streitthema.

Weiterhin sind Informationen besonders für Menschen in Wechsel- und Nachtschichtarbeit relevant. Hierzu bedarf es jedoch noch viel Forschung (Ritonja et al. 2019). Nagashima et al. (2017) empfehlen beispielsweise den Tagschlaf im Licht, um die Melatonin-Freisetzung nachts nicht zu beeinflussen. Andere empfehlen das Tragen einer Sonnenbrille nach der Nachtschicht, um im Anschluss im Dunkeln besser schlafen zu können (z. B. Crowley et al. 2003). Insgesamt sind hier die Empfehlungen noch nicht einheitlich, so dass es hier weiterer Forschung bedarf.

Aufgrund der Tatsache, dass Senior:innen wenig Tageslicht bekommen (häufig aufgrund körperlicher Einschränkungen, aber auch wegen Personalmangel in Pflegeheimen), ist die Arbeit mit dieser Gruppe ebenfalls wichtig, was dafür spricht beispielsweise auch Menschen, die in der Pflege arbeiten besser über dieses Thema zu informieren.

⁴⁶ Es ist gerade (2024) bei einigen jungen Eltern zu beobachten, dass sie ihre Babys zum Essen wecken, um sie an einen den Eltern angepassten Rhythmus zu gewöhnen. Hierzu gibt es keine Empirie, nur anekdotische Beobachtung. Es sollte aber darauf geachtet werden, dass die Kinder ihren eigenen Rhythmus entwickeln können.

Abbildung 14: Ergebnisse aus dem Gestaltungsworkshop - Gruppe Gesundheit und Schlaf



Quelle: Fraunhofer ISI

In der Gruppe „**Gesundheit und Schlaf**“ wurden ebenfalls Gestaltungsspielräume diskutiert, die bereits zu anderen Themen Erwähnung fanden. Spezifisch für Schlaf, können Informationen und Interventionen hilfreich sein. Bei bereits bestehenden Schlafstörungen können Schlaftrainings online eine Hilfe sein, da ambulante Interventionen in Bezug auf Schlafstörungen bisher nur sehr begrenzt vorhanden sind. Besonders jungen Menschen und Spättypen zeigten in einer Studie von Díaz-Morales et al. (2012) falsche Konzepte über Schlaf und Schlafhygieneverhalten. Eine ungemessene Schlafhygiene scheint besonders bei Hauptschülern und sozial schwächer gestellten Familien vorzukommen (Vollmer 2012), so dass diese Gruppe einen besonders hohen Bedarf zu haben scheint. Eine gute Schlafhygiene könnte nach Vollmer (2012) die abendliche Orientierung (den Grad des biologischen Spät-Seins) von Jugendlichen abmildern.

9.5 Zusammenfassende Abschlussdiskussion

Die Teilnehmenden des dritten Workshops betonten, dass **niedrigschwellige Ansätze** häufig hilfreicher seien als die "ganz großen Strategien". Es sollte nicht nur "oben" beim Ministerium (also beim BMBF) angesetzt werden, sondern direkt im Alltag. "Mit den einfachen Dingen anfangen" (nicht mit dem Thema Nachtschicht) lautete der Ratschlag. Ein Beispiel wäre, **herauszufinden, wie viel Licht ein Mensch im Alltag und wann am Tag braucht**. Dies müsste mit klaren, wissenschaftlich fundierten Empfehlungen konkretisiert und umgesetzt werden.

Hilfreich seien einzelne, **sehr konkrete Forderungen**, statt nur zu sagen, wissenschaftliche Erkenntnisse sollen berücksichtigt werden: z. B. ausreichend Lux am Tag, mind. 250 am Auge. Es muss deutlich werden, was dies bedeutet.

Eine Idee lautete, eine **staatlich geförderte Lichtberatung** einzuführen (ähnlich zur staatlich geförderten Energieberatung): Allerdings fehlt es oft noch an der nötigen Fachexpertise für eine derartige Beratung. Beim Fachkongress für Lichtplaner BioWi (Biologische Wirkung des Lichts) werden derartige Forderungen diskutiert und sind bekannt, aber das ist nur eine kleine Gruppe, die seit Jahren innerhalb der eigenen Community verbleibt. Eine breitere Streuung von Wissen ist notwendig.

Messungen: Die nichtvisuelle Wirkung von Licht kann auf verschiedene Art und Weise gemessen werden, was es Forschenden erschwert, Ergebnisse bei unterschiedlichen Messmethoden zu vergleichen. Bisher konnte noch keine einheitliche Lichtmessmethode vereinbart werden. Auch zur Bestimmung der Chronotypen und sind unterschiedliche Verfahren (von Fragebögen bis Gentests) verfügbar. Diese sollten nicht nur ausgebaut und vereinheitlicht werden, sondern ihre Nutzung auch weiterverbreitet werden, um in unterschiedlichen Alltagssituationen wie auch in der Medizin eine bessere Synchronisierung von Behandlungen zu ermöglichen.

Bildung: Die Frage kam auf, ob ausreichend Fachkenntnis für die Umsetzung jedweder chronobiologisch basierter Vorschläge vorhanden ist. Ist das Thema in Studiengängen zu Licht und Technik ausreichend implementiert? Um das Thema und den Wissensstand bekannter zu machen, könnten die wissenschaftlichen Akademien (z. B. Leopoldina) ein hilfreicher Akteur sein. Wichtige Akteure sind auch die Krankenkassen, weil diese ein ureigenes Interesse am Thema haben müssten.

Gesellschaftliche Systeme: Die „chronobiologische Anpassung gesellschaftlicher Systeme“ bleibt ein sehr komplexes Thema. Da es noch nicht einmal gelungen ist, die geforderte Uhrenumstellung im März und Oktober abzuschaffen, herrscht hier Skepsis der Expert:innen.

Öffentlichkeitsarbeit: Erfahrungsräume schaffen, um circadiane Rhythmen erfahrbar zu machen, zu erleben, ist auch aus künstlerisch/kreativer Seite heraus interessant, um im privaten Umfeld Bewusstsein und Erfahrungsraum zu schaffen.

Aus dem Folgenworkshop und der Debatte zu Gestaltungsspielräumen auf dem dritten Workshop haben sich außerdem verschiedene **Dilemmata** herauskristallisiert, und in allen Fällen sind **viele unterschiedliche Akteure beteiligt, die unterschiedliche Interessen** verfolgen. Was für Person A ein Vorteil ist, ist für Person B ein Nachteil und umgekehrt: Ein späterer Arbeitsbeginn mag chronobiologisch für späte Typen sehr gut sein, stört aber wiederum die frühen Typen und löst beispielsweise nicht das Problem eines frühen Schulbeginns. Schichtarbeit wird mit Zuschlägen honoriert, so dass viele, die auf diesen Zusatzverdienst angewiesen sind, ihn gerne annehmen, unabhängig davon, ob sie ein geeigneter Chronotyp sind oder nicht.

Nicht alle Widersprüche sind sofort oder auf einfache Weise zu lösen und nicht allen Gruppen kann immer in gleichem Maße gedient werden: z. B. sitzen in einer Schulklasse sowohl frühe als auch späte Chronotypen (inkl. der Lehrkraft). Allen gerecht zu werden, erfordert eine andere Aufteilung von Klassen und stößt schnell an organisatorische und praktische Grenzen. Schichtarbeit ist gesundheitsschädlich, aber nicht immer zu vermeiden, beispielsweise bei Rettungs- und Sicherheitsdiensten.

Neben Menschen in Schicht- und Nachtarbeit zählen auch blinde Menschen, Berufstätige in der Landwirtschaft, Alleinerziehende, Familien mit unterschiedlichen Chronotypen, Obdachlose oder Menschen mit häufigen Ortswechseln zu den vulnerablen Gruppen, die einer besonderen Unterstützung bedürfen. Die Interessen von Beschäftigten, Arbeitgebern, Familien und älteren Menschen sind in Einklang zu bringen, insbesondere wenn es um ökonomische Interessen geht. Viele Akteure auf unterschiedlichen Ebenen sind somit aufgerufen, sich mit dem aktuellen chronobiologischen Erkenntnisstand und den Implikationen für die eigenen Praktiken auseinanderzusetzen. Die Politik ist nur ein Akteur unter vielen, aber insbesondere für sie bestehen Handlungsmöglichkeiten – die in Teilen noch einiges an Forschung erfordern. Die dringende Empfehlung an die Politik lautet daher, mit den offensichtlichen Prozessen zu beginnen.

10 Ausblick auf Zukunftsthemen, neue Methodik und Politik

Im Projekt CIRCADIA haben wir Ergebnisse zusammengetragen, die verdeutlichen, was wir Menschen wissen und was noch nicht ausreichend erfasst wird. Weitere Forschung sollte also an einzelnen inhaltlichen Themen erfolgen. Dies sollte insbesondere für das BMBF, das hier Förderer der INSIGHT-Projekte ist, von Interesse sein. Der zweite Block dieses Kapitels blickt auf die Methodik, die eine neue Kombination aus Literaturrecherche, Foresight inklusive Horizon Scanning und Folgenforschung ist, um an einzelnen Themenstellungen tiefer zu bohren und gleichzeitig das Thema Chronobiologie neu aufzumachen. Für zukünftige INSIGHT-Projekte könnte dies interessant sein. Der dritte Block leitet aus den Funden Empfehlungen ab. Die drei Blöcke lauten:

1. Zukünftige Forschungsthemen: Inhaltliche Forschungsfragen für die Zukunft
2. Methodeneinsatz bei INSIGHT-Projekten: Foresight und Folgenforschung verknüpfen
3. Empfehlungen für Politik und Individuen

10.1 Zukünftige Forschungsthemen

Die zukünftigen Forschungsthemen ranken sich um die Gesundheit des Menschen, unter anderem im Kontext neuer Arbeitsstrukturen. Folgen unseres immer stärkeren Umgangs mit Technik, hier insbesondere Bildschirmen, und eine neue Strukturierung des menschlichen Alltags werden immer deutlicher sichtbar. Besonders die folgenden Themen wurden in den Workshops als noch unzureichend erforscht genannt:

- 1) Untersuchung der Wirkungen von Schlaf auf die Gesundheit und Entwicklung von Krankheiten
- 2) Erforschung von Ursachen für Schlafdefizite sowie deren Wirkung auf die Gesundheit
- 3) Untersuchung der Wirkung von Lichttechnologie auf die Leistungsfähigkeit des Menschen, den Schlaf und die Gesundheit
- 4) Erforschung von Möglichkeiten zur Förderung eines gesunden Schlafverhaltens und einer chronobiologisch angepassten Alltagsstruktur
- 5) Untersuchung der Wirkung von Schlaf auf die Arbeitsorganisation und wirtschaftliche Aspekte
- 6) Erforschung von Möglichkeiten zur Förderung von Eigenverantwortung, Gesundheitskompetenzen und Ressourcen im Bereich der Gesundheit, insbesondere für vulnerable Gruppen und Menschen mit Vorbelastungen.

Grundlagenforschungsfragen sind besonders aufgefallen und sollten weiterverfolgt werden:

Melatonin wird exogen zum Einschlafen gegeben und ist inzwischen frei verkäuflich. Wie genau Melatonin wirkt, muss noch weiter erforscht werden, da anzunehmen ist, dass auch dieses Hormon unterschiedliche Funktionen im Körper des Menschen erfüllt. Bezüglich des endogenen (körpereigenen) Rhythmus von Melatonin ist unklar, an welcher Stelle (Netzhaut, SCN, Pupillenreaktion, etc.) die Individualität in der Melatonin-Freisetzung erzeugt wird. Hier ist Grundlagenforschung erforderlich.

Diskutiert wird ebenfalls der **Einfluss von anderen Hormonen als Melatonin** auf den Schlaf-Wach-Rhythmus. Zwischen dem Schlaf-Wach-Rhythmus und der Hormonausschüttung besteht ein Zusammenhang, der bei Frauen zusätzlich durch den Menstruationszyklus moduliert wird (Shechter et al. 2010). Welche Hormone (abgesehen von Melatonin) wann Einfluss auf unsere circadianen Rhythmen haben, ist noch weitgehend unerforscht.

Unterschiede zwischen den Geschlechtern: Zwischen dem Schlaf-Wach-Rhythmus und der Hormonausschüttung besteht ein Zusammenhang, der bei Frauen zusätzlich durch den Menstruationszyklus moduliert wird (Shechter et al. 2010). Schlafbeschwerden bei Frauen hängen häufig auch mit dem Menstruationszyklus zusammen. Laut Spitschan et al. (2022) wurden Geschlechtsunterschiede auch in der Forschung zur Chronobiologie bisher zu wenig berücksichtigt. Bei Untersuchungen im Feld und im Labor wurde festgestellt, dass DLMO bei Frauen signifikant früher auftritt als bei Männern (Cain et al. 2010b; Gunn et al. 2016). Darüber hinaus wurde festgestellt, dass der Abstand zwischen DLMO (als Maß des Beginns der biologischen Nacht) und tatsächlich gewöhnlicher Schlafenszeit bei Frauen kürzer ist (Burgess und Eastman, 2005). Es ist jedoch schwierig festzustellen, ob diese Ergebnisse auf Unterschiede im endogenen circadianen Rhythmus von Melatonin oder auf den Einfluss anderer exogener Signale zurückzuführen sind (Gunn et al. 2016) und was dies bedeutet.

Erfassung des Merkmals Chronotyp: In Zukunft wird es unterschiedliche Verfahren geben, den eigenen Chronotyp festzustellen und Schlüsse daraus zu ziehen. Die bestehenden Messmethoden müssen verfeinert werden, insbesondere die Genauigkeit der Messungen beispielsweise für präzise Medikamentengaben wird gefordert. Aber was ist, wenn jeder Mensch seinen Chronotypen kennt. Muss der Chronotyp dem Arbeitgeber bekanntgegeben werden? Darf der Chronotyp in der Schule zur Klassenverteilung genutzt werden oder gibt es überhaupt die Verpflichtung, ihn festzustellen bzw. preiszugeben? Dies sind Fragestellungen, die wissenschaftlich, juristisch und gesellschaftlich noch einer Klärung bedürfen.

Arbeitszeiten, freie Zeiten und Chronotypen bzw. -phasen: Sobald wir die molekularen Grundlagen der menschlichen Tages-Rhythmik besser verstehen, können neben den Chronotyp-Tests für eine bessere Selbstbestimmung des Menschen viele weitere Anwendungen möglich werden. Beispielsweise könnten diejenigen Menschen, die biologisch besonders gefährdet sind, von Schicht- und vor allem Nachtarbeit ausgenommen werden, während Früh- und Spättypen bei notwendigen Schichten so eingesetzt werden könnten, dass es ihrer Gesundheit entgegenkommt. In vielen Unternehmen wird dies nicht einfach zu regeln sein. Nicht nur, dass häufig keine ausreichende Personaldecke vorhanden ist, sondern dass Personen nicht gezwungen werden können, ihrem Arbeitgeber den eigenen Chronotypen zu nennen oder gar einem entsprechenden Test zuzustimmen. Hier sind **viele gesellschaftliche Diskussionen, Aushandlungsprozesse und darauf aufbauende Regelungen** erforderlich. Ein besonderer Fokus aus unserer Sicht sollte auf dem Bereich Schicht- und Nachtarbeit liegen.

Schlaf: Es gibt individuelle Unterschiede, wer wie wann und wieviel schläft. Auf individueller Ebene zu arbeiten, ist aber eine besondere Herausforderung. Insgesamt wissen wir noch wenig, was im Körper passiert, z. B. auf Ebene der Retina, hinsichtlich Alter und Geschlecht sowie Genetik. Hier ist es besonders die Frage, ob Effekte isoliert auf das circadiane System "heruntergebrochen" werden können, da auch die Komponente Schlaf bzw. Schlafmangel sehr oft und schnell betroffen ist, und Schlaf und innere Uhr Hand in Hand gehen (aus phänotypischer Sicht).

Technikeinfluss im Alltag: Der Technikeinfluss im Alltag sollte weiter untersucht werden. Insbesondere die Nutzung von Geräten mit Bildschirmen wird noch zunehmen. Bei Kindern und Jugendlichen ist diese Nutzung eine. Wird Kurzsichtigkeit durch die Art des Technikgangs gefördert? Und wenn ja, was kann getan werden, um die Nutzung von Bildschirmen, insbesondere am Abend, zu reduzieren. Wie können die stundenlangen Debatten in Familien um Bildschirmreduktion vermieden werden? Hierzu gehört auch Forschung zu Verhaltensmodifikationen und darüber, was überhaupt die Präferenzen von Menschen sind bzw. wie diese geprägt werden. Wird beispielsweise der Konsum von Nachrichten über digitale Geräte gegenüber einer gedruckten Zeitung bevorzugt, und führt somit zu mehr Exposition gegenüber Licht aus künstlichen Quellen? Wie ist der "soziale Habitus"? Ist es gesellschaftlich akzeptierter, auf ein Smartphone oder ein Tablet zu schauen als in

eine gedruckte Zeitung aus Papier? Oder ist es einfach nur praktischer? Ist es gesellschaftlich akzeptiert, selbst beim Essen im Restaurant permanent auf das Smartphone zu schauen? Wann sind die Gelegenheiten, es wegzulegen oder kompletten Digital-Detox zu betreiben? Wie notwendig ist es, alles auf digitale Medien umzustellen und damit Menschen immer wieder vor einen Bildschirm zu drängen? Und wie steht es mit Bildschirmabhängigkeiten? Wie entstehen diese und welche Auswirkungen haben sie? Hier ist eine Vielzahl an Fragen noch zu beantworten – möglichst schneller als Schäden entstehen.

Wirkung von Licht: Die quantitativen Unterschiede einer nicht-visuellen Wirkung von Licht in Bezug zur Lichtquelle sind vor allem unter kontrollierten Bedingungen im Labor gut verstanden, bedürfen jedoch in ihrer Komplexität und Wechselwirkung unter natürlichen Bedingungen weiterer Forschung. Der Mensch ist im Alltag unterschiedlichen Beleuchtungssystemen ausgesetzt, die jeweils unterschiedliche Einfallswinkel ins Auge haben. Grund für die Unterschiede im Lichteinfallswinkel ist, dass das Licht auf einen größeren Bereich der Netzhaut fällt und damit mehr Rezeptoren angesprochen werden. Eine Studie von Novotny et al. (2013) lieferte Hinweise darauf, dass eine größere Beleuchtungsfläche (ein größerer Raumwinkel der Beleuchtung) Melatonin stärker unterdrückt als eine kleine beleuchtete Raumfläche (kleinerer Raumwinkel). Die Unterschiede waren aufgrund der kleinen Stichprobe nicht signifikant, so dass in diesem Bereich Studien folgen müssen.

Laborstudien reichen nicht aus, da wir jeden Tag unterschiedlichen Beleuchtungen zu unterschiedlichen Tages- und Jahreszeiten mit unterschiedlichen Wetterbedingungen ausgesetzt sind. Hinzu kommt die unterschiedliche psychologische und körperliche Verfassung. Wir können Melatonin messen, am Ende kann aber vieles Weitere einen Einfluss auf den Schlaf haben, so dass es nicht unbedingt auf das Licht zurückzuführen ist. Kann man jegliche Faktoren kontrollieren? Kein Licht 2-3 Stunden vor dem Schlafengehen, Arbeitsfläche beleuchten und nicht direkt ins Auge fallen lassen, das sind klassische Empfehlungen. Aber was genau ist richtig, wenn der direkte Blick in Lichtquellen (wie z. B. Smartphones, Tablets) vermieden werden sollte? Wie ist es beim Fernseher, der in der Regel weiter weg steht? Welcher Abstand zwischen Auge und Lichtquelle ist ideal?

Anpassung des Lichts: Häufig sind Menschen dem Licht zur falschen Zeit (vor allem zu Zeiten natürlicher Dunkelheit) ausgesetzt. Dies gilt besonders bei Nachtschichten, bei denen empfohlen wird, auf dem Nachhauseweg eine Sonnenbrille zu tragen. Aber das reicht natürlich nicht aus. Die Empfehlung, künstliches Licht in der Nacht zu reduzieren, ist allgemein bekannt, aber da oft Einheitsleuchten installiert sind, wird hier nur selten gedimmt und auch nur selten anderes Licht verwendet, wenn Menschen abends noch aktiv sind oder nachts auf die Toilette gehen. Diese Realitäten sind noch unzureichend erfasst. Weitere grundlegende Fragen lauten:

- Kontrast: welches Verhältnis zwischen Tageslicht und Licht aus künstlichen Quellen ist wie wirksam? Wieviel Licht tagsüber kann wieviel Licht abends oder in der Nacht kompensieren? Welches sind die Wechselwirkungen von Tageslicht/Sonnenlicht und künstlicher Beleuchtung?
- Die Wirkung von Licht kann nicht auf eine einzelne Zahl oder einen einzelnen Rezeptor reduziert werden. Die Retina funktioniert als Ganzes. Aber es gibt wenig Forschung dazu.
- Welche Technologien/Techniken zeigen die stärksten Effekte? Warum? Unter welchen Bedingungen treten diese Effekte auf? Welche Wechselwirkungen gibt es?
- Welche Wechselwirkungen der Qualitäten von Licht (Intensität, Lichtfarbe, Dauer der Exposition) gibt es und was bedeutet das für circadiane Rhythmen bzw. den Umgang mit Technik?
- Welche Interaktion zwischen den Qualitäten von Licht und dem tageszeit-spezifischen Antwortverhalten des circadianen Systems (vor allem morgens gegenüber abends) gibt es?

Architektur, Städtebau und Wohnen: Moderne Bauweisen setzen auf bauliche Verdichtung und haben Effizienz, Raumgewinnung jedoch weniger Lichteinfall zum Ziel. Verschattung durch andere Häuser und die Gewährleistung des Lichteinfalls in dicht bewohnten Gebieten sollte ein wichtiges Thema bleiben. Es ist noch nicht erforscht, ob beispielsweise drehbare Häuser sinnvoll sein könnten (die sich z. B. mit dem Sonnenstand drehen können). Erforscht ist bisher nur der energetische Vorteil, da die Sonnenenergie maximal ausgenutzt werden kann, nicht jedoch, ob dies auch für den circadianen Rhythmus vorteilhaft ist. Stadtplanung sollte Rücksicht auf Lichteinfall nehmen und den Einfluss des Lichts über den Tag berücksichtigen (Henckel 2018; Henckel 2021; Meier et al. 2022; Radicchi et al. 2021). Schlafzimmer auf der dunklen Seite von Räumlichkeiten zu bauen, ist die eine Sache, aber eine ganze Stadt nach chronobiologischen Gesichtspunkten auszurichten, ist eine Herausforderung, die vielleicht nur bei komplett neuen Städten und Quartieren möglich sein wird.

Messung von Licht im Alltag: Feldstudien sind notwendig, um Lichteinfall, Winkel des Einfalls, Lichtstärke am Auge (wo die Aufnahme erfolgt) und viele andere Dinge (wie Jahreszeiten, Wetterbedingungen etc.) unter natürlichen Bedingungen zu erfassen. Dies erfordert neue Methoden, z. B. mit Sensoren, Aktigrafie und anderen Erfassungsverfahren sowie einer softwarebasierten Auswertungsmethodik mit KI-Ansätzen.

Einsatz von Lichttechniken in Innenräumen: Arbeitsplatz am Fenster, helle Beleuchtung, hoher Blaulichtanteil aber auch Grün und Orange, gedimmtes Licht abends, nachts kein Licht (auch kein Nachtlicht bei Kindern) lauten die oben genannten Empfehlungen, ebenso wie bei Toilettengängen Nachtlicht einschalten, keinesfalls helle Beleuchtung. Wie jedoch kann ein Bewusstsein dafür geschaffen werden? Wie werden Menschen an diese Ratschläge permanent erinnert?

Innenräume selbst bieten weniger Möglichkeiten für eine angemessene Tageslichteinstrahlung. Eine Feldstudie untersuchte, wie sich zunehmendes circadian wirksames Licht in Wohnungen auf die circadiane Phase, den Schlaf, die Vitalität und die psychische Gesundheit auswirkt. In dieser Crossover-Studie verbrachten 20 Personen eine Woche in ihren Wohnungen mit elektrochromen Glasfenstern (um Blendungen zu reduzieren und das Tageslicht zu erhöhen) und eine weitere Woche mit funktionsüblichen Fenstern mit Jalousien. Kalibrierte Lichtsensoren zeigten beim Einsatz von den elektrochromen Glasfenstern höhere circadian wirksame Lichtniveaus am Tag und die Teilnehmenden zeigten einen konsistenten DLMO, einen 22 Minuten früheren Schlafbeginn und eine höhere Schlafregelmäßigkeit. Im Gegensatz dazu zeigten die Teilnehmenden in der Gruppe mit den Jalousien eine 15-minütige Verzögerung des DLMO bei schwachem Licht, eine Verzögerung der subjektiven Vitalität im Laufe des Tages und einen insgesamt geringeren positiven Effekt. Diese Studie zeigt die Auswirkungen der Tagesbeleuchtung auf die physiologischen, verhaltensbezogenen und subjektiven Maße der circadianen Gesundheit in einer realen Umgebung und betont die Bedeutung der Gestaltung von Gebäuden, die das Tageslicht für die menschliche Gesundheit und das Wohlbefinden optimieren (Rea et al. 2021). Folgestudien sind empfohlen.

Saisonale Beleuchtung: Eine **saisonale Beleuchtung** sollte in Erwägung gezogen werden. Im Winter sollte der Tageslichtgestaltung ein höherer Stellenwert beigemessen werden, vor allem um die negativen Folgen von Licht am Abend (aufgrund der frühen Dunkelheit) abzumildern. Insgesamt liegen zur saisonalen Beleuchtung noch wenig Forschungsarbeiten vor.

Forschung zu Straßenbeleuchtung und Kriminalität: Insgesamt ist die Datenlage zur Straßenbeleuchtung und ihren Auswirkungen auf circadiane Rhythmen vorhanden (Henckel 2018; Henckel 2021; Hölker et al. 2010; Kyba et al. 2020; Meier et al. 2022; Radicchi et al. 2021), aber noch nicht ausreichend. Die Annahme ist, dass weniger Straßenbeleuchtung weniger Lichtverschmutzung bedeutet. Die Frage bleibt aber, wie häufig Menschen nachts unterwegs sind, damit hier Probleme auftreten. Unklar ist auch, ob bei geringer Beleuchtung mehr Kriminalität entsteht, so dass weitere Forschung zu diesem Thema wichtig wäre (eine Übersicht ist bei der Deutschen Lichttechnischen Gesellschaft e.V. zu finden, siehe LTG 2017). Eine Vielzahl an unterschiedlichen Faktoren scheint

diesbezüglich eine Rolle zu spielen (z. B. gebaute Umgebung, Verhalten und physiologische Voraussetzungen des Opfers, Vorhandensein von Zeug:innen, Verfassung und Verhalten der tatverantwortlichen Person), die nur schwer unabhängig voneinander zu untersuchen sind (siehe u. a. Henckel 2018; Henckel 2021; Meier et al. 2022; Radicchi et al. 2021). Der Einfluss von Beleuchtung auf die Kriminalität konnte bislang nicht empirisch ausreichend belegt werden. Die Beleuchtung in Bezug auf die Kriminalitätsangst ist jedoch besser belegt.

Auto oder LKW fahren in der Nacht: PKW/LKW fahren in der Nacht bedeutet eine erhöhte Gefahr durch Sekundenschlaf, sowohl für die Fahrenden als auch andere Menschen. Wie kann dem begegnet werden oder ist das ein "Berufsrisiko", das abgesichert werden muss. Einige Themen berühren nicht nur die Forschung, sondern auch die Umsetzung bekannter Fakten.

Brillen mit Blaulichtfilter: Das Tragen von **Blaulichtfiltern am Abend** vor dem Schlafengehen könnte eine Möglichkeit der Anpassung darstellen, jedoch ist hier noch Forschung notwendig. Während unserer Befragungen/Interviews, einigen Vorträgen, in mehreren Radiobeiträgen im SWR sowie nicht-repräsentativen Nachfragen bei Optiker:innen fiel auf, dass für Brillen immer häufiger Blaulichtfilter für den ganzen Tag empfohlen und verkauft werden. Dies scheint nicht hilfreich zu sein, denn am Morgen sollte der Blaulichtanteil – zumal in Zeiten, in denen Menschen insgesamt wenig dem Tageslicht ausgesetzt sind – hoch sein. Wer kann hier eingreifen? Ist dies eine Sache der Politik oder von Aufklärungskampagnen?

Verlegung von Sport in frühe Schulstunden und am besten nach draußen scheint Schüler:innen wach zu machen und auch sonst viele Vorteile zu bieten. In der Realität fehlen hierzu Studien, insbesondere solche, die auch Bezug zu den circadianen Rhythmen im Teenager-Alter aufweisen, aber auch die Bereitschaft an Schulen, diese Kenntnisse dann auch umzusetzen.

Stundenpläne und Leistungstests anpassen: Die Stundenpläne im Teenageralter sollten dahingehend angepasst werden, dass sie entweder direkt auf Chronotypen Rücksicht nehmen oder zumindest die Schule später beginnen lassen. Klassenarbeiten sollten nicht früh am Morgen geschrieben werden, da um diese Zeit eine Vergleichbarkeit der Leistungen nicht gegeben ist.

Demografischer Wandel: In einer alternden Gesellschaft ist möglicherweise eine andere Verteilung der Chronotypen von Menschen in einem Land zu beobachten. Dies kann dazu führen, dass Menschen, die bisher gut an ihre circadianen Rhythmen angepasst gearbeitet haben, dies plötzlich nicht mehr sind, weil a) sie selbst älter geworden sind oder b) sie in Kontexte gedrängt werden, in denen sie entgegen ihres (im Alter häufig wieder früheren) Chronotypen arbeiten müssen. Es ist also wichtig, im Laufe des Lebens den eigenen Chronotyp regelmäßig festzustellen und auch die Verteilung in der Bevölkerung zu erfassen. Hier ist noch viel über die Änderungen im Leben zu erforschen. Bei einer ansteigenden Anzahl an Senior:innen sowie aufgrund der Tatsache, dass Senior:innen mit Pflegebedarf wenig ans Tageslicht kommen (aufgrund körperlicher Einschränkungen), ist Forschung für und mit dieser Gruppe ebenfalls enorm wichtig, was dafür spricht beispielsweise auch Menschen, die in der Pflege arbeiten, besser über dieses Thema zu informieren.

Klimawandel: Wenn sich das Klima verändert und – wie in den letzten Jahren feststellbar – Hitzeperioden, Trockenheitsperioden und viele andere Phänomene auftreten, welche Auswirkungen sind dann auf die circadianen Rhythmen von Menschen feststellbar? Wie verändern sich circadiane Rhythmen unter extremen Bedingungen? Was passiert, wenn Menschen durch Hitze oder Schlafunterbrechungen insgesamt zu wenig Schlaf bekommen? Forschung zu Extremsituationen gibt es bisher wenig.

10.2 Methodeneinsatz im Projekt: Foresight und Folgenforschung verknüpfen

Im Projekt CIRCADIA versuchten wir, Foresight und Folgenforschung zu integrieren und auf ein besonderes komplexes Thema anzuwenden. Die **Recherche zum Stand der Forschung und das Horizon Scanning** waren inhaltlich ergiebig, so dass hier eher das Problem der Themenauswahl und Selektion für die Weiterverfolgung bestand. Entsprechend konnten die folgenden Workshops nur einige Ausschnitte beleuchten.

Wie so häufig der Fall, war es schwierig, in den **Workshops** einen Zukunftsblick einzunehmen. Der Zukunftsworkshop startete bewusst mit einer **mentalen Zeitreise** – bewusst auch mit einem geführten Szenario, das viel Technik enthielt. Nicht alle wollten diesem folgen, einigen war die angebotene neue Welt zu technologisch. Und es blieb in den folgenden Debatten schwierig, diesen Zukunftsblick beizubehalten, obwohl die Diskussionen sehr lebhaft und ergiebig waren.

Eine Erfahrung war, dass es wichtig ist, Räume für diese offenen und multi-perspektivischen Debatten zu bieten, auch wenn sie in diesem Projekt noch COVID-19-bedingt virtuell blieben.

Eine weitere methodische Lehre ist, dass viel mehr Öffentlichkeitsarbeit zum Thema Chronobiologie und circadiane Rhythmen notwendig ist, um überhaupt über diese nicht ganz einfache Thematik zu informieren. Dazu haben sich alle Workshops angeboten, allerdings diskutierten hier hauptsächlich Fachleute. Es konnten Erfahrungsräume geschaffen werden, die sicherlich auch für eine breitere Öffentlichkeit hilfreich wären. Aber es ist auch wichtig, (physische) Räume zu schaffen, um circadiane Rhythmen für jeden Menschen erfahrbar zu machen, erleben und simulieren zu lassen. Dies ist auch aus künstlerisch/kreativer Seite heraus interessant, um im privaten Umfeld Bewusstsein und Erfahrungsraum zu schaffen.

Das methodische Fazit ist, dass es richtig war, in diesem Projekt einen anderen Foresight-Weg als üblich zu wählen, der sehr praktisch-pragmatisch mit dem Aufbau von Wissen begonnen hat. Dies kann eine Lehre auch für andere INSIGHT-Projekte sein.

Und: Wir benötigen insgesamt mehr Foresight, Horizon Scanning und langfristiges Denken, wenn es um **Zeit und Zielkonflikte** geht – und diese wurden in jedem der Workshops thematisiert. Dazu gehört die Identifikation potenzieller Veränderungen und zeitlicher Konflikte in Alltag, Beruf und Schule genauso wie die Berücksichtigung externer Effekte, z. B. im Kontext des Klimawandels mit der Frage nach Auswirkungen von Hitzeperioden auf zeitliche Strukturen, Schlaf und Gesundheit von Menschen. Außerdem sind vorausschauende Aktivitäten wichtig, um sich auf weitere Technikentwicklungen im Spannungsfeld von Gesellschaft, Alltag und individuellen Rhythmen vorbereiten zu können und mögliche negative Folgen zu vermeiden, neue Erkenntnisse umzusetzen oder neue Technik so zu nutzen, dass sie positive Effekte entfaltet.

Wir empfehlen zur Umsetzung dringend mehr Vorausschau, Experimentierräume, Datenerhebungen zum Verhalten in der realen Welt und eine verstärkte Aufklärung, was circadiane Rhythmen bedeuten, um ein besseres Miteinander und Verständnis füreinander zu fördern.

10.3 Zusammenfassung der Empfehlungen

Da die Dimensionen der Wirkungen sehr unterschiedlich sind, können auch in den Ministerien ressortübergreifend sehr unterschiedliche Referate angesprochen sein, z. B. im BMBF diejenigen Referate, die sich mit digitalen Themen befassen, oder solche, die für Bildung zuständig sind.

Im Projekt CIRCADIA wurden die Wissensbestände aus Medizin, Biologie, Psychologie, Zeitforschung, Lichtforschung, Digitalisierungsforschung usw. unter dem Dach der Technikfolgenabschätzung, Innovationsforschung und Foresight zusammengeführt. Das Projekt endet mit Fragen, die idealerweise, in inter- und transdisziplinären Projekten aufgegriffen werden sollten.

Im Projekt CIRCADIA wurden unterschiedliche Wissensstränge und unterschiedliche Technologien unterschieden. Zum einen waren es lichtemittierende Techniken, die potenziell einen direkten Einfluss auf chronobiologische Mechanismen haben können (wie z. B. Licht emittierende Displays). Zum anderen wurden Techniken eruiert, die einen indirekten Einfluss auf circadiane Abläufe haben können, da sie das Nutzungsverhalten und alltägliche Routinen verändern können (z. B. Social-Media-Anwendungen). Zusätzlich haben wir Techniken betrachtet, bei denen eine besser an chronobiologische Rhythmen anzupassende Tagesgestaltung (z. B. Selbstvermessungs-Apps) möglich sein kann. Gleichzeitig können diese Techniken Nutzende unter Druck setzen, immer „besser“ zu werden und auf diesem Wege den Schlaf stören (Orthosomnie, vgl. Baron et al. 2017).

Die Empfehlungen, die für Politik, Gesellschaft, Unternehmen und Individuen abgeleitet werden können, unterscheiden sich in ihrer Größenordnung. Einige sind direkt und sofort umsetzbar, wenn sie denn gewünscht sind, andere bedeuten eine Gewöhnungsumstellung und dauern damit länger. Am schwierigsten sind diejenigen Gestaltungsspielräume zu nutzen, in denen es zu Zielkonflikten kommt, z. B. zwischen Arbeitgebenden – Arbeitnehmenden und darunter dann wieder denjenigen, die andere Menschen pflegen oder kleine Kinder im Haushalt haben. Gleiches gilt für Schulen: Wie bringen Schulen ganze Klassen mit ihren unterschiedlichen Chronotypen unter einen Hut, und wie ist es möglich, allen Kindern und dann gleichzeitig noch den Lehrenden, die oft auch Kinder zu Haus haben, gerecht zu werden? Hier sind Aushandlungsprozesse erforderlich und die erfassten Dilemmata lösen sich nicht von allein auf.

Häufig geht es aber nur darum, überhaupt ein gewisses Verständnis füreinander zu bekommen – es sind schon Freundschaften zerbrochen und Ehen in die Brüche gegangen, weil die jeweiligen Partner:innen unterschiedliche Chronotypen sind (Roenneberg nennt in seinem Buch "Wie wir ticken" aus dem Jahr 2012 einige sehr eingängige Beispiele, die direkt aus dem Leben gegriffen sind). Eine schläft lange, einer steht früh auf – und schon sehen beide sich kaum noch oder es kommt zu Konflikten. Aber: Langes Schlafen ist kein Zeichen von Faulheit und Unkonzentriertsein in der Schule am frühen Morgen keine Leistungsverweigerung. Dies muss zunächst verstanden werden.

Daneben gibt es **einige Gestaltungsmöglichkeiten, die direkt aufgegriffen werden könnten:**

1. **Abschaffung der Uhrumstellung im März** (Stichwort: „Sommerzeit“). Die Uhrumstellung im März stört Schlaf und circadiane Rhythmen bei vor allem späten Chronotypen. Chronobiologisch passt in Mitteleuropa die Standardnormalzeit ganzjährig für die meisten Menschen am besten – sie bewirkt, dass Menschen auch im Sommer etwas früher ins Bett gehen und damit ausreichend Schlaf bekommen. Es gab zwar eine europaweite Umfrage zum Thema, bei der sich die Mehrheit der Befragten für eine Abschaffung der Uhrumstellung ausgesprochen hat (European Commission 2018), aber der politische Prozess zur Umsetzung des Ergebnisses ist nicht gestartet worden.

Auf jeden Fall sollte kommuniziert werden, dass wir nicht die Zeit umstellen, sondern nur die Uhren. Es gibt eine Standardnormalzeit und es gibt Zeitzonen. Wir gehen in der „Sommerzeit“ sieben Monate kollektiv eine Stunde früher zur Arbeit oder in die Schule. Dies bedeutet formal einen Wechsel der Zeitzone. Wir merken es jedoch nicht, weil wir die Uhren umstellen. Wer in der Normalzeit um

6 Uhr aufsteht (aufstehen muss), steht in der „Sommerzeit“ um 5 Uhr auf (aus 7 Uhr wird 6 Uhr, aus 8 Uhr wird 7 Uhr, etc.). Der Begriff „Sommerzeit“ ist Marketing und fühlt sich gut an, weil viele Menschen den Begriff Sommer gegenüber Winter präferieren. Obwohl es nur eine Stunde ist, die wir die Uhren im Frühjahr vorstellen, so ist diese eine Stunde ein nachweislicher Störfaktor für Gesundheit, Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit. Gerade für Menschen, die bereits einen gestörten Schlaf haben, ist die Uhrumstellung nicht zuträglich.

2. Die Schule sollte für Teenager später beginnen (Winnebeck et al. 2023). Der Chronotyp eines Menschen verändert sich im Laufe des Lebens und im Teenager-Alter sind Menschen im Durchschnitt später in ihrer Biologie als zu anderen Zeiten in ihrem Leben. Somit bekommen oftmals selbst frühe Chronotypen Schwierigkeiten mit dem frühen Aufstehen, wenn die Schule teilweise bereits um 7:45 Uhr oder früher beginnt. Viele Schüler:innen in diesem Alter haben, wenn sie früh in der Schule sind, ein biologisch begründetes Leistungstief, da es bei vielen von ihnen biologisch "mitten in der Nacht" ist. Sie sind nicht einfach unwillig oder faul. Es ist also kein Wunder, dass sie nicht aufmerksam sind oder ihre Leistung nicht abrufen können.

Studien haben zeigen können, dass schulische Leistungen mit der Tageszeit variieren und sich zwischen Chronotypen unterscheiden. Treibender Faktor ist hier die Tageszeit im Zusammenspiel mit der individuellen Biologie, und die schlechteren Leistungen haben nichts mit Unterschieden in der Intelligenz zu tun. Zudem wissen wir, dass nicht alle Schulfächer gleich stark betroffen sind, wodurch sich mehr Gestaltungsraum für innovative Lernumgebungen bietet. Wir müssen uns als Gesellschaft fragen, ob wir die Leistung (und damit die Noten) unserer Kinder davon abhängig machen wollen, dass sie zur falschen Zeit unterrichtet und getestet werden. Zum Vergleich: eine 40-jährige Lehrkraft ist in ihrer Biologie um Stunden früher aktiv als ihre Schüler:innen. Ein Schulanfang um 8 Uhr morgens ist für einen Teenager vergleichbar mit Unterrichtsbeginn um 4 oder 5 Uhr morgens für eine Lehrkraft.

3. Die Einstellung zum Schlaf muss sich ändern – qualitativ guter und individuell erholsamer Schlaf sind für die Regeneration menschlicher Körper essenziell und sollten prioritär sein. Diese Erkenntnis muss auf die Agenda aller gesellschaftlichen Bildungsaktivitäten gesetzt werden, von der Schule über betriebliche Gesundheitsförderung bis hin zu öffentlichen Aufklärungskampagnen. Durch besseren Schlaf kann auch die Häufigkeit von Unfällen im Straßenverkehr oder im betrieblichen Kontext reduziert werden. Wir brauchen auch hier ein besseres Verständnis untereinander und in der Gesellschaft, dass Schlaf essenziell für unser Wohlbefinden ist. Paare oder ganze Familien geraten über das Schlafen in Konflikt, nur, weil eine Person Früh-Typ und die andere Person Spät-Typ ist. Manchen Menschen wird Ungeselligkeit vorgeworfen, aber weil sie Frühtypen sind, beginnen die spannenden Partys erst, wenn sie schon müde sind und keine Lust mehr auf Party haben. Es werden späte Chronotypen für Langschläfer gehalten und frühe Chronotypen für Pedanten, weil sie einfach nicht im Bett bleiben können. Dies sind profunde Fehlinterpretationen der zugrundeliegenden Biologie. Und auch bei der Urlaubsplanung, bei der oft ein Jetlag die Laune verdirbt, weil die Reise in eine andere Zeitzone führt, sollte die unterschiedlichen Typen berücksichtigen. Sonst wird aus dem Urlaub schnell ein ungemütliches Zusammensein. Wir müssen lernen, Andere zu akzeptieren, wie sie sind, und mehr Rücksicht auf die unterschiedlichen Chronotypen nehmen, auch wenn dies Koordinationsarbeit bedeutet.

4. Tageslicht muss im Leben von Menschen eine wesentlich größere Rolle spielen. Jeder Mensch muss ein Recht auf Tageslicht haben, auch in dicht bebauten Gebieten. Es sollte Kampagnen dafür geben, sich mehr draußen zu bewegen, insbesondere am Morgen. Ideal wäre Schulunterricht draußen. Spätestens seit Beginn der COVID-19 Pandemie halten sich Menschen vermehrt in Innenräumen auf, aber auch Arbeitsplätze befinden sich in – oft für circadiane Rhythmen unzureichend beleuchteten – Innenräumen. Pausen sollten draußen verbracht werden. Und wenn das nicht möglich

ist, sollten Menschen nah ans Fenster gehen. Flexible Arbeitszeiten können hilfreich sein, um Menschen die Möglichkeit zu bieten, noch bei Tageslicht nach draußen zu gehen.

Krankenhäuser, Pflegeheime oder Reha-Gebäude sind häufig zu grell oder insgesamt schlecht ausgeleuchtet, so dass die tageszeitliche Regelung der circadianen Rhythmik leicht aus dem Takt gerät. Mit lichtemittierenden Dioden (LEDs) und neuen, adaptiven Techniken stehen Möglichkeiten zur Verfügung das Entrainment der inneren Uhr zu unterstützen. Das Tageslicht in Innenräumen nachzuahmen, ist nicht immer möglich. Wenn es über architektonische Lösungen nicht möglich ist, Tageslicht dahin zu bekommen, wo die Menschen sind, dann ist es essenziell, dafür zu sorgen, dass sich Menschen täglich draußen aufhalten, und sei es nur für die Arbeitspausen oder den Arbeitsweg.

5. Die Auswirkungen von Licht auf den menschlichen Organismus müssen noch wesentlich besser erforscht werden (s. o.). Welche Auswirkungen haben die unterschiedlichen Frequenzen, Lichtintensitäten oder Lichteinfallswinkel? Wann reagieren die circadianen Rhythmen der Menschen mit Verschiebung und wann nicht? Insgesamt ist beispielsweise bei der Frequenz anzunehmen, dass auch andere Farben als Blau und andere Rezeptoren als Melanopsin zu einer SCN-Reaktion auf Licht führen. Zusammenfassend lieferte die Studie von Schoonderwoerd et al. (2022) erste Evidenz dafür, dass **die circadiane Uhr des Menschen mehrere spektrale Inputs** erhält. Wir sollten uns also nicht nur auf blaues Licht fokussieren (Zerbini et al. 2020).

In diesem Zusammenhang ist aufgefallen, dass manche Menschen ganztags **Blaulichtfilter-Brillen** tragen. Auch eine bekannte Kontaktlinsenketten wirbt online mit Kontaktlinsen, die blaues Licht filtern. Stichproben bei wenigen Optikern ergaben, dass diese nie etwas von circadianen Rhythmen und Zusammenhängen mit dem blauen Licht gehört haben. Wenn wir Menschen am Tag zu wenig Licht ausgesetzt sind und zu wenig blauem Licht am Morgen, um uns wach und leistungsfähig zu machen, was passiert dann, wenn wir dieses wenige Licht auch noch wegfiltern? Wissen Menschen, dass sie Blaulichtfilterbrillen nicht tagsüber tragen sollten? Entwickeln wir nur Müdigkeit, sind weniger leistungsfähig oder trägt dies sogar zu Depressionen bei? Blaulichtfilter-Brillen am Abend vor dem Einschlafen sind vielleicht sinnvoll, aber nicht den ganzen Tag über.

6. Wir brauchen **Aufklärung** und Forschung, **was Bildschirme mit uns Menschen tun**, insbesondere wie schädlich sie durch ihre Lichtemissionen vor dem Schlafengehen sein können (siehe auch Policy Brief 2, Cuhls et al. 2023). Sind sie nur ein Mittel zum Zweck der Bettzeit-Prokrastination und dadurch mitverantwortlich für zu wenig Schlaf oder beeinträchtigen sie auch die Schlafqualität und damit direkt die Regeneration? Lichtmangel tagsüber und Licht in der Nacht stören circadiane Rhythmen, Schlaf, Gesundheit und Leistungsfähigkeit. Hier müssen wir im Kleinen beim Individuum anfangen, aber auch Arbeitgeber, Politik und gesellschaftliche Gepflogenheiten mit einbeziehen.

7. **Nachts sollte es dunkel sein**, überall, und besonders im Schlafzimmer. Lichtverschmutzung kann durch Dimmen, adaptives Straßenlicht und Abschalten von Leuchten und Werbetafeln nachts reduziert werden. Das spart Energie. Individuelle Empfehlungen lauten: keine Nachttischlampen verwenden, nächtlicher Toilettengang möglichst mit schwachem Licht oder – beim Aufwachen –kein Licht anschalten etc.

8. Schichten, Arbeits- und Schulzeiten sollten an Chronotypen angepasst werden. Aber: viele **Arbeitende müssen Familie und Arbeit in Einklang bringen**. Dies geht häufig zu Lasten von Frauen. Zwischen den für das Individuum optimalen Arbeitszeiten, dem Schulbeginn und den Zeiten anderer Familienmitglieder wird ein Balanceakt erforderlich sein. Wichtig ist ein gegenseitiges Verständnis – insbesondere, wenn unterschiedliche Chronotypen zusammenwohnen oder arbeiten. Bei einer chronobiologischen Beratung oder Therapie müssen die ganze Familie oder die Partner „mitbehandelt“ bzw. beraten werden.

Von grundsätzlicher Bedeutung ist **Aufklärung**. Viele Menschen kennen das Thema Chronobiologie oder circadiane Rhythmen nicht, haben vielleicht von "Lerchen" und "Eulen" gehört, aber nicht, dass es individuelle biologische Voraussetzungen dafür gibt, was wir beeinflussen können und was nicht. Die wenigsten kennen ihren Chronotypen oder den ihrer Mitmenschen. Um auf diesem Weg voranzukommen, liegen die folgenden 3 Schritte nahe:

Der erste Schritt ist, auf vielfältige Mythen und individuelle Unterschiede hinzuweisen – in Schule, Studium, Beruf oder Politik – und von der falschen Vorstellung wegzukommen, alle Spätaufstehenden seien Faulpelze und Langschläfer, und müssten sich nur mal richtig zusammenreißen.

Der zweite Schritt ist, dass jeder Mensch am besten bei sich selbst anfängt. Informieren Sie sich über circadiane Rhythmen und finden Sie Ihren eigenen Chronotypen heraus. Sobald Sie Ihren Chronotyp kennen, versuchen sie, entsprechend zu leben und sich nicht von anderen Menschen, dem Fernseher, Smartphone oder Laptop zu früherem Aufstehen oder zu späterem Zubettgehen beeinflussen zu lassen. Überprüfen Sie, ob Sie überhaupt einen Wecker brauchen – lassen Sie sich idealerweise von Tageslicht wecken und gehen Sie täglich morgens nach draußen. Und lassen Sie sich von Ihrem eigenen Rhythmus den Alltag strukturieren – so die gesellschaftlichen Zwänge abgeschaltet werden können. Ihr Körper, Ihr Gehirn und Ihre Mitmenschen werden es Ihnen danken.

In einem dritten Schritt sind Politik und Unternehmen gefordert. Forschungsförderung für Datenerhebungen zu chronobiologischen Phasen im Alltag oder zu Lichtexposition unter Realbedingungen, Verdeutlichung der Unterschiede zwischen Uhren und Zeitempfinden einerseits und circadianen Rhythmen andererseits benötigen genauso Aufmerksamkeitskampagnen wie die Förderung guten und ausreichenden Schlafs, um kostenintensiven Folgeschäden in der Bevölkerung vorzubeugen. Unternehmen brauchen klare Regelungen nicht nur für die Schichtarbeit, sondern auch beim Testen und im Umgang mit den unterschiedlichen Chronotypen ihrer Mitarbeitenden.

Alle hier skizzierten Schritte (Abbildung 16) können parallel ablaufen. Die Bewältigung von Hürden auf dem Weg zu einer chronobiologisch aufgeklärten Gesellschaft sollte im Vergleich zu einer Bewältigung der Probleme einer zunehmend desynchronisierten Gesellschaft betrachtet werden.

Abbildung 16: Übersicht der abgeleiteten Empfehlungen

Empfehlungen für eine chronobiologisch aufgeklärte Gesellschaft:

- Abschaffung der Uhrenumstellung im März und Oktober
- Späterer Schulbeginn für Teenager
- Mehr Tageslicht für jeden
- Wandel der gesellschaftlichen Einstellung zum Schlaf
- Aufklärung über die Wirkung von Bildschirmnutzung
- Forschung zu Chronotypen in ihren Alltagsstrukturen

Quelle: Fraunhofer ISI und FOM

11 **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Spannungsfeld circadiane Rhythmen, Technik und Alltag	7
Abbildung 2: Das Arbeitsprogramm des Projekts CIRCADIA	7
Abbildung 3: Beispiele von Tagesgängen beim Menschen unter Einfluss des circadianen Systems.....	11
Abbildung 4: Licht ist ein Zeitgeber für das circadiane System.....	11
Abbildung 5: Lichteinfluss auf die Rhythmen des Menschen.....	15
Abbildung 6: Verteilung abendlicher Techniknutzung eine Stunde vor dem Schlafengehen an Arbeitstagen	48
Abbildung 7: Verteilung abendlicher Techniknutzung eine Stunde vor dem Schlafengehen an arbeitsfreien Tagen.....	48
Abbildung 8: Verteilung der Bewertung der Schlafqualität an Arbeitstagen und arbeitsfreien Tagen.....	49
Abbildung 9: Was Menschen beibehalten möchten	64
Abbildung 10: Zukunftsthemen aus dem Horizon Scanning.....	81
Abbildung 11: Auswahl der Deep Dives.....	81
Abbildung 12: Ergebnisse aus dem Gestaltungsworkshop - Gruppe Energie und Sicherheit	90
Abbildung 13: Ergebnisse aus dem Gestaltungsworkshop - Gruppe Arbeit und Schule	94
Abbildung 14: Ergebnisse aus dem Gestaltungsworkshop - Gruppe Gesundheit und Schlaf.....	99
Abbildung 15: Ergebnisse aus den Gruppen - Spezifische Gruppen und Bedarfe.....	100
Abbildung 16: Übersicht der abgeleiteten Empfehlungen	112

12 Literatur

- Abdullah, S.; Matthews, M.; Murnane, E. L.; Gay, G.; Choudhury, T. (2014): Towards circadian computing. In: Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing (UbiComp '14: The 2014 ACM Conference on Ubiquitous Computing), 13 09 2014 17 09 2014, Seattle Washington. New York, NY, USA, S. 673–684. <https://doi.org/10.1145/2632048.2632100>.
- Acebo, C.; Carskadon, M. A. (2002): Adolescent Sleep Patterns Biological, Social, and Psychological Influences. Cambridge: Cambridge University Press. ISBN: isbn 0-521-64291-4.
- Acosta, I.; Campano, M. Á.; Leslie, R.; Radetsky, L. (2019): Daylighting design for healthy environments: Analysis of educational spaces for optimal circadian stimulus. In: Solar Energy, 193, S. 584–596. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.10.004>.
- Adams, S. K.; Williford, D. N.; Vaccaro, A.; Kisler, T. S.; Francis, A.; Newman, B. (2017): The young and the restless: Socializing trumps sleep, fear of missing out, and technological distractions in first-year college students. In: International Journal of Adolescence and Youth, 22 (3), S. 337–348. <https://doi.org/10.1080/02673843.2016.1181557>.
- Adamsson, M.; Laike, T.; Morita, T. (2018): Seasonal Variation in Bright Daylight Exposure, Mood and Behavior among a Group of Office Workers in Sweden. In: Journal of circadian rhythms, 16, S. 2. <https://doi.org/10.5334/jcr.153>.
- Adan, A.; Natale, V. (2002): Gender differences in morningness-eveningness preference. In: Chronobiology International, 19 (4), S. 709–720. <https://doi.org/10.1081/CBI-120005390>.
- Aepli, A.; Kurth, S.; Tesler, N.; Jenni, O. G.; Huber, R. (2015): Caffeine Consuming Children and Adolescents Show Altered Sleep Behavior and Deep Sleep. In: Brain sciences, 5 (4), S. 441–455. <https://doi.org/10.3390/brainsci5040441>.
- Agostinelli, F.; Ceglia, N.; Shahbaba, B.; Sassone-Corsi, P.; Baldi, P. (2016): What time is it? Deep learning approaches for circadian rhythms. In: Bioinformatics (Oxford, England), 32 (12), i8–i17. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btw243>.
- Akacem, L. D.; Simpkin, C. T.; Carskadon, M. A.; Wright, K. P.; Jenni, O. G.; Achermann, P.; LeBourgeois, M. K. (2015): The Timing of the Circadian Clock and Sleep Differ between Napping and Non-Napping Toddlers. In: PloS one, 10 (4), e0125181. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0125181>.
- Åkerstedt, T.; Ghilotti, F.; Grotta, A.; Zhao, H.; Adami, H.-O.; Trolle-Lagerros, Y.; Bellocco, R. (2019): Sleep duration and mortality - Does weekend sleep matter? In: Journal of Sleep Research, 28 (1), e12712. <https://doi.org/10.1111/jsr.12712>.
- Akram, S. T.; Ewy, M. W.; Said, A. (2021): Sleep disruption in nonalcoholic fatty liver disease: What is the role of lifestyle and diet? In: European journal of gastroenterology & hepatology, 33 (15 Suppl 1), e308–e312. <https://doi.org/10.1097/MEG.0000000000002049>.
- Aledavood, T.; Lehmann, S.; Saramäki, J. (2018): Social network differences of chronotypes identified from mobile phone data. In: EPJ Data Science, 7 (1). <https://doi.org/10.1140/epjds/s13688-018-0174-4>.
- Alibhai, F. J.; Tsimakouridze, E. V.; Reitz, C. J.; Pyle, W. G.; Martino, T. A. (2015): Consequences of Circadian and Sleep Disturbances for the Cardiovascular System. In: The Canadian journal of cardiology, 31 (7), S. 860–872. <https://doi.org/10.1016/j.cjca.2015.01.015>.

- Alimoradi, Z.; Lin, C.-Y.; Broström, A.; Bülow, P. H.; Bajalan, Z.; Griffiths, M. D.; Ohayon, M. M.; Pakpour, A. H. (2019): Internet addiction and sleep problems: A systematic review and meta-analysis. In: *Sleep medicine reviews*, 47, S. 51–61. <https://doi.org/10.1016/j.smr.2019.06.004>.
- Alkhatatbeh, B. J.; Asadi, S. (2021): Role of Architectural Design in Creating Circadian-Effective Interior Settings. In: *Energies*, 14 (20), S. 6731. <https://doi.org/10.3390/en14206731>.
- Alonzo, R.; Hussain, J.; Stranges, S.; Anderson, K. K. (2021): Interplay between social media use, sleep quality, and mental health in youth: A systematic review. In: *Sleep medicine reviews*, 56, S. 101414. <https://doi.org/10.1016/j.smr.2020.101414>.
- Al-Sallal, K. A. (Hrsg.) (2016): *Low energy low carbon architecture. Recent advances & future directions*. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group. Online verfügbar unter <https://permalink.obvsg.at/AC13231680>.
- Altenberg Vaz, N.; Inanici, M. (2021): Syncing with the Sky: Daylight-Driven Circadian Lighting Design. In: *LEUKOS*, 17 (3), S. 291–309. <https://doi.org/10.1080/15502724.2020.1785310>.
- Alzahrani, H. S.; Khoo, S. K.; Roy, M. (2020): Modelling the effect of commercially available blue-blocking lenses on visual and non-visual functions. In: *Clinical & experimental optometry*, 103 (3), S. 339–346. <https://doi.org/10.1111/cxo.12959>.
- Alzueta, E.; Baker, F. C. (2023): The Menstrual Cycle and Sleep. In: *Sleep medicine clinics*, 18 (4), S. 399–413. <https://doi.org/10.1016/j.jsmc.2023.06.003>.
- Anders, D.; Gompfer, B.; Kräuchi, K. (2013): A two-night comparison in the sleep laboratory as a tool to challenge the relationship between sleep initiation, cardiophysiological and thermoregulatory changes in women with difficulties initiating sleep and thermal discomfort. In: *Physiology & behavior*, 114-115, S. 77–82. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2013.02.020>.
- Andrade, M. M.; Menna-Barreto, L. (1996): Diurnal variation in oral temperature, sleepiness, and performance of high school girls. In: *Biological Rhythm Research*, (27), S. 336–342.
- Andre, C. J.; Lovallo, V.; Spencer, R. M. C. (2021): The effects of bed sharing on sleep: From partners to pets. In: *Sleep health*, 7 (3), S. 314–323. <https://doi.org/10.1016/j.sleh.2020.11.011>.
- Archer, S. N.; Oster, H. (2015): How sleep and wakefulness influence circadian rhythmicity: effects of insufficient and mistimed sleep on the animal and human transcriptome. In: *Journal of Sleep Research*, 24 (5), S. 476–493. <https://doi.org/10.1111/jsr.12307>.
- ARD ZDF Forschungskommission: ARD/ZDF-Onlinestudie 2022.
- Arendt, J. (1985): Mammalian pineal rhythms. In: *Pineal Research Reviews*, (3), S. 161–170.
- Arendt, J. (2005): Melatonin in humans: it's about time. In: *Journal of neuroendocrinology*, 17 (8), S. 537–538. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2826.2005.01333.x>.
- Arendt, J. (2006): Melatonin and human rhythms. In: *Chronobiology International*, 23 (1-2), S. 21–37. <https://doi.org/10.1080/07420520500464361>.
- Arrona-Palacios, A.; Díaz-Morales, J. F. (2018): Morningness-eveningness is not associated with academic performance in the afternoon school shift: Preliminary findings. In: *The British journal of educational psychology*, 88 (3), S. 480–498. <https://doi.org/10.1111/bjep.12196>.
- Arslan, S.; Kocoglu, D.; Durmus, M. (2015): Cultural beliefs affecting sleep duration. In: *Sleep and Biological Rhythms*, 13 (3), S. 287–296. <https://doi.org/10.1111/sbr.12117>.

- Arundell, L.; Parker, K.; Timperio, A.; Salmon, J.; Veitch, J. (2020): Home-based screen time behaviors amongst youth and their parents: familial typologies and their modifiable correlates. In: BMC public health, 20 (1), S. 1492. <https://doi.org/10.1186/s12889-020-09581-w>.
- Arup (2015): Cities Alive: Rethinking the Shades of Night. London: Arup.
- Asarnow, L. D.; Gasperetti, C. E.; Gumpert, N. B.; Harvey, A. G. (2021): Internet use and its impact on internalizing disorder symptoms and sleep in adolescents with an evening circadian preference. In: Journal of clinical sleep medicine : JCSM : official publication of the American Academy of Sleep Medicine, 17 (10), S. 2019–2027. <https://doi.org/10.5664/jcsm.9380>.
- Aschoff, J. (1965): Circadian Rythms in Man. In: Science (New York, N.Y.), 148 (3676), S. 1427–1432. <https://doi.org/10.1126/science.148.3676.1427>.
- Ashbrook, L. H.; Krystal, A. D.; Fu, Y.-H.; Ptáček, L. J. (2020): Genetics of the human circadian clock and sleep homeostat. In: Neuropsychopharmacology : official publication of the American College of Neuropsychopharmacology, 45 (1), S. 45–54. <https://doi.org/10.1038/s41386-019-0476-7>.
- Aulinas, A. (2000): Endotext. Physiology of the Pineal Gland and Melatonin. South Dartmouth (MA).
- Ayala, V.; Martínez-Bebia, M.; Latorre, J. A.; Gimenez-Blasi, N.; Jimenez-Casquet, M. J.; Conde-Pipo, J.; Bach-Faig, A.; Mariscal-Arcas, M. (2021): Influence of circadian rhythms on sports performance. In: Chronobiology international, 38 (11), S. 1522–1536. <https://doi.org/10.1080/07420528.2021.1933003>.
- Ballot, O.; Daviaux, Y.; Sanz-Arigitia, E. J.; Ivers, H.; Micoulaud-Franchi, J. A.; Bioulac, S.; Philip, P.; Morin, C. M.; Altena, E. (2021): Emotion coping strategies and dysfunctional sleep-related beliefs are associated with objective sleep problems in young adults with insomnia. In: Sleep medicine, 88, S. 180–186. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2021.10.014>.
- Baltes, B. B.; Briggs, T. E.; Huff, J. W.; Wright, J. A.; Neuman, G. A. (1999): Flexible and compressed workweek schedules: A meta-analysis of their effects on work-related criteria. In: Journal of Applied Psychology, 84 (4), S. 496–513. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.84.4.496>.
- Baron, K. G.; Abbott, S.; Jao, N.; Manalo, N.; Mullen, R. (2017): Orthosomnia: Are Some Patients Taking the Quantified Self Too Far? In: Journal of clinical sleep medicine : JCSM : official publication of the American Academy of Sleep Medicine, 13 (2), S. 351–354. <https://doi.org/10.5664/jcsm.6472>.
- Bartel, K.; Scheeren, R.; Gradisar, M. (2019): Altering Adolescents' Pre-Bedtime Phone Use to Achieve Better Sleep Health. In: Health communication, 34 (4), S. 456–462. <https://doi.org/10.1080/10410236.2017.1422099>.
- Bartel, K. A.; Gradisar, M.; Williamson, P. (2015): Protective and risk factors for adolescent sleep: a meta-analytic review. In: Sleep medicine reviews, 21, S. 72–85. <https://doi.org/10.1016/j.smr.2014.08.002>.
- Baselgia, S.; Combertaldi, S. L.; Fahr, A.; Wirz, D. S.; Ort, A.; Rasch, B. (2023): Pre-sleep arousal induced by suspenseful series and cliffhangers have only minor effects on sleep: A sleep laboratory study. In: Sleep medicine, 102, S. 186–198. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2023.01.005>.
- Belin, A. C.; Barloese, M. C. (2023): The genetics and chronobiology of cluster headache. In: Cephalgia : an international journal of headache, 43 (10), 3331024231208126. <https://doi.org/10.1177/03331024231208126>.

- Benedetti, M.; Maierová, L.; Cajochen, C.; Scartezzini, J.-L.; Münch, M. (2022): Optimized office lighting advances melatonin phase and peripheral heat loss prior bedtime. In: Scientific reports, 12 (1), S. 4267. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-07522-8>.
- Bernsmeier, C.; Weisskopf, D. M.; Pflueger, M. O.; Mosimann, J.; Campana, B.; Terracciano, L.; Beglinger, C.; Heim, M. H.; Cajochen, C. (2015): Sleep Disruption and Daytime Sleepiness Correlating with Disease Severity and Insulin Resistance in Non-Alcoholic Fatty Liver Disease: A Comparison with Healthy Controls. In: PloS one, 10 (11), e0143293. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0143293>.
- Bijlenga, D.; Vollebregt, M. A.; Kooij, J. J. S.; Arns, M. (2022): The role of the circadian system in the etiology and pathophysiology of adhd: time to redefine adhd? Online verfügbar unter <https://brainclinics.com/the-relationship-between-sleep-and-adhd/>.
- Billari, F. C.; Giuntella, O.; Stella, L. (2018): Broadband internet, digital temptations, and sleep. In: Journal of Economic Behavior & Organization, 153, S. 58–76. <https://doi.org/10.1016/j.jebo.2018.07.001>.
- Blachnio, A.; Przepiorka, A.; Díaz-Morales, J. F. (2015): Facebook use and chronotype: Results of a cross-sectional study. In: Chronobiology international, 32 (9), S. 1315–1319. <https://doi.org/10.3109/07420528.2015.1083998>.
- Blume, C.; Garbazza, C.; Spitschan, M. (2019): Effects of light on human circadian rhythms, sleep and mood. In: Somnologie : Schlafforschung und Schlafmedizin = Somnology : sleep research and sleep medicine, 23 (3), S. 147–156. <https://doi.org/10.1007/s11818-019-00215-x>.
- Blume, C.; Schmidt, M. H.; Cajochen, C. (2020): Effects of the COVID-19 lockdown on human sleep and rest-activity rhythms. In: Current biology : CB, 30 (14), R795-R797. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.06.021>.
- Boers, E.; Afzali, M. H.; Conrod, P. (2020): Temporal Associations of Screen Time and Anxiety Symptoms Among Adolescents. In: Canadian journal of psychiatry. Revue canadienne de psychiatrie, 65 (3), S. 206–208. <https://doi.org/10.1177/0706743719885486>.
- Bongaerts, G. (2007): Soziale Praxis und Verhalten – Überlegungen zum Practice Turn in Social Theory. In: Zeitschrift für Soziologie, (36), S. 246–260.
- Bonnet, M. H.; Arand, D. L. (2003): Situational insomnia: consistency, predictors, and outcomes. In: Sleep, 26 (8), S. 1029–1036. <https://doi.org/10.1093/sleep/26.8.1029>.
- Bonnette, A.; Robinson, A.; Dailey, S.; Ceballos, N.; Howard, K. (2019): Upward social comparisons and posting under the influence: Investigating social media behaviors of U.S. adults with Generalized Anxiety Disorder. In: Spotlight on Mental Health Research. <https://doi.org/10.35831/sor.mh.bonnette19>.
- Borbély, A. A.; Daan, S.; Wirz-Justice, A.; Deboer, T. (2016): The two-process model of sleep regulation: a reappraisal. In: Journal of Sleep Research, 25 (2), S. 131–143. <https://doi.org/10.1111/jsr.12371>.
- Boubekri, M.; Cheung, I. N.; Reid, K. J.; Wang, C.-H.; Zee, P. C. (2014): Impact of windows and daylight exposure on overall health and sleep quality of office workers: a case-control pilot study. In: Journal of clinical sleep medicine : JCSM : official publication of the American Academy of Sleep Medicine, 10 (6), S. 603–611. <https://doi.org/10.5664/jcsm.3780>.
- Boubekri, M.; Lee, J.; MacNaughton, P.; Woo, M.; Schuyler, L.; Tinianov, B.; Satish, U. (2020): The Impact of Optimized Daylight and Views on the Sleep Duration and Cognitive Performance of

- Office Workers. In: *International journal of environmental research and public health*, 17 (9). <https://doi.org/10.3390/ijerph17093219>.
- Bougard, C.; Espié, S.; Larnaudie, B.; Moussay, S.; Davenne, D. (2012): Effects of time of day and sleep deprivation on motorcycle-driving performance. In: *PloS one*, 7 (6), e39735. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0039735>.
- Bourdieu, P. (1993): *Sozialer Sinn. Kritik der theoretischen Vernunft*. Frankfurt a. M.: Suhrkamp.
- Boyce, P.; Hunter, C.; Howlett, O. (2003): *Benefits of Daylight through Windows*. Troy.: The Rensselaer Polytechnic Institute.
- Boyett, J. C.; Giersch, G. E. W.; Womack, C. J.; Saunders, M. J.; Hughey, C. A.; Daley, H. M.; Luden, N. D. (2016): Time of Day and Training Status Both Impact the Efficacy of Caffeine for Short Duration Cycling Performance. In: *Nutrients*, 8 (10). <https://doi.org/10.3390/nu8100639>.
- 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. In: *The Journal of Neuroscience*, 21 (16), S. 6405–6412.
- Brainard, G. C.; Sliney, D.; Hanifin, J. P.; Glickman, G.; Byrne, B.; Greeson, J. M.; Jasser, S.; Gerner, E.; Rollag, M. D. (2008): Sensitivity of the human circadian system to short-wavelength (420-nm) light. In: *Journal of biological rhythms*, 23 (5), S. 379–386. <https://doi.org/10.1177/0748730408323089>.
- Braun, R.; Kath, W. L.; Iwanaszko, M.; Kula-Eversole, E.; Abbott, S. M.; Reid, K. J.; Zee, P. C.; Allada, R. (2018): Universal method for robust detection of circadian state from gene expression. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115 (39), E9247–E9256. <https://doi.org/10.1073/pnas.1800314115>.
- Brockmann, P. E.; Diaz, B.; Damiani, F.; Villarroel, L.; Núñez, F.; Bruni, O. (2016): Impact of television on the quality of sleep in preschool children. In: *Sleep medicine*, 20, S. 140–144. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2015.06.005>.
- Brooks, A.; Lack, L. (2006): A brief afternoon nap following nocturnal sleep restriction: which nap duration is most recuperative? In: *Sleep*, 29 (6), S. 831–840. <https://doi.org/10.1093/sleep/29.6.831>.
- Brouwer, A.; van Raalte, D. H.; Rutters, F.; Elders, P. J. M.; Snoek, F. J.; Beekman, A. T. F.; Bremmer, M. A. (2020): Sleep and HbA1c in Patients With Type 2 Diabetes: Which Sleep Characteristics Matter Most? In: *Diabetes care*, 43 (1), S. 235–243. <https://doi.org/10.2337/dc19-0550>.
- Brown, T.; Brainard, G.; Cajochen, C.; Czeisler, C.; Hanifin, J.; Lockley, S.; Lucas, R.; Munch, M.; O'Hagan, J.; Peirson, S.; Price, L.; Roenneberg, T.; Schlangen, L.; Skene, D.; Spitschan, M.; Vetter, C.; Zee, P.; Wright Jr., K. (2020): Recommendations for Healthy Daytime, Evening, and Night-Time Indoor Light Exposure. <https://doi.org/10.20944/preprints202012.0037.v1>.
- Brown, T. M.; Brainard, G. C.; Cajochen, C.; Czeisler, C. A.; Hanifin, J. P.; Lockley, S. W.; Lucas, R. J.; Münch, M.; O'Hagan, J. B.; Peirson, S. N.; Price, L. L. A.; Roenneberg, T.; Schlangen, L. J. M.; Skene, D. J.; Spitschan, M.; Vetter, C.; Zee, P. C.; Wright, K. P. (2022): Recommendations for daytime, evening, and nighttime indoor light exposure to best support physiology, sleep, and wakefulness in healthy adults. In: *PLOS Biology*, 20 (3), e3001571. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3001571>.
- Budnevsky, A. V.; Rezova, N. V.; Kozhevnikova, S. A. (2020): PROGNOSTIC ROLE OF MELATONIN IN ASSESSMENT OF CLINICAL COURSE OF ARTERIAL HYPERTENSION. In: *NAUKA MOLODYKH (Eruditio Juvenium)*, 8 (4), S. 549–554. <https://doi.org/10.23888/HMJ202084549-554>.

- Bukowska-Damska, A.; Reszka, E.; Kaluzny, P.; Wieczorek, E.; Przybek, M.; Zienolddiny, S.; Peplonska, B. (2018): Sleep quality and methylation status of selected tumor suppressor genes among nurses and midwives. In: *Chronobiology international*, 35 (1), S. 122–131. <https://doi.org/10.1080/07420528.2017.1376219>.
- Bumgarner, J. R.; Walker II, W. H.; Nelson, R. J. (2021): Circadian rhythms and pain. In: *Neuroscience and biobehavioral reviews*, (129), S. 296–306.
- Burgess, H. J.; Eastman, C. I. (2006): A late wake time phase delays the human dim light melatonin rhythm. In: *Neuroscience Letters*, 395 (3), S. 191–195. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2005.10.082>.
- Burish, M. J.; Chen, Z.; Yoo, S.-H. (2019): Emerging relevance of circadian rhythms in headaches and neuropathic pain. In: *Acta physiologica (Oxford, England)*, 225 (1), e13161. <https://doi.org/10.1111/apha.13161>.
- Burns, A. C.; Saxena, R.; Vetter, C.; Phillips, A. J. K.; Lane, J. M.; Cain, S. W. (2021): Time spent in outdoor light is associated with mood, sleep, and circadian rhythm-related outcomes: A cross-sectional and longitudinal study in over 400,000 UK Biobank participants. In: *Journal of affective disorders*, 295, S. 347–352. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2021.08.056>.
- Burns, A. C.; Windred, D. P.; Rutter, M. K.; Olivier, P.; Vetter, C.; Saxena, R.; Lane, J. M.; Phillips, A. J. K.; Cain, S. W. (2023): Day and night light exposure are associated with psychiatric disorders: an objective light study in >85,000 people. Online verfügbar unter <https://www.nature.com/articles/s44220-023-00135-8>, zuletzt geprüft am 04.06.2024.
- Butler, D. L.; Biner, P. M. (1989): Effects of setting on window preferences and factors associated with those preferences. In: *Environment and Behavior*, 21 (1), S. 17–31.
- Cain, N.; Gradisar, M. (2010a): Electronic media use and sleep in school-aged children and adolescents: A review. In: *Sleep medicine*, 11 (8), S. 735–742. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2010.02.006>.
- Cain, S. W.; Dennison, C. F.; Zeitzer, J. M.; Guzik, A. M.; Khalsa, S. B. S.; Santhi, N.; Schoen, M. W.; Czeisler, C. A.; Duffy, J. F. (2010b): Sex differences in phase angle of entrainment and melatonin amplitude in humans. In: *Journal of biological rhythms*, 25 (4), S. 288–296. <https://doi.org/10.1177/0748730410374943>.
- Cajochen, C.; Frey, S.; Anders, D.; Späti, J.; Bues, M.; Pross, A.; Mager, R.; Wirz-Justice, A.; Stefani, O. (2011): Evening exposure to a light-emitting diodes (LED)-backlit computer screen affects circadian physiology and cognitive performance. In: *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 110 (5), S. 1432–1438. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00165.2011>.
- Cajochen, C.; Freyburger, M.; Basishvili, T.; Garbazza, C.; Rudzik, F.; Renz, C.; Kobayashi, K.; Shirakawa, Y.; Stefani, O.; Weibel, J. (2019): Effect of daylight LED on visual comfort, melatonin, mood, waking performance and sleep. In: *Lighting Research & Technology*, 51 (7), S. 1044–1062. <https://doi.org/10.1177/1477153519828419>.
- Calamaro, C. J.; Mason, T. B. A.; Ratcliffe, S. J. (2009): Adolescents living the 24/7 lifestyle: effects of caffeine and technology on sleep duration and daytime functioning. In: *Pediatrics*, 123 (6), e1005-10. <https://doi.org/10.1542/peds.2008-3641>.
- Calamaro, C. J.; Yang, K.; Ratcliffe, S.; Chasens, E. R. (2012): Wired at a young age: the effect of caffeine and technology on sleep duration and body mass index in school-aged children. In: *Journal of pediatric health care : official publication of National Association of Pediatric Nurse Associates & Practitioners*, 26 (4), S. 276–282. <https://doi.org/10.1016/j.pedhc.2010.12.002>.

- Canakis, A.; Qazi, T. (2020): Sleep and Fatigue in IBD: an Unrecognized but Important Extra-intestinal Manifestation. In: *Current gastroenterology reports*, 22 (2), S. 8. <https://doi.org/10.1007/s11894-020-0746-x>.
- Canan, F.; Yildirim, O.; Sinani, G.; Ozturk, O.; Ustunel, T. Y.; Ataoglu, A. (2013): Internet addiction and sleep disturbance symptoms among Turkish high school students. In: *Sleep and Biological Rhythms*, 11 (3), S. 210–213. <https://doi.org/10.1111/sbr.12022>.
- Cannata, D.; Moretti, A.; Fragola, P. V.; Vitelli, R. (1993): Un algoritmo per l'analisi del profilo circadiano della pressione arteriosa in soggetti normotesi [An algorithm for the analysis of the circadian profile of the arterial pressure in normotensive subjects]. *Cardiologia (Rome, Italy)*, 9 (38), 569–576.
- Carskadon, M. A.; Vieira, C.; Acebo, C. (1993): Association between puberty and delayed phase preference. In: *Sleep*, 16 (3), S. 258–262. <https://doi.org/10.1093/sleep/16.3.258>.
- Carvalho, F.; Pedrazzoli, M.; Gasparin, A.; Dos Santos, F.; Zortea, M.; Souza, A.; Da Silva Lucena Torres, I.; Fregni, F.; Caumo, W. (2019): PER3 variable number tandem repeat (VNTR) polymorphism modulates the circadian variation of the descending pain modulatory system in healthy subjects. In: *Scientific reports*, 9 (1), S. 9363. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45527-y>.
- Caviezel, C.; Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (2016): Bilanz der Sommerzeit. TAB-ARBEITSBERICHT NR. 165. Online verfügbar unter <https://www.tab-beim-bundestag.de/de/untersuchungen/u20100.html>, zuletzt geprüft am 18.11.2021.
- Chakradeo, P. S.; Keshavarzian, A.; Singh, S.; Dera, A. E.; Esteban, J. P. G.; Lee, A. A.; Burgess, H. J.; Fogg, L.; Swanson, G. R. (2018): Chronotype, social jet lag, sleep debt and food timing in inflammatory bowel disease. In: *Sleep medicine*, 52, S. 188–195. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2018.08.002>.
- Chang, A.-M.; Aeschbach, D.; Duffy, J. F.; Czeisler, C. A. (2015): Evening use of light-emitting eReaders negatively affects sleep, circadian timing, and next-morning alertness. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112 (4), S. 1232–1237. <https://doi.org/10.1073/pnas.1418490112>.
- Chang, A.-M.; Santhi, N.; St Hilaire, M.; Gronfier, C.; Bradstreet, D. S.; Duffy, J. F.; Lockley, S. W.; Kronauer, R. E.; Czeisler, C. A. (2012): Human responses to bright light of different durations. In: *The Journal of physiology*, 590 (13), S. 3103–3112. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2011.226555>.
- Chang, A.-M.; Scheer, F. A. J. L.; Czeisler, C. A. (2011): The human circadian system adapts to prior photic history. In: *The Journal of physiology*, 589 (Pt 5), S. 1095–1102. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2010.201194>.
- Chang, B. S. (2018): Long-Term Patterns of Seizure Recurrence: Estimating Risk From Ambulatory Intracranial EEG Recordings. In: *Epilepsy currents*, 18 (4), S. 236–237. <https://doi.org/10.5698/1535-7597.18.4.236>.
- Chellappa, S.; Steiner, R.; Oelhafen, P.; Cajochen, C. (2017): Sex differences in light sensitivity impact on brightness perception, vigilant attention and sleep in humans. In: *Scientific reports*, 7 (1), S. 14215. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-13973-1>.
- Chellappa, S. L.; Steiner, R.; Blattner, P.; Oelhafen, P.; Götz, T.; Cajochen, C. (2011): Non-visual effects of light on melatonin, alertness and cognitive performance: can blue-enriched light keep us alert? In: *PloS one*, 6 (1), e16429. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0016429>.

- Chen, X.; Zhang, X.; Du, J. (2019): Glazing type (colour and transmittance), daylighting, and human performances at a workspace: A full-scale experiment in Beijing. In: *Building and Environment*, 153, S. 168–185. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.02.034>.
- Chen, Y.-L.; Gau, S. S.-F. (2016): Sleep problems and internet addiction among children and adolescents: a longitudinal study. In: *Journal of Sleep Research*, 25 (4), S. 458–465. <https://doi.org/10.1111/jsr.12388>.
- Cheng, S. H.; Shih, C.-C.; Lee, I. H.; Hou, Y.-W.; Chen, K. C.; Chen, K.-T.; Yang, Y. K.; Yang, Y. C. (2012): A study on the sleep quality of incoming university students. In: *Psychiatry Research*, 197 (3), S. 270–274. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2011.08.011>.
- Cheung, L. M.; Wong, W. S. (2011): The effects of insomnia and internet addiction on depression in Hong Kong Chinese adolescents: an exploratory cross-sectional analysis. In: *Journal of Sleep Research*, 20 (2), S. 311–317. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2869.2010.00883.x>.
- Cho, N. H.; Shaw, J. E.; Karuranga, S.; Huang, Y.; Da Rocha Fernandes, J. D.; Ohlrogge, A. W.; Malanda, B. (2018): IDF Diabetes Atlas: Global estimates of diabetes prevalence for 2017 and projections for 2045. In: *Diabetes research and clinical practice*, 138, S. 271–281. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2018.02.023>.
- Cho, Y.; Ryu, S.-H.; Lee, B. R.; Kim, K. H.; Lee, E.; Choi, J. (2015): Effects of artificial light at night on human health: A literature review of observational and experimental studies applied to exposure assessment. In: *Chronobiology international*, 32 (9), S. 1294–1310. <https://doi.org/10.3109/07420528.2015.1073158>.
- Choi, K.; Son, H.; Park, M.; Han, J.; Kim, K.; Lee, B.; Gwak, H. (2009): Internet overuse and excessive daytime sleepiness in adolescents. In: *Psychiatry and clinical neurosciences*, 63 (4), S. 455–462. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1819.2009.01925.x>.
- Christensen, M. A.; Bettencourt, L.; Kaye, L.; Moturu, S. T.; Nguyen, K. T.; Olgin, J. E.; Pletcher, M. J.; Marcus, G. M. (2016): Direct Measurements of Smartphone Screen-Time: Relationships with Demographics and Sleep. In: *PloS one*, 11 (11), e0165331. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165331>.
- Cinzano, P.; Falchi, F.; Elvidge, C. D. (2001): The first World Atlas of the artificial night sky brightness. In: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 328 (3), S. 689–707. <https://doi.org/10.1046/j.1365-8711.2001.04882.x>.
- Clark, I.; Landolt, H. P. (2017): Coffee, caffeine, and sleep: A systematic review of epidemiological studies and randomized controlled trials. In: *Sleep medicine reviews*, 31, S. 70–78. <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2016.01.006>.
- Cleland, V.; Timperio, A.; Salmon, J.; Hume, C.; Baur, L. A.; Crawford, D. (2010): Predictors of time spent outdoors among children: 5-year longitudinal findings. In: *Journal of epidemiology and community health*, 64 (5), S. 400–406. <https://doi.org/10.1136/jech.2009.087460>.
- Coogan, A. N.; McGowan, N. M. (2017): A systematic review of circadian function, chronotype and chronotherapy in attention deficit hyperactivity disorder. In: *Attention deficit and hyperactivity disorders*, 9 (3), S. 129–147. <https://doi.org/10.1007/s12402-016-0214-5>.
- Cortés, C.; Berenice, A.; Falcón Morales, L. E. (2016): Emotions and the Urban Lighting Environment. In: *SAGE Open*, 6 (1), 215824401662970. <https://doi.org/10.1177/2158244016629708>.

- Costa, G.; Akerstedt, T.; Nachreiner, F.; Baltieri, F.; Carvalhais, J.; Folkard, S.; Dresen, M. F.; Gadbois, C.; Gartner, J.; Sukalo, H. G.; Härmä, M.; Kandolin, I.; Sartori, S.; Silvério, J. (2004): Flexible working hours, health, and well-being in Europe: some considerations from a SALTSA project. In: *Chronobiology International*, 21 (6), S. 831–844. <https://doi.org/10.1081/cbi-200035935>.
- Crnko, S.; Du Pré, B. C.; Sluijter, J. P. G.; van Laake, L. W. (2019): Circadian rhythms and the molecular clock in cardiovascular biology and disease. In: *Nature reviews. Cardiology*, 16 (7), S. 437–447. <https://doi.org/10.1038/s41569-019-0167-4>.
- Crowley, S. J.; Carskadon, M. A. (2010): Modifications to weekend recovery sleep delay circadian phase in older adolescents. In: *Chronobiology international*, 27 (7), S. 1469–1492. <https://doi.org/10.3109/07420528.2010.503293>.
- Crowley, S. J.; Lee, C.; Tseng, C. Y.; Fogg, L. F.; Eastman, C. I. (2003): Combinations of bright light, scheduled dark, sunglasses, and melatonin to facilitate circadian entrainment to night shift work. In: *Journal of biological rhythms*, 18 (6), S. 513–523. <https://doi.org/10.1177/0748730403258422>.
- Crowley, S. J.; Molina, T. A.; Burgess, H. J. (2015): A week in the life of full-time office workers: work day and weekend light exposure in summer and winter. In: *Applied ergonomics*, 46 Pt A, S. 193–200. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2014.08.006>.
- Crowley, S. J.; van Reen, E.; LeBourgeois, M. K.; Acebo, C.; Tarokh, L.; Seifer, R.; Barker, D. H.; Carskadon, M. A. (2014): A longitudinal assessment of sleep timing, circadian phase, and phase angle of entrainment across human adolescence. In: *PLoS one*, 9 (11), e112199. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0112199>.
- Cuesta, M.; Boudreau, P.; Dubeau-Laramée, G.; Cermakian, N.; Boivin, D. B. (2016): Simulated Night Shift Disrupts Circadian Rhythms of Immune Functions in Humans. In: *Journal of immunology* (Baltimore, Md. : 1950), 196 (6), S. 2466–2475. <https://doi.org/10.4049/jimmunol.1502422>.
- Cuhls, K. (2019): Horizon Scanning in Foresight - Why Horizon Scanning is only a part of the game. In: *Futures and Foresight Science*, S. 1–22.
- Cuhls, K.; Ganz, W.; Warnke, P. ((2009): Foresight-Prozess - Im Auftrag des BMBF: Zukunftsfelder neuen Zuschnitts. Karlsruhe. Online verfügbar unter www.isi.fraunhofer.de/bmbf-foresight.php; <http://publica.fraunhofer.de/starweb/pub09/servlet.starweb>, zuletzt geprüft am 28.05.2019.
- Cuhls, K.; Kantermann, T.; Gutknecht, R.; Heyen, N.; Mork-Antony, F. (2023): Cuhls, K.; Kantermann, Th. et al. (2023): Der circadiane Rhythmus im Alltag. Biologie im Konflikt mit Techniknutzung. Policy Brief Nr. 2, Fraunhofer ISI, Karlsruhe, und FOM Hochschule, Essen. Karlsruhe: Fraunhofer ISI, Karlsruhe, und FOM Hochschule, Essen.
- Cuhls, K.; Kantermann, T.; Mork-Antoni, F.; Heyen, N.; Gutknecht, R. (2024a): Chronobiologie für eine gesunde Gesellschaft der Zukunft. Projekt CIRCADIA – Circadiane Rhythmen und Technologie.
- Cuhls, K.; Mork-Antony, F.; Gutknecht, R.; Kaplan, H. (2024b): It's time to take chronobiology seriously. In: Misztal, A.; Nelson, S.; Schweidler, W. (Hrsg.): *Time and Measure. The Study of Time XVIII*. in print. Leiden: Brill Academic Publishers.
- Czeisler, C.; Dumont, M.; Duffy, J.; Steinberg, J.; Richardson, G.; Brown, E.; Sánchez, R.; Ríos, C.; Ronda, J. (1992): Association of sleep-wake habits in older people with changes in output of circadian pacemaker. In: *The Lancet*, 340 (8825), S. 933–936. [https://doi.org/10.1016/0140-6736\(92\)92817-y](https://doi.org/10.1016/0140-6736(92)92817-y).

- Czeisler, C. A.; Duffy, J. F.; Shanahan, T. L.; Brown, E. N.; Mitchell, J. F.; Rimmer, D. W.; Ronda, J. M.; Silva, E. J.; Allan, J. S.; Emens, J. S.; Dijk, D. J.; Kronauer, R. E. (1999): Stability, precision, and near-24-hour period of the human circadian pacemaker. In: *Science* (New York, N.Y.), 284 (5423), S. 2177–2181. <https://doi.org/10.1126/science.284.5423.2177>.
- Daan, S. (2017): Die innere Uhr des Menschen. Jürgen Aschoff (1913–1998), Wissenschaftler in einem bewegten Jahrhundert. Reichert, L. ISBN: 978-3-95490-310-8.
- Daan, S.; Beersma, D. G. M.; Borbély, A. A. (1984): Timing of human sleep: recovery process gated by a circadian pacemaker. In: *Am. J. Physiol.*, (246), R161–R178.
- Daguet, I.; Raverot, V.; Bouhassira, D.; Gronfier, C. (2020): Evidence that pain sensitivity is rhythmic in humans, mainly driven by the endogenous circadian system and little by sleep. <https://doi.org/10.1101/2020.12.23.424196>.
- Dai, Q.; Huang, Y.; Hao, L.; Lin, Y.; Chen, K. (2018): Spatial and spectral illumination design for energy-efficient circadian lighting. In: *Building and Environment*, 146, S. 216–225. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.10.004>.
- Daley, M.; Morin, C. M.; LeBlanc, M.; Grégoire, J. P.; Savard, J.; Baillargeon, L. (2009): Insomnia and its relationship to health-care utilization, work absenteeism, productivity and accidents. In: *Sleep medicine*, 10 (4), S. 427–438. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2008.04.005>.
- Daugaard, S.; Markvart, J.; Bonde, J. P.; Christoffersen, J.; Garde, A. H.; Hansen, Å. M.; Schlünssen, V.; Vestergaard, J. M.; Vistisen, H. T.; Kolstad, H. A. (2019): Light Exposure during Days with Night, Outdoor, and Indoor Work. In: *Annals of work exposures and health*, 63 (6), S. 651–665. <https://doi.org/10.1093/annweh/wxy110>.
- Dautovich, N. D.; Kay, D. B.; Perlis, M. L.; Dzierzewski, J. M.; Rowe, M. A.; McCrae, C. S. (2012): Day-to-day variability in nap duration predicts medical morbidity in older adults. In: *Health psychology : official journal of the Division of Health Psychology, American Psychological Association*, 31 (5), S. 671–676. <https://doi.org/10.1037/a0027374>.
- Depner, C. M.; Melanson, E. L.; Eckel, R. H.; Snell-Bergeon, J. K.; Perreault, L.; Bergman, B. C.; Higgins, J. A.; Guerin, M. K.; Stothard, E. R.; Morton, S. J.; Wright, K. P. (2019): Ad libitum Weekend Recovery Sleep Fails to Prevent Metabolic Dysregulation during a Repeating Pattern of Insufficient Sleep and Weekend Recovery Sleep. In: *Current biology : CB*, 29 (6), 957-967.e4. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.01.069>.
- Dettweiler, U.; Becker, C.; Auestad, B. H.; Simon, P.; Kirsch, P. (2017): Stress in School. Some Empirical Hints on the Circadian Cortisol Rhythm of Children in Outdoor and Indoor Classes. In: *International journal of environmental research and public health*, 14 (5). <https://doi.org/10.3390/ijerph14050475>.
- Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (2018): DGUV Information 215-220 „Nichtvisuelle Wirkungen von Licht auf Menschen“, zuletzt geprüft am 17.11.2021.
- Deutscher Bundestag (2016): Studien zu gesundheitlichen Folgen der jährlichen Zeitumstellung auf die Sommerzeit. Online verfügbar unter <https://www.bundestag.de/resource/blob/407624/d1fa2b547812da531f580ce77f348b4f/wd-9-044-14-pdf-data.pdf>, zuletzt geprüft am 10.06.2024.
- Dewald-Kaufmann, J. F.; Oort, F. J.; Meijer, A. M. (2013): The effects of sleep extension on sleep and cognitive performance in adolescents with chronic sleep reduction: an experimental study. In: *Sleep medicine*, 14 (6), S. 510–517. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2013.01.012>.

- Dewan, K.; Benloucif, S.; Reid, K.; Wolfe, L. F.; Zee, P. C. (2011): Light-induced changes of the circadian clock of humans: increasing duration is more effective than increasing light intensity. In: *Sleep*, 34 (5), S. 593–599. <https://doi.org/10.1093/sleep/34.5.593>.
- DGAUM (2020): Leitlinie „Gesundheitliche Aspekte und Gestaltung von Nacht- und Schichtarbeit“: Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin. In: AWMF online Das Portal der wissenschaftlichen Medizin.
- Diallo, A. B.; Coiffard, B.; Leone, M.; Mezouar, S.; Mege, J.-L. (2020): For Whom the Clock Ticks: Clinical Chronobiology for Infectious Diseases. In: *Frontiers in immunology*, 11, S. 1457. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.01457>.
- Díaz-Morales, J. F.; Prieto, P. D.; Barreno, C. E.; Mateo, M. J. C.; Randler, C. (2012): Sleep beliefs and chronotype among adolescents: the effect of a sleep education program. In: *Biological Rhythm Research*, 43 (4), S. 397–412. <https://doi.org/10.1080/09291016.2011.597620>.
- Diffey, B. L. (2011): An overview analysis of the time people spend outdoors. In: *The British journal of dermatology*, 164 (4), S. 848–854. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2133.2010.10165.x>.
- Dijk, D. J.; Beersma, D. G.; Bloem, G. M. (1989): Sex differences in the sleep EEG of young adults: visual scoring and spectral analysis. In: *Sleep*, 12 (6), S. 500–507. <https://doi.org/10.1093/sleep/12.6.500>.
- Dissing, A. S.; Andersen, T. O.; Nørup, L. N.; Clark, A.; Nejsum, M.; Rod, N. H. (2021): Daytime and nighttime smartphone use: A study of associations between multidimensional smartphone behaviours and sleep among 24,856 Danish adults. In: *Journal of Sleep Research*, 30 (6), e13356. <https://doi.org/10.1111/jsr.13356>.
- Dittami, J.; Keckeis, M.; Machatschke, I.; Katina, S.; ZEITLHOFER, J.; KLOESCH, G. (2007): Sex differences in the reactions to sleeping in pairs versus sleeping alone in humans. In: *Sleep and Biological Rhythms*, 5 (4), S. 271–276. <https://doi.org/10.1111/j.1479-8425.2007.00320.x>.
- Doi, Y.; Ishihara, K.; Uchiyama, M. (2014): Sleep/wake patterns and circadian typology in preschool children based on standardized parental self-reports. In: *Chronobiology international*, 31 (3), S. 328–336. <https://doi.org/10.3109/07420528.2013.852103>.
- Doljansky, J. T.; Kannety, H.; Dagan, Y. (2005): Working under daylight intensity lamp: an occupational risk for developing circadian rhythm sleep disorder? In: *Chronobiology International*, 22 (3), S. 597–605. <https://doi.org/10.1081/CBI-200062422>.
- Dose, B.; Yalçın, M.; Dries, S. P. M.; Relógio, A. (2023): TimeTeller for timing health: The potential of circadian medicine to improve performance, prevent disease and optimize treatment. In: *Frontiers in digital health*, 5, S. 1157654. <https://doi.org/10.3389/fdgth.2023.1157654>.
- Drake, C. L.; Pillai, V.; Roth, T. (2014): Stress and sleep reactivity: a prospective investigation of the stress-diathesis model of insomnia. In: *Sleep*, 37 (8), S. 1295–1304. <https://doi.org/10.5665/sleep.3916>.
- Drapeau, C.; Hamel-Hébert, I.; Robillard, R.; Selmaoui, B.; Filipini, D.; Carrier, J. (2006): Challenging sleep in aging: the effects of 200 mg of caffeine during the evening in young and middle-aged moderate caffeine consumers. In: *Journal of Sleep Research*, 15 (2), S. 133–141. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2869.2006.00518.x>.
- Du, Z.; Holme, P. (2020): Coupling the circadian rhythms of population movement and the immune system in infectious disease modeling. In: *PloS one*, 15 (6), e0234619. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234619>.

- Duffy, J. F.; Cain, S. W.; Chang, A.-M.; Phillips, A. J. K.; Münch, M. Y.; Gronfier, C.; Wyatt, J. K.; Dijk, D.-J.; Wright, K. P.; Czeisler, C. A. (2011): Sex difference in the near-24-hour intrinsic period of the human circadian timing system. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108 Suppl 3, S. 15602–15608. <https://doi.org/10.1073/pnas.1010666108>.
- Duffy, J. F.; Czeisler, C. A. (2009): Effect of Light on Human Circadian Physiology. In: *Sleep medicine clinics*, 4 (2), S. 165–177. <https://doi.org/10.1016/j.jsmc.2009.01.004>.
- Dunster, G. P.; Hua, I.; Grahe, A.; Fleischer, J. G.; Panda, S.; Wright, K. P.; Vetter, C.; Doherty, J. H.; La Iglesia, H. O. de (2023): Daytime light exposure is a strong predictor of seasonal variation in sleep and circadian timing of university students. In: *Journal of pineal research*, 74 (2), e12843. <https://doi.org/10.1111/jpi.12843>.
- Dutheil, F.; Danini, B.; Bagheri, R.; Fantini, M. L.; Pereira, B.; Moustafa, F.; Trousselard, M.; Navel, V. (2021): Effects of a Short Daytime Nap on the Cognitive Performance: A Systematic Review and Meta-Analysis. In: *International journal of environmental research and public health*, 18 (19). <https://doi.org/10.3390/ijerph181910212>.
- Dworak, M.; Schierl, T.; Bruns, T.; Strüder, H. K. (2007): Impact of singular excessive computer game and television exposure on sleep patterns and memory performance of school-aged children. In: *Pediatrics*, 120 (5), S. 978–985. <https://doi.org/10.1542/peds.2007-0476>.
- Eichele, G.; Oster, H. (2020): *Auf der Suche nach der biologischen Zeit. Von der Erforschung der circadianen Uhr*. Berlin: Springer. Online verfügbar unter <http://www.springer.com/>.
- Elder, G. J.; Flo-Groeneboom, E. (2022): How can light be used to optimize sleep and health in older adults? In: *Progress in brain research*, 273 (1), S. 331–355. <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2022.04.002>.
- Eliasson, A.; Eliasson, A.; King, J.; Gould, B.; Eliasson, A. (2002): Association of sleep and academic performance. In: *Sleep & breathing = Schlaf & Atmung*, 6 (1), S. 45–48. <https://doi.org/10.1007/s11325-002-0045-9>.
- Ellithorpe, M. E.; Ulusoy, E.; Eden, A.; Hahn, L.; Yang, C.-L.; Tucker, R. M. (2022): The complicated impact of media use before bed on sleep: Results from a combination of objective EEG sleep measurement and media diaries. In: *Journal of Sleep Research*, e13551. <https://doi.org/10.1111/jsr.13551>.
- Estevan, I.; Silva, A.; Tassinio, B. (2018): School start times matter, eveningness does not. In: *Chronobiology international*, 35 (12), S. 1753–1757. <https://doi.org/10.1080/07420528.2018.1504785>.
- Eto, T.; Ohashi, M.; Nagata, K.; Shin, N.; Motomura, Y.; Higuchi, S. (2021): Crystalline lens transmittance spectra and pupil sizes as factors affecting light-induced melatonin suppression in children and adults. In: *Ophthalmic & physiological optics : the journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, 41 (4), S. 900–910. <https://doi.org/10.1111/opo.12809>.
- European Commission (2018): PUBLIC CONSULTATION ON EU SUMMERTIME ARRANGEMENTS REPORT OF RESULTS Accompanying the document Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council discontinuing seasonal changes of time and repealing Directive 2000/84/EC COM(2018) 639 final, zuletzt geprüft am 18.11.2021.
- European Committee for Standardization. (Hrsg.) (2002): CEN-EN 12464-1 Light and Lighting — Lighting of Work Places — Part 1: Indoor Work places; European Committee for Standardization: Brussels. Online verfügbar unter <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/af33bb17-6dc2-4b5d-8160-069a20a44275/en-12464-1-2002>.

- Exelmans, L.; Scott, H. (2019): Social Media Use and Sleep Quality among Adults: The Role of Gender, Age and Social Media Checking Habit. <https://doi.org/10.31234/osf.io/eqxdh>.
- Exelmans, L.; van den Bulck, J. (2015): Sleep quality is negatively related to video gaming volume in adults. In: *Journal of sleep research*, 24 (2), S. 189–196. <https://doi.org/10.1111/jsr.12255>.
- Exelmans, L.; van den Bulck, J. (2016): Bedtime mobile phone use and sleep in adults. In: *Social science & medicine* (1982), 148, S. 93–101. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2015.11.037>.
- Exelmans, L.; van den Bulck, J. (2017): Bedtime, shuteye time and electronic media: sleep displacement is a two-step process. In: *Journal of sleep research*, 26 (3), S. 364–370. <https://doi.org/10.1111/jsr.12510>.
- Falchi, F.; Bará, S. (2023): Light pollution is skyrocketing. In: *Science* (New York, N.Y.), 379 (6629), S. 234–235. <https://doi.org/10.1126/science.adf4952>.
- Falchi, F.; Cinzano, P.; Duriscoe, D.; Kyba, C. C. M.; Elvidge, C. D.; Baugh, K.; Portnov, B. A.; Rybnikova, N. A.; Furgoni, R. (2016): The new world atlas of artificial night sky brightness. In: *Science advances*, 2 (6), e1600377. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1600377>.
- Fernandez, F.-X. (2022): Current Insights into Optimal Lighting for Promoting Sleep and Circadian Health: Brighter Days and the Importance of Sunlight in the Built Environment. In: *Nature and science of sleep*, 14, S. 25–39. <https://doi.org/10.2147/NSS.S251712>.
- Figueiro, M. G. (2008): A proposed 24 h lighting scheme for older adults. In: *Lighting Research & Technology*, 40 (2), S. 153–160. <https://doi.org/10.1177/1477153507087299>.
- Figueiro, M. G.; Rea, M. S. (2010): Lack of short-wavelength light during the school day delays dim light melatonin onset (DLMO) in middle school students. In: *Neuro Endocrinology Letters*, 31 (1), S. 92–96.
- Figueiro, M. G.; Wood, B.; Plitnick, B.; Rea, M. S. (2013): The impact of watching television on evening melatonin levels. In: *Journal of the Society for Information Display*, 21 (10), S. 417–421. <https://doi.org/10.1002/jsid.200>.
- Fisher, B. S.; Nasar, J. L. (1992): Fear of Crime in Relation to Three Exterior Site Features. In: *Environment and Behavior*, 24 (1), S. 35–65. <https://doi.org/10.1177/0013916592241002>.
- Fostervold, K. I.; de Eilertsen (2022): Implementing integrative lighting in conventional office luminaires: Effects on melatonin secretion and sleepiness. In: *Lighting Research & Technology*, 54 (8), S. 778–797. <https://doi.org/10.1177/14771535221123237>.
- Fotios, S.; Unwin, J.; Farrall, S. (2015): Road lighting and pedestrian reassurance after dark: A review. In: *Lighting Research & Technology*, 47 (4), S. 449–469. <https://doi.org/10.1177/1477153514524587>.
- Frazier, K.; Frith, M.; Harris, D.; Leone, V. A. (2020): Mediators of Host-Microbe Circadian Rhythms in Immunity and Metabolism. In: *Biology*, 9 (12). <https://doi.org/10.3390/biology9120417>.
- Friedrich, M.; Wilhelm, I.; Born, J.; Friederici, A. D. (2015): Generalization of word meanings during infant sleep. In: *Nature communications*, 6, S. 6004. <https://doi.org/10.1038/ncomms7004>.
- Frommhold, J. (Hrsg.) (2022): *LongCovid. Die neue Volkskrankheit : wie man sie erkennt, warum sie so viele betrifft und was wirklich hilft.* München: C.H.Beck. ISBN: 978-3-406-78356-2.
- Gabriel, C. H.; Kramer, A. (2023): Time of day shapes success of a cancer treatment. In: *Nature*, 614 (2), S. 41–42.

- Gaston, K. J.; Visser, M. E.; Hölker, F. (2015): The biological impacts of artificial light at night: the research challenge. In: *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 370 (1667). <https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0133>.
- Gelfand, A. A.; Pavitt, S.; Ross, A. C.; Szperka, C. L.; Irwin, S. L.; Bertisch, S.; Stone, K. L.; Frazier, R.; Grimes, B.; Allen, I. E. (2021): Later high school start time is associated with lower migraine frequency in adolescents. In: *Headache*, 61 (2), S. 343–350. <https://doi.org/10.1111/head.14016>.
- Gerber, M.; Lindwall, M.; Börjesson, M.; Hadzibajramovic, E.; Jonsdottir, I. H. (2017): Low leisure-time physical activity, but not shift-work, contributes to the development of sleep complaints in Swedish health care workers. In: *Mental Health and Physical Activity*, 13, S. 22–29. <https://doi.org/10.1016/j.mhpa.2017.09.003>.
- Gherri, B. (2013): Daylighting Strategies: Building's Sustainability and Energy Efficiency. In: *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 7 (7). <https://doi.org/10.17265/1934-7359/2013.07.004>.
- Ghotbi, N.; Pilz, L. K.; Winnebeck, E. C.; Vetter, C.; Zerbini, G.; Lenssen, D.; Frighetto, G.; Salamanca, M.; Costa, R.; Montagnese, S.; Roenneberg, T. (2020): The μ MCTQ: An Ultra-Short Version of the Munich ChronoType Questionnaire. In: *Journal of biological rhythms*, 35 (1), S. 98–110. <https://doi.org/10.1177/0748730419886986>.
- Glickman, G.; Hanifin, J. P.; Rollag, M. D.; Wang, J.; Cooper, H.; Brainard, G. C. (2003): Inferior retinal light exposure is more effective than superior retinal exposure in suppressing melatonin in humans. In: *Journal of biological rhythms*, 18 (1), S. 71–79. <https://doi.org/10.1177/0748730402239678>.
- Glynn, E. F.; Chen, J.; Mushegian, A. R. (2006): Detecting periodic patterns in unevenly spaced gene expression time series using Lomb-Scargle periodograms. In: *Bioinformatics (Oxford, England)*, 22 (3), S. 310–316. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bti789>.
- Goel, N.; Basner, M.; Rao, H.; Dinges, D. F. (2013): Circadian Rhythms, Sleep Deprivation, and Human Performance. In: *Progress in molecular biology and translational science*, 119, S. 155–190. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-396971-2.00007-5>.
- Goldin, A. P.; Sigman, M.; Braier, G.; Golombek, D. A.; Leone, M. J. (2020): Interplay of chronotype and school timing predicts school performance. In: *Nature human behaviour*, 4 (4), S. 387–396. <https://doi.org/10.1038/s41562-020-0820-2>.
- Goldstein, E. B.; Cacciamani, L. (2023): *Wahrnehmungspsychologie. Der Grundkurs*. Berlin: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-65146-9>.
- Gooley, J. J.; Chamberlain, K.; Smith, K. A.; Khalsa, S. B. S.; Rajaratnam, S. M. W.; van Reen, E.; Zeitzer, J. M.; Czeisler, C. A.; Lockley, S. W. (2011): Exposure to room light before bedtime suppresses melatonin onset and shortens melatonin duration in humans. In: *The Journal of clinical endocrinology and metabolism*, 96 (3), E463–72. <https://doi.org/10.1210/jc.2010-2098>.
- Gori, S.; Lucchesi, C.; Baldacci, F.; Bonuccelli, U. (2015): Preferential occurrence of attacks during night sleep and/or upon awakening negatively affects migraine clinical presentation. In: *Functional neurology*, 30 (2), S. 119–123. <https://doi.org/10.11138/FNeur/2015.30.2.119>.
- Gray, K. J.; Gibbs, J. E. (2022): Adaptive immunity, chronic inflammation and the clock. In: *Seminars in immunopathology*, 44 (2), S. 209–224. <https://doi.org/10.1007/s00281-022-00919-7>.
- Green, A.; Cohen-Zion, M.; Haim, A.; Dagan, Y. (2018): Comparing the response to acute and chronic exposure to short wavelength lighting emitted from computer screens. In: *Chronobiology international*, 35 (1), S. 90–100. <https://doi.org/10.1080/07420528.2017.1387555>.

- Green, M. J.; Espie, C. A.; Popham, F.; Robertson, T.; Benzeval, M. (2017): Insomnia symptoms as a cause of type 2 diabetes Incidence: a 20 year cohort study. In: *BMC psychiatry*, 17 (1), S. 94. <https://doi.org/10.1186/s12888-017-1268-4>.
- Gregg, N. M.; Sladky, V.; Nejedly, P.; Mivalt, F.; Kim, I.; Balzekas, I.; Sturges, B. K.; Crowe, C.; Patterson, E. E.; van Gompel, J. J.; Lundstrom, B. N.; Leyde, K.; Denison, T. J.; Brinkmann, B. H.; Kremen, V.; Worrell, G. A. (2021): Thalamic deep brain stimulation modulates cycles of seizure risk in epilepsy. In: *Scientific reports*, 11 (1), S. 24250. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-03555-7>.
- Griffioen, N.; Scholten, H.; Lichtwarck-Aschoff, A.; van Rooij, M.; Granic, I. (2021): Everyone does it—differently: A window into emerging adults' smartphone use. In: *Humanities and Social Sciences Communications*, 8 (1). <https://doi.org/10.1057/s41599-021-00863-1>.
- Guarana, C. L.; Ryu, J. W.; O'Boyle, E. H.; Lee, J.; Barnes, C. M. (2021): Sleep and self-control: A systematic review and meta-analysis. In: *Sleep medicine reviews*, 59, S. 101514. <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2021.101514>.
- Güler, A. D.; Ecker, J. L.; Lall, G. S.; Haq, S.; Altimus, C. M.; Liao, H.-W.; Barnard, A. R.; Cahill, H.; Badea, T. C.; Zhao, H.; Hankins, M. W.; Berson, D. M.; Lucas, R. J.; Yau, K.-W.; Hattar, S. (2008): Melanopsin cells are the principal conduits for rod-cone input to non-image-forming vision. In: *Nature*, 453 (7191), S. 102–105. <https://doi.org/10.1038/nature06829>.
- Gumport, N. B.; Gasperetti, C. E.; Silk, J. S.; Harvey, A. G. (2021): The Impact of Television, Electronic Games, and Social Technology Use on Sleep and Health in Adolescents with an Evening Circadian Preference. In: *Journal of youth and adolescence*, 50 (12), S. 2351–2362. <https://doi.org/10.1007/s10964-021-01429-9>.
- Gunn, P. J.; Middleton, B.; Davies, S. K.; Revell, V. L.; Skene, D. J. (2016): Sex differences in the circadian profiles of melatonin and cortisol in plasma and urine matrices under constant routine conditions. In: *Chronobiology international*, 33 (1), S. 39–50. <https://doi.org/10.3109/07420528.2015.1112396>.
- Hahn, A. (2010): *Körper und Gedächtnis*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften. ISBN: 9783531169248.
- Halberg, F. (1959): Physiologic 24-hour periodicity; general and procedural considerations with reference to the adrenal cycle. In: *Internationale Zeitschrift für Vitaminforschung. Beiheft*, 10, S. 225–296.
- Hale, L.; Guan, S. (2015): Screen time and sleep among school-aged children and adolescents: a systematic literature review. In: *Sleep medicine reviews*, 21, S. 50–58. <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2014.07.007>.
- Hale, L.; Li, X.; Hartstein, L. E.; LeBourgeois, M. K. (2019): Media Use and Sleep in Teenagers: What Do We Know? In: *Current Sleep Medicine Reports*, 5 (3), S. 128–134. <https://doi.org/10.1007/s40675-019-00146-x>.
- Hall, J. A.; Baym, N. K. (2012): Calling and texting (too much): Mobile maintenance expectations, (over)dependence, entrapment, and friendship satisfaction. In: *New Media & Society*, 14 (2), S. 316–331. <https://doi.org/10.1177/1461444811415047>.
- Hamilton, J. L.; Lee, W. (2021): Associations Between Social Media, Bedtime Technology Use Rules, and Daytime Sleepiness Among Adolescents: Cross-sectional Findings From a Nationally Representative Sample. In: *JMIR mental health*, 8 (9), e26273. <https://doi.org/10.2196/26273>.

- Hammoudi, S. F.; Mreydem, H. W.; Ali, B. T. A.; Saleh, N. O.; Chung, S.; Hallit, S.; Salameh, P. (2021): Smartphone Screen Time Among University Students in Lebanon and Its Association With Insomnia, Bedtime Procrastination, and Body Mass Index During the COVID-19 Pandemic: A Cross-Sectional Study. In: *Psychiatry investigation*, 18 (9), S. 871–878. <https://doi.org/10.30773/pi.2021.0120>.
- Hao, G.; Zhu, B.; Li, Y.; Wang, P.; Li, L.; Hou, L. (2020): Sleep quality and disease activity in patients with inflammatory bowel disease: a systematic review and meta-analysis. In: *Sleep medicine*, 75, S. 301–308. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2020.08.032>.
- Härmä, M.; Karhula, K.; Puttonen, S.; Ropponen, A.; Koskinen, A.; Ojajarvi, A.; Kivimäki, M. (2019): Shift work with and without night work as a risk factor for fatigue and changes in sleep length: A cohort study with linkage to records on daily working hours. In: *Journal of sleep research*, 28 (3), e12658. <https://doi.org/10.1111/jsr.12658>.
- Hartley, S.; Dauvilliers, Y.; Quera-Salva, M.-A. (2018): Circadian Rhythm Disturbances in the Blind. In: *Current neurology and neuroscience reports*, 18 (10), S. 65. <https://doi.org/10.1007/s11910-018-0876-9>.
- Hartman, P.; Hanuliak, P.; Maňková, L.; Hraška, J. (2014): The Effect of the Colour Selection for Internal Surfaces on Non-Visual Daylight Human Response. In: *Advanced Materials Research*, 1057, S. 231–240. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1057.231>.
- Hartman, P.; Maňková, L.; Hanuliak, P.; Krajčík, M. (2016): The Influence of Internal Coloured Surfaces on the Circadian Efficiency of Indoor Daylight. In: *Applied Mechanics and Materials*, 861, S. 493–500. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.861.493>.
- Hartstein, L. E.; Behn, C. D.; Akacem, L. D.; Stack, N.; Wright, K. P.; LeBourgeois, M. K. (2022): High sensitivity of melatonin suppression response to evening light in preschool-aged children. In: *Journal of pineal research*, 72 (2), e12780. <https://doi.org/10.1111/jpi.12780>.
- Hashimoto, S.; Kohsaka, M.; Nakamura, K.; Honma, H.; Honma, S.; Honma, K. (1997): Midday exposure to bright light changes the circadian organization of plasma melatonin rhythm in humans. In: *Neuroscience Letters*, 221 (2-3), S. 89–92. [https://doi.org/10.1016/S0304-3940\(96\)13291-2](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(96)13291-2).
- Hastings, M. H.; Brancaccio, M.; Maywood, E. S. (2014): Circadian pacemaking in cells and circuits of the suprachiasmatic nucleus. In: *Journal of neuroendocrinology*, 26 (1), S. 2–10. <https://doi.org/10.1111/jne.12125>.
- Hastings, M. H.; Maywood, E. S.; Brancaccio, M. (2018): Generation of circadian rhythms in the suprachiasmatic nucleus. In: *Nature reviews. Neuroscience*, 19 (8), S. 453–469. <https://doi.org/10.1038/s41583-018-0026-z>.
- Hattar, S.; Liao, H. W.; Takao, M.; Berson, D. M.; Yau, K. W. (2002): Melanopsin-containing retinal ganglion cells: architecture, projections, and intrinsic photosensitivity. In: *Science (New York, N.Y.)*, 295 (5557), S. 1065–1070. <https://doi.org/10.1126/science.1069609>.
- He, J.-W.; Tu, Z.-H.; Xiao, L.; Su, T.; Tang, Y.-X. (2020): Effect of restricting bedtime mobile phone use on sleep, arousal, mood, and working memory: A randomized pilot trial. In: *PloS one*, 15 (2), e0228756. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228756>.
- Heath, M.; Sutherland, C.; Bartel, K.; Gradisar, M.; Williamson, P.; Lovato, N.; Micic, G. (2014): Does one hour of bright or short-wavelength filtered tablet screenlight have a meaningful effect on adolescents' pre-bedtime alertness, sleep, and daytime functioning? In: *Chronobiology international*, 31 (4), S. 496–505. <https://doi.org/10.3109/07420528.2013.872121>.

- Hébert, M.; Martin, S. K.; Lee, C.; Eastman, C. I. (2002): The effects of prior light history on the suppression of melatonin by light in humans. In: *Journal of pineal research*, 33 (4), S. 198–203. <https://doi.org/10.1034/j.1600-079X.2002.01885.x>.
- Heerwagen, J. H.; Orians, G. H. (1986): Adaptations to windowlessness: A study of the use of visual decor in windowed and windowless offices. In: *Environment and Behavior*, 18 (5), S. 623–639.
- Hena, M.; Garmy, P. (2020): Social Jetlag and Its Association With Screen Time and Nighttime Texting Among Adolescents in Sweden: A Cross-Sectional Study. In: *Frontiers in Neuroscience*, 14, S. 122. <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.00122>.
- Henckel, D. (2018): Lichtsituationen/Lightscaapes in Berlin Friedrichshain-Kreuzberg. Ergebnisse eines Light Walks im November 2017.
- Henckel, D. (2021): Combined soundwalks and lightwalks. In: *Cities & Health*, 5 (1-2), S. 86–88. <https://doi.org/10.1080/23748834.2019.1582459>.
- Herljevic, M.; Middleton, B.; Thapan, K.; Skene, D. J. (2005): Light-induced melatonin suppression: age-related reduction in response to short wavelength light. In: *Experimental gerontology*, 40 (3), S. 237–242. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2004.12.001>.
- Hermida, R. C.; Smolensky, M. H.; Balan, H.; Castriotta, R. J.; Crespo, J. J.; Dagan, Y.; El-Toukhy, S.; Fernández, J. R.; FitzGerald, G. A.; Fujimura, A.; Geng, Y.-J.; Hermida-Ayala, R. G.; Machado, A. P.; Menna-Barreto, L.; Mojón, A.; Otero, A.; Rudic, R. D.; Schernhammer, E.; Skarke, C.; Steen, T. Y.; Young, M. E.; Zhao, X. (2021): Guidelines for the design and conduct of human clinical trials on ingestion-time differences - chronopharmacology and chronotherapy - of hypertension medications. In: *Chronobiology international*, 38 (1), S. 1–26. <https://doi.org/10.1080/07420528.2020.1850468>.
- Hertenstein, E.; Johann, A.; Riemann, D.; Spiegelhalder, K. (2015): Prävention und Psychotherapie der Insomnie. Konzepte, Methoden und Praxis der Freiburger Schlafschule. Stuttgart: Kohlhammer. ISBN: 978-3-17-026860-9.
- Herzog-Krzywoszanska, R.; Krzywoszanski, L. (2019): Bedtime Procrastination, Sleep-Related Behaviors, and Demographic Factors in an Online Survey on a Polish Sample. In: *frontiers in neuroscience*, 13, S. 963. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.00963>.
- Hess, D. B. (2012): Walking to the bus: perceived versus actual walking distance to bus stops for older adults. In: *Transportation*, 39 (2), S. 247–266. <https://doi.org/10.1007/s11116-011-9341-1>.
- Higuchi, S.; Nagafuchi, Y.; Lee, S.; Harada, T. (2014): Influence of light at night on melatonin suppression in children. In: *The Journal of clinical endocrinology and metabolism*, 99 (9), S. 3298–3303. <https://doi.org/10.1210/jc.2014-1629>.
- Hill, V. M.; Rebar, A. L.; Ferguson, S. A.; Shriane, A. E.; Vincent, G. E. (2022): Go to bed! A systematic review and meta-analysis of bedtime procrastination correlates and sleep outcomes. In: *Sleep medicine reviews*, 66, S. 101697. <https://doi.org/10.1016/j.smr.2022.101697>.
- Hisler, G.; Twenge, J. M.; Krizan, Z. (2020): Associations between screen time and short sleep duration among adolescents varies by media type: evidence from a cohort study. In: *Sleep medicine*, 66, S. 92–102. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2019.08.007>.
- Höhn, C.; Schmid, S. R.; Plamberger, C. P.; Bothe, K.; Angerer, M.; Gruber, G.; Pletzer, B.; Hoedlmoser, K. (2021): Preliminary Results: The Impact of Smartphone Use and Short-Wavelength Light during the Evening on Circadian Rhythm, Sleep and Alertness. In: *Clocks & sleep*, 3 (1), S. 66–86. <https://doi.org/10.3390/clocksleep3010005>.

- Hölker, F.; Moss, T.; Griefahn, B.; Kloas, W.; Voigt, C. C.; Henckel, D.; Hänel, A.; Kappeler, P. M.; Völker, S.; Schwöpe, A.; Franke, S.; Uhrlandt, D.; Fischer, J.; Klenke, R.; Wolter, C.; Tockner, K. (2010): The Dark Side of Light: A Transdisciplinary Research Agenda for Light Pollution Policy. In: *Ecology and Society*, 15 (4). <https://doi.org/10.5751/ES-03685-150413>.
- Hörning, K. H. (2004): Soziale Praxis zwischen Beharrung und Neuschöpfung. Ein Erkenntnis- und Theorieproblem. In: Hörning, K. H.; Reuter, J. (Hrsg.): *Doing Culture*. Bielefeld, Germany: transcript Verlag. ISBN: 978-3-89942-243-6.
- Horzum, M. B.; Önder, İ.; Beşoluk, Ş. (2014): Chronotype and academic achievement among online learning students. In: *Learning and Individual Differences*, 30, S. 106–111. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2013.10.017>.
- Hou, W. K.; Hall, B. J.; Hobfoll, S. E. (2018): Drive to Thrive: A Theory of Resilience Following Loss. In: Morina, N.; Nickerson, A. (Hrsg.): *Mental Health of Refugee and Conflict-Affected Populations*. Cham: Springer International Publishing, S. 111–133. https://doi.org/10.1007/978-3-319-97046-2_6.
- Hraska, J. (2015): Chronobiological aspects of green buildings daylighting. In: *Renewable Energy*, 73, S. 109–114. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.06.008>.
- Hraška, J.; Hanuliak, P.; Hartman, P.; Zeman, M.; Stebelová, K. (2014): Comparative Study of Window Glazing Systems Influence on Melatonin Secretion in Patients in the Hospital Wards. In: *Advanced Materials Research*, 899, S. 288–293. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.899.288>.
- Hu, K.; Li, W.; Zhang, Y.; Chen, H.; Bai, C.; Yang, Z.; Lorenz, T.; Liu, K.; Shirai, K.; Song, J.; Zhao, Q.; Zhao, Y.; Zhang, J. J.; Wei, J.; Pan, J.; Qi, J.; Ye, T.; Zeng, Y.; Yao, Y. (2022): Association between outdoor artificial light at night and sleep duration among older adults in China: A cross-sectional study. In: *Environmental research*, 212 (Pt B), S. 113343. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113343>.
- Huang, J.; Zhong, Z.; Wang, M.; Chen, X.; Tan, Y.; Zhang, S.; He, W.; He, X.; Huang, G.; Lu, H.; Wu, P.; Che, Y.; Yan, Y.-L.; Postlethwait, J. H.; Chen, W.; Wang, H. (2015): Circadian modulation of dopamine levels and dopaminergic neuron development contributes to attention deficiency and hyperactive behavior. In: *The Journal of Neuroscience*, 35 (6), S. 2572–2587. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2551-14.2015>.
- Hughes, M. E.; Hogenesch, J. B.; Kornacker, K. (2010): JTK_CYCLE: an efficient nonparametric algorithm for detecting rhythmic components in genome-scale data sets. In: *Journal of biological rhythms*, 25 (5), S. 372–380. <https://doi.org/10.1177/0748730410379711>.
- Hughey, J. J.; Hastie, T.; Butte, A. J. (2016): ZeitZeiger: supervised learning for high-dimensional data from an oscillatory system. In: *Nucleic acids research*, 44 (8), e80. <https://doi.org/10.1093/nar/gkw030>.
- Hunter, C. M.; Figueiro, M. G. (2017): Measuring Light at Night and Melatonin Levels in Shift Workers: A Review of the Literature. In: *Biological research for nursing*, 19 (4), S. 365–374. <https://doi.org/10.1177/1099800417714069>.
- Hutchison, A. L.; Maienschein-Cline, M.; Chiang, A. H.; Tabei, S. M. A.; Gudjonson, H.; Bahroos, N.; Allada, R.; Dinner, A. R. (2015): Improved statistical methods enable greater sensitivity in rhythm detection for genome-wide data. In: *PLoS computational biology*, 11 (3), e1004094. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1004094>.

- Hysing, M.; Pallesen, S.; Stormark, K. M.; Jakobsen, R.; Lundervold, A. J.; Sivertsen, B. (2015): Sleep and use of electronic devices in adolescence: results from a large population-based study. In: *BMJ open*, 5 (1), e006748. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2014-006748>.
- Ishikura, I. A.; Hachul, H.; Tufik, S.; Andersen, M. L. (2023): Dysmenorrhea and Sleep: A Review. In: *Sleep medicine clinics*, 18 (4), S. 449–461. <https://doi.org/10.1016/j.jsmc.2023.06.006>.
- Itzek-Greulich, H.; Randler, C.; Vollmer, C. (2016): The interaction of chronotype and time of day in a science course: Adolescent evening types learn more and are more motivated in the afternoon. In: *Learning and Individual Differences*, 51, S. 189–198. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2016.09.013>.
- Jarboe, C.; Snyder, J.; Figueiro, M. G. (2020): The effectiveness of light-emitting diode lighting for providing circadian stimulus in office spaces while minimizing energy use. In: *Lighting Research & Technology*, 52 (2), S. 167–188. <https://doi.org/10.1177/1477153519834604>.
- Jechow, A.; Hölker, F. (2020): Evidence That Reduced Air and Road Traffic Decreased Artificial Night-Time Skyglow during COVID-19 Lockdown in Berlin, Germany. In: *Remote Sensing*, 12 (20), S. 3412. <https://doi.org/10.3390/rs12203412>.
- Jin, B.; Park, N. (2010): In-person contact begets calling and texting: interpersonal motives for cell phone use, face-to-face interaction, and loneliness. In: *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 13 (6), S. 611–618. <https://doi.org/10.1089/cyber.2009.0314>.
- Jurić, P.; Karuc, J.; Martinko, A.; Mišigoj-Duraković, M.; Sorić, M. (2022): Does time of the day matter? Temporal associations between physical activity and quality and quantity of subsequent sleep in adolescents. In: *Sleep medicine*, 92, S. 41–49. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2022.02.020>.
- Kahn, M.; Barnett, N.; Glazer, A.; Gradisar, M. (2021): Sleep and screen exposure across the beginning of life: deciphering the links using big-data analytics. In: *Sleep*, 44 (3). <https://doi.org/10.1093/sleep/zsaa158>.
- Kalak, N.; Gerber, M.; Kirov, R.; Mikoteit, T.; Yordanova, J.; Pühse, U.; Holsboer-Trachsler, E.; Brand, S. (2012): Daily morning running for 3 weeks improved sleep and psychological functioning in healthy adolescents compared with controls. In: *The Journal of adolescent health : official publication of the Society for Adolescent Medicine*, 51 (6), S. 615–622. <https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2012.02.020>.
- Kang, D. W.; Soh, M.; Lee Tae Kyeong (2015): Relationship Between Internet Addiction and Circadian Rhythm in Adults. In: *Sleep Medicine and Psychophysiology*.
- Kang, J.-H.; Chen, S.-C. (2009): Effects of an irregular bedtime schedule on sleep quality, daytime sleepiness, and fatigue among university students in Taiwan. In: *BMC public health*, 9, S. 248. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-9-248>.
- Kantermann, T. (2018): Humanmedizinisch relevante Wirkungen von Lichtverschmutzung. <https://doi.org/10.48440/GFZ.1.4.2020.004>.
- Kantermann, T.; Juda, M.; Mero, M.; Roenneberg, T. (2007): The human circadian clock's seasonal adjustment is disrupted by daylight saving time. In: *Current biology : CB*, 17 (22), S. 1996–2000. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2007.10.025>.
- Kantermann, T.; Sung, H.; Burgess, H. J. (2015): Comparing the Morningness-Eveningness Questionnaire and Munich ChronoType Questionnaire to the Dim Light Melatonin Onset. In: *Journal of biological rhythms*, 30 (5), S. 449–453. <https://doi.org/10.1177/0748730415597520>.

- Kantermann, T.; Theadom, A.; Roenneberg, T.; Cropley, M. (2012): Fibromyalgia syndrome and chronotype: late chronotypes are more affected. In: *Journal of biological rhythms*, 27 (2), S. 176–179. <https://doi.org/10.1177/0748730411435999>.
- Kanwal, F.; Kramer, J. R.; Duan, Z.; Yu, X.; White, D.; El-Serag, H. B. (2016): Trends in the Burden of Nonalcoholic Fatty Liver Disease in a United States Cohort of Veterans. In: *Clinical gastroenterology and hepatology : the official clinical practice journal of the American Gastroenterological Association*, 14 (2), 301-8.e1-2. <https://doi.org/10.1016/j.cgh.2015.08.010>.
- Karchani Mohsen; Kakooei, H.; Yazdi, Z.; Zare, M. (2011): Do bright-light shock exposures during breaks reduce subjective sleepiness in night workers? In: *Sleep and Biological Rhythms*, 9 (2), S. 95–102. <https://doi.org/10.1111/j.1479-8425.2011.00490.x>.
- Kater, M.-J.; Schlarb, A. A. (2020): Smartphone usage in adolescents – motives and link to sleep disturbances, stress and sleep reactivity. In: *Somnologie : Schlafforschung und Schlafmedizin = Somnology : sleep research and sleep medicine*, 24 (4), S. 245–252. <https://doi.org/10.1007/s11818-020-00272-7>.
- Kato, T.; Yorifuji, T.; Yamakawa, M.; Inoue, S. (2018): National data showed that delayed sleep in six-year-old children was associated with excessive use of electronic devices at 12 years. In: *Acta paediatrica (Oslo, Norway : 1992)*, 107 (8), S. 1439–1448. <https://doi.org/10.1111/apa.14255>.
- Kaur, P.; Dhir, A.; Alkhalifa, A. K.; Tandon, A. (2021): Social media platforms and sleep problems: a systematic literature review, synthesis and framework for future research. In: *Internet Research*, 31 (4), S. 1121–1152.
- Kawinska, A.; Dumont, M.; Selmaoui, B.; Paquet, J.; Carrier, J. (2005): Are modifications of melatonin circadian rhythm in the middle years of life related to habitual patterns of light exposure? In: *Journal of biological rhythms*, 20 (5), S. 451–460. <https://doi.org/10.1177/0748730405280248>.
- Kennaway, D. J.; Stamp, G. E.; Goble, F. C. (1992): Development of melatonin production in infants and the impact of prematurity. In: *The Journal of clinical endocrinology and metabolism*, 75 (2), S. 367–369. <https://doi.org/10.1210/jcem.75.2.1639937>.
- Kessel, L.; Siganos, G.; Jørgensen, T.; Larsen, M. (2011): Sleep disturbances are related to decreased transmission of blue light to the retina caused by lens yellowing. In: *Sleep*, 34 (9), S. 1215–1219. <https://doi.org/10.5665/SLEEP.1242>.
- Khammar, A.; Moghimian, M.; Ebrahimi, M.; Abbasi, M.; Baneshi, M. (2017): Effects of bright light shock on sleepiness and adaptation among night workers of a hospital in Iran. In: *Annals of Tropical Medicine and Public Health*.
- Khan, S.; Nobili, L.; Khatami, R.; Loddenkemper, T.; Cajochen, C.; Dijk, D.-J.; Eriksson, S. H. (2018): Circadian rhythm and epilepsy. In: *The Lancet Neurology*, 17 (12), S. 1098–1108. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(18\)30335-1](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(18)30335-1).
- Kira, G.; Maddison, R.; Hull, M.; Blunden, S.; Olds, T. (2014): Sleep education improves the sleep duration of adolescents: a randomized controlled pilot study. In: *Journal of clinical sleep medicine : JCSM : official publication of the American Academy of Sleep Medicine*, 10 (7), S. 787–792. <https://doi.org/10.5664/jcsm.3874>.
- Kirchhoff, F. (2016): Der Mittagsschlaf im Kindergartenalter. In: *Somnologie : Schlafforschung und Schlafmedizin = Somnology : sleep research and sleep medicine*, 20 (3), S. 160–165. <https://doi.org/10.1007/s11818-016-0080-6>.

- Klein Murdock, K.; Horissian, M.; Crichlow-Ball, C. (2017): Emerging Adults' Text Message Use and Sleep Characteristics: A Multimethod, Naturalistic Study. In: *Behavioral sleep medicine*, 15 (3), S. 228–241. <https://doi.org/10.1080/15402002.2015.1120203>.
- Klimek, M.; Peter, R. S.; Denking, M.; Dallmeier, D.; Rapp, K.; Rothenbacher, D.; Klenk, J. (2022): The relationship of weather with daily physical activity and the time spent out of home in older adults from Germany - the ActiFE study. In: *European review of aging and physical activity : official journal of the European Group for Research into Elderly and Physical Activity*, 19 (1), S. 6. <https://doi.org/10.1186/s11556-022-00286-0>.
- Kloss, J. D.; Nash, C. O.; Walsh, C. M.; Culnan, E.; Horsey, S.; Sexton-Radek, K. (2016): A "Sleep 101" Program for College Students Improves Sleep Hygiene Knowledge and Reduces Maladaptive Beliefs about Sleep. In: *Behavioral medicine (Washington, D.C.)*, 42 (1), S. 48–56. <https://doi.org/10.1080/08964289.2014.969186>.
- Knezevic, N. N.; Nader, A.; Pirvulescu, I.; Pynadath, A.; Rahavard, B. B.; Candido, K. D. (2023): Circadian pain patterns in human pain conditions - A systematic review. In: *Pain practice : the official journal of World Institute of Pain*, 23 (1), S. 94–109. <https://doi.org/10.1111/papr.13149>.
- Knoop, M.; Stefani, O.; Bueno, B.; Matusiak, B.; Hobday, R.; Wirz-Justice, A.; Martiny, K.; Kantermann, T.; Aarts, M. P.; Zemmouri, N.; Appelt, S.; Norton, B. (2020): Daylight: What makes the difference? In: *Lighting Research & Technology*, 52 (3), S. 423–442. <https://doi.org/10.1177/1477153519869758>.
- Kocevska, D.; Barclay, N. L.; Bramer, W. M.; Gehrman, P. R.; van Someren, E. J. W. (2021): Heritability of sleep duration and quality: A systematic review and meta-analysis. In: *Sleep medicine reviews*, 59, S. 101448. <https://doi.org/10.1016/j.smr.2021.101448>.
- Koo, Y. S.; Song, J.-Y.; Joo, E.-Y.; Lee, H.-J.; Lee, E.; Lee, S.; Jung, K.-Y. (2016): Outdoor artificial light at night, obesity, and sleep health: Cross-sectional analysis in the KoGES study. In: *Chronobiology international*, 33 (3), S. 301–314. <https://doi.org/10.3109/07420528.2016.1143480>.
- Kooij, J. J. S.; Bijlenga, D. (2014): High prevalence of self-reported photophobia in adult ADHD. In: *Frontiers in Neurology*, 5, S. 256. <https://doi.org/10.3389/fneur.2014.00256>.
- Kozaki, T.; Kubokawa, A.; Taketomi, R.; Hatae, K. (2015): Effects of day-time exposure to different light intensities on light-induced melatonin suppression at night. In: *Journal of physiological anthropology*, 34, S. 27. <https://doi.org/10.1186/s40101-015-0067-1>.
- Kristensen, J. H.; Pallesen, S.; King, D. L.; Hysing, M.; Erevik, E. K. (2021): Problematic Gaming and Sleep: A Systematic Review and Meta-Analysis. In: *Frontiers in Psychiatry*, 12, S. 675237. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2021.675237>.
- Kubota, N.; Tamori, Y.; Baba, K.; Yamanaka, Y. (2022): Effects of different light incident angles via a head-mounted device on the magnitude of nocturnal melatonin suppression in healthy young subjects. In: *Sleep and biological rhythms*, 20 (2), S. 247–254. <https://doi.org/10.1007/s41105-021-00360-7>.
- Kudielka, B. M.; Bellingrath, S.; Hellhammer, D. H. (2006): Cortisol in burnout and vital exhaustion: an overview. In: *Giornale italiano di medicina del lavoro ed ergonomia*, 28 (1 Suppl 1), S. 34–42.
- Kühnle, T. (2006): *Quantitative Analysis of Human Chronotypes*, Ludwig-Maximilians-Universität München (Hrsg.).
- Küller, R.; Lindsten, C. (1992): Health and behavior of children in classrooms with and without windows. In: *Journal of Environmental Psychology*, 12 (4), S. 305–317. [https://doi.org/10.1016/S0272-4944\(05\)80079-9](https://doi.org/10.1016/S0272-4944(05)80079-9).

- Kumar, M.; Kainth, S.; Kumar, S.; Bhardwaj, A.; KumarAggarwal, H.; Maiwall, R.; Jamwal, K. D.; Shasthry, S. M.; Jindal, A.; Choudhary, A.; Anand, L.; Dhamija, R. M.; Chibbar, G.; Chander Sharma, B.; Sarin, S. K. (2021): Prevalence of and Factors Associated with Sleep-Wake Abnormalities in Patients with Cirrhosis. In: *Journal of clinical and experimental hepatology*, 11 (4), S. 453–465. <https://doi.org/10.1016/j.jceh.2020.10.006>.
- Kyba, C. C.; Pritchard, S. B.; Ekirch, A. R.; Eldridge, A.; Jechow, A.; Preiser, C.; Kunz, D.; Henckel, D.; Hölker, F.; Barentine, J.; Berge, J.; Meier, J.; Gwiazdzinski, L.; Spitschan, M.; Milan, M.; Bach, S.; Schroer, S.; Straw, W. (2020): Night Matters—Why the Interdisciplinary Field of “Night Studies” Is Needed. In: *J — Multidisciplinary Scientific Journal*, 3 (1), S. 1–6. <https://doi.org/10.3390/j3010001>.
- Kyba, C. C. M.; Altıntaş, Y. Ö.; Walker, C. E.; Newhouse, M. (2023): Citizen scientists report global rapid reductions in the visibility of stars from 2011 to 2022. In: *Science (New York, N.Y.)*, 379 (6629), S. 265–268. <https://doi.org/10.1126/science.abq7781>.
- Lack, L.; Bailey, M.; Lovato, N.; Wright, H. (2009): Chronotype differences in circadian rhythms of temperature, melatonin, and sleepiness as measured in a modified constant routine protocol. In: *Nature and science of sleep*, 1, S. 1–8. <https://doi.org/10.2147/nss.s6234>.
- Lahtinen, A.; Häkkinen, A.; Puttonen, S.; Vanttola, P.; Viitasalo, K.; Porkka-Heiskanen, T.; Härmä, M.; Paunio, T. (2021): Differential DNA methylation in recovery from shift work disorder. In: *Scientific reports*, 11 (1), S. 2895. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82627-0>.
- Lahtinen, A.; Puttonen, S.; Vanttola, P.; Viitasalo, K.; Sulkava, S.; Pervjakova, N.; Joensuu, A.; Salo, P.; Toivola, A.; Härmä, M.; Milani, L.; Perola, M.; Paunio, T. (2019): A distinctive DNA methylation pattern in insufficient sleep. In: *Scientific reports*, 9 (1), S. 1193. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-38009-0>.
- Laing, E. E.; Möller-Levet, C. S.; Poh, N.; Santhi, N.; Archer, S. N.; Dijk, D.-J. (2017): Blood transcriptome based biomarkers for human circadian phase. In: *eLife*, 6. <https://doi.org/10.7554/eLife.20214>.
- Lakerveld, J.; Mackenbach, J. D.; Horvath, E.; Rutters, F.; Compernelle, S.; Bárdos, H.; Bourdeaudhuij, I. de; Charreire, H.; Rutter, H.; Oppert, J.-M.; McKee, M.; Brug, J. (2016): The relation between sleep duration and sedentary behaviours in European adults. In: *Obesity reviews : an official journal of the International Association for the Study of Obesity*, 17 Suppl 1, S. 62–67. <https://doi.org/10.1111/obr.12381>.
- Landolt, H. P.; Dijk, D. J.; Gaus, S. E.; Borbély, A. A. (1995a): Caffeine reduces low-frequency delta activity in the human sleep EEG. In: *Neuropsychopharmacology : official publication of the American College of Neuropsychopharmacology*, 12 (3), S. 229–238. [https://doi.org/10.1016/0893-133X\(94\)00079-F](https://doi.org/10.1016/0893-133X(94)00079-F).
- Landolt, H. P.; Werth, E.; Borbély, A. A.; Dijk, D. J. (1995b): Caffeine intake (200 mg) in the morning affects human sleep and EEG power spectra at night. In: *Brain Research*, 675 (1-2), S. 67–74. [https://doi.org/10.1016/0006-8993\(95\)00040-W](https://doi.org/10.1016/0006-8993(95)00040-W).
- Landolt, H.-P. (2008): Sleep homeostasis: a role for adenosine in humans? In: *Biochemical pharmacology*, 75 (11), S. 2070–2079. <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2008.02.024>.
- Latour, B. (2006): *Technik ist stabilisierte Gesellschaft*. Bielefeld.
- Lauritzen, E. S.; Kampmann, U.; Pedersen, M. G. B.; Christensen, L.-L.; Jessen, N.; Møller, N.; Støy, J. (2022): Three months of melatonin treatment reduces insulin sensitivity in patients with type 2

- diabetes-A randomized placebo-controlled crossover trial. In: *Journal of pineal research*, 73 (1), e12809. <https://doi.org/10.1111/jpi.12809>.
- Lecour, S.; Du Pré, B. C.; Bøtker, H. E.; Brundel, B. J. J. M.; Daiber, A.; Davidson, S. M.; Ferdinandy, P.; Girao, H.; Gollmann-Tepeköylü, C.; Gyöngyösi, M.; Hausenloy, D. J.; Madonna, R.; Marber, M.; Perrino, C.; Pesce, M.; Schulz, R.; Sluijter, J. P. G.; Steffens, S.; van Linthout, S.; Young, M. E.; van Laake, L. W. (2022): Circadian rhythms in ischaemic heart disease: key aspects for preclinical and translational research: position paper of the ESC working group on cellular biology of the heart. In: *Cardiovascular research*, 118 (12), S. 2566–2581. <https://doi.org/10.1093/cvr/cvab293>.
- Leng, Y.; Musiek, E. S.; Hu, K.; Cappuccio, F. P.; Yaffe, K. (2019): Association between circadian rhythms and neurodegenerative diseases. In: *The Lancet. Neurology*, 18 (3), S. 307–318. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(18\)30461-7](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(18)30461-7).
- Leocadio-Miguel, M. A.; Ruiz, F. S.; Ahmed, S. S.; Taporoski, T. P.; Horimoto, A. R. V. R.; Beijamini, F.; Pedrazzoli, M.; Knutson, K. L.; Pereira, A. C.; Schantz, M. von (2021): Compared Heritability of Chronotype Instruments in a Single Population Sample. In: *Journal of biological rhythms*, 36 (5), S. 483–490. <https://doi.org/10.1177/07487304211030420>.
- Leonhard, C.; Randler, C. (2009): In sync with the family: children and partners influence the sleep-wake circadian rhythm and social habits of women. In: *Chronobiology international*, 26 (3), S. 510–525. <https://doi.org/10.1080/07420520902821101>.
- Leontjew, A. (1984): *Grundfragen einer Theorie der sprachlichen Tätigkeit*. Stuttgart.
- Lerner, A. B.; Case, J. D.; Heizelman, R. V. (1959): Structure of Melatonin 1. In: *Journal of the American Chemical Society*, 81 (22), S. 6084–6085. <https://doi.org/10.1021/ja01531a060>.
- Lewy, A. J.; Sack, R. L. (1989): The dim light melatonin onset as a marker for circadian phase position. In: *Chronobiology International*, 6 (1), S. 93–102. <https://doi.org/10.3109/07420528909059144>.
- Li, X.; Kane, M.; Zhang, Y.; Sun, W.; Song, Y.; Dong, S.; Lin, Q.; Zhu, Q.; Jiang, F.; Zhao, H. (2021): Circadian Rhythm Analysis Using Wearable Device Data: Novel Penalized Machine Learning Approach. In: *Journal of medical Internet research*, 23 (10), e18403. <https://doi.org/10.2196/18403>.
- Liang, Y.; Horrey, W. J.; Howard, M. E.; Lee, M. L.; Anderson, C.; Shreeve, M. S.; O'Brien, C. S.; Czeisler, C. A. (2019): Prediction of drowsiness events in night shift workers during morning driving. In: *Accident; analysis and prevention*, 126, S. 105–114. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.11.004>.
- Lichttechnische Gesellschaft (2017): *Beleuchtung-und-Kriminalitaet*. 13. Forum für den lichttechnischen Nachwuchs, 8. bis 10. September 2017, Dörfeld/Ilm : Tagungsband. Ilmenau: Institut für Lichttechnik und Technische Optik; Deutsche Lichttechnische Gesellschaft. Online verfügbar unter https://www.litg.de/media/28262.45_Web, zuletzt geprüft am 10.10.2023.
- Lin, Y.-H.; Wong, B.-Y.; Lin, S.-H.; Chiu, Y.-C.; Pan, Y.-C.; Lee, Y.-H. (2019a): Development of a mobile application (App) to delineate “digital chronotype” and the effects of delayed chronotype by bedtime smartphone use. In: *Journal of psychiatric research*, 110, S. 9–15. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2018.12.012>.
- Lin, Y.-H.; Wong, B.-Y.; Pan, Y.-C.; Chiu, Y.-C.; Lee, Y.-H. (2019b): Validation of the Mobile App-Recorded Circadian Rhythm by a Digital Footprint. In: *JMIR mHealth and uHealth*, 7 (5), e13421. <https://doi.org/10.2196/13421>.

- Lindita Imeraja; Sonuga-Barke, E.; Antropa, I.; Roeyers, H.: Altered Circadian Profiles in Attention Deficit/Hyperactivity Disorder: An Integrative Review and Theoretical Framework for Future Studies. Online verfügbar unter <https://biblio.ugent.be/publication/3158463/file/6787478>.
- Liu, W.; Dong, H.; Le Yang; Zhao, H.; Dong, W.; Yang, Y. (2020a): Severity and Its Contributing Factors in Patients With Vestibular Migraine: A Cohort Study. In: *Frontiers in Neurology*, 11, S. 595328. <https://doi.org/10.3389/fneur.2020.595328>.
- Liu, W.; Yang, L.; Dong, H.; Qian, H.; Zhao, H.; Yang, Y.; Dong, W. (2020b): Circadian variations in occurrence and the clinical presentation of Vestibular Migraine: A retrospective study. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-51224/v1>.
- Lo, K.; Woo, B.; Wong, M.; Tam, W. (2018): Subjective sleep quality, blood pressure, and hypertension: a meta-analysis. In: *Journal of clinical hypertension (Greenwich, Conn.)*, 20 (3), S. 592–605. <https://doi.org/10.1111/jch.13220>.
- Lockley, S. W.; Brainard, G. C.; Czeisler, C. A. (2003): High sensitivity of the human circadian melatonin rhythm to resetting by short wavelength light. In: *The Journal of clinical endocrinology and metabolism*, 88 (9), S. 4502–4505. <https://doi.org/10.1210/jc.2003-030570>.
- Logan, R. W.; McClung, C. A. (2019): Rhythms of life: circadian disruption and brain disorders across the lifespan. In: *Nature reviews. Neuroscience*, 20 (1), S. 49–65. <https://doi.org/10.1038/s41583-018-0088-y>.
- Louzada, F.; Menna-Barreto, L. (2004): Sleep–Wake Cycle in Rural Populations. In: *Biological Rhythm Research*, 35 (1-2), S. 153–157. <https://doi.org/10.1080/09291010412331313304>.
- Lowden, A.; Akerstedt, T.; Wibom, R. (2004): Suppression of sleepiness and melatonin by bright light exposure during breaks in night work. In: *Journal of Sleep Research*, 13 (1), S. 37–43. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2869.2003.00381.x>.
- Lowden, A.; Öztürk, G.; Reynolds, A.; Bjorvatn, B. (2019): Working Time Society consensus statements: Evidence based interventions using light to improve circadian adaptation to working hours. In: *Industrial health*, 57 (2), S. 213–227. <https://doi.org/10.2486/indhealth.SW-9>.
- Lu, B. S.; Zee, P. C. (2006): Circadian rhythm sleep disorders. In: *Chest*, 130 (6), S. 1915–1923. <https://doi.org/10.1378/chest.130.6.1915>.
- Lunsford-Avery, J. R.; Kollins, S. H.; Kansagra, S.; Wang, K. W.; Engelhard, M. M. (2022): Impact of daily caffeine intake and timing on electroencephalogram-measured sleep in adolescents. In: *Journal of clinical sleep medicine : JCSM : official publication of the American Academy of Sleep Medicine*, 18 (3), S. 877–884. <https://doi.org/10.5664/jcsm.9736>.
- Magalhães, P.; Pereira, B.; Oliveira, A.; Santos, D.; Núñez, J. C.; Rosário, P. (2021): The Mediator Role of Routines on the Relationship between General Procrastination, Academic Procrastination and Perceived Importance of Sleep and Bedtime Procrastination. In: *International journal of environmental research and public health*, 18 (15). <https://doi.org/10.3390/ijerph18157796>.
- Mairan, J. de (1729): Observation botanique. In: *Histoire de l'Académie Royale des Sciences*, S. 35–36.
- Malekafzali, A.; Ahoo, A. (2018): Workflow for Assessing Circadian Daylight Performance of the Electrochromic Glazing. Building Performance Analysis Conference and SimBuild. Chicago, IL, USA.
- Mansfield, K. E.; Sim, J.; Jordan, J. L.; Jordan, K. P. (2016): A systematic review and meta-analysis of the prevalence of chronic widespread pain in the general population. In: *Pain*, 157 (1), S. 55–64. <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000000314>.

- Martino, T.; Reitz, C.; Alibhai, F.; Khatua, T.; Pyle, W. G. (2021): Rest Profoundly Protects Against Cardiac Remodeling and Benefits Repair. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-334421/v1>.
- Martorina, W.; Tavares, A. (2019): Real-World Data in Support of Short Sleep Duration with Poor Glycemic Control, in People with Type 2 Diabetes Mellitus. In: *Journal of diabetes research*, 2019, S. 6297162. <https://doi.org/10.1155/2019/6297162>.
- Masismadi, N. A.; Lee, M. J.; Che Muhamed, A. M.; Chia, M. Y.; Aziz, A. R. (2017): Ramadan Fasting and the Propensity for Learning: Is There a Cause for Concern? In: *The Clearing House: A Journal of Educational Strategies, Issues and Ideas*, 90 (3), S. 77–85. <https://doi.org/10.1080/00098655.2016.1270658>.
- Matsuo, S.; Ushida, T.; Iitani, Y.; Imai, K.; Nakano-Kobayashi, T.; Moriyama, Y.; Yoshida, S.; Yamashita, M.; Kajiyama, H.; Kotani, T. (2022): Pre-pregnancy sleep duration and postpartum depression: a multicenter study in Japan. In: *Archives of women's mental health*, 25 (1), S. 181–189. <https://doi.org/10.1007/s00737-021-01136-1>.
- Matusiak, B. S.; Klöckner, C. A. (2016): How we evaluate the view out through the window. In: *Architectural Science Review*, 59 (3), S. 203–211.
- Maume, D. J. (2013): Social ties and adolescent sleep disruption. In: *Journal of health and social behavior*, 54 (4), S. 498–515. <https://doi.org/10.1177/0022146513498512>.
- Mazzocchi, G.; Cosmo, S. de; Mazza, T. (2018): The Biological Clock: A Pivotal Hub in Non-alcoholic Fatty Liver Disease Pathogenesis. In: *frontiers in physiology*, 9, S. 193. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00193>.
- McGowan, N. M.; Voinescu, B. I.; Coogan, A. N. (2016): Sleep quality, chronotype and social jetlag differentially associate with symptoms of attention deficit hyperactivity disorder in adults. In: *Chronobiology international*, 33 (10), S. 1433–1443. <https://doi.org/10.1080/07420528.2016.1208214>.
- McKee, C.; Hedge, A. (2022): Ergonomic lighting considerations for the home office workplace. In: *Work*, 71 (2), S. 335–343. <https://doi.org/10.3233/WOR-210704>.
- McManus, B.; Underhill, A.; Mrug, S.; Anthony, T.; Stavrinou, D. (2021): Gender moderates the relationship between media use and sleep quality. In: *Journal of Sleep Research*, 30 (4), e13243. <https://doi.org/10.1111/jsr.13243>.
- McNall, L. A.; Masuda, A. D.; Nicklin, J. M. (2010): Flexible work arrangements, job satisfaction, and turnover intentions: the mediating role of work-to-family enrichment. In: *The Journal of psychology*, 144 (1), S. 61–81. <https://doi.org/10.1080/00223980903356073>.
- Meier, J.; Henckel, D. (2022): Licht und Stadt, eine schillernde Beziehung - eine Einführung.
- Meltzer, L. J.; Mindell, J. A. (2007): Relationship between child sleep disturbances and maternal sleep, mood, and parenting stress: a pilot study. In: *Journal of family psychology : JFP : journal of the Division of Family Psychology of the American Psychological Association (Division 43)*, 21 (1), S. 67–73. <https://doi.org/10.1037/0893-3200.21.1.67>.
- Meltzer, L. J.; Wahlstrom, K. L.; Plog, A. E.; Strand, M. J. (2021): Changing school start times: impact on sleep in primary and secondary school students. In: *Sleep*, 44 (7). <https://doi.org/10.1093/sleep/zsab048>.
- Mesas, A. E.; Peppard, P. E.; Hale, L.; Friedman, E. M.; Nieto, F. J.; Hagen, E. W. (2020): Individuals' perceptions of social support from family and friends are associated with lower risk of sleep complaints and short sleep duration. In: *Sleep health*, 6 (1), S. 110–116. <https://doi.org/10.1016/j.sleh.2019.08.013>.

- Meyrel, M.; Rolland, B.; Geoffroy, P. A. (2020): Alterations in circadian rhythms following alcohol use: A systematic review. In: *Progress in neuro-psychopharmacology & biological psychiatry*, 99, S. 109831. <https://doi.org/10.1016/j.pnpbp.2019.109831>.
- Mileva-Seitz, V. R.; Bakermans-Kranenburg, M. J.; Battaini, C.; Lujik, M. P. C. M. (2017): Parent-child bed-sharing: The good, the bad, and the burden of evidence. In: *Sleep medicine reviews*, 32, S. 4–27. <https://doi.org/10.1016/j.smr.2016.03.003>.
- Milikovsky, D. Z.; Weissberg, I.; Kamintsky, L.; Lippmann, K.; Schefenbauer, O.; Frigerio, F.; Rizzi, M.; Sheintuch, L.; Zelig, D.; Ofer, J.; Vezzani, A.; Friedman, A. (2017): Electroencephalographic Dynamics as a Novel Biomarker in Five Models of Epileptogenesis. In: *The Journal of Neuroscience*, 37 (17), S. 4450–4461. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2446-16.2017>.
- Milling, S. (2020): It's time to think about circadian rhythms. In: *Immunology*, 161 (4), S. 259–260. <https://doi.org/10.1111/imm.13284>.
- Min, J.-K.; Doryab, A.; Wiese, J.; Amini, S.; Zimmerman, J.; Hong, J. I. (2014): Toss 'n' turn. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '14: CHI Conference on Human Factors in Computing Systems)*, 26 04 2014 01 05 2014, Toronto Ontario Canada. New York, NY, USA, S. 477–486. <https://doi.org/10.1145/2556288.2557220>.
- Mirzoev, A.; Bercovici, E.; Stewart, L. S.; Cortez, M. A.; Snead, O. C.; Desrocher, M. (2012): Circadian profiles of focal epileptic seizures: a need for reappraisal. In: *Seizure*, 21 (6), S. 412–416. <https://doi.org/10.1016/j.seizure.2012.03.014>.
- Mishima, K.; Okawa, M.; Shimizu, T.; Hishikawa, Y. (2001): Diminished melatonin secretion in the elderly caused by insufficient environmental illumination. In: *The Journal of clinical endocrinology and metabolism*, 86 (1), S. 129–134. <https://doi.org/10.1210/jcem.86.1.7097>.
- Mitsui, K.; Saeki, K.; Tone, N.; Suzuki, S.; Takamiya, S.; Tai, Y.; Yamagami, Y.; Obayashi, K. (2022): Short-wavelength light exposure at night and sleep disturbances accompanied by decreased melatonin secretion in real-life settings: a cross-sectional study of the HEIJO-KYO cohort. In: *Sleep medicine*, 90, S. 192–198. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2022.01.023>.
- Mockler, T.; Michael, T.; Priest, H.; Shen, R.; Sullivan, C. M.; Givan, S.; McEntee, C.; Kay, S. A.; Chory, J. (2007): The DIURNAL project: DIURNAL and circadian expression profiling, model-based pattern matching, and promoter analysis. In: *Cold Spring Harb Symp Quant Biol*, (72), S. 353–363.
- Möller, C.; van Dijk, R. M.; Wolf, F.; Keck, M.; Schönhoff, K.; Bierling, V.; Potschka, H. (2019): Impact of repeated kindled seizures on heart rate rhythms, heart rate variability, and locomotor activity in rats. In: *Epilepsy & behavior : E&B*, 92, S. 36–44. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2018.11.034>.
- Mongrain, V.; Lavoie, S.; Selmaoui, B.; Paquet, J.; Dumont, M. (2004): Phase relationships between sleep-wake cycle and underlying circadian rhythms in Morningness-Eveningness. In: *Journal of biological rhythms*, 19 (3), S. 248–257. <https://doi.org/10.1177/0748730404264365>.
- Monk, T. H.; Buysse, D. J.; Potts, J. M.; DeGrazia, J. M.; Kupfer, D. J. (2004): Morningness-eveningness and lifestyle regularity. In: *Chronobiology International*, 21 (3), S. 435–443. <https://doi.org/10.1081/CBI-120038614>.
- Monk, T. H.; Reynolds, C. F.; Buysse, D. J.; DeGrazia, J. M.; Kupfer, D. J. (2003): The relationship between lifestyle regularity and subjective sleep quality. In: *Chronobiology International*, 20 (1), S. 97–107. <https://doi.org/10.1081/cbi-120017812>.

- Monk, T. H.; Reynolds, C. F.; Kupfer, D. J.; Hoch, C. C.; Carrier, J.; Houck, P. R. (1997): Differences over the life span in daily life-style regularity. In: *Chronobiology International*, 14 (3), S. 295–306. <https://doi.org/10.3109/07420529709001421>.
- Monteleone, P.; Esposito, G.; La Rocca, A.; Maj, M. (1995): Does bright light suppress nocturnal melatonin secretion more in women than men? In: *Journal of neural transmission. General section*, 102 (1), S. 75–80. <https://doi.org/10.1007/BF01276567>.
- Moreno, C. R. C.; Marqueze, E. C.; Sargent, C.; Wright Jr, K. P.; Ferguson, S. A.; Tucker, P. (2019): Working Time Society consensus statements: Evidence-based effects of shift work on physical and mental health. In: *Industrial health*, 57 (2), S. 139–157. <https://doi.org/10.2486/indhealth.SW-1>.
- Moreno, C. R. C.; Vasconcelos, S.; Marqueze, E. C.; Lowden, A.; Middleton, B.; Fischer, F. M.; Louzada, F. M.; Skene, D. J. (2015): Sleep patterns in Amazon rubber tappers with and without electric light at home. In: *Scientific reports*, 5, S. 14074. <https://doi.org/10.1038/srep14074>.
- Morin, C. M.; Blais, F.; Savard, J. (2002): Are changes in beliefs and attitudes about sleep related to sleep improvements in the treatment of insomnia? In: *Behaviour research and therapy*, 40 (7), S. 741–752. [https://doi.org/10.1016/S0005-7967\(01\)00055-9](https://doi.org/10.1016/S0005-7967(01)00055-9).
- Moseley, L.; Gradisar, M. (2009): Evaluation of a School-Based Intervention for Adolescent Sleep Problems. In: *Sleep*, 32 (3), S. 334–341. <https://doi.org/10.5665/sleep/32.3.334>.
- Mun, C. J.; Burgess, H. J.; Sears, D. D.; Parthasarathy, S.; James, D.; Altamirano, U.; Sajith, S.; Lakhotia, A.; Fillingim, R. B.; Youngstedt, S. D. (2022): Circadian Rhythm and Pain: a Review of Current Research and Future Implications. In: *Current Sleep Medicine Reports*, 8 (4), S. 114–123. <https://doi.org/10.1007/s40675-022-00228-3>.
- Münch, M.; Brøndsted, A. E.; Brown, S. A.; Gjedde, A.; Kantermann, T.; Martiny, K.; Mersch, D.; Skene, D. J.; Wirz-Justice, A. (2017): The effect of light on humans in Changing perspectives on daylight: Science, technology, and culture, Science/AAAS. Custom Publishing Office.
- Munezawa, T.; Kaneita, Y.; Osaki, Y.; Kanda, H.; Minowa, M.; Suzuki, K.; Higuchi, S.; Mori, J.; Yamamoto, R.; Ohida, T. (2011): The association between use of mobile phones after lights out and sleep disturbances among Japanese adolescents: a nationwide cross-sectional survey. In: *Sleep*, 34 (8), S. 1013–1020. <https://doi.org/10.5665/SLEEP.1152>.
- Münzel, T.; Hahad, O.; Daiber, A. (2021): The dark side of nocturnal light pollution. Outdoor light at night increases risk of coronary heart disease. In: *European heart journal*, 42 (8), S. 831–834. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehaa866>.
- Muralidharan, A. R.; Lança, C.; Biswas, S.; Barathi, V. A.; Wan Yu Shermaine, L.; Seang-Mei, S.; Milea, D.; Najjar, R. P. (2021): Light and myopia: from epidemiological studies to neurobiological mechanisms. In: *Therapeutic Advances in Ophthalmology*, 13. <https://doi.org/10.1177/25158414211059246>.
- Murnane, E. L.; Abdullah, S.; Matthews, M.; Kay, M.; Kientz, J. A.; Choudhury, T.; Gay, G.; Cosley, D. (2016): Mobile Manifestations of Alertness: Connecting Biological Rhythms with Patterns of Smartphone App Use. In: *MobileHCI : proceedings of the ... International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services. MobileHCI (Conference), 2016*, S. 465–477. <https://doi.org/10.1145/2935334.2935383>.
- Nagare, R.; Plitnick, B.; Figueiro, M. G. (2019): Does the iPad Night Shift mode reduce melatonin suppression? In: *Lighting research & technology (London, England : 2001)*, 51 (3), S. 373–383. <https://doi.org/10.1177/1477153517748189>.

- Nagare, R.; Woo, M.; MacNaughton, P.; Plitnick, B.; Tinianov, B.; Figueiro, M. (2021): Access to Daylight at Home Improves Circadian Alignment, Sleep, and Mental Health in Healthy Adults: A Crossover Study. In: *International journal of environmental research and public health*, 18 (19). <https://doi.org/10.3390/ijerph18199980>.
- Najjar, R. P.; Zeitzer, J. M. (2016): Temporal integration of light flashes by the human circadian system. In: *The Journal of clinical investigation*, 126 (3), S. 938–947. <https://doi.org/10.1172/JCI82306>.
- Nakahara, K.; Michikawa, T.; Morokuma, S.; Ogawa, M.; Kato, K.; Sanefuji, M.; Shibata, E.; Tsuji, M.; Shimono, M.; Kawamoto, T.; Ohga, S.; Kushihara, K. (2020): Association of maternal sleep before and during pregnancy with preterm birth and early infant sleep and temperament. In: *Scientific reports*, 10 (1), S. 11084. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67852-3>.
- National Sleep Foundation (2006): National Sleep Foundation: 2006 Sleep in America® Poll - Teens & Sleep. <https://doi.org/10.25940/ROPER-31115354>.
- Nebojsa, N.; Knezevic, M. D.; Nader, A.; Pirvulescu, I.; Pynadath; Aby; Rahavard, B. B.; Candido, K. D. (2023): Circadian pain patterns in human pain conditions – A systematic review. In: *Pain Practice*, (23), S. 94–109.
- Nehme, P. A.; Amaral, F. G.; Middleton, B.; Lowden, A.; Marqueze, E.; França-Junior, I.; Antunes, J. L. F.; Cipolla-Neto, J.; Skene, D. J.; Moreno, C. R. C. (2019): Melatonin profiles during the third trimester of pregnancy and health status in the offspring among day and night workers: A case series. In: *Neurobiology of sleep and circadian rhythms*, 6, S. 70–76. <https://doi.org/10.1016/j.nbscr.2019.04.001>.
- Nijp, H. H.; Beckers, D. G. J.; Geurts, S. A. E.; Tucker, P.; Kompier, M. A. J. (2012): Systematic review on the association between employee worktime control and work-non-work balance, health and well-being, and job-related outcomes. In: *Scandinavian journal of work, environment & health*, 38 (4), S. 299–313. <https://doi.org/10.5271/sjweh.3307>.
- Nioi, A.; Roe, J.; Gow, A.; McNair, D.; Aspinall, P. (2017): Seasonal Differences in Light Exposure and the Associations With Health and Well-Being in Older Adults: An Exploratory Study. In: *HERD*, 10 (5), S. 64–79. <https://doi.org/10.1177/1937586717697650>.
- Nishioka, T.; Hasunuma, H.; Okuda, M.; Taniguchi, N.; Fujino, T.; Shimomura, H.; Tanaka, Y.; Shima, M.; Takeshima, Y. (2022): Effects of Screen Viewing Time on Sleep Duration and Bedtime in Children Aged 1 and 3 Years: Japan Environment and Children’s Study. In: *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19 (7), S. 3914. <https://doi.org/10.3390/ijerph19073914>.
- Nixon, G. M.; Thompson, J. M. D.; Han, D. Y.; Becroft, D. M.; Clark, P. M.; Robinson, E.; Waldie, K. E.; Wild, C. J.; Black, P. N.; Mitchell, E. A. (2008): Short sleep duration in middle childhood: risk factors and consequences. In: *Sleep*, 31 (1), S. 71–78. <https://doi.org/10.1093/sleep/31.1.71>.
- Nobis, C. C.; Cuesta, M.; Daudelin, J.-F.; Dubeau Laramée, G.; Boivin, D. B.; Labrecque, N.; Cermakian, N. (2021): The Assessment of Circadian Rhythms Within the Immune System. In: *Methods in molecular biology* (Clifton, N.J.), 2130, S. 29–51. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-0381-9_3.
- Nocerino, A.; Nguyen, A.; Agrawal, M.; Mone, A.; Lakhani, K.; Swaminath, A. (2020): Fatigue in Inflammatory Bowel Diseases: Etiologies and Management. In: *Advances in therapy*, 37 (1), S. 97–112. <https://doi.org/10.1007/s12325-019-01151-w>.

- Noreika, V.; Falter, C. M.; Rubia, K. (2013): Timing deficits in attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD): evidence from neurocognitive and neuroimaging studies. In: *Neuropsychologia*, 51 (2), S. 235–266.
- Novotny, P.; Paulick, P.; Schwarz, M. J.; Plischke, H. (2013): The Solid Angle of Light Sources and Its Impact on the Suppression of Melatonin in Humans. In: Hutchison, D.; Kanade, T.; Kittler, J.; Kleinberg, J. M.; Mattern, F.; Mitchell, J. C.; Naor, M.; Nierstrasz, O.; Pandu Rangan, C.; Steffen, B.; Sudan, M.; Terzopoulos, D.; Tygar, D.; Vardi, M. Y.; Weikum, G.; Kurosu, M. (Hrsg.): *Human-Computer Interaction. Towards Intelligent and Implicit Interaction*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 454–463. https://doi.org/10.1007/978-3-642-39342-6_50.
- Nuutinen, T.; Ray, C.; Roos, E. (2013): Do computer use, TV viewing, and the presence of the media in the bedroom predict school-aged children’s sleep habits in a longitudinal study? In: *BMC public health*, 13, S. 684. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-13-684>.
- Ohayon, M. M.; Milesi, C. (2016): Artificial Outdoor Nighttime Lights Associate with Altered Sleep Behavior in the American General Population. In: *Sleep*, 39 (6), S. 1311–1320. <https://doi.org/10.5665/sleep.5860>.
- Olson, R.; Crain, T. L.; Bodner, T. E.; King, R.; Hammer, L. B.; Klein, L. C.; Erickson, L.; Moen, P.; Berkman, L. F.; Buxton, O. M. (2015): A workplace intervention improves sleep: results from the randomized controlled Work, Family, and Health Study. In: *Sleep health*, 1 (1), S. 55–65. <https://doi.org/10.1016/j.sleh.2014.11.003>.
- Onaygil, S.; Güler, Ö. (2003): Determination of the energy saving by daylight responsive lighting control systems with an example from Istanbul. In: *Building and Environment*, 38 (7), S. 973–977. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(03\)00034-9](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(03)00034-9).
- Oster, H.; Damerow, S.; Hut, R. A.; Eichele, G. (2006): Transcriptional profiling in the adrenal gland reveals circadian regulation of hormone biosynthesis genes and nucleosome assembly genes. In: *Journal of biological rhythms*, 21 (5), S. 350–361. <https://doi.org/10.1177/0748730406293053>.
- Owens, A. C.; Cochard, P.; Durrant, J.; Farnworth, B.; Perkin, E. K.; Seymoure, B. (2020): Light pollution is a driver of insect declines. In: *Biological Conservation*, 241, S. 108259. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108259>.
- Owens, J. (2014): Insufficient sleep in adolescents and young adults: an update on causes and consequences. In: *Pediatrics*, 134 (3), e921–32. <https://doi.org/10.1542/peds.2014-1696>.
- Pagden, M.; Ngahane, K.; Amin, M. R. (2020): Changing the colour of night on urban streets - LED vs. part-night lighting system. In: *Socio-Economic Planning Sciences*, 69, S. 100692. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2019.02.007>.
- Palagini, L.; Mauri, M.; Dell’Osso, L.; Riemann, D.; Drake, C. L. (2016): Trait- and pre-sleep-state-dependent arousal in insomnia disorders: what role may sleep reactivity and sleep-related meta-cognitions play? A pilot study. In: *Sleep medicine*, 25, S. 42–48. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2016.07.020>.
- Palagini, L.; Moretto, U.; Dell’Osso, L.; Carney, C. (2017): Sleep-related cognitive processes, arousal, and emotion dysregulation in insomnia disorder: the role of insomnia-specific rumination. In: *Sleep medicine*, 30, S. 97–104. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2016.11.004>.
- Papinutto, M.; Boghetti, R.; Colombo, M.; Basurto, C.; Reutter, K.; Lalanne, D.; Kämpf, J. H.; Nembrini, J. (2022): Saving energy by maximising daylight and minimising the impact on occupants:

- An automatic lighting system approach. In: *Energy and Buildings*, 268, S. 112176. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112176>.
- Park, J.-W.; Cho, S.-J.; Park, S.-G.; Chu, M. K. (2018): Circadian variations in the clinical presentation of headaches among migraineurs: A study using a smartphone headache diary. In: *Chronobiology international*, 35 (4), S. 546–554. <https://doi.org/10.1080/07420528.2017.1420076>.
- Peracchia, S.; Curcio, G. (2018): Exposure to video games: effects on sleep and on post-sleep cognitive abilities. A systematic review of experimental evidences. In: *Sleep science (Sao Paulo, Brazil)*, 11 (4), S. 302–314. <https://doi.org/10.5935/1984-0063.20180046>.
- Perkins, C.; Steinbach, R.; Tompson, L.; Green, J.; Johnson, S.; Grundy, C.; Wilkinson, P.; Edwards, P. (2015): What is the effect of reduced street lighting on crime and road traffic injuries at night? A mixed-methods study. Southampton (UK). <https://doi.org/10.3310/phr03110>.
- Phillips, A. J. K.; Vidafar, P.; Burns, A. C.; McGlashan, E. M.; Anderson, C.; Rajaratnam, S. M. W.; Lockley, S. W.; Cain, S. W. (2019): High sensitivity and interindividual variability in the response of the human circadian system to evening light. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116 (24), S. 12019–12024. <https://doi.org/10.1073/pnas.1901824116>.
- Pien, G. W.; Schwab, R. J. (2004): Sleep disorders during pregnancy. In: *Sleep*, 27 (7), S. 1405–1417. <https://doi.org/10.1093/sleep/27.7.1405>.
- Piotrowski, J. T.; Jordan, A. B.; Bleakley, A.; Hennessy, M. (2015): Identifying Family Television Practices to Reduce Children’s Television Time. In: *Journal of Family Communication*, 15 (2), S. 159–174. <https://doi.org/10.1080/15267431.2015.1013107>.
- Plotogea, O.-M.; Gheorghe, G.; Stan-Ilie, M.; Constantinescu, G.; Bacalbasa, N.; Bungau, S.; Diaconu, C. C. (2021): Assessment of Sleep among Patients with Chronic Liver Disease: Association with Quality of Life. In: *Journal of personalized medicine*, 11 (12). <https://doi.org/10.3390/jpm11121387>.
- Pothukuchi, K. (2021): City Light or Star Bright: A Review of Urban Light Pollution, Impacts, and Planning Implications. In: *Journal of Planning Literature*, 36 (2), S. 155–169. <https://doi.org/10.1177/0885412220986421>.
- Potruch, A.; Khoury, S. T.; Ilan, Y. (2020): The role of chronobiology in drug-resistance epilepsy: The potential use of a variability and chronotherapy-based individualized platform for improving the response to anti-seizure drugs. In: *Seizure*, 80, S. 201–211. <https://doi.org/10.1016/j.seizure.2020.06.032>.
- Prayag, A. S.; Münch, M.; Aeschbach, D.; Chellappa, S. L.; Gronfier, C. (2019a): Light Modulation of Human Clocks, Wake, and Sleep. In: *Clocks & sleep*, 1 (1), S. 193–208. <https://doi.org/10.3390/clockssleep1010017>.
- Prayag, A. S.; Najjar, R. P.; Gronfier, C. (2019b): Melatonin suppression is exquisitely sensitive to light and primarily driven by melanopsin in humans. In: *Journal of pineal research*, 66 (4), e12562. <https://doi.org/10.1111/jpi.12562>.
- Provencio, I.; Rodriguez, I. R.; Jiang, G.; Hayes, W. P.; Moreira, E. F.; Rollag, M. D. (2000): A Novel Human Opsin in the Inner Retina. In: *The Journal of Neuroscience*, 20 (2), S. 600–605. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.20-02-00600.2000>.
- Qazi, T.; Farraye, F. A. (2019): Sleep Disturbances in the Elderly Patient with Inflammatory Bowel Disease. In: *Current Treatment Options in Gastroenterology*, 17 (4), S. 470–491. <https://doi.org/10.1007/s11938-019-00258-x>.

- Qian, J.; Morris, C. J.; Phillips, A. J. K.; Li, P.; Rahman, S. A.; Wang, W.; Hu, K.; Arendt, J.; Czeisler, C. A.; Scheer, F. A. J. L. (2022): Unanticipated daytime melatonin secretion on a simulated night shift schedule generates a distinctive 24-h melatonin rhythm with antiphase daytime and nighttime peaks. In: *Journal of pineal research*, 72 (3), e12791. <https://doi.org/10.1111/jpi.12791>.
- Quin, N.; Lee, J. J.; Pinnington, D. M.; Newman, L.; Manber, R.; Bei, B. (2022): Differentiating perinatal Insomnia Disorder and sleep disruption: a longitudinal study from pregnancy to 2 years postpartum. In: *Sleep*, 45 (2). <https://doi.org/10.1093/sleep/zsab293>.
- Rabinovich-Nikitin, I.; Lieberman, B.; Martino, T. A.; Kirshenbaum, L. A. (2019): Circadian-Regulated Cell Death in Cardiovascular Diseases. In: *Circulation*, 139 (7), S. 965–980. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.118.036550>.
- Rabstein, S.; Burek, K.; Lehnert, M.; Beine, A.; Vetter, C.; Harth, V.; Putzke, S.; Kantermann, T.; Walther, J.; Wang-Sattler, R.; Pallapies, D.; Brüning, T.; Behrens, T. (2019): Differences in twenty-four-hour profiles of blue-light exposure between day and night shifts in female medical staff. In: *The Science of the total environment*, 653, S. 1025–1033. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.293>.
- Radicchi, A.; Henckel, D. (2021): Planning Artificial Light at Night For Pedestrian Visual Diversity in Public Spaces.
- Radwan, A.; Barnes, L.; DeResh, R.; Englund, C.; Gribanoff, S. (2022): Effects of active microbreaks on the physical and mental well-being of office workers: A systematic review. In: *Cogent Engineering*, 9 (1), Artikel-Nr. 2026206. <https://doi.org/10.1080/23311916.2022.2026206>.
- Rahman, S. A.; Brainard, G. C.; Czeisler, C. A.; Lockley, S. W. (2021): Spectral sensitivity of circadian phase resetting, melatonin suppression and acute alerting effects of intermittent light exposure. In: *Biochemical pharmacology*, 191, S. 114504. <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2021.114504>.
- Rahman, S. A.; Castanon-Cervantes, O.; Scheer, F. A. J. L.; Shea, S. A.; Czeisler, C. A.; Davidson, A. J.; Lockley, S. W. (2015): Endogenous circadian regulation of pro-inflammatory cytokines and chemokines in the presence of bacterial lipopolysaccharide in humans. In: *Brain, behavior, and immunity*, 47, S. 4–13. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2014.11.003>.
- Rahman, S. A.; St Hilaire, M. A.; Grant, L. K.; Barger, L. K.; Brainard, G. C.; Czeisler, C. A.; Klerman, E. B.; Lockley, S. W. (2022): Dynamic lighting schedules to facilitate circadian adaptation to shifted timing of sleep and wake. In: *Journal of pineal research*, 73 (1), e12805. <https://doi.org/10.1111/jpi.12805>.
- Rahman, S. A.; St Hilaire, M. A.; Gronfier, C.; Chang, A.-M.; Santhi, N.; Czeisler, C. A.; Klerman, E. B.; Lockley, S. W. (2018): Functional decoupling of melatonin suppression and circadian phase resetting in humans. In: *The Journal of physiology*, 596 (11), S. 2147–2157. <https://doi.org/10.1113/JP275501>.
- Randler, C.; Fontius, I.; Vollmer, C. (2012): Delayed weekend sleep pattern in German infants and children aged 0–6 years. In: *Biological Rhythm Research*, 43 (3), S. 225–234. <https://doi.org/10.1080/09291016.2011.571024>.
- Rångtjell, F. H.; Ekstrand, E.; Rapp, L.; Lagermalm, A.; Liethof, L.; Búcaro, M. O.; Lingfors, D.; Broman, J.-E.; Schiöth, H. B.; Benedict, C. (2016): Two hours of evening reading on a self-luminous tablet vs. reading a physical book does not alter sleep after daytime bright light exposure. In: *Sleep medicine*, 23, S. 111–118. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2016.06.016>.

- Rathakrishnan, B.; Bikar Singh, S. S.; Kamaluddin, M. R.; Yahaya, A.; Mohd Nasir, M. A.; Ibrahim, F.; Ab Rahman, Z. (2021): Smartphone Addiction and Sleep Quality on Academic Performance of University Students: An Exploratory Research. In: *International journal of environmental research and public health*, 18 (16). <https://doi.org/10.3390/ijerph18168291>.
- Rea, M. S.; Nagare, R.; Figueiro, M. G. (2021): Modeling Circadian Phototransduction: Quantitative Predictions of Psychophysical Data. In: *Frontiers in Neuroscience*, 15, Artikel-Nr. 615322. <https://doi.org/10.3389/fnins.2021.615322>.
- Reckwitz, A. (2003): Grundelemente einer Theorie sozialer Praktiken / Basic Elements of a Theory of Social Practices. In: *Zeitschrift für Soziologie*, 32 (4), S. 282–301. <https://doi.org/10.1515/zfsoz-2003-0401>.
- Reckwitz, A. (2004): Die Reproduktion und die Subversion sozialer Praktiken. Zugleich ein Kommentar zu Pierre Bourdieu und Judith Butler. In: Hörning, K. H.; Reuter, J. (Hrsg.): *Doing Culture*. Bielefeld, Germany: transcript Verlag, S. 40–54. <https://doi.org/10.14361/9783839402436-003>.
- Reichert, C. F.; Deboer, T.; Landolt, H.-P. (2022): Adenosine, caffeine, and sleep-wake regulation: state of the science and perspectives. In: *Journal of Sleep Research*, 31 (4), e13597. <https://doi.org/10.1111/jsr.13597>.
- Reichert, C. F.; Veitz, S.; Bühler, M.; Gruber, G.; Deuring, G.; Rehm, S. S.; Rentsch, K.; Garbazza, C.; Meyer, M.; Slawik, H.; Lin, Y.-S.; Weibel, J. (2021): Wide awake at bedtime? Effects of caffeine on sleep and circadian timing in male adolescents - A randomized crossover trial. In: *Biochemical pharmacology*, 191, S. 114283. <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2020.114283>.
- Ren, Y.; Hong, C. I.; Lim, S.; Song, S. (2016): Finding Clocks in Genes: A Bayesian Approach to Estimate Periodicity. In: *BioMed research international*, 2016, S. 3017475. <https://doi.org/10.1155/2016/3017475>.
- Reszka, E.; Wieczorek, E.; Przybek, M.; Jabłońska, E.; Kałużny, P.; Bukowska-Damska, A.; Zienolddiny, S.; Pepłońska, B. (2018): Circadian gene methylation in rotating-shift nurses: a cross-sectional study. In: *Chronobiology international*, 35 (1), S. 111–121. <https://doi.org/10.1080/07420528.2017.1388252>.
- Richardson, C.; Gradisar, M.; Barbero, S. C. (2016): Are cognitive “insomnia” processes involved in the development and maintenance of delayed sleep wake phase disorder? In: *Sleep medicine reviews*, 26, S. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2015.05.001>.
- Richardson, C.; Magson, N.; Fardouly, J.; Oar, E.; Johnco, C.; Rapee, R. (2021): A longitudinal investigation of sleep and technology use in early adolescence: does parental control of technology use protect adolescent sleep? In: *Sleep medicine*, 84, S. 368–379. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2021.06.003>.
- Richardson, C. E.; Gradisar, M.; Short, M. A.; Lang, C. (2017): Can exercise regulate the circadian system of adolescents? Novel implications for the treatment of delayed sleep-wake phase disorder. In: *Sleep medicine reviews*, 34, S. 122–129. <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2016.06.010>.
- Richdale, A. L.; Schreck, K. A. (2009): Sleep problems in autism spectrum disorders: prevalence, nature, & possible biopsychosocial aetiologies. In: *Sleep Med Rev.*, 13 (6), S. 403–411.
- Richter, K.; Rodenbeck, A. (2022): Aktuelle Entwicklungen in der Schlafforschung und Schlafmedizin – eine Einschätzung der AG „Chronobiologie“. In: *Somnologie : Schlafforschung und Schlafmedizin = Somnology : sleep research and sleep medicine*, 26 (3), S. 152–154. <https://doi.org/10.1007/s11818-022-00368-2>.
- Rideout, V.; Robb, M. (2020): The Common Sense Census: Media use by kids age zero to eight.

- Rique, G. L. N.; Fernandes Filho, G. M. C.; Ferreira, A. D. C.; Sousa-Muñoz, R. L. de (2014): Relationship between chronotype and quality of sleep in medical students at the Federal University of Paraíba, Brazil. In: *Sleep science (Sao Paulo, Brazil)*, 7 (2), S. 96–102. <https://doi.org/10.1016/j.slsci.2014.09.004>.
- Ritonja, J.; Aronson, K. J.; Matthews, R. W.; Boivin, D. B.; Kantermann, T. (2019): Working Time Society consensus statements: Individual differences in shift work tolerance and recommendations for research and practice. In: *Industrial health*, 57 (2), S. 201–212. <https://doi.org/10.2486/indhealth.SW-5>.
- Rivkees, S. A. (2003): Developing circadian rhythmicity in infants. In: *Pediatric endocrinology reviews : PER*, 1 (1), S. 38–45.
- Roach, G. D.; Kantermann, T.; Dawson, D.; Sargent, C.; Fischer, F. M. (2018): 23rd International Symposium on Shiftwork and Working Time: Towards a Global Consensus. In: *Chronobiology international*, 35 (6), S. 739–745. <https://doi.org/10.1080/07420528.2018.1493690>.
- Robillard, R.; Bouchard, M.; Cartier, A.; Nicolau, L.; Carrier, J. (2015): Sleep is more sensitive to high doses of caffeine in the middle years of life. In: *Journal of psychopharmacology (Oxford, England)*, 29 (6), S. 688–697. <https://doi.org/10.1177/0269881115575535>.
- Rod, N. H.; Dissing, A. S.; Clark, A.; Gerds, T. A.; Lund, R. (2018): Overnight smartphone use: A new public health challenge? A novel study design based on high-resolution smartphone data. In: *PloS one*, 13 (10), e0204811. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204811>.
- Roecklein, K.; Wong, P.; Ernecoff, N.; Miller, M.; Donofry, S.; Kamarck, M.; Wood-Vasey, W. M.; Franzen, P. (2013): The post illumination pupil response is reduced in seasonal affective disorder. In: *Psychiatry Research*, 210 (1), S. 150–158. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2013.05.023>.
- Roenneberg, T. (2012): *Wie wir ticken*. Köln: Dumont. ISBN: 978-3-8321-6188-0.
- Roenneberg, T.; Allebrandt, K. V.; Mellow, M.; Vetter, C. (2012): Social jetlag and obesity. In: *Current biology : CB*, 22 (10), S. 939–943. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.03.038>.
- Roenneberg, T.; Kantermann, T.; Juda, M.; Vetter, C.; Allebrandt, K. V. (2013): Light and the human circadian clock. In: *Handbook of experimental pharmacology*, (217), S. 311–331. https://doi.org/10.1007/978-3-642-25950-0_13.
- Roenneberg, T.; Kuehnle, T.; Juda, M.; Kantermann, T.; Allebrandt, K.; Gordijn, M.; Mellow, M. (2007a): Epidemiology of the human circadian clock. In: *Sleep medicine reviews*, 11 (6), S. 429–438. <https://doi.org/10.1016/j.smr.2007.07.005>.
- Roenneberg, T.; Kuehnle, T.; Pramstaller, P. P.; Ricken, J.; Havel, M.; Guth, A.; Mellow, M. (2004): A marker for the end of adolescence. In: *Current biology : CB*, 14 (24), R1038–9. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2004.11.039>.
- Roenneberg, T.; Kumar, C. J.; Mellow, M. (2007b): The human circadian clock entrains to sun time. In: *Current biology : CB*, 17 (2), R44–5. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2006.12.011>.
- Roenneberg, T.; Mellow, M. (2016): The Circadian Clock and Human Health. In: *Current biology : CB*, 26 (10), R432–43. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2016.04.011>.
- Roenneberg, T.; Pilz, L. K.; Zerbini, G.; Winnebeck, E. C. (2019): Chronotype and Social Jetlag: A (Self-) Critical Review. In: *Biology*, 8 (3). <https://doi.org/10.3390/biology8030054>.
- Roenneberg, T.; Wirz-Justice, A.; Mellow, M. (2003): Life between clocks: daily temporal patterns of human chronotypes. In: *Journal of biological rhythms*, 18 (1), S. 80–90. <https://doi.org/10.1177/0748730402239679>.

- Rolf, H.; Udovicic, L.; Völker, S. (2023): Light exposure in home-based work: Can a simple lighting system increase alertness? In: *Lighting Research & Technology*, 147715352311580. <https://doi.org/10.1177/14771535231158029>.
- Rong, B.; Wu, Q.; Reiter, R. J.; Sun, C. (2021): The Mechanism of Oral Melatonin Ameliorates Intestinal and Adipose Lipid Dysmetabolism Through Reducing Escherichia Coli-Derived Lipopolysaccharide. In: *Cellular and molecular gastroenterology and hepatology*, 12 (5), S. 1643–1667. <https://doi.org/10.1016/j.jcmgh.2021.06.024>.
- Rossi, M. (2019): *Circadian lighting design in the LED era*. Cham: Springer. ISBN: 3030110869.
- Rüger, M.; Gordijn, M. C. M.; Beersma, D. G. M.; Vries, B. de; Daan, S. (2005): Nasal versus temporal illumination of the human retina: effects on core body temperature, melatonin, and circadian phase. In: *Journal of biological rhythms*, 20 (1), S. 60–70. <https://doi.org/10.1177/0748730404270539>.
- Rui, M. de; Middleton, B.; Sticca, A.; Gatta, A.; Amodio, P.; Skene, D. J.; Montagnese, S. (2015): Sleep and circadian rhythms in hospitalized patients with decompensated cirrhosis: effect of light therapy. In: *Neurochemical research*, 40 (2), S. 284–292. <https://doi.org/10.1007/s11064-014-1414-z>.
- Rusch, L. M.; Swede, H.; Dugan, A. G.; Cherniack, M. G.; Barnes-Farrell, J.; Cavallari, J. M. (2021): Leisure-Time Physical Activity and General Health Mitigate Effects of Job Demands on Nonrestorative Sleep: CDC National Healthy Worksite Project. In: *Journal of occupational and environmental medicine*, 63 (8), S. 665–672. <https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000002214>.
- Russo, P. M.; Biasi, V.; Cipolli, C.; Mallia, L.; Caponera, E. (2017): Sleep habits, circadian preference, and school performance in early adolescents. In: *Sleep medicine*, 29, S. 20–22. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2016.09.019>.
- Sack, R. L.; Auckley, D.; Auger, R. R.; Carskadon, M. A.; Wright, K. P.; Vitiello, M. V.; Zhdanova, I. V. (2007): Circadian Rhythm Sleep Disorders: Part I, Basic Principles, Shift Work and Jet Lag Disorders. In: *Sleep*, 30 (11), S. 1460–1483.
- Saeedi, P.; Petersohn, I.; Salpea, P.; Malanda, B.; Karuranga, S.; Unwin, N.; Colagiuri, S.; Guariguata, L.; Motala, A. A.; Ogurtsova, K.; Shaw, J. E.; Bright, D.; Williams, R. (2019): Global and regional diabetes prevalence estimates for 2019 and projections for 2030 and 2045: Results from the International Diabetes Federation Diabetes Atlas, 9th edition. In: *Diabetes research and clinical practice*, 157, S. 107843. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2019.107843>.
- Saiedlue, S. (2021): *Assessing Visual and Non-Visual Daylighting Performance of Electrochromic Glazing Systems Based on User Centered Lighting Design*. North Carolina: North Carolina State University. Online verfügbar unter <https://www.proquest.com/open-view/a9b3c1800b3600c948c599073090fc20/1?cbl=18750&diss=y&pq-origsite=gscholar&parentSessionId=ZVmQYIH55HfAPEb%2BwdcqNz3tcyJh8v1y2aAEHRRigBY%3D>.
- Saksvik, I. B.; Bjorvatn, B.; Hetland, H.; Sandal, G. M.; Pallesen, S. (2011): Individual differences in tolerance to shift work—a systematic review. In: *Sleep medicine reviews*, 15 (4), S. 221–235. <https://doi.org/10.1016/j.smr.2010.07.002>.
- Sallinen, M.; Kecklund, G. (2010): Shift work, sleep, and sleepiness - differences between shift schedules and systems. In: *Scandinavian journal of work, environment & health*, 36 (2), S. 121–133. <https://doi.org/10.5271/sjweh.2900>.

- Sampasa-Kanyinga, H.; Chaput, J.-P.; Huang, B.-H.; Duncan, M. J.; Hamer, M.; Stamatakis, E. (2022): Bidirectional associations of sleep and discretionary screen time in adults: Longitudinal analysis of the UK biobank. In: *Journal of Sleep Research*, e13727. <https://doi.org/10.1111/jsr.13727>.
- Sanders, T.; Parker, P. D.; Del Pozo-Cruz, B.; Noetel, M.; Lonsdale, C. (2019): Type of screen time moderates effects on outcomes in 4013 children: evidence from the Longitudinal Study of Australian Children. In: *The international journal of behavioral nutrition and physical activity*, 16 (1), S. 117. <https://doi.org/10.1186/s12966-019-0881-7>.
- Sansal, K. E. (2021): Relationship Of Daily Time spent Outdoors With Sleep Quality and Emotional Well-being among Community-Dwelling Older Adults During COVID-19 Restrictions. In: *The Turkish Journal of Geriatrics*, 24 (3), S. 424–432. <https://doi.org/10.31086/tjgeri.2021.240>.
- Schatzki, T. R. (2002): *The site of the social. A philosophical account of the constitution of social life and change.* University Park, Pa.: Pennsylvania State Univ. Press. <https://doi.org/36464>.
- Schienkiewitz, A.; Damerow, S.; Richter, A.; Mensink, G. B. (2022): Hat sich das Körpergewicht seit Beginn der COVID-19 Pandemie verändert? <https://doi.org/10.25646/10669>.
- Schledermann, K. M.; Hansen, T. S.; Bjørner, T. (2023): Perceived visual comfort and usefulness of a circadian lighting system implemented at a nursing home. In: *Multimedia Tools and Applications*, 82 (4), S. 5253–5269. <https://doi.org/10.1007/s11042-022-13364-3>.
- Schmidt, S. C. E.; Anedda, B.; Burchartz, A.; Eichsteller, A.; Kolb, S.; Nigg, C.; Niessner, C.; Oriwol, D.; Worth, A.; Woll, A. (2020): Physical activity and screen time of children and adolescents before and during the COVID-19 lockdown in Germany: a natural experiment. In: *Scientific reports*, 10 (1), S. 21780. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78438-4>.
- Schöllhorn, I.; Stefani, O.; Lucas, R. J.; Spitschan, M.; Slawik, H. C.; Cajochen, C. (2023): Melanopic irradiance defines the impact of evening display light on sleep latency, melatonin and alertness. In: *Communications biology*, 6 (1), S. 228. <https://doi.org/10.1038/s42003-023-04598-4>.
- Scholtens, R. M.; van Munster, B. C.; van Kempen, M. F.; Rooij, S. E. J. A. de (2016): Physiological melatonin levels in healthy older people: A systematic review. In: *Journal of psychosomatic research*, 86, S. 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychores.2016.05.005>.
- Schoonderwoerd, R. A.; Rover, M. de; Janse, J. A. M.; Hirschler, L.; Willemse, C. R.; Scholten, L.; Klop, I.; van Berloo, S.; van Osch, M. J. P.; Swaab, D. F.; Meijer, J. H. (2022): The photobiology of the human circadian clock. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 119 (13), e2118803119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2118803119>.
- Schulz-Schaeffer, I. (2010): Praxis, handlungstheoretisch betrachtet / Practice. A Theory-of-Action Perspective. In: *Zeitschrift für Soziologie*, 39 (4), S. 319–336. <https://doi.org/10.1515/zfsoz-2010-0404>.
- Schweitzer, J. H.; Kim, J. W.; Mackin, J. R. (1999): The Impact of the Built Environment on Crime and Fear of Crime in Urban Neighborhoods. In: *Journal of Urban Technology*, 6 (3), S. 59–73. <https://doi.org/10.1080/10630739983588>.
- Scott, H.; Woods, H. C. (2018): Fear of missing out and sleep: Cognitive behavioural factors in adolescents' nighttime social media use. In: *Journal of adolescence*, 68, S. 61–65. <https://doi.org/10.1016/j.adolescence.2018.07.009>.
- Seenivasan, P.; Menon, S. N.; Sridhar, S.; Sinha, S. (2016): When the clock strikes: Modeling the relation between circadian rhythms and cardiac arrhythmias. In: *Journal of Physics: Conference Series*, 759, S. 12021. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/759/1/012021>.

- Segal, J. P.; Tresidder, K. A.; Bhatt, C.; Gilron, I.; Ghasemlou, N. (2018): Circadian control of pain and neuroinflammation. In: *Journal of neuroscience research*, 96 (6), S. 1002–1020. <https://doi.org/10.1002/jnr.24150>.
- Seo, W. S.; Sung, H.-M.; Lee, J. H.; Koo, B. H.; Kim, M. J.; Kim, S. Y.; Choi, S.-J.; Im Shin, H. (2010): Sleep patterns and their age-related changes in elementary-school children. In: *Sleep medicine*, 11 (6), S. 569–575. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2010.03.011>.
- Shanahan, T. L.; Czeisler, C. A. (1991): Light exposure induces equivalent phase shifts of the endogenous circadian rhythms of circulating plasma melatonin and core body temperature in men. In: *The Journal of clinical endocrinology and metabolism*, 73 (2), S. 227–235. <https://doi.org/10.1210/jcem-73-2-227>.
- Shechter, A.; Boivin, D. B. (2010): Sleep, Hormones, and Circadian Rhythms throughout the Menstrual Cycle in Healthy Women and Women with Premenstrual Dysphoric Disorder. In: *International journal of endocrinology*, 2010, S. 259345. <https://doi.org/10.1155/2010/259345>.
- Shilo, L.; Sabbah, H.; Hadari, R.; Kovatz, S.; Weinberg, U.; Dolev, S.; Dagan, Y.; Shenkman, L. (2002): The effects of coffee consumption on sleep and melatonin secretion. In: *Sleep medicine*, 3 (3), S. 271–273. [https://doi.org/10.1016/S1389-9457\(02\)00015-1](https://doi.org/10.1016/S1389-9457(02)00015-1).
- Shimoga, S. V.; Erylana, E.; Rebello, V. (2019): Associations of Social Media Use With Physical Activity and Sleep Adequacy Among Adolescents: Cross-Sectional Survey. In: *Journal of medical Internet research*, 21 (6), e14290. <https://doi.org/10.2196/14290>.
- Short, M. A.; Kuula, L.; Gradisar, M.; Pesonen, A.-K. (2019): How internal and external cues for bedtime affect sleep and adaptive functioning in adolescents. In: *Sleep medicine*, 59, S. 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2018.11.018>.
- Silva, S. R. (2012): On Emotion and Memories: the Consumption of Mobile Phones as ‘Affective Technology’. In: *International Review of Social Research*, 2 (1), S. 157–172. <https://doi.org/10.1515/irsr-2012-0011>.
- Simpkin, C. T.; Jenni, O. G.; Carskadon, M. A.; Wright, K. P.; Akacem, L. D.; Garlo, K. G.; LeBourgeois, M. K. (2014): Chronotype is associated with the timing of the circadian clock and sleep in toddlers. In: *Journal of Sleep Research*, 23 (4), S. 397–405. <https://doi.org/10.1111/jsr.12142>.
- Skeldon, A. C.; Dijk, D.-J. (2021): Weekly and seasonal variation in the circadian melatonin rhythm in humans: Entrained to local clock time, social time, light exposure or sun time? In: *Journal of pineal research*, 71 (1), e12746. <https://doi.org/10.1111/jpi.12746>.
- Smith, K. A.; Schoen, M. W.; Czeisler, C. A. (2004): Adaptation of human pineal melatonin suppression by recent photic history. In: *The Journal of clinical endocrinology and metabolism*, 89 (7), S. 3610–3614. <https://doi.org/10.1210/jc.2003-032100>.
- Smolensky, M. H.; Hermida, R. C.; Geng, Y.-J. (2021): Chronotherapy of cardiac and vascular disease: timing medications to circadian rhythms to optimize treatment effects and outcomes. In: *Current opinion in pharmacology*, 57, S. 41–48. <https://doi.org/10.1016/j.coph.2020.10.014>.
- Smyk, M. K.; van Luitelaar, G. (2020): Circadian Rhythms and Epilepsy: A Suitable Case for Absence Epilepsy. In: *Frontiers in Neurology*, 11, S. 245. <https://doi.org/10.3389/fneur.2020.00245>.
- Song, Y.; Chen, B.; Kwan, M.-P. (2020): How does urban expansion impact people’s exposure to green environments? A comparative study of 290 Chinese cities. In: *Journal of Cleaner Production*, 246, S. 119018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119018>.
- Souissi, M.; Abedelmalek, S.; Bou Dhiba, D.; Theodoros Nikolaidis, P.; Ben Awicha, H.; Chtourou, H.; Sahnoun, Z. (2015): Morning caffeine ingestion increases cognitive function and short-term

- maximal performance in footballer players after partial sleep deprivation. In: *Biological Rhythm Research*, 46 (5), S. 617–629. <https://doi.org/10.1080/09291016.2015.1034975>.
- Spiegelhalder, K.; Regen, W.; Siemon, F.; Kyle, S. D.; Baglioni, C.; Feige, B.; Nissen, C.; Riemann, D. (2017): Your Place or Mine? Does the Sleep Location Matter in Young Couples? In: *Behavioral sleep medicine*, 15 (2), S. 87–96. <https://doi.org/10.1080/15402002.2015.1083024>.
- Spitschan, M.; Santhi, N.; Ahluwalia, A.; Fischer, D.; Hunt, L.; Karp, N. A.; Lévi, F.; Pineda-Torra, I.; Vidafar, P.; White, R. (2022): Sex differences and sex bias in human circadian and sleep physiology research. In: *eLife*, 11. <https://doi.org/10.7554/eLife.65419>.
- Spitschan, M.; Stefani, O.; Blattner, P.; Gronfier, C.; Lockley, S. W.; Lucas, R. J. (2019): How to Report Light Exposure in Human Chronobiology and Sleep Research Experiments. In: *Clocks & sleep*, 1 (3), S. 280–289. <https://doi.org/10.3390/clockssleep1030024>.
- Spitzer, M. (2019): *Die Smartphone-Epidemie. Gefahren für Gesundheit, Bildung und Gesellschaft*. Stuttgart: Klett-Cotta; GGP Media GmbH. ISBN: 9783608963687.
- Staller, N.; Randler, C. (2021): Changes in sleep schedule and chronotype due to COVID-19 restrictions and home office. In: *Somnologie : Schlafforschung und Schlafmedizin = Somnology : sleep research and sleep medicine*, 25 (2), S. 131–137. <https://doi.org/10.1007/s11818-020-00277-2>.
- Stebelova, K.; Roska, J.; Zeman, M. (2020): Impact of Dim Light at Night on Urinary 6-Sulphatoxymelatonin Concentrations and Sleep in Healthy Humans. In: *International journal of molecular sciences*, 21 (20). <https://doi.org/10.3390/ijms21207736>.
- Stefani, O.; Freyburger, M.; Veitz, S.; Basishvili, T.; Meyer, M.; Weibel, J.; Kobayashi, K.; Shirakawa, Y.; Cajochen, C. (2021): Changing color and intensity of LED lighting across the day impacts on circadian melatonin rhythms and sleep in healthy men. In: *Journal of pineal research*, 70 (3), e12714. <https://doi.org/10.1111/jpi.12714>.
- Stockman, A.; Sharpe, L. T. (2000): The spectral sensitivities of the middle- and long-wavelength-sensitive cones derived from measurements in observers of known genotype. In: *Vision Research*, 40 (13), S. 1711–1737. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(00\)00021-3](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(00)00021-3).
- St-Onge, M.-P.; Campbell, A.; Aggarwal, B.; Taylor, J. L.; Spruill, T. M.; RoyChoudhury, A. (2020): Mild sleep restriction increases 24-hour ambulatory blood pressure in premenopausal women with no indication of mediation by psychological effects. In: *American heart journal*, 223, S. 12–22. <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2020.02.006>.
- Stothard, E. R.; McHill, A. W.; Depner, C. M.; Birks, B. R.; Moehlman, T. M.; Ritchie, H. K.; Guzzetti, J. R.; Chinoy, E. D.; LeBourgeois, M. K.; Axelsson, J.; Wright, K. P. (2017): Circadian Entrainment to the Natural Light-Dark Cycle across Seasons and the Weekend. In: *Current biology : CB*, 27 (4), S. 508–513. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2016.12.041>.
- Sugiyama, M.; Tsuchiya, K. J.; Okubo, Y.; Rahman, M. S.; Uchiyama, S.; Harada, T.; Iwabuchi, T.; Okumura, A.; Nakayasu, C.; Amma, Y.; Suzuki, H.; Takahashi, N.; Kinsella-Kammerer, B.; Nomura, Y.; Itoh, H.; Nishimura, T. (2023): Outdoor Play as a Mitigating Factor in the Association Between Screen Time for Young Children and Neurodevelopmental Outcomes. In: *Jama Pediatrics*, 177 (3), S. 303–310. <https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2022.5356>.
- Sulkava, S.; Ollila, H. M.; Alasaari, J.; Puttonen, S.; Härmä, M.; Viitasalo, K.; Lahtinen, A.; Lindström, J.; Toivola, A.; Sulkava, R.; Kivimäki, M.; Vahtera, J.; Partonen, T.; Silander, K.; Porkka-Heiskanen, T.; Paunio, T. (2017): Common Genetic Variation Near Melatonin Receptor 1A Gene Linked to

- Job-Related Exhaustion in Shift Workers. In: *Sleep*, 40 (1).
<https://doi.org/10.1093/sleep/zsw011>.
- Tai, N.-C.; Hsien, C.-Y. (2022): Improved Therapy Light that Invokes the Memory of Daylight. In: 2022 IEEE International Conference on Consumer Electronics - Taiwan (2022 IEEE International Conference on Consumer Electronics - Taiwan), 6. - 8. Juli 2022, Taipei, Taiwan, S. 551–552.
<https://doi.org/10.1109/ICCE-Taiwan55306.2022.9869050>.
- Takahashi, M.; Iwasaki, K.; Sasaki, T.; Kubo, T.; Mori, I.; Otsuka, Y. (2011): Worktime control-dependent reductions in fatigue, sleep problems, and depression. In: *Applied ergonomics*, 42 (2), S. 244–250. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2010.06.006>.
- Tan, D. X.; Xu, B.; Zhou, X.; Reiter, R. J. (2018): Pineal Calcification, Melatonin Production, Aging, Associated Health Consequences and Rejuvenation of the Pineal Gland. In: *Molecules* (Basel, Switzerland), 23 (2). <https://doi.org/10.3390/molecules23020301>.
- Tang, L.; Omar, S. Z.; Bolong, J.; Mohd Zawawi, J. W. (2021): Social Media Use Among Young People in China: A Systematic Literature Review. In: *SAGE Open*, 11 (2), 215824402110164.
<https://doi.org/10.1177/21582440211016421>.
- Tavernier, R.; Heissel, J. A.; Sladek, M. R.; Grant, K. E.; Adam, E. K. (2017): Adolescents' technology and face-to-face time use predict objective sleep outcomes. In: *Sleep health*, 3 (4), S. 276–283.
<https://doi.org/10.1016/j.sleh.2017.04.005>.
- Tavernier, R.; Willoughby, T. (2014): Sleep problems: predictor or outcome of media use among emerging adults at university? In: *Journal of sleep research*, 23 (4), S. 389–396.
<https://doi.org/10.1111/jsr.12132>.
- Te Kulve, M.; Schlangen, L. J. M.; van Marken Lichtenbelt, W. D. (2019): Early evening light mitigates sleep compromising physiological and alerting responses to subsequent late evening light. In: *Scientific reports*, 9 (1), S. 16064. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52352-w>.
- Teichman, E. M.; O'Riordan, K. J.; Gahan, C. G. M.; Dinan, T. G.; Cryan, J. F. (2020): When Rhythms Meet the Blues: Circadian Interactions with the Microbiota-Gut-Brain Axis. In: *Cell metabolism*, 31 (3), S. 448–471. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2020.02.008>.
- Thaben, P. F.; Westermarck, P. O. (2014): Detecting rhythms in time series with RAIN. In: *Journal of biological rhythms*, 29 (6), S. 391–400. <https://doi.org/10.1177/0748730414553029>.
- Thapan, K.; Arendt, J.; Skene, D. J. (2001): An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans. In: *The Journal of physiology*, 535 (Pt 1), S. 261–267. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2001.t01-1-00261.x>.
- Tholl, C.; Soffner, M.; Bickmann, P.; Alesi, A.; Froböse, I. (2022): Videospiele und Schlaf – negativer Zusammenhang oder unbedenkliches Zocken? In: *Somnologie : Schlafforschung und Schlafmedizin = Somnology : sleep research and sleep medicine*, 26 (4), S. 252–256.
<https://doi.org/10.1007/s11818-022-00387-z>.
- Thomas, J. M.; Kern, P. A.; Bush, H. M.; McQuerry, K. J.; Black, W. S.; Clasey, J. L.; Pendergast, J. S. (2020): Circadian rhythm phase shifts caused by timed exercise vary with chronotype. In: *JCI insight*, 5 (3). <https://doi.org/10.1172/jci.insight.134270>.
- Ticleanu, C. (2021): Impacts of home lighting on human health. In: *Lighting Research & Technology*, 53 (5), S. 453–475. <https://doi.org/10.1177/14771535211021064>.
- Touitou, Y.; Reinberg, A.; Touitou, D. (2017): Association between light at night, melatonin secretion, sleep deprivation, and the internal clock: Health impacts and mechanisms of circadian disruption. In: *Life Sciences*, 173, S. 94–106. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2017.02.008>.

- Tran, L.; Forsyth, C. B.; Bishehsari, F.; Voigt, R. M.; Keshavarzian, A.; Swanson, G. R. (2021): Disease Implications of the Circadian Clocks and Microbiota Interface. In: Johnson, C. H.; Rust, M. J. (Hrsg.): *Circadian Rhythms in Bacteria and Microbiomes*. Cham: Springer International Publishing, S. 329–349. https://doi.org/10.1007/978-3-030-72158-9_17.
- Tsouklidis, N.; Tallaj, N.; Tallaj, Y.; Heindl, S. E. (2020): Lights Out! The Body Needs Sleep: Electronic Devices and Sleep Deficiency. In: *Cureus*, 12 (7), e9292. <https://doi.org/10.7759/cureus.9292>.
- Turner, P. L.; Mainster, M. A. (2008): Circadian photoreception: ageing and the eye's important role in systemic health. In: *The British journal of ophthalmology*, 92 (11), S. 1439–1444. <https://doi.org/10.1136/bjo.2008.141747>.
- Twenge, J. M.; Joiner, T. E.; Martin, G.; Rogers, M. L. (2018): Amount of Time Online Is Problematic if It Displaces Face-to-Face Social Interaction and Sleep. In: *Clinical Psychological Science*, 6 (4), S. 456–457. <https://doi.org/10.1177/2167702618778562>.
- UK Parliament POST (2020): Screen use and health in young people: POSTNOTE. In: UK POST Note, (635).
- van Cauter, E.; Moreno-Reyes, R.; Akseki, E.; L'Hermite-Balériaux, M.; Hirschfeld, U.; Leproult, R.; Copinschi, G. (1998): Rapid phase advance of the 24-h melatonin profile in response to afternoon dark exposure. In: *The American journal of physiology*, 275 (1), E48-54. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.1998.275.1.E48>.
- van de Ven, H. A.; van der Klink, J. J. L.; Vetter, C.; Roenneberg, T.; Gordijn, M.; Koolhaas, W.; Looze, M. P. de; Brouwer, S.; Bültmann, U. (2016): Sleep and need for recovery in shift workers: do chronotype and age matter? In: *Ergonomics*, 59 (2), S. 310–324. <https://doi.org/10.1080/00140139.2015.1058426>.
- van der Lely, S.; Frey, S.; Garbazza, C.; Wirz-Justice, A.; Jenni, O. G.; Steiner, R.; Wolf, S.; Cajochen, C.; Bromundt, V.; Schmidt, C. (2015): Blue blocker glasses as a countermeasure for alerting effects of evening light-emitting diode screen exposure in male teenagers. In: *The Journal of adolescent health : official publication of the Society for Adolescent Medicine*, 56 (1), S. 113–119. <https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2014.08.002>.
- van der Meijden, W. P.; van Someren, J. L.; Te Lindert, B. H. W.; Bruijell, J.; van Oosterhout, F.; Coppens, J. E.; Kalsbeek, A.; Cajochen, C.; Bourgin, P.; van Someren, E. J. W. (2016): Individual Differences in Sleep Timing Relate to Melanopsin-Based Phototransduction in Healthy Adolescents and Young Adults. In: *Sleep*, 39 (6), S. 1305–1310. <https://doi.org/10.5665/sleep.5858>.
- van der Vinne, V.; Zerbini, G.; Siersema, A.; Pieper, A.; Mellow, M.; Hut, R. A.; Roenneberg, T.; Kantermann, T. (2015): Timing of examinations affects school performance differently in early and late chronotypes. In: *Journal of biological rhythms*, 30 (1), S. 53–60. <https://doi.org/10.1177/0748730414564786>.
- Vandewalle, G.; Maquet, P.; Dijk, D.-J. (2009): Light as a modulator of cognitive brain function. In: *Trends in cognitive sciences*, 13 (10), S. 429–438. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2009.07.004>.
- Veitch, J.; Ball, K.; Rivera, E.; Loh, V.; Deforche, B.; Timperio, A. (2021): Understanding children's preference for park features that encourage physical activity: an adaptive choice based conjoint analysis. In: *The international journal of behavioral nutrition and physical activity*, 18 (1), S. 133. <https://doi.org/10.1186/s12966-021-01203-x>.
- Veitch, J. A.; Galasiu, A. D. (2012): The Physiological and Psychological Effects of Windows, Daylight, and View at Home: Review and Research Agenda. In: *Research Report (National Research*

- Council of Canada. Institute for Research in Construction), IRC-RR-325.
<https://doi.org/10.4224/20375039>.
- Vincent, J.; Fortunati, L. (Hrsg.) (2009): *Electronic emotion. The mediation of emotion via information and communication technologies*. Oxford: Peter Lang. ISBN: 9783039118663.
- Viola, A. U.; James, L. M.; Schlangen, L. J. M.; Dijk, D.-J. (2008): Blue-enriched white light in the workplace improves self-reported alertness, performance and sleep quality. In: *Scandinavian journal of work, environment & health*, 34 (4), S. 297–306. <https://doi.org/10.5271/sjweh.1268>.
- Vitale, J. A.; Weydahl, A. (2017): Chronotype, Physical Activity, and Sport Performance: A Systematic Review. In: *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 47 (9), S. 1859–1868.
<https://doi.org/10.1007/s40279-017-0741-z>.
- Viticchi, G.; Falsetti, L.; Paolucci, M.; Altamura, C.; Buratti, L.; Salvemini, S.; Brunelli, N.; Bartolini, M.; Vernieri, F.; Silvestrini, M. (2019): Influence of chronotype on migraine characteristics. In: *Neurological sciences : official journal of the Italian Neurological Society and of the Italian Society of Clinical Neurophysiology*, 40 (9), S. 1841–1848. <https://doi.org/10.1007/s10072-019-03886-4>.
- Voigt, R. M.; Forsyth, C. B.; Green, S. J.; Engen, P. A.; Keshavarzian, A. (2016): Circadian Rhythm and the Gut Microbiome. In: *International review of neurobiology*, 131, S. 193–205.
<https://doi.org/10.1016/bs.irn.2016.07.002>.
- Vollmer, C. (2012): *Zeitgeber des circadianen Rhythmus von Jugendlichen. Quantitative Fragebogenstudie und Unterrichtsevaluation*, Unpublished (Hrsg.).
- Wagner-Skacel, J.; Dalkner, N.; Moerkl, S.; Kreuzer, K.; Farzi, A.; Lackner, S.; Painold, A.; Reinighaus, E. Z.; Butler, M. I.; Bengesser, S. (2020): Sleep and Microbiome in Psychiatric Diseases. In: *Nutrients*, 12 (8). <https://doi.org/10.3390/nu12082198>.
- Wagnild, J. M.; Pollard, T. M. (2021): How is television time linked to cardiometabolic health in adults? A critical systematic review of the evidence for an effect of watching television on eating, movement, affect and sleep. In: *BMJ open*, 11 (5), e040739.
<https://doi.org/10.1136/bmjopen-2020-040739>.
- Wahlstrom, K.; Dretzke, B.; Gordon, M.; Peterson, K.; Edwards, K.; Gdula, J. (2014): *Examining the Impact of Later School Start Times on the Health and Academic Performance of High School Students: A Multi-Site Study*. Center for Applied Research and Educational Improvement. Minnesota.
- Wahlstrom, K. L.; Owens, J. A. (2017): School start time effects on adolescent learning and academic performance, emotional health and behaviour. In: *Current opinion in psychiatry*, 30 (6), S. 485–490. <https://doi.org/10.1097/YCO.0000000000000368>.
- Wahnschaffe, A.; Haedel, S.; Rodenbeck, A.; Stoll, C.; Rudolph, H.; Kozakov, R.; Schoepp, H.; Kunz, D. (2013): Out of the lab and into the bathroom: evening short-term exposure to conventional light suppresses melatonin and increases alertness perception. In: *International journal of molecular sciences*, 14 (2), S. 2573–2589. <https://doi.org/10.3390/ijms14022573>.
- Walker, M. (2018): *Das große Buch vom Schlaf*. München: Goldmann. ISBN: 978-3-442-17791-2.
- Walker, W. H.; Bumgarner, J. R.; Walton, J. C.; Liu, J. A.; Meléndez-Fernández, O. H.; Nelson, R. J.; DeVries, A. C. (2020): Light Pollution and Cancer. In: *International journal of molecular sciences*, 21 (24). <https://doi.org/10.3390/ijms21249360>.

- Walters, E. M.; Phillips, A. J. K.; Boardman, J. M.; Norton, P. J.; Drummond, S. P. A. (2020): Vulnerability and resistance to sleep disruption by a partner: A study of bed-sharing couples. In: *Sleep health*, 6 (4), S. 506–512. <https://doi.org/10.1016/j.sleh.2019.12.005>.
- Wang, P.; Zhao, M.; Wang, X.; Xie, X.; Wang, Y.; Lei, L. (2017): Peer relationship and adolescent smartphone addiction: The mediating role of self-esteem and the moderating role of the need to belong. In: *Journal of behavioral addictions*, 6 (4), S. 708–717. <https://doi.org/10.1556/2006.6.2017.079>.
- Weaver, E.; Gradisar, M.; Dohnt, H.; Lovato, N.; Douglas, P. (2010): The Effect of Presleep Video-Game Playing on Adolescent Sleep. In: *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 06 (02), S. 184–189. <https://doi.org/10.5664/jcsm.27769>.
- Weibel, J.; Lin, Y.-S.; Landolt, H.-P.; Berthomier, C.; Brandewinder, M.; Kistler, J.; Rehm, S.; Rentsch, K. M.; Meyer, M.; Borgwardt, S.; Cajochen, C.; Reichert, C. F. (2020): Regular caffeine intake attenuates REM sleep promotion and sleep quality in healthy men. <https://doi.org/10.1101/2020.09.18.291039>.
- Weibel, J.; Lin, Y.-S.; Landolt, H.-P.; Berthomier, C.; Brandewinder, M.; Kistler, J.; Rehm, S.; Rentsch, K. M.; Meyer, M.; Borgwardt, S.; Cajochen, C.; Reichert, C. F. (2021): Regular Caffeine Intake Delays REM Sleep Promotion and Attenuates Sleep Quality in Healthy Men. In: *Journal of biological rhythms*, 36 (4), S. 384–394. <https://doi.org/10.1177/07487304211013995>.
- Werner, H.; LeBourgeois, M. K.; Geiger, A.; Jenni, O. G. (2009): Assessment of chronotype in four- to eleven-year-old children: reliability and validity of the Children's Chronotype Questionnaire (CCTQ). In: *Chronobiology international*, 26 (5), S. 992–1014. <https://doi.org/10.1080/07420520903044505>.
- Westgarth, C.; Christley, R. M.; Jewell, C.; German, A. J.; Boddy, L. M.; Christian, H. E. (2019): Dog owners are more likely to meet physical activity guidelines than people without a dog: An investigation of the association between dog ownership and physical activity levels in a UK community. In: *Scientific reports*, 9 (1), S. 5704. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41254-6>.
- Westwood, M. L.; O'Donnell, A. J.; Bekker, C. de; Lively, C. M.; Zuk, M.; Reece, S. E. (2019): The evolutionary ecology of circadian rhythms in infection. In: *Nature ecology & evolution*, 3 (4), S. 552–560. <https://doi.org/10.1038/s41559-019-0831-4>.
- Wheaton, A. G.; Chapman, D. P.; Croft, J. B. (2016): School Start Times, Sleep, Behavioral, Health, and Academic Outcomes: A Review of the Literature. In: *The Journal of school health*, 86 (5), S. 363–381. <https://doi.org/10.1111/josh.12388>.
- White, M. P.; Alcock, I.; Grellier, J.; Wheeler, B. W.; Hartig, T.; Warber, S. L.; Bone, A.; Depledge, M. H.; Fleming, L. E. (2019): Spending at least 120 minutes a week in nature is associated with good health and wellbeing. In: *Scientific reports*, 9 (1), S. 7730. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44097-3>.
- Wiater A, R. A. (2019): Licht und Schlaf. In: *Somnologie*, (23), S. 235–236.
- Wiesner, C. D.; Davoli, V.; Schürger, D.; Prehn-Kristensen, A.; Baving, L. (2017): Melatonin Secretion during a Short Nap Fosters Subsequent Feedback Learning. In: *Frontiers in human neuroscience*, 11, S. 648. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00648>.
- Wile, A. J.; Shoupe, G. A. (2011): Does Time-of-Day of Instruction Impact Class Achievement? In: *Perspectives In Learning*, 12 (1).
- Willcutt, E. G. (2012): The prevalence of DSM-IV attention-deficit/ hyperactivity disorder: a meta-analytic review. In: *Neurotherapeutics*, 9 (3), S. 490–499.

- Winnebeck, E.; Biller, A. M.; Zerbini, G. (2023): Chronobiologisches_Gutachten_zur_Schulzeitgestaltung. Online verfügbar unter https://ostbelgienbildung.be/PortalData/21/Resources/downloads/home/aktuelles_2023/Chronobiologisches_Gutachten_zur_Schulzeitgestaltung.pdf, zuletzt geprüft am 23.04.2024.
- Winnebeck, E. C. (2022): Chronobiology: Is daylight saving time a deer-saving time? In: *Current biology : CB*, 32 (22), R1283-R1286. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2022.10.034>.
- Wirz-Justice, A.; Skene, D. J.; Münch, M. (2021): The relevance of daylight for humans. In: *Biochemical pharmacology*, 191, S. 114304. <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2020.114304>.
- Wittmann, M.; Dinich, J.; Mellow, M.; Roenneberg, T. (2006): Social jetlag: misalignment of biological and social time. In: *Chronobiology International*, 23 (1-2), S. 497–509. <https://doi.org/10.1080/07420520500545979>.
- Wolfson, A. R.; Harkins, E.; Johnson, M.; Marco, C. (2015): Effects of the Young Adolescent Sleep Smart Program on sleep hygiene practices, sleep health efficacy, and behavioral well-being. In: *Sleep health*, 1 (3), S. 197–204. <https://doi.org/10.1016/j.sleh.2015.07.002>.
- Wong, I. L. (2017): A review of daylighting design and implementation in buildings. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, S. 959–968. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.061>.
- Wright, H. R.; Lack, L. C. (2001): Effect of light wavelength on suppression and phase delay of the melatonin rhythm. In: *Chronobiology International*, 18 (5), S. 801–808. <https://doi.org/10.1081/cbi-100107515>.
- Wyse, C.; O'Malley, G.; Coogan, A. N.; McConkey, S.; Smith, D. J. (2021): Seasonal and daytime variation in multiple immune parameters in humans: Evidence from 329,261 participants of the UK Biobank cohort. In: *iScience*, 24 (4), S. 102255. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.102255>.
- Xiao, Q.; Gee, G.; Jones, R. R.; Jia, P.; James, P.; Hale, L. (2020): Cross-sectional association between outdoor artificial light at night and sleep duration in middle-to-older aged adults: The NIH-AARP Diet and Health Study. In: *Environmental research*, 180, S. 108823. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108823>.
- Xu, L.; Pan, Y.; Yao, Y.; Cai, D.; Huang, Z.; Linder, N. (2017): Lighting energy efficiency in offices under different control strategies. In: *Energy and Buildings*, 138, S. 127–139. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.006>.
- Xu, Y.-X.; Yu, Y.; Huang, Y.; Wan, Y.-H.; Su, P.-Y.; Tao, F.-B.; Sun, Y. (2022): Exposure to bedroom light pollution and cardiometabolic risk: A cohort study from Chinese young adults. In: *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)*, 294, S. 118628. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118628>.
- Yang, B.; Chan, R. C. K.; Zou, X.; Jing, J.; Mai, J.; Li, J. (2007): Time perception deficit in children with ADHD: 1170:90-6. doi: 10.1016/j.brainres.2007.07.021. Epub 2007 Jul 17. Time perception deficit in children with ADHD Affiliations expand PMID: 17669375. In: *Brain Res.*
- Yang, P.-L.; Burr, R. L.; La Iglesia, H. O. de; Buchanan, D. T.; Ward, T. M.; Landis, C. A.; Heitkemper, M. M. (2021): Associations between chronotype, social jetlag, and weekday sleep in women with irritable bowel syndrome. In: *Chronobiology international*, 38 (5), S. 742–752. <https://doi.org/10.1080/07420528.2021.1885430>.
- Yang, R.; Su, Z. (2010): Analyzing circadian expression data by harmonic regression based on autoregressive spectral estimation. In: *Bioinformatics (Oxford, England)*, 26 (12), i168-74. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btq189>.

- Yao, N.; Wang, Q. (2023): Technostress from Smartphone Use and Its Impact on University Students' Sleep Quality and Academic Performance. In: *The Asia-Pacific Education Researcher*, 32 (3), S. 317–326. <https://doi.org/10.1007/s40299-022-00654-5>.
- Yao, Q.; Cai, W.; Li, M.; Hu, Z.; Xue, P.; Dai, Q. (2020): Efficient circadian daylighting: A proposed equation, experimental validation, and the consequent importance of room surface reflectance. In: *Energy and Buildings*, 210, S. 109784. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109784>.
- Yen, C.-F.; Ko, C.-H.; Yen, J.-Y.; Cheng, C.-P. (2008): The multidimensional correlates associated with short nocturnal sleep duration and subjective insomnia among Taiwanese adolescents. In: *Sleep*, 31 (11), S. 1515–1525. <https://doi.org/10.1093/sleep/31.11.1515>.
- Yin, J.; Julius, A. A.; Wen, J. T. (2021): Optimization of light exposure and sleep schedule for circadian rhythm entrainment. In: *PloS one*, 16 (6), e0251478. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0251478>.
- Young, H. H.; Berry, G. L. (1979): The impact of environment on the productivity attitudes of intellectually challenged office workers. In: *Human Factors*, 21 (4), S. 399–407.
- Youngstedt, S. D.; Kline, C. E.; Elliott, J. A.; Zielinski, M. R.; Devlin, T. M.; Moore, T. A. (2016): Circadian Phase-Shifting Effects of Bright Light, Exercise, and Bright Light + Exercise. In: *Journal of circadian rhythms*, 14, S. 2. <https://doi.org/10.5334/jcr.137>.
- Youngstedt, S. D.; O'Connor, P. J.; Crabbe, J. B.; Dishman, R. K. (2000): The influence of acute exercise on sleep following high caffeine intake. In: *Physiology & behavior*, 68 (4), S. 563–570. [https://doi.org/10.1016/s0031-9384\(99\)00213-9](https://doi.org/10.1016/s0031-9384(99)00213-9).
- Zeitzer, J. M.; Dijk, D. J.; Kronauer, R.; Brown, E.; Czeisler, C. (2000): Sensitivity of the human circadian pacemaker to nocturnal light: melatonin phase resetting and suppression. In: *The Journal of physiology*, 526 Pt 3, S. 695–702. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2000.00695.x>.
- Zeng, Y.; Sun, H.; Lin, B.; Zhang, Q. (2021): Non-visual effects of office light environment: Field evaluation, model comparison, and spectral analysis. In: *Building and Environment*, 197, S. 107859. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107859>.
- Zerbini, G.; Kantermann, T.; Mellow, M. (2020): Strategies to decrease social jetlag: Reducing evening blue light advances sleep and melatonin. In: *The European journal of neuroscience*, 51 (12), S. 2355–2366. <https://doi.org/10.1111/ejn.14293>.
- Zerbini, G.; Mellow, M. (2017a): Time to learn: How chronotype impacts education. In: *PsyCh journal*, 6 (4), S. 263–276. <https://doi.org/10.1002/pchj.178>.
- Zerbini, G.; Mellow, M.; Winnebeck, E. C. (2022): Weekly and seasonal variation in the circadian melatonin rhythm in humans: A response. In: *Journal of pineal research*, 72 (1), e12777. <https://doi.org/10.1111/jpi.12777>.
- Zerbini, G.; van der Vinne, V.; Otto, L. K. M.; Kantermann, T.; Krijnen, W. P.; Roenneberg, T.; Mellow, M. (2017b): Lower school performance in late chronotypes: underlying factors and mechanisms. In: *Scientific reports*, 7 (1), S. 4385. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04076-y>.
- Zerbini, G.; van der Vinne, V.; Otto, L. K. M.; Monecke, S.; Kantermann, T.; Mellow, M. (2019): Tardiness Increases in Winter: Evidence for Annual Rhythms in Humans. In: *Journal of biological rhythms*, 34 (6), S. 672–679. <https://doi.org/10.1177/0748730419876781>.
- Zhai, Z.; Liu, X.; Zhang, H.; Dong, X.; He, Y.; Niu, M.; Pan, M.; Wang, C.; Wang, X.; Li, Y. (2021a): Associations of Midpoint of Sleep and Night Sleep Duration with Type 2 Diabetes Mellitus in Chinese Rural Population: The Henan Rural Cohort. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-144639/v1>.

- Zhai, Z.; Liu, X.; Zhang, H.; Dong, X.; He, Y.; Niu, M.; Pan, M.; Wang, C.; Wang, X.; Li, Y. (2021b): Associations of midpoint of sleep and night sleep duration with type 2 diabetes mellitus in Chinese rural population: the Henan rural cohort study. In: *BMC public health*, 21 (1), S. 879. <https://doi.org/10.1186/s12889-021-10833-6>.
- Zhang, M.; Wu, A. (2022): Effects of childhood adversity on smartphone addiction: The multiple mediation of life history strategies and smartphone use motivations. In: *Computers in Human Behavior*, 134, S. 107298. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2022.107298>.
- Zhang, Y.; Zhang, Z.; Wang, Y.; Zhu, F.; Liu, X.; Chen, W.; Zhu, H.; Zhu, H.; Li, J.; Guo, Z. (2021): Dysfunctional beliefs and attitudes about sleep are associated with regional homogeneity of left inferior occipital gyrus in primary insomnia patients: a preliminary resting state functional magnetic resonance imaging study. In: *Sleep medicine*, 81, S. 188–193. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2021.02.039>.
- Zhao, E.; Tait, C.; Minacapelli, C. D.; Catalano, C.; Rustgi, V. K. (2022): Circadian Rhythms, the Gut Microbiome, and Metabolic Disorders. In: *Gastro Hep Advances*, 1 (1), S. 93–105. <https://doi.org/10.1016/j.gastha.2021.10.008>.
- Zhenghao, P.; Leong, R. L. F.; Chee, M. W. L.; Massar, S. A. A. (2022): Bedtime procrastination and chronotype differentially predict adolescent sleep on school nights and non-school nights. In: *Sleep health*, 8 (6), S. 640–647. <https://doi.org/10.1016/j.sleh.2022.09.007>.
- Zielinska-Dabkowska, K. M.; Xavia, K. (2019): Global Approaches to Reduce Light Pollution from Media Architecture and Non-Static, Self-Luminous LED Displays for Mixed-Use Urban Developments. In: *Sustainability*, 11 (12), S. 3446. <https://doi.org/10.3390/su11123446>.
- Zubek, J.; Ziembowicz, K.; Pokropski, M.; Gwiaździński, P.; Denkiewicz, M.; Boros, A. (2021): Rhythms of the day: how electronic media and daily routines influence mood during COVID-19 pandemic. <https://doi.org/10.31234/osf.io/czg27>.