Wissenschaftliches Gutachten zur chronobiologischen Schulzeitgestaltung

für die Regierung der Deutschsprachigen Gemeinschaft Belgiens

Dr. Eva C Winnebeck, Dr. Anna M Biller und Dr. Giulia Zerbini

im Rahmen eines Kooperationsabkommens zwischen

dem Ministerium der Deutschsprachigen Gemeinschaft Belgiens

und der University of Surrey

27. September 2023

UNIVERSITY OF SURREY

Wissenschaftliches Gutachten zur chronobiologischen Schulzeitgestaltung

für die Regierung der Deutschsprachigen Gemeinschaft Belgiens

Dr. Eva C Winnebeck, Dr. Anna M Biller und Dr. Giulia Zerbini

im Rahmen eines Kooperationsabkommens zwischen

dem Ministerium der Deutschsprachigen Gemeinschaft Belgiens

und der University of Surrey

27. September 2023

Vorwort

Das vorliegende wissenschaftliche Gutachten zum aktuellen Stand in der chronobiologischen Schulzeitgestaltung wurde von einer Expertengruppe unter der Leitung von Dr. Eva Winnebeck (University of Surrey) im Auftrag der Regierung der Deutschsprachigen Gemeinschaft Belgiens erstellt. Grundlage bildet die Kooperationsvereinbarung vom Dezember 2022 zwischen der University of Surrey und der Ministerin für Bildung, Forschung und Erziehung der Deutschsprachigen Gemeinschaft Belgiens, die die Details dieser nicht-institutionalisierten horizontalen Zusammenarbeit darlegt. Die Kooperation erfolgt im Rahmen des Prozesses zur Entwicklung einer Gesamtvision für das Bildungswesen in Ostbelgien.

Der Hintergrund des Auftrages ist folgendermaßen präzisiert (Kooperationsvertrag, deutsche Vorlage): „Im Zuge einer Reformierung des Bildungswesens der Deutschsprachigen Gemeinschaft Belgiens prüft das Ministerium der Deutschsprachigen Gemeinschaft, welche Chancen und Risiken eine Umstellung des bestehenden Schulrhythmus für das Bildungssystem und die Schülerinnen und Schüler birgt. Im Rahmen dieser Analyse sollen u.a. die Auswirkungen des bestehenden und eines angepassten Schulrhythmus auf die körperliche und geistige Leistungsfähigkeit bei Kindern und Jugendlichen im Alter von 2,5 Jahren (Kindergarten) bis 21 Jahren untersucht werden. Diese Auswirkungen sind ausschließlich auf einer evidenzbasierten Datengrundlage und anhand aktueller Forschungserkenntnisse einschätzbar, weshalb das Ministerium der Deutschsprachigen Gemeinschaft Belgiens im Rahmen einer nicht-institutionalisierten horizontalen Zusammenarbeit mit der University of Surrey die Erstellung eines wissenschaftlich fundierten chronobiologischen Gutachtens in Auftrag gibt."

Neben evidenzbasierten chronobiologischen Empfehlungen zur Schulzeitgestaltung im Allgemeinen wurde hier auch eine Kurzeinschätzung zur bestehenden Schulzeitgestaltung in der Deutschsprachigen Gemeinschaft Belgiens erstellt. Hierzu wurden der Expertengruppe Hintergrundmaterial zum Schultages-, Schulwochen- und Schuljahresrhythmus in der Deutschsprachigen Gemeinschaft sowie zur neu eingeführten 7/2-Schulwochenrhythmisierung in der Französischen Gemeinschaft Belgiens vom Ministerium der Deutschsprachigen Gemeinschaft Belgiens zur Verfügung gestellt. Die 7/2-Rhythmisierung ist eine Unterteilung des Schuljahres in Blöcke von 9 Wochen, wobei jeweils 7 Wochen Schulunterricht gefolgt werden von 2 Wochen Schulferien (mit Ausnahme der Sommerferien von ca. 7 Wochen).

Die Autorinnen

Die drei Autorinnen sind promovierte Chronobiologinnen an öffentlichen Universitäten und verfügen über mehrjährige Forschungserfahrung im Bereich der Schulzeitgestaltung. Sie sind aktiv tätig in der internationalen Forschung und Lehre im Bereich der Chronobiologie und Schlaf beim Menschen und publizieren Ihre Forschung in international anerkannten, peer-reviewten Fachzeitschriften.

Dr. Eva Winnebeck ist Lecturer in Chronobiology an der Faculty for Health and Medical Sciences der University of Surrey (UK) und leitet dort die Forschungsgruppe *Sleep Rhythm Ecology*. Zusätzlich ist sie Wissenschaftlerin an der Neurogenetik des Universitätsklinikums der Technischen Universität München und dem Helmholtz Zentrum München (DE). Sie studierte Biomedical Sciences in Würzburg (DE) sowie Auckland (NZ) und promovierte an der University of Auckland über die chronobiologischen Folgen von Anästhesie. Seitdem forscht und lehrt sie seit über 10 Jahren über circadiane Rhythmen und Schlaf beim Menschen mit Fokus auf Schlafrhythmen im Alltag. Dr. Winnebeck leitete gemeinsam mit Prof. Till Roenneberg die Forschungsarbeiten zur Gleitzeiteinführung am Gymnasium Alsdorf (DE) 2016-2021. Seit 2022 ist sie gewähltes Mitglied des Wissenschaftskomitees der European Sleep Research Society.

Dr. Anna M. Biller ist Chronobiologin und Schlafforscherin an der Fakultät für Sport- und Gesundheitswissenschaften der Technischen Universität München, wo sie an chronobiologischen Lichteffekten und gesundem Schlaf- und Lichtverhalten forscht. Sie studierte Psychologie an der University of Canterbury (UK) und Neurowissenschaften am University College London (UK) und promovierte am Institut für Medizinische Psychologie der LMU München (DE) über die Zusammenhänge von Chronobiologie, Schlaf und schulischer Leistung bei Jugendlichen, u.a. im Projekt der Gleitzeiteinführung am Gymnasium Alsdorf (DE). Für ihre Promotionsarbeit erhielt sie den Kinderschlafpreis der Deutschen Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin (DGSM e.V.). Sie ist gewähltes Mitglied des Early Career Researcher Networks der European Sleep Research Society und der Fachgruppe Gesundheitspsychologie der Deutschen Gesellschaft für Psychologie (DGPs).

Dr. Giulia Zerbini ist Chronobiologin und Wissenschaftlerin am Lehrstuhl für Medizinische Psychologie und Soziologie der Universität Augsburg (DE). Sie studierte Psychologie an der Universität Padua (Italien) und promovierte in Chronobiologie an der Universität Groningen (NL). Seit 10 Jahren forscht sie an Schlaf und Chronotyp im Kontext von (Schul-)Leistung und Gesundheit sowohl in den Niederlanden als auch in Deutschland. Bereits während ihrer Promotion beriet Dr. Zerbini Schulen (De Nieuwe Veste in Coevorden und Hardenberg; NL) über Schulanfangszeiten und Schulorganisation. Seitdem hält sie auch regelmäßig Vorträge für Laien zum Thema Schlaf und Schulleistung (z.B. Königsbrunner Campus 2023 und lange Nacht der Wissenschaft, Augsburg 2022).

Inhaltsverzeichnis

Vorwort **3**

Die Autorinnen **4**

1. Chronobiologie des Menschen **7**

1.1. Definition Chronobiologie 7

1.2. Biologische Rhythmen beim Menschen 7

1.2.1. Tagesrhythmen (circadiane Rhythmen) – endogene Steuerung 7

1.2.2. Wochenrhythmen – exogene Steuerung 10

1.2.3. Jahresrhythmen – endogene/exogene Steuerung 11

1.2.4. Mondrhythmen – endogene/exogene Steuerung 12

1.3. Einschätzung zur Aussagekraft der Chronobiologie bezüglich des schulischen Tages-, Wochen- und Jahresrhythmus 12

2. Warum sollte die Chronobiologie mehr Beachtung bei der Schulzeitgestaltung finden? **14**

2.1. Diskrepanz zwischen täglichen Schulstartzeiten und dem Chronotyp von SchülerInnen 14

2.2. Schlafmangel und circadiane Disruption bei SchülerInnen 16

2.3. Folgen von Schlafmangel und circadianer Disruption 17

2.3.1. Kognitive Leistungsfähigkeit 17

2.3.2. Gesundheit 17

2.4. Zusätzliche Folgen für besonders späte Chronotypen innerhalb einer Alterskohorte 18

2.5. Zusammenfassung 20

3. Konkrete Ansatzpunkte in der chronobiologischen Schulzeitgestaltung **21**

3.1. Überblick 21

3.2. Ansatzpunkt A: Angemessene Wahl der täglichen Schulanfangszeiten 23

3.2.1. Alternative Systeme von Schulanfangszeiten (Schichtsysteme und Gleitzeitsysteme) 25

3.2.2. Zusammenfassung 26

3.3. Ansatzpunkt B: Verbesserung der Lichtexposition im Schulalltag 27

3.4. Ansatzpunkt C: Beachtung der jahreszeitlichen Verfügbarkeit von Tageslicht in der Planung von täglichen Schulanfangszeiten und Ferienzeiten 30

3.5. Ansatzpunkt D: Einbeziehung der Tagesrhythmik kognitiver Leistungsfähigkeit bei der Stundenplangestaltung 33

3.6. Ansatzpunkt E: Edukation und Förderung von gesundem Schlaf- und circadianem Verhalten 35

3.7. Zusammenfassung und allgemeine Anmerkungen zur Evidenzlage 36

4. Kurzeinschätzung der bestehenden Schulzeitgestaltung in der Deutschsprachigen Gemeinschaft Belgiens **37**

4.1. Ausgangslage: Schlaf und circadiane Disruption in Belgien 37

4.2. Ansatzpunkt A: Schulanfangszeiten 40

4.3. Ansatzpunkt B: Lichtexposition 41

4.4. Ansatzpunkt C: Jahreszeitliche Planung 41

4.5. Ansatzpunkt D: Tägliche Unterrichts- und Prüfungszeiten 44
4.6. Ansatzpunkt E: Edukation und Förderung von gesundem Schlaf- und circadianem Verhalten 44
4.7. Zusammenfassung 44

5. Empfehlungen zur weiteren wissenschaftlichen Betrachtung der Auswirkungen einer Umstellung des Schul(jahres)rhythmus 45

6. Appendix 57

1. Chronobiologie des Menschen

Der folgende Abschnitt gibt einen Kurzüberblick über grundlegende Konzepte in der Chronobiologie mit Fokus auf den aktuellen wissenschaftlichen Stand zu den biologischen Rhythmen des Menschen.

1.1. Definition Chronobiologie

Die Chronobiologie untersucht die zeitliche Organisation von physiologischen Prozessen und Verhaltensmustern, die sogenannten biologischen Rhythmen. Diese Rhythmen entstehen innerhalb des Organismus und werden von "inneren Uhren" gesteuert, also molekularen und neuronalen Netzwerken, die Rhythmen erzeugen und sich mit der Umwelt, z.B. dem täglichen Licht-Dunkel-Wechsel, synchronisieren können. Nach aktuellem Kenntnisstand verfügen alle Pflanzen und Tiere inklusive des Menschen über solche inneren Uhren. Während manche dieser Uhrensysteme (z.B. Gezeiten- oder Monduhren) nur in bestimmten Tierarten vorzukommen scheinen, ist die Tagesuhr, die sogenannte circadiane Uhr, nahezu ubiquitär im Pflanzen- und Tierreich. Dies ist ein starker Hinweis darauf, dass die circadiane Uhr, und somit die korrekte tägliche Taktung biologischer Prozesse, eine zentrale Rolle im (Über-)Leben auf der Erde einnimmt.

1.2. Biologische Rhythmen beim Menschen

1.2.1. Tagesrhythmen (circadiane Rhythmen) – endogene Steuerung

Wie die meisten Organismen zeigt auch der Mensch eine starke tageszeitliche Organisation in seiner Biologie. Viele dieser Tagesrhythmen sind endogen, also von innen heraus von der circadianen Uhr generiert und somit *bona fide* circadiane Rhythmen. Andere Tagesrhythmen entstehen allerdings auch erst sekundär durch tageszeitlich verändertes Verhalten, z.B. durch Schlaf, Essen oder physische Aktivität zu bestimmten Zeiten, und sind damit nur indirekt durch die circadiane Uhr beeinflusst sowie *direkt* durch gesellschaftliche Zeitstrukturen.

Die circadiane Uhr des Menschen (von Latein „circa diem" = etwa einen Tag) ist ein kompliziertes System aus Einzeluhren (Oszillatoren). In fast jeder Körperzelle sitzt ein molekulares circadianes Uhrwerk – für dessen Entschlüsselung 2018 der Nobelpreis verliehen wurde – und so jedes Gewebe und Organ wie Herz, Gehirn, Leber oder Immunsystem über sein eigenes zelluläres Uhrensystem verfügt. Die entstehenden 24-Stunden Zell- und Organrhythmen koordinieren sich gegenseitig und generieren so Tagesrhythmen in Biochemie, Physiologie, Verhalten und Kognition. Ein wichtiges Koordinationszentrum stellen hier die suprachiasmatischen Kerne im Gehirn dar.

Unter den nachgewiesenen intern gesteuerten circadianen Rhythmen des Menschen finden sich eine Vielzahl an biologischen Prozessen. Darunter fallen Vorgänge in einzelnen Zellen (z.B. Genexpression, Proteinsynthese und -phosphorilierung), die Ausschüttung bestimmter Hormone (z.B. Melatonin, Kortisol), tageszeitliche Veränderungen der Körpertemperatur, Blutdruck und Herzrate, aber auch Metabolismus, Immunantworten, Schlaf und kognitive Prozesse wie Aufmerksamkeit und Arbeitsgedächtnis [5-8]. **Die circadiane Uhr spielt daher eine wichtige Rolle für die menschliche Gesundheit und Leistungsfähigkeit [9, 10].**

Licht als zentrales Signal für die circadiane Synchronisation

Trotz seiner endogenen Steuerung synchronisiert sich das circadiane System kontinuierlich mit der Umwelt über relevante Signale. Das stärkste Signal beim Menschen für die circadiane Synchronisation mit dem äußeren Tag-Nacht-Wechsel ist der tägliche Licht-Dunkel-Wechsel. Da jedoch nicht nur Tageslicht, sondern auch elektrisches Licht vom circadianen System verarbeitet wird (und als Signal für "Tag" gilt), kommt der genauen Lichtexposition im Alltag eine große Bedeutung

für die circadiane Gesundheit, der Schlafqualität und des Schlaftimings zu. Tagsüber ist helles Zimmerlicht, ein Sitzplatz am Fenster und besonders auch Tageslicht für einen gesunden Schlaf und eine optimale circadiane Taktung essentiell. Dagegen ist eine geringe Lichtintensität mit möglichst wenig Blaulichtanteil am Abend optimal [11]. **Das richtige Licht zum richtigen Zeitpunkt ist somit eine wesentliche Grundlage für das optimale Funktionieren des menschlichen Organismus.**

Chronotypen

Unterschiede in der Lichtexposition, wie sie heutzutage durch elektrisches Licht oft auftreten, können zu unterschiedlicher circadianer Taktung zwischen Menschen führen, den sogenannten Chronotypen. Außerdem spielen individuelle Unterschiede in der circadianen Biologie durch Genetik, Geschlecht und Alter eine große Rolle für den Chronotyp [1] (Details zu Alterseffekten in **Punkt 2.1)**.

Chronotypen reichen von sehr frühen (umgangssprachlich sogenannte „Lerchen") bis zu sehr späten Chronotypen („Eulen"), die sich im Timing ihrer molekularen, physiologischen und behavioralen circadianen Rhythmen um Stunden unterscheiden, wobei die Unterschiede in den Schlafzeiten die auffälligsten sind [1, 12–15]. Frühe Chronotypen haben eine frühe Taktung ihrer molekularen und hormonellen Rhythmen, schlafen früh ein und wachen von allein früh auf, während

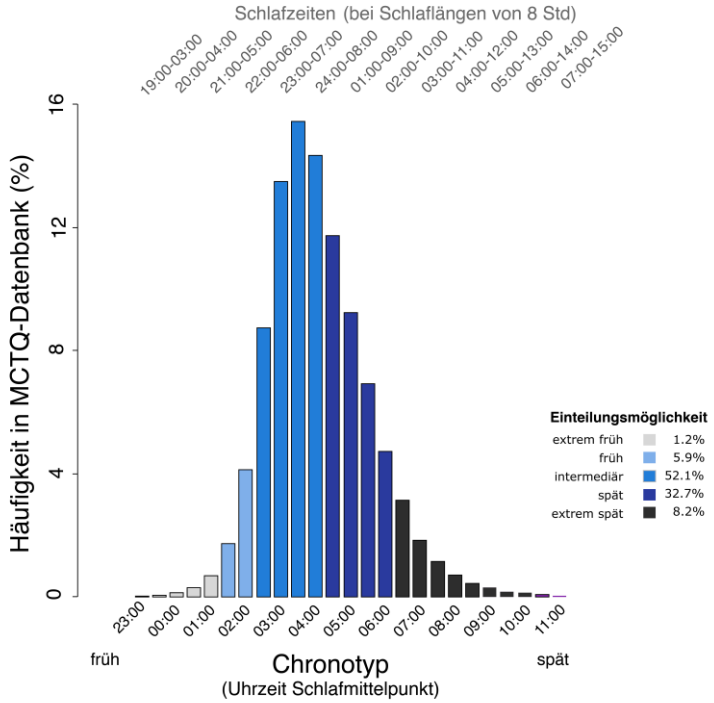

Abbildung 1. Häufigkeit von Chronotypen und Schlafzeiten. *Abgebildet ist die typische Häufigkeitsverteilung von Chronotypen in der Bevölkerung, hier aus der Munich-ChronoType-Questionnaire-Datenbank (MCTQ; Juli 2017; 185,333 Eintragungen hauptsächlich aus Europa; adaptiert von Roenneberg et al. 2019 [1]). Chronotyp reicht von extrem früh (hellgrau) bis extrem spät (schwarz), wobei die Mehrheit der befragten Personen (52%) einen intermediären Chronotyp aufweist, dicht gefolgt von einem späten Chronotyp (41%). Die Einteilung in Chronotypkategorien ist nicht als absolut zu verstehen, sondern ist eine relative Einteilung im Verhältnis zur jeweiligen Kultur, den gesellschaftlichen Zeiten und der Vergleichspopulation. Chronotyp wurde hier bestimmt anhand des Schlafmittelpunktes an freien Tagen, korrigiert um etwaigen Nachschlaf. Die entsprechenden ungefähren Schlafzeiten pro Chronotyp sind oben angegeben und basieren auf einer hypothetischen Schlaflänge von 8 Stunden, variieren also entsprechend der tatsächlichen, individuellen Schlafdauer.*

späte Chronotypen eine späte Taktung aufweisen, erst spät einschlafen und auch erst spät von alleine aufwachen (**Abbildung 1**).

Die Einteilung von Chronotypen in „früh“ und „spät“ ist weder absolut noch kategoriell zu verstehen; sie sind die Extreme in einem Kontinuum und nur im Vergleich mit einer bestimmten Population oder bestimmten gesellschaftlichen Zeiten einzuordnen. Daten aus einer großen, weltweiten Stichprobe (N=185,333) zeigen, dass ca. 50% der Stichprobe (nachschlafbereinigte) Schlafzeiten zwischen 22:30-08:00 Uhr an freien Tagen aufweisen, während der Rest der Stichprobe entweder früher oder später schläft, mit Schlafzeiten, die von ca. 19:00-03:00 Uhr (extrem frühe Chronotypen) bis zu ca. 07:00-15:00 Uhr (extrem späte Chronotypen) reichen [1] (**Abbildung 1**). Dies zeigt die enorme Bandbreite an Chronotypen und Schlafzeiten beim modernen Menschen, hervorgebracht durch die Wechselwirkung zwischen unterschiedlichen genetischen, geschlechts- und altersphysiologischen Faktoren mit Umweltfaktoren wie der Lichtexposition.

Abbildung 1 verdeutlicht zusätzlich, dass es heutzutage einen Überschuss an späten Chronotypen gibt, deren Schlafzeiten und circadiane Taktung nicht mehr zu den vorherrschenden gesellschaftlichen Arbeits- und Schulzeiten passen. Nimmt man die 50% der Personen mit Schlafzeiten an freien Tagen zwischen 22:30-8:00 als intermediäre Chronotypen an, da sie relativ gut in die hypothetischen mitteleuropäische Büroarbeitszeiten (9-17 Uhr) passen, dann fällt ein großer Teil der Stichprobe (ca. 40%) in die Kategorie der späten Chronotypen mit entsprechend späten Schlafzeiten. ChronobiologInnen vermuten die Ursache hierfür in der geringen Lichtexposition im modernen Alltag, der hauptsächlich in Innenräumen anstatt unter freiem Himmel stattfindet, gekoppelt mit elektrischem und blaulichtreichem Licht am Abend und in der Nacht [16, 17].

Menschen unterscheiden sich im Timing ihrer circadianen Rhythmen wie z.B. ihren Schlaf-Wach-Zeiten (**Chronotypen**). Chronotypen entstehen durch endogene Unterschiede wie Genetik, Geschlecht und Alter, sowie durch Unterschiede in exogenen Signalen, besonders in der Lichtexposition.

Schlaf

Unter den täglichen Prozessen, die durch das circadiane System beim Menschen reguliert werden, ist Schlaf einer der markantesten und für diesen Report auch der zentralsten Prozesse. Die circadiane Uhr steuert dabei

- das Schlaftiming (Schlaf-Wach-Zyklus: Schlafbeginn und Schlafende)
- die Schlaflänge und
- die Schlafqualität.

Je nach innerer biologischer Uhrzeit ändert sich die Wahrscheinlichkeit von Einschlafen, Durchschlafen und Aufwachen sowie das Durchlaufen einzelner Schlafstadien [18, 19]. Diese circadiane Regulation von Schlaf erklärt auch große Teile der Unterschiede im Schlaftiming zwischen Chronotypen. Späte Chronotypen können abends oft nicht früh einschlafen, da die circadiane Uhr dem Einschlafen aktiv entgegenwirkt, wenn es sich biologisch noch um eine als früh wahrgenommene Uhrzeit handelt. Im Gegensatz hierzu können frühe Chronotypen oft nicht bis in den späten Morgen

schlafen, da die circadiane Uhr den Schlaf zu dieser biologisch als spät wahrgenommenen Uhrzeit nicht mehr begünstigt. Sehr wichtig für den Schulkontext ist hier, dass sich die Schlafzeit (Schlaftiming) in Abhängigkeit vom Chronotyp stark unterscheidet, das Schlafbedürfnis (benötigte Schlafdauer) aber unabhängig vom Chronotyp ist [20].

Schlaf, wie auch die circadiane Uhr, steht in starkem Zusammenhang mit körperlicher und geistiger Gesundheit und Leistungsfähigkeit, Lernen und Gedächtnis. Schlechter oder zu wenig Schlaf birgt nicht nur akute Risiken (z.B. Fehler und Unfälle, Konzentrations- und Leistungseinbußen oder Stimmungsschwankungen), sondern auch langfristige Gesundheitsrisiken (z.B. Diabetes oder Depression) [21-24]. Bei letzterem ist jedoch anzumerken, dass die Wirkung von Schlafmangel und die Wirkung von circadianer Biologie und circadianer Disruption außerhalb komplizierter Laborexperimente nur schwer auseinanderzuhalten sind, da beide Prozesse zeitlich zusammentreffen und sich gegenseitig beeinflussen (u.a. verstärkt heutzutage durch die konstante Verfügbarkeit von elektrischem Licht und Limitierung von Dunkelheit auf die reine Schlafenszeit). Aufgrund dieser engen Verquickung werden circadiane Rhythmen und Schlaf in wissenschaftlichen Feldstudien oft gemeinsam genannt, was auch für den vorliegenden Report gilt. Im vorliegenden angewandten Fall ist dies jedoch kein wesentlicher Nachteil, da die Behebung der Ursache von gestörtem Schlaf oder circadianer Disruption, sofern nicht pathologisch bedingt, sich jeweils positiv auf den anderen Prozess auswirkt.

Schlaf ist einer der vielen zentralen körperlichen Prozesse, die von der circadianen Uhr stark moduliert werden. Die innere circadiane Uhrzeit beeinflusst dabei wann, wie und wie lange jemand schläft. Jetlagerfahrungen verdeutlichen jedem Reisenden, wie wesentlich die Schlafqualität und das Schlaftiming von der inneren Uhrzeit abhängen und wie wenig sie willentlich beeinflusst werden können.

1.2.2. Wochenrhythmen – exogene Steuerung

Neben Tagesrhythmen zeigen Menschen auch Wochenrhythmen. Wichtig dabei ist, dass diese im Gegensatz zu vielen der beschriebenen Tagesrhythmen nicht intrinsisch biologisch, sondern durch soziale wöchentliche Zeitstrukturen entstehen, also von außen (exogen) gesteuert sind. Durch die Einteilung der Woche in Werktage und Wochenenden verhalten sich die meisten Menschen, vor allem diejenigen, die regelmäßige Schul- und Arbeitszeiten aufweisen, entsprechend dieser Struktur. Am deutlichsten sieht man dies in den wöchentlichen Schlafmustern, die in den Gesellschaften mit Wochenstruktur auftreten [1, 25, 26]: Werktage sind dabei geprägt von durchschnittlich kürzerem und früherem Schlaf als Wochenenden, an denen durchschnittlich länger und später geschlafen wird. Besonders markant ist dies bei Jugendlichen weltweit zu beobachten (siehe **Punkt 2.1**), wobei dieses Muster aber auch bei vielen Erwachsene zu beobachten ist [27] (**Abbildung 2**).

Dieser Wechsel im Schlafmuster zwischen Arbeitstagen und freien Tagen mutet wie ein Wechsel zwischen zwei gesellschaftlichen Zeitzonen an und wurde daher Social Jetlag genannt [28]. Dieses markante Muster zeigt deutlich, dass es den meisten Menschen (die späten Chronotypen) schwerfällt, an Wochentagen früh genug zu schlafen, um vor Arbeits- und Schulbeginn ausreichend Schlaf zu

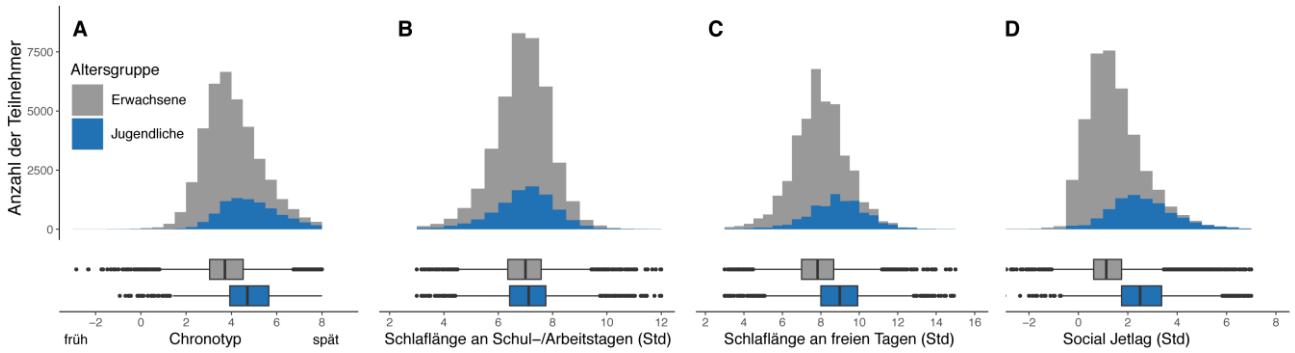

Abbildung 2. Vergleich von Schlafparametern zwischen Jugendlichen und Erwachsenen in Deutschland. *Abgebildet sind Schlafparameter aus der MCTQ-Datenbank von deutschen Jugendlichen im Alter von 14-19 Jahren (n=8.388, blau) im Vergleich zu einer >3-fach größeren deutschen Erwachsenenstichprobe im Alter von 35-50 Jahren (n=29.607, grau). Jugendliche zeigen einen späteren Chronotyp und Schlaf als Erwachsene (A). Sie schlafen genauso kurz an Schultagen wie Erwachsene an ihren Arbeitstagen trotz ihres höheren Schlafbedarfs (B). An freien Tagen schlafen Jugendliche im Durchschnitt länger als Erwachsene, was ihren erhöhten Schlafbedarf aufzeigt und ihre Fähigkeit als spätere Chronotypen Schlaf weit in den Tag hinein aufrechtzuerhalten (C). Jugendliche zeigen dementsprechend einen erhöhten Social Jetlag im Vergleich zu Erwachsenen (D), einen größeren Unterschied in ihren Schlafzeiten zwischen freien und Schultagen, ein Hinweis auf erhöhte circadiane Disruption. Oben: Histogramm-Darstellung, unten Darstellung derselben Daten in einem Boxplot nach Tukey (Box: mittlere 50% der Daten). Die Stichprobe wurde im Dezember 2020 gezogen. Quelle: Prof. Dr. Till Roenneberg; nach Winnebeck et al., 2019 [3]. Mit Erlaubnis reproduziert aus Biller 2020 [4].*

erhalten. Stattdessen muss der Schlaf an Werktagen zumeist künstlich (z.B. durch einen Wecker) beschnitten werden und am Wochenende das angehäufte Schlafdefizit wenigstens teilweise kompensiert werden (Nachschlaf). Das Konzept des Social Jetlag weist auch darauf hin, dass viele Personen (die späten Chronotypen) vor allem an freien Tagen zu späteren Schlafzeiten tendieren, die ihren circadianen Schlafrhythmen oder Präferenz eventuell besser entsprechen. Für die weniger häufigen frühen Chronotypen hingegen gilt meist das Gegenteil: sie erhalten an Schul- oder Arbeitstagen oft mehr Schlaf, dafür wird ihr Schlaf eher an freien Tagen durch gesellschaftliche Treffen am Abend beschnitten, die ihr Einschlafen verzögern, ohne dass frühe Chronotypen am nächsten Morgen hierfür durch Ausschlafen kompensieren könnten.

Soziale und biologische Zeiten stehen im modernen Alltag also häufig im Konflikt, was zur sogenannten circadianen Disruption führt, eine physiologische Stresssituation aufgrund von vorübergehender oder dauerhafter unpassender Ausrichtung innerhalb des circadianen Systems oder zwischen dem circadianen Systems und der Umwelt. **Circadiane Disruption wie Social Jetlag haben erwartbar negative Konsequenzen für die Schlafqualität, sowie für Gesundheit und Leistungsfähigkeit** [21-24].

1.2.3. Jahresrhythmen – endogene/exogene Steuerung

Während Jahresrhythmen im Tierreich weit verbreitet sind und oft mit dominanten jahreszeitlichen Veränderungen in Physiologie und Verhalten einhergehen (z.B. Paarungszeit, Vogelzug, Winterschlaf), ist deren Existenz beim Menschen weit weniger eindeutig. Nichtsdestotrotz gibt es einige Hinweise auf Jahresrhythmen auch beim Menschen, vor allem in höheren Breitengraden, wo jahreszeitliche Schwankungen in Sonnenlicht und Temperatur stärker ausgeprägt sind als in den Tropen. So finden sich zum Beispiel Jahresrhythmen in Infektionskrankheiten (mehr Infekte im Winter [29]), psychischer Gesundheit (z.B. saisonale Depression [30], Stimmung und Kognition [31, 32]), Schulabsenzen [33] sowie Schlaf [34-39]. Bei letzterem unterscheiden sich die Berichte stark je nach Altersgruppe und Region, aber im Allgemeinen scheinen Menschen im Winter tendenziell länger und später zu schlafen als im Sommer.

Womöglich waren Jahresrhythmen in vorindustriellen Zeiten stärker ausgeprägt, aber mit zunehmender Abschirmung von jahreszeitlichen Umweltveränderungen (Sonnenlicht, Temperatur, etc.) durch neue Gebäudestrukturen, Heizung und elektrischem Licht wurden diese abgeschwächt oder sind gänzlich verschwunden [40-42]. Es gilt daher zu betonen, dass beim Menschen nicht klar ist, ob die Jahresrhythmen teilweise von einer inneren Jahresuhr (circaannuale Uhr) gesteuert werden oder allesamt eine direkte Reaktion auf die sich jahreszeitlich verändernden Umweltbedingungen darstellen.

Viele beobachtbare Veränderungen im Jahresverlauf beim Menschen, beispielsweise beim Schlaf, könnten hierbei aus veränderter *circadianer* Synchronisation herrühren. Die vermehrte Lichtexposition tagsüber im Sommer [z.B. 37, 43] (durch frühere Sonnenaufgänge, stärkere Sonneneinstrahlung und vermehrten Aufenthalt im Freien) begünstigen generell eine frühere circadiane Taktung oder früheren Chronotyp beim Menschen, wohingegen die verminderte Lichtexposition im Winter eine spätere Taktung oder späteren Chronotyp wahrscheinlicher macht [44-47]. **Saisonale Veränderungen in circadianen Rhythmen durch saisonale Lichtveränderungen [36, 37, 48] sollten daher unbedingt Eingang in die Planung von gesellschaftlichen Zeitstrukturen wie Schulstartzeiten finden.**

1.2.4. Mondrhythmen – endogene/exogene Steuerung

Der Vollständigkeit halber möchten wir aufführen, dass dieselbe Unklarheit wie bei Jahresrhythmen auch auf Mondrhythmen zutrifft, deren Existenz im Menschen zwar oft im Alltag postuliert aber bisher, trotz vieler Versuche, nur in wenigen Erhebungen in schwacher Ausprägung gezeigt werden konnte [49-53]. Auch hier ist es nicht klar, ob der Mensch unter bestimmten äußeren Bedingungen lediglich auf das Mondlicht reagiert oder es ein endogenes (inneres) Uhrensystem gibt, das sich mit dem Mond synchronisieren kann, wie in manchen Tierarten klar nachgewiesen [54]. Die wenigen bisher belegten Beschreibungen von Mondrhythmen beim Menschen zeigen kleine Veränderungen im Schlaf [49, 50], sowie der teilweisen Synchronisation des weiblichen Menstruationszyklus [52] oder komplizierte Muster bei psychiatrischen Erkrankungen [53]. **Für die Schulplanung spielen Mondrhythmen zum aktuellen Stand der Forschung daher keine nennenswerte Rolle.**

1.3. Einschätzung zur Aussagekraft der Chronobiologie bezüglich des schulischen Tages-, Wochen- und Jahresrhythmus

Wie oben beschrieben zeigt der Mensch vielfältige biologische Rhythmen. In dieser zeitlichen Organisation von Physiologie und Verhalten stellen die circadianen Rhythmen die dominanteste und am besten erforschte Komponente dar. **Die Aussagekraft der Chronobiologie zur Schulzeitgestaltung liegt daher momentan vorranging bei den tageszeitlichen circadianen Prozessen und ist dort auch besonders stichhaltig.** Hierunter fallen Empfehlungen zur täglichen Organisation des Schulalltags (z.B. Schulanfangszeiten, Prüfungszeiten) und Verbesserungen für die Lichtexposition in der Schule für eine optimale circadiane Synchronisation (**Punkt 3**).

Die Aussagekraft der Chronobiologie zur Wochenorganisation beruht nicht auf einem biologischen Wochenrhythmus, sondern auf dem Einfluss der gesellschaftlichen Wochenstruktur auf das menschliche Verhalten und damit indirekt auf den Schlaf, die Lichtexposition und die circadiane Biologie. Daher kann die Chronobiologie zum schulischen Wochenrhythmus über den Punkt der täglichen Schulstartzeiten und der Reduktion von circadianer Disruption und Schlafmangel (durch Anpassung zwischen Schul-, Wochenend- und Ferienzeiten) informativ beitragen.

Im Gegensatz hierzu kann die Chronobiologie jedoch keine direkte Aussage darüber treffen, ob eine 7/2-Wochenrhythmisierung (7 Wochen Unterricht gefolgt von 2 Wochen Ferien), wie sie in der Französischen Gemeinschaft Belgiens eingeführt wurde, zu bevorzugen wäre. Diese Empfehlung der Kollegen Cavet [55, p.9] und Testu [z.B. 56] liegt unserer Einschätzung nach nicht in der evidenzbasierten Chronobiologie begründet (vgl. **Punkt 5**), sondern muss sich aus anderen Erkenntnissen ableiten.

Die Aussagekraft der Chronobiologie zu Jahresrhythmen in der Schulorganisation basiert bisher ebenso hauptsächlich auf den täglichen circadianen Rhythmen wie dem Schlaf-Wach-Rhythmus. Diese werden beeinflusst durch die jahreszeitlichen Veränderungen im Sonnenlicht und sollten daher bei der Schulzeitgestaltung mit einberechnet werden. Jahresrythmen in der kognitiven Leistungsfähigkeit, wie sie für das Bildungswesen relevant wären, sind bisher erst selten beschrieben und erforscht, sodass sie in unseren Augen noch nicht fundiert in chronobiologische Ansätze Eingang finden können.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die circadiane Uhr trotz ihrer endogenen, genetischen Steuerung in starker Wechselwirkung mit ihrer Umwelt steht. Darum sind äußere Bedingungen (z.B. Lichtexposition, Arbeits- und Schulzeiten, Essenszeiten) wesentlich für ihr optimales Funktionieren und einen kurz- und langfristig gesunden, leistungsfähigen Organismus. **Gesellschaftliche Zeitstrukturen wie Schulzeiten sollten daher unbedingt diese biologischen Tagesrhythmen berücksichtigen und die Möglichkeit für einen gesunden und regelmäßigen Schlaf schaffen.**

2. Warum sollte die Chronobiologie mehr Beachtung bei der Schulzeitgestaltung finden?

2.1. Diskrepanz zwischen täglichen Schulstartzeiten und dem Chronotyp von SchülerInnen

Wie unter **Punkt 1.2** beschrieben, gibt es inter-individuelle Unterschiede in der Taktung von circadianen Rhythmen, die dazu führen, dass Menschen verschiedene Chronotypen aufweisen. Individuen unterscheiden sich also z.B. in dem Timing ihres Schlaf-Wach-Rhythmus, ihrer Produktion von Hormonen wie Melatonin oder ihrer maximalen kognitiven und physischen Leistungsfähigkeit. Die Faktoren, die den Chronotyp beeinflussen sind vielfältig, neben Genetik und Lichtexposition ist ein wesentlicher Faktor das Alter (**Abbildung 3**).

Während junge Kinder im Kindergarten- und Vorschulalter meist frühe Chronotypen sind und früh einschlafen und aufwachen, verspätet sich der Chronotyp graduell während der Schulzeit und besonders drastisch während der Pubertät, mit Schlafzeitverschiebungen um mehrere Stunden. Im jungen Erwachsenenalter zwischen 19-21 Jahren findet der Chronotyp dann seinen Höhepunkt in der „Spätheit", worauf die Schlafzeiten wieder graduell früher werden [57-60] (**Abbildung 3**).

Die exakten Schlafzeiten von der Kindheit bis zum Erwachsenenalter unterscheiden sich erwartungsgemäß zwischen einzelnen Ländern (u.a. aufgrund von kulturellen, geographischen und klimatischen Unterschieden), aber zeigen weltweit dasselbe Muster einer rapiden Verspätung während der Adoleszenz von 2-3 Stunden zwischen 11 und 18 Jahren [27, 61].

Die Gründe für diese länder- und kulturübergreifende Verspätung während der Adoleszenz sind noch nicht vollständig geklärt, die hormonelle Entwicklung während der Pubertät scheint aber eine

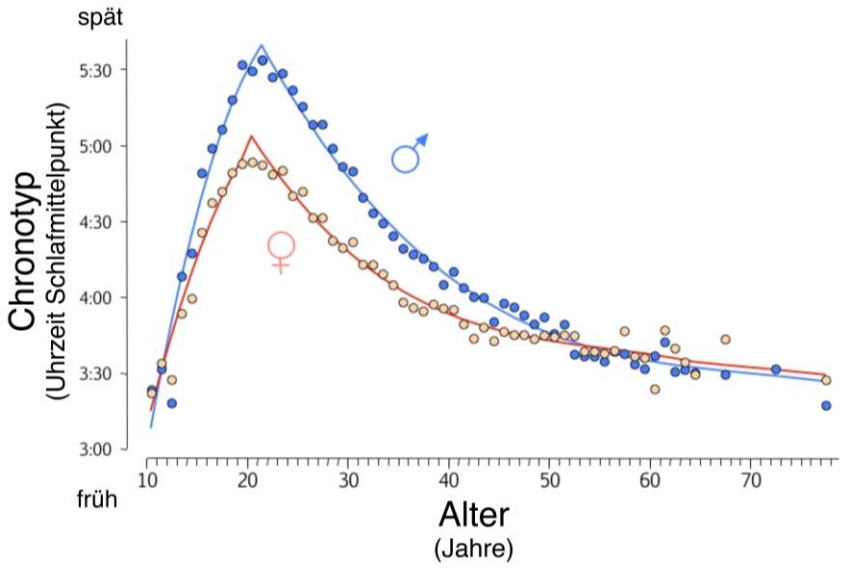

Abbildung 3. Chronotyp und Schlafzeiten verändern sich mit dem Alter. *Abgebildet ist die typische Altersentwicklung im Chronotyp von Mädchen/Frauen (rot) und Jungen/Männern (blau), hier aus der MCTQ-Datenbank bestimmt anhand des Nachschlaf-korrigierten Schlafmittelpunktes an freien Tagen. Der Chronotyp verspätet sich markant im Alter zwischen 10 und 20 Jahren (in dieser Stichprobe im Mittel um 1.7 Std bei Mädchen und 2.5 Std bei Jungen). Der Chronotyp erreicht gegen Ende der Adoleszenz seinen Höhepunkt und wird im Laufe des Lebens wieder früher. Um das Ende der Menopause herum verschwinden die Unterschiede zwischen Männern und Frauen weitgehend. Quelle: Abbildung reproduziert mit Erlaubnis von Prof. Dr. Till Roenneberg (unveröffentlicht).*

signifikante Rolle zu spielen [62]. Insgesamt deuten Studien auf ein komplexes Zusammenspiel [2, 60] hin zwischen

- biologischen Faktoren, wie Veränderungen im circadianen System (z.B. Lichtsensitivität) und in der Schlafhomöostase (z.B. langsamerer Aufbau von Schlafdruck tagsüber), und

- psychosozialen/umweltbedingten Faktoren, wie die Nutzung von sozialen Medien am Abend, geringerem Einfluss der Eltern auf Bettzeiten und Leistungs- und Arbeitsdruck (Trainingszeiten, Hausaufgaben usw.) (**Abbildung 4**).

Die markante Verspätung des Chronotyps während des gesamten Heranwachsens (ca. 4 Stunden von der Kindheit bis zur Jugend [63]) wird in der Schulorganisation nur selten berücksichtigt. Trotz der sich besonders drastisch verspätenden Schlafzeiten in der Adoleszenz liegt der Schulbeginn meist gleichbleibend früh (in Europa durchschnittlich zwischen 7:30 und 9:00 Uhr; [64]). Dies kreiert eine Situation des „Perfect Storm" [2], eine maximal ungünstige Situation, in der das durch bioregulatorische und umweltbedingte Faktoren herbeigeführte späte Schlaffenster mit frühen Schulstartzeiten zusammentrifft (**Abbildung 4**). Diese schlafbeschneidende Kombination tritt ausgerechnet zu einer hochvulnerablen Zeit der physischen, kognitiven und emotionalen Entwicklung und Hirnreifung auf, für deren optimalen Verlauf ausreichend und gesunder Schlaf essentiell ist [65, 66]. **Der markanten Verspätung während der Adoleszenz sollte daher unbedingt in Form von angepassten Schulanfangszeiten Rechnung getragen werden, um eine gesunde Entwicklung zu ermöglichen.**

Chronotyp ist altersabhängig. Während der Adoleszenz verspätet er sich stark, so dass junge Erwachsene die spätesten Schlafzeiten aller Altersgruppen aufweisen. Diese Verspätung findet sich länder- und kulturübergreifend und ist auf eine Kombination von biologischen und sozialen Ursachen zurückzuführen.

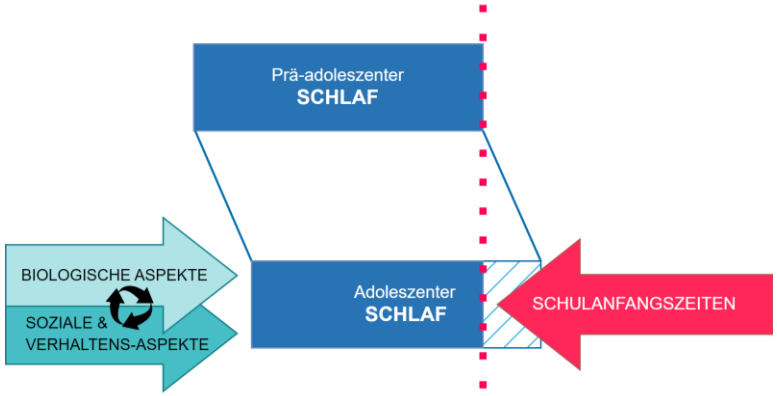

Abbildung 4. Ursachen des chronischen Schlafmangels bei Jugendlichen. *Jugendliche sind weltweit besonders von Schlafmangel betroffen. Die Wechselwirkung der Hauptursachen für den zu kurzen Schlaf vor allem an Schultagen sind in diesem Schema dargestellt. Während der Adoleszenz verspätet sich der Schlaf im Durchschnitt um mehrere Stunden aufgrund von Veränderungen in der Bioregulation von Schlaf (Chronotyp und Schlafhomöostase) sowie von Veränderungen im Verhalten (durch psychischen, schulischen, gesellschaftlichen und sozialen Anreizen und Druck). Schulanfangseiten sind für diese weltweit zu beobachtende Schlafverspätung im Jugendalter zumeist zu früh und verkürzen somit den Schlaf von Jugendlichen drastisch unter den empfohlenen täglichen Schlafbedarf von 8-10 Stunden. Quelle: Grafik angelehnt an das Perfect Storm Model von Crowley et al. 2018 [2].*

2.2. Schlafmangel und circadiane Disruption bei SchülerInnen

Im Durschnitt benötigen Jugendliche nach aktuellem wissenschaftlichem Konsens zwar weniger Schlaf als jüngere Kinder, jedoch immer noch zwischen **8-10 Stunden Schlaf** täglich [67, 68]. **Dieser Schlafbedarf wird aktuell weltweit vor allem an Schultagen nur selten erfüllt, was auf eine besorgniserregende Epidemie chronischen Schlafmangels bei Jugendlichen hinweist** [27, 59, 69-72]. Als Beispiel seien hier zwei Arbeiten genannt: Eine Übersichtsarbeit, die die Schlafdaten von Jugendlichen aus 41 Studien in Europa, USA, und Asien zusammenfasst [27], zeigt, dass 53% der SchülerInnen in der Gesamtstichprobe kürzer als 8 Stunden an Schultagen schliefen, d.h. die Hälfte der SchülerInnen waren von chronischem Schlafmangel betroffen. Eine aktuellere Studie [59] verglich die Daten aus national repräsentativen Kohorten von 11-15 Jährigen aus 24 europäischen und nordamerikanischen Ländern. Hier reichte die Prävalenz von unzureichender Schlafdauer (< 8 oder 9 Stunden je nach Altersgruppe) an Schultagen von 68% in Polen bis 24% im flämischen Belgien. In dieser Studie wurde allerdings nicht zwischen Bettgehzeit und Einschlafzeit unterschieden, was die Schätzungen der Schlafdauer je nach Kultur und Schlafstruktur stark beeinflussen kann. Wenn die Einschlaflatenz (Zeit zwischen Bettgehzeit und Einschlafzeit) in der belgisch-flämischen Kohorte mitberücksichtigt wurde, stieg die Prävalenz von unzureichender Schlafdauer (Schlafdauer unter 8 Stunden) von 24% auf die leider als akkurater anzunehmenden 58% [73].

Chronischer Schlafmangel ist allerdings nicht das einzige Problem aus der Diskrepanz zwischen täglichen Schulzeiten und dem Chronotyp von SchülerInnen. **Zusätzlich zeigen Jugendliche auch Formen von circadianer Disruption wie dem Social Jetlag, welcher während der Jugend stark zunimmt** [17, 63]. Dies äußert sich in einem „Springen" zwischen einer Schultageszeitzone mit früherem (kurzem) Schlaf und einer Wochenendzeitzone, mit späterem (längerem) Schlaf, was den Konflikt zwischen dem intrinsischen Schlafbedürfnis und dem schulzeittechnisch geforderten Schlaf klar illustriert: Jugendlichen fällt es besonders schwer, während der Schulwoche genügend früh zu schlafen und ihre interne circadiane Taktung vorzuverschieben (siehe **Punkt 2.1** für die zugrundeliegenden Faktoren,). Ihr Schlaf wird daher an Schultagen nicht nur künstlich beschnitten, sie müssen auch innerhalb ihrer biologischen (circadianen) Nacht nahe ihres Körpertemperatur- und kognitivem Minimums aufstehen und den Unterricht besuchen. Das nötige Ausschlafen am Wochenende verbindet sich dann mit ihrer chronotyp-bedingten Tendenz zu späterer circadianer Taktung und verspätet ihre circadianen Rhythmen zusätzlich durch die spätere Lichtexposition, was die Situation unter der Woche zusätzlich verschärft und zu unregelmäßigem Schlaf und Lichtexposition führt.

Verstärkt werden die Tendenzen von chronischem Schlafmangel und circadianer Disruption noch durch sozio-ökonomische Faktoren (z.B. die Schlafqualität von Kindern aus Familien mit niedrigem sozioökonomischem Status ist oft schlechter [74, 75]; und durch ungünstige geographische Standorte innerhalb einer Zeitzone (Diskrepanz Sonnenstand und lokaler Uhrzeit ist im Westen einer Zeitzone größer).

Innerhalb der Gruppe der SchülerInnen leiden vor allem Jugendliche weltweit unter chronischem **Schlafmangel**. Sie erfüllen ihren täglichen Schlafbedarf von 8-10 Stunden nur sehr selten, vor allem nicht an Schultagen. Der Hauptgrund sind frühe Schulanfangszeiten, die den besonders späten Schlafzeiten von Jugendlichen diametral entgegenstehen.

2.3. Folgen von Schlafmangel und circadianer Disruption

2.3.1. Kognitive Leistungsfähigkeit

Schlafmangel hat klare negative Auswirkungen auf die kognitive Leistungsfähigkeit. Er reduziert Aufmerksamkeit und Konzentration wesentlich und beeinträchtigt die Gedächtnisbildung, sowohl deklarativer als auch prozeduraler Inhalte [76]. Auch höhere kognitive Aufgaben sind erschwert; auch wenn sie auf den ersten Blick unter Schlafmangel keinen offensichtlichen Leistungseinbruch zeigen, können sie nur unter einer weitaus erhöhten Anstrengung bewerkstelligt werden [77]. Außerdem muss angenommen werden, dass Kinder und Jugendliche durch frühes Wecken überproportional an REM-Schlaf (rapid eye movement sleep) verlieren, da dieser vermehrt am biologischen Morgen und somit am Ende einer nächtlichen Schlafepisode auftritt. Es wird vermutet, dass REM-Schlaf eine besondere Rolle für kognitive Prozesse wie kreatives Denken und Problemlösen sein könnte [76] als auch der Modulation von affektiven neuronalen Netzwerken dient [78], die unter anderem für die Emotionskontrolle zuständig sind.

Da kognitive Leistung auch circadian gesteuert ist, spielt auch die circadiane, innere Uhrzeit eine Rolle, wobei die geringste Leistungsfähigkeit in der zweiten Hälfte der biologischen Nacht auftritt. Laborexperimente zeigen hier, dass bei akutem Schlafmangel – und noch mehr bei chronischem Schlafmangel – die circadiane Uhrzeit besonders an Bedeutung gewinnt [79, 80]. Daher muss man bei einer frühen Schulstartzeit bei späten Chronotypen von einer maximal ungünstigen Verbindung beider Faktoren ausgehen, wobei die stärksten Leistungseinbußen in den ersten Unterrichtsstunden auftreten.

So ist es nicht verwunderlich, dass chronischer Schlafmangel bei Schülerinnen und Schülern mit schlechteren Noten assoziiert ist [81, 82]. Die negativen Effekte von Social Jetlag auf die kognitive Leistungsfähigkeit sind ähnlich und es besteht auch hier ein Zusammenhang mit schlechterer Schulleistung [83].

Schlafmangel und circadiane Disruption (z.B. in Form von Social Jetlag) bei SchülerInnen **behindern den Lernerfolg** und damit die Wirksamkeit von Schule.

2.3.2. Gesundheit

Schlechter oder zu wenig Schlaf birgt sowohl akute Risiken für die Gesundheit wie z.B. Anstiege der Fehler- und Unfallrate und erhöhte Stimmungsschwankungen **als auch zahlreiche langfristige Gesundheitsrisiken** wie erhöhtes Risiko für Herz-Kreislauf-, Stoffwechsel- und Immunkrankheiten oder psychische und neurologische Erkrankungen [21, 22, 24]. Auch affektive Parameter sind durch Schlafmangel beeinflusst, wie eine reduzierte emotionale Kontrollfähigkeit, depressivere Stimmung, Stimmungsschwankungen oder auch reduzierte Motivation und Resilienz [84]. Die gesellschaftlichen Kosten durch ungenügend oder schlechtem Schlaf werden daher in OECD Ländern auf 1.4-2.9% des Bruttoinlandsprodukt geschätzt [85].

Speziell auf Jugendliche bezogen verdichtet sich die Evidenz zu ähnlichen Zusammenhängen zwischen Schlafmangel und akuten und langfristigen Gesundheitsrisiken [65, 86, 87]. In der vulnerablen Zeit der Adoleszenz sind hier vor allem die Risiken für die psychische Gesundheit zu nennen, wie Angststörungen und Depression, Selbstverletzung, Suizidgedanken und Suizid sowie die Zunahme

von risikoreichem Verhalten wie Alkohol- und Drogenkonsum, Sexualverhalten, Aggression und rücksichtslosem Fahrstil. In Kindern mehren sich hingegen besonders die Berichte zu Zusammenhängen mit Adipositas, ein Zusammenhang, der sich auch in Jugendlichen weiter herauskristallisiert [88, 89]. Ebenso wird auch circadiane Disruption mit zahlreichen Gesundheitsproblemen in Verbindung gebracht, die sich häufig mit den Folgen des Schlafmangels überschneiden, wie erhöhtes Risiko für depressive Stimmung, Herz-Kreislauf- und Stoffwechselkrankheiten [21, 24]. Epidemiologische Studien zu Zeitzonen zeigen auch, dass eine westlichere Lage innerhalb der Zeitzone, d.h. frühere Schul- und Arbeitszeiten unter der Woche im Vergleich zur Sonnenzeit, mit einer höheren gesundheitlichen Belastung, erhöhter Krebsrate und größerer Anzahl an Verkehrstoten einhergeht [90-94]; auch hier wird als Ursache erhöhter Schlafmangel sowie erhöhter Social Jetlag angenommen.

Trotz der negativen Assoziationen von circadianer Disruption wie Social Jetlag muss betont werden, dass der Nachschlaf (das sogenannte Ausschlafen) am Wochenende, obwohl er den Social Jetlag formal weiter erhöht, essentiell zu sein scheint, um die Gefahren aus dem wöchentlichen Schlafmangel zu mindern. So wurde bei Erwachsenen, aber bereits teilweise auch Kindern und Jugendlichen, gezeigt, dass diejenigen, die am Wochenende länger schlafen, verbesserte Schläfrigkeit, Kortisolspiegel und Zuckerhaushalt, niedrigeres Risiko für Unfälle, Bluthochdruck und Adipositas und generell höhere Lebenserwartungen zeigen [95, 96 und darin enthaltene Referenzen]. **Von Maßnahmen, die den kompensatorischen Wochenendschlaf verkürzen, um dafür die Rhythmik zu stabilisieren, sollte daher unbedingt abgesehen werden solange der Schlafmangel unter der Woche nicht durch andere Maßnahmen behoben werden kann.**

Schlafmangel und circadiane Disruption (z.B. in Form von Social Jetlag) stellen ernstzunehmende **Gesundheitsrisiken** für SchülerInnen dar. In der turbulenten Zeit des körperlichen und geistigen Heranwachsens in der Adoleszenz erhöhen sie u.a. die psychische Vulnerabilität und Risikobereitschaft.

2.4. Zusätzliche Folgen für besonders späte Chronotypen innerhalb einer Alterskohorte

Obwohl alle Jugendlichen im Durchschnitt und im Vergleich zu Erwachsenen oder Kindern einen späten Chronotyp aufweisen, gibt es auch unter den Jugendlichen individuelle Unterschiede. Diese individuellen Unterschiede werden in Schulen bisher selten berücksichtigt; die beinahe durchgängig frühen Schulstartzeiten (zwischen 7:30 und 9:00 Uhr; [64]) benachteiligen ganz besonders die sehr späten Chronotypen. Die potentiellen Folgen dieser Ungleichheit aufgrund des Chronotyps sind vielfältig, können schon bei Kindern beobachtbar sein, aber sind besonders während der Adoleszenz (ca. 12-23 Jahre) relevant, weil der Chronotyp sich in diesen Jahren besonders drastisch verzögert.

Prä-adoleszente Kinder (ca. 4-11 Jahre)

Die Literatur in dieser Altersgruppe ist noch spärlich (nur wenige Einzelstudien), was die Schlussfolgerungen einschränkt. Die wenigen verfügbaren Studien haben jedoch erste Hinweise darauf gefunden, dass

- individuelle Unterschiede im Chronotyp bereits bei Kleinkindern auftreten [97, 98];
- die Verzögerung der Schlafzeiten bereits in jüngeren Jahren beginnen kann [99];
- ein später Chronotyp bereits bei Kindern mit Verhaltensauffälligkeiten und emotionalen Problemen, Schulleistungsdefizite, Übergewicht und metabolischen Risiken in Verbindung gebracht wird [100-104].

Jugendliche (ca. 12-19 Jahre)

Für die Altersgruppe der Jugendlichen gibt es mehr wissenschaftliche Studien und Erkenntnisse. Zahlreiche Studien haben Zusammenhänge zwischen Chronotyp und Gesundheit, Schulverhalten und Schulleistung untersucht und zeigen, dass

- späte Chronotypen an Schultagen kürzer schlafen, mehr Schlaf am Wochenende nachholen, und mehr Social Jetlag aufweisen [105]
- ein später Chronotyp häufig mit verschiedenen psychischen und physischen Gesundheitsproblemen in Verbindung steht [106], unter anderem mit einem höheren Risiko für affektive Störungen (z. B. Depressionen und Angstzustände), Zigaretten- und Alkoholkonsum, Videospiel- und Computersucht [107] sowie mit einem höheren Risiko für Fettleibigkeit und schlechten Ernährungsgewohnheiten [108]
- späte Chronotypen eher zu spät zur Schule kommen, eher den Unterricht versäumen, weil sie häufiger krank sind oder vom Unterricht ausgeschlossen werden (z.B. wegen schlechten Benehmens) [109], eher aggressives und antisoziales Verhalten zeigen [110], weniger positive Emotionen, Motivation und mehr Aufmerksamkeitsprobleme während des Unterrichts haben, was sich wiederum auf ihr Lernverhalten und, zusammen mit der unregelmäßigeren Anwesenheit in der Schule, auf ihre schulischen Leistungen auswirken könnte [107, 109]
- späte Chronotypen im Durchschnitt schlechtere Noten erhalten [111], besonders wenn sie die Prüfungen früh am Morgen (zu einer für ihre innere Uhr ungünstigen Zeit) und in naturwissenschaftlichen Fächern (z.B. Mathematik) schreiben müssen [112]

Obwohl Kindergarten- und PrimarschülerInnen durchschnittlich eher frühe und jugendliche SchülerInnen durchschnittlich wesentlich spätere Chronotypen aufweisen, bestehen innerhalb jeder Alterskohorte interindividuelle Unterschiede. Diese Unterschiede können zu **systematischen Benachteiligungen** in der Schule führen, wenn Unterrichts- und Prüfungszeiten nur für manche SchülerInnen regelmäßig auf ungünstige Zeiten (innerhalb oder nahe ihrer biologischen Nacht) und Schlafmangel treffen. Solche Benachteiligungen sind vor allem für relativ **späte Chronotypen** der Fall.

2.5. Zusammenfassung

Eine Berücksichtigung der Chronobiologie bei der Schulzeitgestaltung ist für alle Altersgruppen relevant, gewinnt aber während der Sekundarstufe eine besondere Bedeutung, da Jugendliche besonders späte Schlafzeiten aufweisen, welche mit den druchgängig frühen Schulstartzeiten drastisch kollidieren. Dies führt zu einem weltweit verbreiteten Schlafmangel, der ernstzunehmende Risiken für die Leistung und die Gesundheit der SchülerInnen birgt. Die allermeisten Jugendlichen scheinen von diesem Problem betroffen zu sein, wobei besonders späte Chronotypen stärker benachteiligt sind. Es ist wichtig darauf hinzuweisen, dass die Literatur zu diesem Thema bei Kindern im prä-adoleszenten Alter noch zu spärlich ist, um eine Empfehlung zur entsprechenden Schulorganisation für diese Altersgruppe abzugeben. Darüber hinaus sind Kinder trotz der bereits im frühen Alter vorhandenen individuellen Unterschiede und durchaus vorhandenen Schlafproblemen im Durchschnitt frühere Chronotypen als Jugendliche, so dass die auf dem Chronotyp beruhenden Ungleichheiten in der Pubertät dringender zu behandeln sind. **Ungleichheiten aufgrund des Chronotyps könnten verringert werden, wenn der Chronotyp bei der Planung der Schulzeiten berücksichtigt wird.** Wie dies gelingen könnte, wird in den folgenden Abschnitten näher erläutert.

3. Konkrete Ansatzpunkte in der chronobiologischen Schulzeitgestaltung

3.1. Überblick

Aus den oben genannten Erläuterungen unter **Punkt 1** und **2** ergeben sich mehrere mögliche Ansatzpunkte für eine chronobiologische Schulzeitgestaltung, um Schlaf und circadiane Gesundheit zu fördern und Lernen und Entwicklung zu stärken (**Abbildung 5**).

A. Angemessene Wahl der täglichen Schulanfangszeiten
um dem Schlafmangel von (vor allem) jugendlichen SchülerInnen durch frühe Schulanfangszeiten entgegenzuwirken und Benachteiligung von besonders späten Chronotypen zu minimieren

B. Verbesserung der Lichtexposition im Schulalltag
um die circadiane Rhythmik und den Schlaf zu unterstützen

C. Beachtung der jahreszeitlichen Verfügbarkeit von Tageslicht für die Planung von täglichen Schulanfangszeiten und Ferienzeiten
um die unter A und B genannten Punkte zu optimieren

D. Einbeziehung der Tagesrhythmik kognitiver Leistungsfähigkeit bei der Stundenplangestaltung
um die Benachteiligung besonders später Chronotypen zu minimieren

E. Edukation und Förderung von gesundem Schlaf- und circadianem Verhalten
um SchülerInnen in ihrem individuellen gesunden Verhalten zu unterstützen (Verhaltensprävention und Steigerung der Gesundheitskompetenz (Health Literacy))

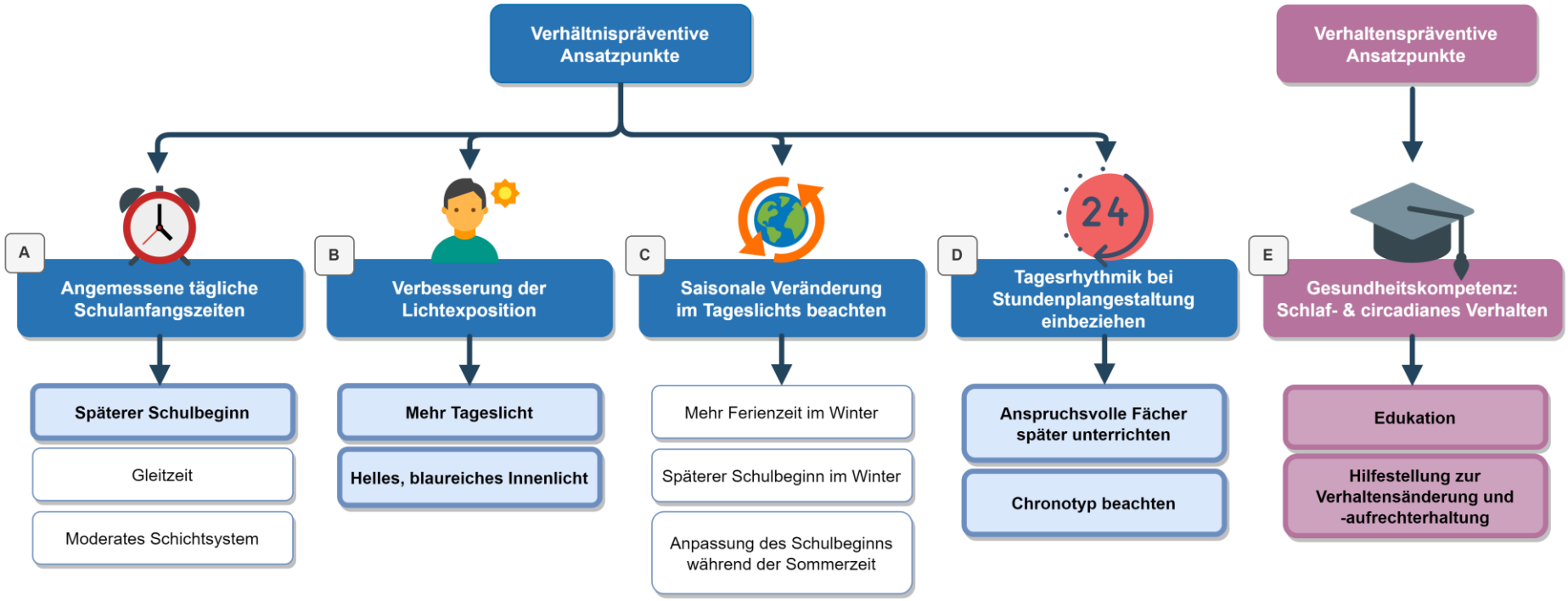

Abbildung 5. Ansatzpunkte bei der chronobiologischen Schulzeitgestaltung. *Graphische Übersicht der möglichen Ansatzpunkte, unterteilt in verhältnispräventive (blau) und verhaltenspräventive Ansätze (lila). Einzelne Maßnahmen unter den Ansätzen sind durch eine dickere Umrahmung und Hintergrundfarbe hervorgehoben, wenn es sich um eine gute bis sehr gute Evidenzlage handelt.*

3.2. Ansatzpunkt A: Angemessene Wahl der täglichen Schulanfangszeiten

Der aktuell weltweit am meisten erforschte und umgesetzte Ansatz zur chronobiologischen Schulzeitgestaltung ist die **Anpassung des täglichen Schulbeginns in Richtung der Schlafzeiten der SchülerInnen, d.h. im Normalfall eine Verspätung des oft frühen morgendlichen Schulstarts**. Das Ziel ist, ein längeres und circadian passenderes Schlaffenster zu ermöglichen (Steigerung der Schlaflänge und Schlafqualität), den Bedarf des „Nachschlafens" am Wochenende zu senken (Erhöhung der Schlafregelmäßigkeit, Verringerung circadianer Disruption) sowie den Unterricht zu einer kognitiv und biologisch angepassten Zeit darzubieten (Ziel: Chronotyp-angepasste Lernzeiten).

Da der Konflikt zwischen frühen Schul- und späten Schlafzeiten im Alter zwischen ca. 12-25 Jahren am stärksten ausgeprägt ist (**Punkt 2.1**), ist die Verspätung des Unterrichtsbeginns in dieser Altersgruppe am vielversprechendsten und findet hier daher auch zunehmend Anwendung. Vor allem in den USA, wo Schulstartzeiten in fast 50% der Sekundarschulen 2011-2012 vor 8 Uhr lagen [113], gibt es aktuell immer mehr Schulbezirke, die die Schulanfangszeiten ihrer Sekundarstufe (Middle und High Schools) nach hinten verlegen. So gibt es in Kalifornien seit 2019 bereits gesetzliche Maßnahmen, die einen Schulbeginn vor 8:30 Uhr in High Schools verbieten [114]. Die American Academy of Pediatrics empfiehlt bereits seit 2014, die American Academy of Sleep Medicine seit 2017 einen **Schulbeginn für Teenager ab frühestens 8:30 Uhr, um Gesundheit und Leistungsfähigkeit der jugendlichen SchülerInnen zu schützen** [115-117].

Evidenz - allgemein

Der Umfang der wissenschaftlichen Literatur, die die Zusammenhänge von Schulstartzeiten und Schlaf, Wohlbefinden, Gesundheit, akademische Leistung, u.a. untersucht, ist seit dem Forschungsbeginn in den 1990ern mittlerweile substantiell und stetig steigend. Die überragende Mehrheit an Studien betrachtete dabei bisher einen auf eine bestimmte Uhrzeit festgelegte früheren oder späteren täglichen Unterrichtsbeginn; im Durchschnitt betrug der Unterschied in der Startzeit ca. eine Stunde [siehe z.B. 118] zwischen mehrheitlich 7:00-9:30 Uhr (7:00-18:00 in Schichtstudien; **Punkt 3.2.1**). Die meisten Studien erhoben Daten in den USA, aber es mehren sich auch Untersuchungen in Asien, Südamerika und Europa (z.B. Deutschland, Kroatien, England, Norwegen) [118]. Die Untersuchungen betreffen alle die Sekundarstufe; für die Primarstufe sind uns derzeit keine Studien bekannt.

Evidenz in Bezug auf Schlaf

Mehrere Übersichtsarbeiten [82, 116, 117, 119-121] sowie die neuesten Einzelstudien [z.B. 122, 123, 124] zum Zusammenhang zwischen späteren Schulanfangszeiten und Schlaflänge, Schlafqualität und Schlaftiming zeigen mehrheitlich positive Effekte. Hierbei werden spätere Schulanfangszeiten mit

- längerer Schlafdauer
- besserer Schlafqualität
- weniger Müdigkeit
- weniger Nachschlaf am Wochenende und circadianer Disruption (Social Jetlag)

in Verbindung gebracht.

Dies trifft nach vorläufigem Stand sowohl für Mädchen als auch Jungen zu, und schließt sowohl frühere als auch spätere Chronotypen mit ein. Dabei verändern sich entgegen vielen Befürchtungen die Einschlafzeiten im Allgemeinen nicht wesentlich: die SchülerInnen schlafen zur ungefähr selben

Zeit ein, können aber später aufwachen und erreichen dadurch eine längere Gesamtschlafdauer. Die Beständigkeit dieser Effekte ist noch nicht abschließend geklärt und bedarf noch mehr longitudinalen Untersuchungen, allerdings zeigen neueste Studien vielversprechende Ergebnisse [122, 124, 125]. Studien, die Schichtsysteme untersuchten (Morgenschicht, Nachmittagsschicht, Abendschicht; **Punkt 3.2.1**), und damit die größten Unterschiede in Anfangszeiten über teils längere Zeiträume, zeigten durchwegs, dass Jugendliche in den späteren Schichten für das Alter entsprechend die empfohlene Schlaflänge und weniger bis gar keine circadiane Disruption aufwiesen [126-134].

Evidenz in Bezug auf Gesundheit

Zusätzlich zu den Schlafverbesserungen verdichtet sich die Evidenz, dass eine Verspätung des täglichen Schulbeginns in der Sekundarstufe mit

- mehr Wohlbefinden und besserer Stimmung
- weniger Verkehrsunfällen (v.a. in USA, wo viele Sekundar-SchülerInnen selbst mit dem Auto zur Schule gelangen)

einhergeht [82, 116].

Evidenz in Bezug auf schulische Parameter

Studien untersuchten außerdem verschiedene Arten von Leistung bzw. damit assoziiertem Verhalten im Zusammenhang mit Schulstartzeiten. Beispielsweise wurden

- verringertes Zuspätkommen
- verringerte Absenzen
- verringertes Risiko, eine Klasse wiederholen zu müssen (Verfehlung des Klassenziels)
- sowie verbesserte subjektive Konzentrationsfähigkeit und Lernqualität

festgestellt, wenn die Schule später begann, oder wenn das Lernfenster während der Schulzeit dem Chronotyp angepasst wurde.

Ob ein späterer Schulbeginn am Morgen auch die Schulnoten oder standardisierte Testergebnisse der Jugendlichen verbessert, wie es aus der Grundlagenforschung zum Zusammenhang von Schlaf und kognitiver Leistungsfähigkeit anzunehmen ist, ist nach der aktuellen Studienlage noch unklar (siehe z.B. eine systematische Übersichtsarbeit von Biller et al., 2021 und Yip et al., 2022). Aufgrund der vielen Einflussfaktoren auf Noten und Notengebung (u.a. Lehrkraft, Klassengröße, sozioökonomischer Hintergrund, Lernklima, Notenverteilungen etc.) ist es in Feldstudien schwierig, einen eindeutigen Zusammenhang herzustellen, vor allem wenn Schulstartzeiten erst kurzfristig geändert wurden und Wirkungen auf den Lernerfolg sich unter Umständen erst in der langfristigen Betrachtung herauskristallisieren können [122]. Studien, die die größten Unterschiede in Schulstartzeiten untersuchten (anhand von Schichtsystemen in Lateinamerika; siehe unten **Punkt 3.2.1**), zeigen deutlich, dass sich Leistungsunterschiede zwischen Chronotypen reduzieren bzw. komplett aufheben lassen, wenn der Unterricht frühestens mittags beginnt [126-128].

3.2.1. Alternative Systeme von Schulanfangszeiten (Schichtsysteme und Gleitzeitsysteme)

Neben einem einheitlichen täglichen Schulbeginn innerhalb einer Klassen- oder Altersstufe gibt es auch die Möglichkeit von Schichtsystemen oder Gleitzeitsystemen. Schichtsysteme kommen gehäuft in Lateinamerika vor, u.a. zur effizienteren Nutzung der Schulinfrastruktur, und verfolgen nicht *per se* das Ziel der Schlafverbesserung. Hier findet der Unterricht in zwei bis drei Schichten statt (vormittags ca. 07:00-12:00 Uhr, nachmittags ca. 12:00-17:00 Uhr, abends ca. 18:00-22:00 Uhr).

Gleitzeitsysteme ermöglichen SchülerInnen innerhalb eines vorgegebenen Rahmens ihre individuelle (tägliche) Schulanfangszeit zu wählen. Gleitzeitsysteme haben in den uns bekannten Fällen das erklärte Ziel, den unterschiedlichen Bedürfnissen von einzelnen SchülerInnen, vor allem dem Chronotyp, entgegenzukommen, um ausreichend Schlaf zu ermöglichen. Als Beispiele sind hier in Deutschland das Gymnasium Alsdorf zu nennen (https://www.daltongymnasium-alsdorf.de/) und in den Niederlanden die Schule „de School" in Zandvoort (https://deschool.nl/).

Evidenz

Die Bedeutung der Schichtsysteme liegt in ihrer herausragenden Eignung zur wissenschaftlichen Untersuchung von Schulstartzeiteffekten, da sie drastischere Startzeitunterschiede aufweisen und durch teilweise randomisierte Schichtzuteilung systematische Unterschiede in sozioökonomischen, chronotypischen oder kognitiven Faktoren minimieren. Studien in solchen Schichtsystemen machen deutlich, dass Jugendliche bei einem Unterrichtsbeginn um die Mittagszeit tatsächlich durchweg Schlaf in der empfohlenen Länge von 8-10 Stunden erreichen, weniger bis gar keinen Social Jetlag aufweisen und geringe oder keine Leistungsunterschieden zwischen Chronotypen zeigen [126-134]. Gleichzeitig wird nachgewiesen, dass spätere Chronotypen in Frühschichten in Schlaf und Leistung benachteiligt werden, aber auch frühere Chronotypen in ihrem Schlaf beschnitten werden, denn in Nachmittagsschichten schlafen auch sie länger und sind weniger müde. Während ein solch extremes Schichtsystem mit sehr frühen und teilweise auch sehr späten abendlichen Startzeiten in dieser Form nicht empfohlen werden kann, zeigt deren Untersuchung jedoch die mögliche (oder nötige) Bandbreite an Unterrichtsstartzeiten auf, die zur Verbesserung von jugendlichem Schlaf und Reduzierung chronotyp-spezifischer Leistungsunterschiede zur Verfügung stehen. Selbst ein später Beginn zwischen 11:30-13:30 zeigt positive Zusammenhänge mit Schlaf und Leistung für alle Chronotypen und keine Verschlechterung durch eventuell spätere Einschlafzeiten. Ein eventuell moderateres Schichtsystem ist daher auf jeden Fall denkbar.

Die Untersuchung von Gleitzeitsystemen steht noch am Anfang, im Einklang mit ihrem bisher geringen Vorkommen. Die einzig uns bekannten Untersuchungen eines solchen Systems sind unsere eigenen Studien am Gymnasium Alsdorf bei Aachen, Deutschland [125, 135, 136]. Diese konnten zeigen, dass an Tagen, an denen die OberstufenschülerInnen einen 8:50(-10:15) Start wählten, sich alle Schlafparameter verbesserten, inkl. einer Stunde mehr Schlaf, im Vergleich zu Tagen mit einem 8:00 Uhr Beginn. Jedoch wählten die SchülerInnen nicht oft genug die späte Option, um ihre Gesamtschlafdauer und circadiane Disruption (Social Jetlag) langfristig zu verbessern. Als Hauptgrund für die Entscheidung gegen die späte Option erschien die Notwendigkeit, verpasste Lernzeit bedingt auch am Nachmittag nachholen zu müssen. Es bedarf daher noch Anpassungen, um die positiven Ansätze des Gleitzeitsystems, wie die Wahlfreiheit nach individuellen Bedürfnissen, Eigenverantwortung der SchülerInnen und seine durchgängige Beliebtheit, gegen die Präferenz von Jugendlichen für ein frühes Unterrichtsende zu stärken.

3.2.2. Zusammenfassung

Die Evidenz für positive Auswirkungen von Schulstartzeitanpassungen in der Sekundarstufe ist mittlerweile erheblich. Die nachgewiesenen Verbesserungen in Schlaflänge und -qualität, in Wohlbefinden und Stimmung und die Verringerung des Zuspätkommens und der Absenzen sind wesentliche Faktoren, um eine gesunde Entwicklung im Jugendalter zu fördern. Es lässt sich daher argumentieren, dass eine Beibehaltung der aktuellen Praktiken von frühen Startzeiten für Jugendliche nach aktuellem Kenntnisstand als gesundheitsgefährdend zu betrachten und daher auch moralisch sowie potentiell juristisch nicht mehr gut zu rechtfertigen sind [z.B. 137]. Laut Schätzungen von RAND Europe, einem *non-profit think tank* in England, wären in den USA auch bereits in kurzer Zeit volkswirtschaftliche Gewinne zu erwarten, wenn die Sekundarschulstartzeiten auf nur 8:30 Uhr verspätet würden – indem Verbesserung von Bildungschancen und damit zukünftigem Einkommen der SchülerInnen und Verringerung von Verkehrsunfällen die projizierten Kosten innerhalb von zwei Jahren bereits überkompensieren [85, 138]. Hierbei bleibt anzumerken, dass die wissenschaftliche Betrachtung der Schulstartzeitfrage selbstverständlich noch lange nicht beendet ist und noch weitere Daten vor allem über die Langzeitentwicklung gesammelt werden sollten, inklusive der Wirkung auf Lehrkräfte und Eltern und insgesamt der Freizeitgestaltung aller Betroffenen [139, 140]. Da jedoch Schlafdeprivation auch im Erwachsenenalter weit verbreitet ist und hohe gesundheitliche und gesellschaftliche Kosten verursacht [24, 85], vermutet man auch hier positive Nebenwirkungen von Schulstartzeitanpassungen, was erste Daten auch bestätigen [139, 140]. **Eine einzelne konkret zu empfehlende Anfangszeit ist aus der Literatur nicht direkt definierbar, jedoch könnte ein Zeitraum zwischen 8:30-13:30 empfohlen werden innerhalb dessen abhängig von der Altersstufe, der geographischen Lage, der Jahreszeit, der Schulweglänge und logistischen Einschränkungen, sowie kulturellen Gegebenheiten und Freizeitgestaltung/Betreuungsmöglichkeit eine passende Startzeit abgewogen werden sollte.**

3.3. Ansatzpunkt B: Verbesserung der Lichtexposition im Schulalltag

Als zweiter Ansatzpunkt zur Förderung einer optimalen circadianen Taktung und Schlaf von SchülerInnen aller Altersstufen bietet sich eine **Verbesserung der Lichtexposition im Schulalltag** an. Licht, wahrgenommen über spezialisierte Rezeptoren im Auge, ist das primäre Signal für die Synchronisation des circadianen Systems mit dem Tag-Nacht-Wechsel und hat daher potente Wirkung auf die circadiane Taktung, kann tägliche Rhythmen inklusive Schlaf verbessern sowie verfrühen oder verspäten.

Bei der circadianen Lichtwirkung sind zwei Punkte entscheidend: 1) die Qualität des Lichts (Lichtintensität und Wellenlänge) und 2) der Zeitpunkt der Lichtexposition. Schwaches Licht mit einem hohen Rotanteil (langwellig) hat im Allgemeinen geringe circadiane Wirkung, helles Licht mit einem hohen Blauanteil (kurzwellig) wie Tageslicht zeigt hingegen besonders potente circadiane Wirksamkeit. Die Richtung der Wirkung hängt dabei vom Zeitpunkt der Exposition ab, d.h. der inneren biologischen Tageszeit oder auch circadianen Phase: Licht am biologischen Morgen beschleunigt die circadiane Uhr (Rhythmusverfrühung), während Licht am biologischen Abend die circadiane Uhr verlangsamt (Rhythmusverspätung). Aus diesem Dosis-Zeit-Wirkungs-Zusammenhang ergibt sich, dass Steigerung und/oder Vermeidung von hellem, blauhaltigen Licht zur passenden Tageszeit den Chronotypen modulieren kann.

Ein später Chronotyp beispielsweise, der Schwierigkeiten hat, abends früh genug einzuschlafen und morgens aufzuwachen (so wie es verstärkt, aber nicht ausschließlich in der Adoleszenz vorkommt (**Punkt 2.1**)) kann durch Verstärkung von Licht am Morgen und Vermeidung von Licht am Abend seine circadiane Taktung und damit Schlaf wirksam verfrühen [141, 142]. Zusätzlich ist eine allgemeine Steigerung der Lichtexposition am Tag und eine Reduzierung der Lichtexposition in der Nacht (auch ohne Veränderung der eigentlichen Zeiten der Exposition) mit positiven Wirkungen auf das circadiane System und Schlaf und einer Verringerung der Unterschiede zwischen Chronotypen assoziiert [11, 44, 46, 47, 143]. Eine solche Lichtexposition ähnelt dem natürlichen Licht-Dunkel-Wechsel, wie er ohne elektrisches Licht vorkommt aber heute in industrialisierten Nationen quasi nicht mehr gegeben ist. **Für eine optimale circadiane Taktung und gesunden Schlaf ist daher helles Licht am Tag, besonders Tageslicht, und vor dem Zubettgehen und in der Nacht möglichst wenig (und wenig blaues) Licht anzustreben** [11].

Wie kann Schule auf die Lichtexposition von SchülerInnen einwirken? Während Schule ohne Abendunterricht die *abendliche* Lichtexposition von SchülerInnen definitionsgemäß nicht direkt, sondern nur indirekt über Aufklärung und Steigerung der Gesundheitskompetenz (Sleep Health Literacy) beeinflussen kann (Ansatzpunkt E unter ***3.5***), bietet sich die Förderung von Lichtexposition am Morgen und über den Tag hinweg für alle Schulen mit Vormittags- und oder Nachmittagsunterricht als direkte Maßnahme an. Hierbei ergeben sich zwei Hauptansätze:

- **Förderung von Tageslichtexposition *außerhalb* des Schulgebäudes** durch
    - Unterricht im Freien (z.B. Sportunterricht, Erlebnispädagogik, Biologie, Erdkunde etc.)
    - Pausenzeiten im Freien (wie z.B. in Norwegen in der Primarstufe vorgeschrieben)
    - Förderung von Verkehrsmitteln auf dem Schulweg, die direkte Tageslichtexposition ermöglichen, wie zu Fuß/Roller/Fahrrad (durch Verringerung logistischer Hürden, Belohnung, etc.)

- **Förderung von heller, blaureicher Lichtexposition *innerhalb* des Schulgebäudes**
    - durch architektonische Maßnahmen, die die Tageslichtverfügbarkeit im Gebäude und den Klassenzimmern erhöhen (z.B. Fenster, Ausrichtung) [144, 145] - ohne dabei Blendung und Hitze zu erhöhen
    - durch elektrische und eventuell smarte Lichtinstallationen (z.B. helle Beleuchtung, tageslichtemulierende LEDs, smart lighting, etc.)

Die genaue Ausgestaltung des zweiten Punktes wird vorranging von ArchitektInnen und LichtdesignerInnen untersucht, auf die wir an dieser Stelle verweisen (**Punkt *5***).

Evidenz

Die Datenlage aus der Grundlagenforschung zur Lichtwirkung auf das circadiane System von Erwachsenen ist äußert stichhaltig, wie in dem neuesten Expertenkonsensuspapier ausführlich dargelegt [11]. Substantielle Unterschiede zu jüngeren Altersgruppen sind grundsätzlich nicht zu erwarten, obwohl qualitative Unterschiede wahrscheinlich sind. Die bisherigen Daten für die Melatoninsuppression (Unterdrückung der Produktion des Hormons Melatonin) durch Licht am Abend zeigen bei Kindern und Jugendlichen sehr ähnliche Muster wie bei Erwachsenen, auch wenn die absolute Lichtstärke für die Suppression variiert [146-149]; ebenso ist die Licht-Phasen-Response-Curve (welche Zeit und Richtung der circadianen Lichtwirkung beschreibt) für Jugendliche denen der Erwachsenen sehr ähnlich [150]. Assoziationsstudien zum Lichtprofil von Kindern und Jugendlichen und deren Schlaf und circadiane Taktung zeigen die zu erwartenden, oben beschriebenen Zusammenhänge [151-156].

Aus der Anwendungsforschung gibt es bis dato nur wenige Untersuchungen zur Wirkung von Lichtinterventionen in der Schule auf circadiane Rhythmen und Schlaf [154]. Zwei Studien, in denen die Blaulichtexposition bei jugendlichen SchülerInnen während des Schulbesuchs *verringert* wurde, zeigten eine erwartbare Verspätung der circadianen Taktung [157, 158]. Stellvertretend können aber Interventionsstudien in Erwachsenen genannt werden, die Lichtinstallationen in Gebäuden durchgeführt haben (Arbeitsplatz, Zuhause, Kliniken und Altersheimen) und in vielen Fällen, allerdings nicht durchgehend, die angestrebten Auswirkungen auf circadiane Taktung und Schlaf feststellen konnten [11, 159-161]. Auch haben Interventionen zur Lichtvermeidung am Abend und Lichterhöhung am Morgen bei Jugendlichen den Schlaf wirkungsvoll verfrühen und verlängern können [141, 142]. Der Expertenkonsensus zur optimalen Lichtexposition geht daher von einer breiten Anwendbarkeit ihrer Empfehlungen auch für eine jüngere Altersspanne aus [11].

Zusätzliche positive Wirkungen von verbesserter Lichtexposition

Gesteigerte Lichtexposition während des Tages, vor allem bei Tageslicht, scheint nach aktuellem Kenntnisstand neben seiner circadianen und schlaffördernden Wirkung weitere positive nicht-visuelle Effekte auf die menschliche Gesundheit und Leistungsfähigkeit auszuüben [11, 143, 162]. So sind hier beispielsweise die positive Wirkung auf Aufmerksamkeit, Kognition und Stimmung zu nennen, aber auch auf die Vitamin-D Produktion und die potentielle Risikosenkung für Kurzsichtigkeit (Myopie), welche weltweit vor allem im akademischen Kontext stark und stetig ansteigt und vor allem im asiatischen Raum bereits epidemieartige Ausmaße angenommen hat [163-167]. Außerdem wurde die akute aufmerksamkeits- und konzentrationssteigernde Wirkung von speziellen Lichtinstallationen nicht nur generell gezeigt, sondern auch bereits mehrfach im Schulkontext nachgewiesen [11, 154, 168-170]. Diese bemerkenswerten weiteren positiven Effekte erhöhen in unseren Augen den Stellenwert dieses

chronobiologischen Ansatzpunktes zusätzlich. Dabei sollte unbedingt bedacht werden, dass dies ein eigener Forschungs- und Anwendungsbereich von ArchitektInnen und LichtdesignerInnen darstellt, die bei der Umsetzung miteinbezogen werden müssen, um unerwartete negative Effekte von (falschen) Lichtinstallationen (z.B. visueller Diskomfort, Blendungen, Hitze durch direkte Sonneneinstrahlung) zu vermeiden (**Punkt 5**).

3.4. Ansatzpunkt C: Beachtung der jahreszeitlichen Verfügbarkeit von Tageslicht in der Planung von täglichen Schulanfangszeiten und Ferienzeiten

Die Tageslichtverfügbarkeit verändert sich nördlich und südlich der Wendekreise im Laufe des Jahres wesentlich. Im Winter ist die Zeit zwischen Sonnenaufgang und -untergang (Photoperiode) am kürzesten, und die Sonne hat den flachsten Einstrahlwinkel; im Sommer ist die Photoperiode am längsten mit dem steilsten Sonneneinstrahlwinkel. Analog zeigen auch die meisten Studien, dass sich die menschliche Lichtexposition zwischen Sommer und Winter unterscheidet, mit erhöhter Lichtexposition im Sommer gemäß der erhöhten Verfügbarkeit von Sonnenlicht und des vermehrten Aufenthalts im Freien [37, 43, 171-173], wobei natürlich die genaue Lichtexposition stark vom individuellen Verhalten und der geographischen Lage abhängt. Sie variiert außerdem dadurch, dass im Sommer die Uhren künstlich eine Stunde nach vorne gestellt werden (Sommerzeit) und in der Folge ein größerer Unterschied zwischen dem natürlichen Sonnenstand um 12 Uhr mittags und der lokalen Uhrzeit entsteht. **Ein stärkerer Licht-Dunkel-Wechsel und die Möglichkeit zur früheren Lichtexposition**, **wie sie beides der Sommer grundsätzlich bietet** (unabhängig von der Uhrenregelung wie Sommerzeit/Winterzeit), **haben auch Auswirkungen auf die circadiane Uhr und begünstigen eine frühere, stabilere Taktung von circadianen Rhythmen inklusive Schlaf, wohingegen die Wintersituation eine spätere Taktung inklusive Schlaf fördert** [34, 36, 37, 39, 43-48, 174].

Tägliche Schulstartzeiten und Ferienzeiten könnten daher diese saisonalen Muster in Tageslicht, Chronobiologie und Schlaf aufgreifen, um Gesundheit, Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit von SchülerInnen und LehrerInnen zu fördern. Hier bieten sich folgende Möglichkeiten:

- **Eine Vermehrung der Ferienzeiten in den dunkleren Monaten des Winterhalbjahres**

  um mehr Gelegenheit für Tageslichtexposition zu gewähren zu Zeiten, wo diese schwieriger zu erreichen ist - sofern die (Tages-)Lichtexposition in der Schule nicht als besser anzunehmen ist (z.B. aufgrund von Ansatzpunkt B ***3.3*** oder individuellem Verhalten). Mehr Ferienzeit im Winter bieten auch die Gelegenheit, das anzunehmende höhere Schlafdefizit im Winter bei eventuell höherem Schlafbedürfnis auszugleichen.

- **Ein späterer täglicher Unterrichtsbeginn speziell in den dunkleren Monaten des Winterhalbjahres**

  weil hier frühes Aufwachen durch äußere und innere Umstände erschwert wird. Zusätzlich erhöht dies die Anzahl an Wochen, an denen ein Erwachen bei Tageslicht an Schultagen möglich wäre (siehe **Abbildung 7** unter **Punkt 4.4**), was eine bessere (morgendliche) Tageslichtexposition ermöglicht und damit ein stärkeres Signal für die innere Uhr darstellt.

- **Ein Abpuffern der Uhrenumstellung auf "Sommerzeit" und der negativen Konsequenzen für Schlaf und circadiane Synchronisation**

  da die "Sommerzeit" effektiv einer Schulstartvorverlegung von einer Stunde entspricht (Uhren werden vorgestellt). Schulzeiten und Aufstehzeiten sind dann effektiv eine Stunde früher, auch wenn die Uhren dies nicht anzeigen. Ein Unterrichtsbeginn z.B. um 8 Uhr im Winter („Winterzeit", offiziell Normalzeit) wird mit Sommerzeitbeginn abrupt zu einem Unterrichtsbeginn um 7 Uhr (in Normalzeit) aber künstlich als 8 Uhr auf den Uhren angezeigt (vgl. **Abbildung 7** unter **Punkt 4.4**).

Bei Vorliegen einer halbjährlichen Sommerzeitregelung (6-8 Monate im Sommerhalbjahr), wie sie derzeit z.B. (noch) in der Europäischen Union gilt, könnten die negativen Folgen für Schlaf, Konzentration und circadiane Synchronisation [16] potentiell durch drei verschiedene Maßnahmen abgefedert werden:

- Eine **verzögerte Anpassung des Unterrichtsbeginns** an die Sommerzeit im Frühjahr und eine frühere Rückanpassung an die Normalzeit im Herbst. Dies erhöht insgesamt die Anzahl der Wochen im Jahr, an denen SchülerInnen später und bei Tageslicht erwachen können, was ein leichteres Aufwachen sowie frühere Lichtexposition und damit frühere circadiane Taktung und mehr Schlaf ermöglicht.

- Eine **graduelle Anpassung** des Unterrichtsbeginns an die Sommerzeit analog zur Maßnahme oben, allerdings ohne abrupten Wechsel, sondern mit stufenweiser Anpassung (z.B. in 2-4 Schritten über 2-4 Wochen). Neben der Erhöhung der Wochen mit Erwachen bei Tageslicht trüge dies auch der graduellen saisonalen Anpassung in den Schlafzeiten Rechnung.

- Ein **permanenter Ausgleich** der sommerzeitbedingten Vorverlegung des Unterrichtsbeginn während der gesamten Sommerzeitmonate besonders bei älteren SekundarschülerInnen wegen ihres durchschnittlich späteren Chronotyps, um ausreichend Schlaf zu ermöglichen. Diese Maßnahme erscheint als eine Schulstartzeitverspätung um eine Stunde in lokaler Uhrzeit während der Sommerzeitmonate.

Bei Wahlmöglichkeit in der Regelung:

Chronobiologisch wäre eine **ganzjährige Normalzeit (Winterzeit) zu empfehlen**, da dies ganzjährig spätere Schulanfangszeiten bewirkt und die Monate mit morgendlicher Tageslichtexposition erhöht [175, 176] (siehe **Abbildung 7** unter **Punkt 4.4**).

Sollte dagegen eine ganzjährige Sommerzeitregelung (12 Monate im Jahr) eingeführt werden, sollte dieser mit einer durchgehenden Schulstartzeitverspätung um eine Stunde entgegengewirkt werden [177].

Im Falle eines Wechsels zwischen Normal- und Sommerzeit, könnte eine Verspätung des *offiziellen* Beginns der Sommerzeit um ca. 4 Wochen sowie eine Vorverlegung des *offiziellen* Endes der Sommerzeit um 4-8 Wochen erwogen werden. Dies verringert die Gesamtdauer der Sommerzeit und beschränkt sie auf Monate mit tatsächlich frühen Sonnenaufgängen.

Evidenz

Die Empfehlungen unter diesem Ansatzpunkt beruhen auf einer soliden Theorie- und Datenlage aus der chronobiologischen Grundlagenforschung sowie erste Daten aus beobachtenden Studien. Es ist jedoch zu betonen, dass die vorgeschlagenen Maßnahmen unseres Wissens noch nicht gezielt in ihrer Anwendung überprüft wurden, also noch keine wissenschaftlichen Interventionsstudien zu ihrer Wirksamkeit und potentiell unerwünschten Effekten vorliegen. Dies bedeutet allerdings nicht, dass sie für die Anwendung nicht relevant sind und nicht den Präzedenzfall für eine wissenschaftliche Überprüfung setzen können bzw. in Zukunft auch sollten.

Bezüglich der Maßnahme „**Ferienzeitgestaltung“** (Ziel: Verbesserung der Tageslichtexposition, wenn wenig Tageslicht zur Verfügung steht) sind uns zwei Beobachtungsstudien bekannt, die die Lichtexposition von SchülerInnen während Schul- und Ferienzeiten verglichen. Estevan et al., 2022 [151] fand, dass bei SekundarschülerInnen in Uruguay (15-17 Jahre, Stichprobengröße: 15 Personen) im Winter die Lichtexposition in den Ferien ähnlich hoch wie während der Schulzeit war, obwohl die tägliche Lichtexposition durch den späteren und längeren Schlaf in den Ferien später begann. Dies spricht für eine *verhaltensbasierte* Steigerung der Lichtexposition in den Ferien während der Wachzeiten in dieser allerdings sehr kleinen Stichprobe. Hand et al., 2023 [172] untersuchte die Lichtexposition bei SekundarschülerInnen (ca. 17 Jahre, Stichprobengröße: 75 Personen) während der Ferien über das ganze Jahr hinweg. Auch hier wurde keine absolute Erhöhung beobachtet aber fand auch keine Verringerung in der Lichtexposition trotz längerer Schlafenszeiten statt. Dies ging einher mit einer größeren Regelmäßigkeit im Lichttiming, die als circadian vorteilhaft anzunehmen ist. Es gilt daher festzuhalten, dass die Folgen oder Assoziationen von Ferienzeiten auf die Lichtexposition von SchülerInnen stark vom jeweiligen Verhalten und den individuellen Gegebenheiten abhängen.

Bezüglich der Maßnahme „**Verspätung von täglichen Schulstartzeiten**“, besonders in Monaten mit relativ späten Sonnenaufgängen und kurzer Photoperiode oder auch zur Sommerzeit, soll an dieser Stelle noch einmal auf die epidemiologischen Studien verwiesen werden, die einen bemerkenswerten Zusammenhang zwischen der Lage innerhalb einer Zeitzone und Gesundheit aufzeigen (in den USA, Russland, China; **Punkt 2.3.2**): ein östlicherer Standort innerhalb derselben Zeitzone ist mit mehr Schlaf, niedrigerer allgemeiner Krankheitslast, niedriger Krebsrate, und weniger tödlichen Verkehrsunfallsraten assoziiert [90-94]. Da östlichere Standorte einen früheren Sonnenaufgang und -untergang im Verhältnis zu Arbeitszeiten aufweisen, ist dies der wahrscheinlichste Erklärungsmechanismus für den gesundheitlichen Vorteil im Osten der Zeitzone. In der Folge spräche dies *für* spätere Arbeits- und Schulzeiten in Monaten mit späteren Sonnenaufgängen und früheren Sonnenuntergängen und *gegen* Sommerzeitregelungen.

Das **Abpuffern der Uhrenumstellung auf Sommerzeit** basiert auf epidemiologischen Studien, die zeigen, dass die Umstellung im Frühjahr mit negativen gesundheitlichen Konsequenzen inkl. erhöhter Unfall-, Herzinfarkt- und Mortalitätsraten einhergeht, wobei hier Schlafmangel und circadiane Disruption als Hauptgründe angenommen werden [16, 175, 176, 178-180]. Gerade späte Chronotypen scheinen sich besonders schlecht und langsam an die Vorverlegung der gesellschaftlichen Zeiten anzupassen [181].

3.5. Ansatzpunkt D: Einbeziehung der Tagesrhythmik kognitiver Leistungsfähigkeit bei der Stundenplangestaltung

Bereits Anfang des 20. Jahrhunderts wurde versucht, die Beobachtung von tageszeitlichen Schwankungen in kognitiven Prozessen in die Gestaltung von Unterrichts- und Lehrplänen einfließen zu lassen [182]. Die interdisziplinäre Fachrichtung, die derartige Fragenstellungen untersucht und Methoden und Fragestellungen aus der Chronobiologie und Psychologie (und potentiell verwandten Fachrichtungen wie der Schlafforschung [183]) vereint, wird auch gelegentlich als Chronopsychologie bezeichnet. Da interdisziplinäre Forschungsansätze in der Chronobiologie jedoch die Norm sind und daher zumeist nicht genauer bezeichnet werden, nutzen wir auch hier in diesem Kontext die allgemeine Bezeichnung Chronobiologie.

Stark kontrollierte Laborbedingen zeigen, dass - ohne Berücksichtigung individueller Unterschiede wie Chronotyp oder Alter - die allgemeine Kognition morgens und nachts eher geringer ist, 2-4 Stunden nach der üblichen Aufwachzeit ein hohes Maß erreicht, und über den Tag hinweg relativ hoch bleibt (mit Ausnahme eines Mittagstiefs) [184, 185]. Ähnliche Rhythmen finden sich auch in spezifischen kognitiven Prozessen, wie Aufmerksamkeit, Arbeitsgedächtnis, Exekutivfunktionen oder Merkfähigkeiten [10]. Dabei scheinen Jugendliche besonders am Nachmittag grundsätzlich besser abzuschneiden, während es diese Verschiebung bei Erwachsenen weniger gibt [186]. Einschränkend muss hierbei aber genannt werden, dass die exakte Uhrzeit dabei nicht bestimmt werden kann und stark mit dem spezifischen Parameter der getesteten Aufgabe variiert, also der Dauer, Schwierigkeit, Methode und gemessenen Variablen der verwendeten Tests [10, 187]. Weitere wichtige Störfaktoren sind neben individuellen Unterschieden auch die Motivation/Erwartungen der Versuchs-teilnehmerInnen, Stress, vorangegangene Mahlzeiten, Körperhaltung, Umgebungstemperatur, Konsum von Kaffee und anderen koffeinhaltigen Getränken, sowie physische Aktivität, Lichteinfluss, Schlaf und vorangegangen Leistung [10, 185].

Daher ist es trotz intensiver Forschung bis heute unklar, ob und inwieweit bestimmte kognitive Parameter im (Schul-)Alltag außerhalb des Labors besonders anfällig für tageszeitliche Schwankungen sind und ob sie unterschiedlichen Modulationskurven folgen [10]. Folglich lässt sich rein wissenschaftlich gesehen keine klare, mehrheitlich gültige Empfehlung aus der Chronobiologie für den Schulkontext ableiten, wann welches Fach unterrichtet werden sollte.

Dennoch lässt sich zusammenfassend sagen, dass die Synchronität zwischen dem Chronotyp und dem Zeitpunkt des kognitiven Tests ein sehr dominanter Effekt ist [10] und junge Erwachsene größere kognitive Einschränkungen aufweisen als ältere Erwachsene, wenn diese nicht zusammenpassen [184, 186]. Wie unter **Punkt 2.3.1** bereits erwähnt, interagieren innere, circadiane Uhrzeit und Schlafmangel unvorteilhaft, so dass Aufmerksamkeit besonders abfällt, wenn Schlafmangel und biologische Nacht zusammentreffen, wie es in späten Chronotypen bei frühen Schulstartzeiten der Fall ist.

Daraus lässt sich daher die allgemeine Empfehlung ableiten, kognitiv besonders anspruchsvolle Fächer erst später am Tag und nicht in den ersten Stunden am Morgen zu unterrichten oder zu prüfen. Damit käme man nicht nur den besonders späten Chronotypen entgegen, sondern allgemein allen schlafdeprivierten Kindern und Jugendlichen.

Evidenz

Neben der oben dargestellten Grundlagenforschung sind hier auch die Studien von **Punkt 2.4** zu nennen. Neben reinen Assoziationsstudien [111, 112] sind vor allem die Studien aus den

Schichtsystemen aufschlussreich (**Punkt 3.2.1**), die einen Zusammenhang von Chronotyp, Schulschicht und Leistung in einzelnen Unterrichtsfächern untersuchten [126, 127, 188]. Hier steht die Forschung aber noch am Anfang, weshalb klare Empfehlungen zu einzelnen Fächern noch nicht stichhaltig wären.

3.6. Ansatzpunkt E: Edukation und Förderung von gesundem Schlaf- und circadianem Verhalten

Während es sich bei den oben genannten Ansatzpunkten A-D allesamt um verhältnispräventive Ansätze handelt, die die äußeren Bedingungen zu optimieren suchen, sollten (zusätzlich) auch **verhaltenspräventive Maßnahmen** angedacht werden, **die jeder Schülerin und jedem Schüler das Werkzeug vermitteln, sein/ihr Verhalten in Richtung gesundem Schlaf und circadianer Synchronisation zu optimieren** und somit ihre Health Literacy (Gesundheitskompetenz) zu steigern.

Als Maßnahme bietet sich hier zunächst die Aufklärung im Rahmen des (Biologie-) Unterrichts oder speziellen Workshops an über

- die Wichtigkeit von Schlaf und circadianen Rhythmen für Gesundheit, Wohlbefinden und Lernen
- die Faktoren, die Schlaf und circadiane Rhythmen positiv und negativ beeinflussen können
- daraus resultierende Möglichkeiten zur Verhaltensänderung, um Schlaf und circadiane Synchronisation zu verbessern (sogenannte „Schlafhygiene“ oder „Schlaf- und circadiane Hygiene“)

Über fortlaufende oder wiederkehrende Programme innerhalb der Schule, z.B. mithilfe von Apps, können die SchülerInnen dann motiviert und unterstützt werden, die erlernten Inhalte im Alltag anzuwenden und somit ihr individuelles Verhalten kurzfristig und langfristig positiv zu verändern, um besseren Schlaf und circadiane Synchronisation zu erreichen.

Evidenz

Die effektivste Gestaltung (Häufigkeit, Dauer, Altersgruppen) solcher Schlafhygiene-Programme für SchülerInnen ist noch nicht weitreichend geklärt, da es sich hier um noch sehr neue Maßnahmen handelt. Allerdings zeigen erste Studien, dass Schlafhygiene-Programme (oftmals 4 wöchentliche Termine à 50 Minuten) die Schlafqualität und Schlafgewohnheiten von SchülerInnen nachweislich (zumindest kurzfristig) verbessern können [189]. Wie man diese akuten Erfolge auch auf langfristige Sicht festigt, wird derzeit noch untersucht.

Wir möchten hier betonen, dass die Verhaltenstipps für Schlafhygiene und circadianen Hygiene generell auf einer guten Datenlage aus der Grundlagenforschung beruhen, sowohl bei Erwachsenen als auch zunehmend bei jüngeren Altersgruppen vom Kindergartenalter bis zum Ende der Sekundarstufe. Immer mehr Studien zeigen nun auch die Wirksamkeit im Alltagskontext, wobei wir hier Studien erwähnen möchten, die circadianen Maßnahmen insbesondere mit Jugendlichen (der Altersgruppe mit dem größten Schlafmangel und Social Jetlag) durchgeführt haben. Für verschiedene Kombinationen von Licht- und Verhaltensinterventionen (z.B. verstärkter Lichtexposition am Morgen und vorgegebene frühe Bettgehzeiten) wurde beispielsweise gezeigt, dass sie erfolgreich zu früherem und längerem Schlaf bei Jugendlichen führen können [141]. Ein Interventionsprogram, das noch vielfältigere Faktoren miteinbezog (z.B. reguläre Mahlzeiten und Schlafzeiten, Outdoor-Lichtexposition, kein Koffein abends) war besonders effektiv [142]. Wie lange diese Verhaltensänderungen andauern und wie sie am effektivsten gestärkt werden können ist noch nicht untersucht.

3.7. Zusammenfassung und allgemeine Anmerkungen zur Evidenzlage

Die oben aufgeführten Ansatzpunkte aus der circadianen Chronobiologie zeigen, dass auch kleine Veränderungen in der Schulzeitgestaltung sehr wahrscheinlich einen kurz- und langfristigen Vorteil für SchülerInnen bringen können. Selbstverständlich gilt es aber darauf hinzuweisen, dass es in der angewandten Chronobiologie und Schlafforschung in Bezug auf Bildung viele Einflussfaktoren über einen sehr langen Zeitraum gibt, die in der Mehrheit miteinander interagieren. Wichtig ist, dass es eine gute Datenbasis aus der Grundlagenforschung unter kontrollierten (Labor-) Bedingungen gibt, die bestimmte Einflüsse von Schlaf auf Lernen und Kognition klar darlegen und kausale Zusammenhänge nachweisen können (siehe hierzu **Punkt 2.3.1**). **Daraus lässt sich insgesamt ableiten, dass ausreichender und qualitativ hochwertiger Schlaf für das Lernen, aber auch für das Wohlbefinden und gesunde, kognitive Entwicklung besonders im Kindes- und Jugendalter absolut essentiell ist**. Im echten Leben, mit seiner Vielfalt an Einflussfaktoren über einen langen Zeitraum, ist die Aussagekraft von Laborstudien und die Einflussstärke einzelner Faktoren und deren Interaktion jedoch nicht klar vorhersehbar oder eindeutig beurteilbar. Wir sind dennoch der Überzeugung, dass die Erkenntnisse aus der Forschung in der Gestaltung der täglichen Unterrichtszeitgestaltung gezielt berücksichtigt werden sollten, wo der potentielle Nutzen klar auf der Hand liegt.

4. Kurzeinschätzung der bestehenden Schulzeitgestaltung in der Deutschsprachigen Gemeinschaft Belgiens

Im Folgenden findet sich eine allgemeine Einschätzung zur bestehenden Situation in der Deutschsprachigen Gemeinschaft Belgiens auf Basis von Schlaferhebungen in Belgien und der uns übermittelten Unterlagen zur aktuellen Schulorganisation in der Deutschsprachigen Gemeinschaft. Diese Organisation betrifft aktuell 2.637 Kindergartenkinder, 4.950 PrimarschülerInnen, 4.512 SekundarschülerInnen und 288 Lehrlinge in der mittelständischen Ausbildung (Lehre).

4.1. Ausgangslage: Schlaf und circadiane Disruption in Belgien

Um die Dringlichkeit von Änderungen in der Schulzeitorganisation für die Schlaf- und circadiane Gesundheit in der Deutschsprachigen Gemeinschaft zu beurteilen, bietet sich eine Betrachtung der Kenntnisse über den Schlaf von SchülerInnen in der Region an. Zum Schlaf bei Kindern und Jugendlichen in der Deutschsprachigen Gemeinschaft selbst haben wir keine wissenschaftlichen Daten ausfindig machen können, für die Flämische sowie die Französische Gemeinschaften Belgiens gibt es allerding mehrere Erhebungen. Diese weisen deutlich auf eine ernstzunehmende Schlafdeprivation und circadiane Disruption bei jugendlichen SchülerInnen in Belgien hin.

Als positiv zu nennen ist, dass, im Vergleich mit anderen europäischen, asiatischen und amerikanischen Ländern, die Flämischen und Französischen Gemeinschaften Belgiens im oberen Bereich beim Schlaf von SchülerInnen zu liegen scheinen – zumindest bei der Länge der *Bettzeit*, also wie lange SchülerInnen an Schultagen und Wochenenden im Bett verbringen [27, 59]. Dies ist allerdings nicht direkt gleichzusetzen mit der *tatsächlichen Schlaflänge*, denn diese ist zusätzlich abhängig von Tätigkeiten im Bett vor dem Einschlafversuch (wie Lesen, Fernsehen, Social Media, etc.), der benötigten Zeit zum Einschlafen (Einschlaflatenz), dem nächtlichen Erwachen und, je nach exakter Fragestellung, der Zeit zwischen Erwachen und Aufstehen. Durch kulturelle Unterschiede in speziell diesen Punkten, aber natürlich auch generell bei der Selbsteinschätzung von Bettzeiten, können systematische Fehler in Ländervergleichen entstehen, die ihre Aussagekraft schmälern.

Trotz der positiven Platzierung Belgiens im Ländervergleich beziffert Gariepy et al. 2020 [59], basierend auf WHO-Erhebungen 2013-14 und 2017-18 anhand national repräsentativer Stichproben, den Anteil an 11-15 Jährigen mit zu kurzen Bettzeiten an Schultagen (<8 bzw. 9 Stunden) in der Flämischen Gemeinschaft mit 24%, in der Französischen Gemeinschaft mit >30%. Nachberechnungen der flämischen Daten unter Einbeziehung der Einschlaflatenz lassen den **Anteil an jugendlichen SchülerInnen mit unzureichender Schlafdauer in der Flämischen Gemeinschaft Belgiens auf 58%** ansteigen [73]. Eine genauere Betrachtung über die Altersspanne von 13-18 Jahren in diesen Daten zeigt, dass der Anteil an SchülerInnen mit ungenügender Schlafdauer mit dem Alter ansteigt: Während 36% der 13-14 Jährigen in der Flämischen Gemeinschaft an Schultagen 2017-18 nicht die Minimalschlafdauer von 8 Stunden erreichten, waren es 72-82% der 17-18 Jährigen (Mädchen/Jungen) [190].

Erhebungen zu Aufwachproblemen und Tagesschläfrigkeit in belgischen SchülerInnen weisen ebenso auf Schlafmangel hin. In einer Stichprobe aus 3.045 flämischen SchülerInnen zwischen 6-13 Jahren mussten laut Elternangaben 69% der SchülerInnen an Schultagen geweckt werden, 42% zeigten Schwierigkeiten beim Erwachen, 57% waren müde nach dem Erwachen und 42% klagten über Müdigkeit tagsüber, wobei 29% laut Elternangaben sogar während des Lernens oder beim Lesen einschliefen [191]. In einer anderen Stichprobe aus 1.926 flämischen SekundarschülerInnen zwischen 13-20 Jahren hielten 45% ihren Schlaf für zu kurz, 63% fiel das Aufwachen an Schultagen schwer und nur 13% fühlten sich erholt an Schultagen im Gegensatz zu 62% an Wochenenden. 81% der

SchülerInnen gaben an, sich im Unterricht schläfrig zu fühlen, und 50% hatten sogar Probleme sich im Unterricht wach zu halten [192].

Chronobiologisch zeigt sich in den oben beschriebenen belgischen Kohorten die typische Verspätung in den Schlafzeiten während der Adoleszenz [59, 191, 193], die in Verbindung mit frühen Schulstartzeiten als zentrale Ursache für die beunruhigende Verkürzung des Schlafes im Jugendalter anzunehmen ist. **Gleichzeitig nimmt auch in Belgien die Diskrepanz zwischen den Schlafzeiten an Schultagen und Wochenenden mit dem Fortschreiten der Adoleszenz zu** [59], ein Maß für circadiane Disruption (**Social Jetlag**). In der Flämischen Gemeinschaft lag der Social Jetlag bei den 15-Jährigen in der WHO-Erhebung bei 1,7 Stunden, in der Französischen Gemeinschaft bei 2,0 Stunden [59], einer der höchsten Werte der Studie aller 24 untersuchten Länder. Im Vergleich mit Erhebungen in Deutschland liegt der Wert im typisch hohen Maß für diese Altersgruppe [vgl. 63, 194] (vgl. auch **Abbildung 2**).

Im Gesamtbild ergibt sich demnach eine ähnliche Situation in Belgien wie in anderen Ländern. GrundschülerInnen zeigen bereits Anzeichen von Schlafdefiziten während der Schulwoche, die sich mit zunehmender Verspätung der Schlafzeiten im Jugendalter durch den Konflikt mit frühen Schulstartzeiten weiter verstärken und mit Schwierigkeiten beim täglichen Erwachen und Tagesmüdigkeit einhergehen. **Für belgische SchülerInnen muss daher von kurz- und langfristigen Risiken für die Gesundheit sowie für den Lernerfolg ausgegangen werden.**

Auf dieser Basis geben wir in Anlehnung an die oben im Detail erläuterten Ansatzpunkte die folgenden Empfehlungen (auch dargestellt in **Abbildung 6**):

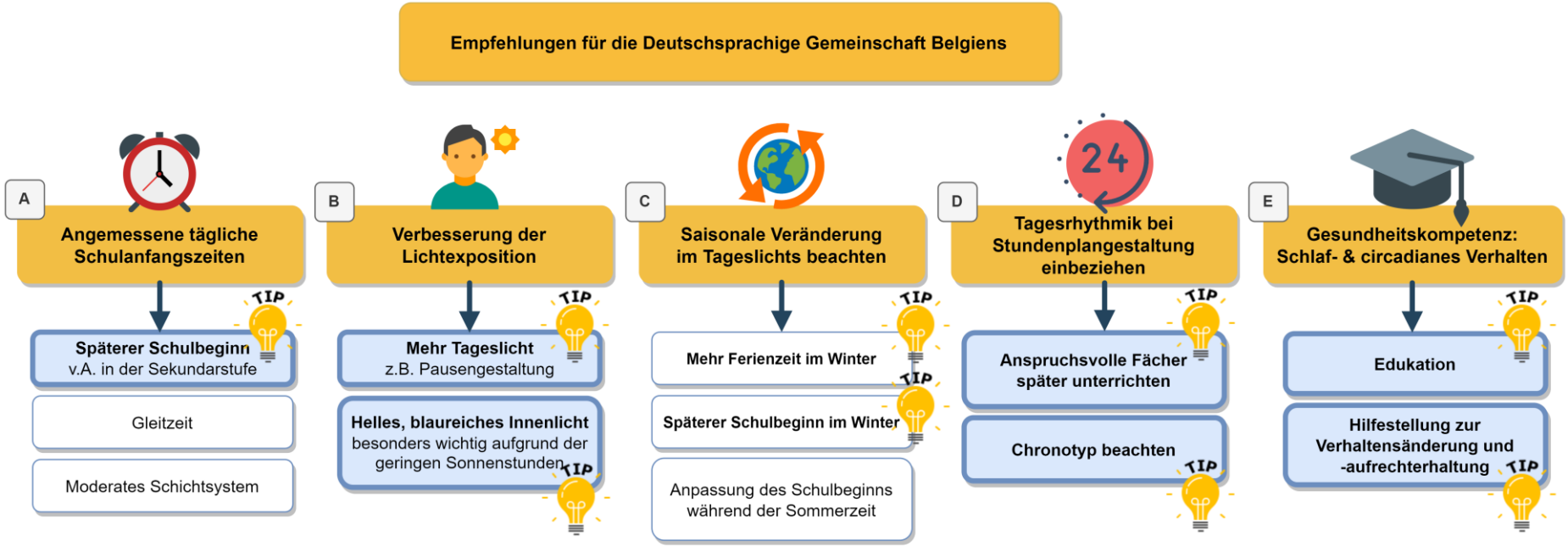

Abbildung 6. Empfehlungen zur Verbesserung der Schulzeitgestaltung in der Deutschsprachigen Gemeinschaft Belgiens. *Graphische Übersicht der dargelegten Ansatzpunkte analog zu* ***Abbildung 5****. Glühbirnen markieren konkrete Handlungsempfehlungen. Solche mit dickerer Umrahmung und Hintergrundfarbe haben eine gute bis sehr gute Evidenzlage. Für die übrigen gibt es in der chronobiologischen Theorie und Grundlagenforschung deutliche Hinweise, aber bisher nur geringe bis keine Evidenz aus der Anwendungsforschung, wodurch sie als experimentell zu betrachten sind.*

4.2. Ansatzpunkt A: Schulanfangszeiten

Grund- und Sekundarschulen in der Deutschsprachigen Gemeinschaft Belgiens haben laut aktueller Angaben tägliche Unterrichtstartzeiten zwischen 8:10-8:30 Uhr (bekannt bei 52 von 68 Schulen), dabei beginnt die Hälfte vor 8:30 und die andere Hälfte um 8:30 Uhr. Es ist keine Staffelung nach Altersgruppe ersichtlich; die früheste Schule mit 8:10 Uhr ist eine Sekundarschule.

In der Lehre/Ausbildung liegen die täglichen Startzeiten für den schulischen Teil (Zentrum für Aus- und Weiterbildung des Mittelstands, 20% der Ausbildung) im aktuellen Jahr bei 8:00-8:15 Uhr. Dies ist früher als in Grund- und Sekundarschulen, obwohl dies ausschließlich die jugendliche Altersgruppe mit den spätesten Chronotypen betrifft (ab 15 Jahren; Durchschnittsalter bei Beginn: 18,4 Jahre). Die Startzeiten in den Betrieben sind nicht bekannt.

- ➔ Die im Ländervergleich moderat späteren Schulstartzeiten (im Durchschnitt nahe der US-amerikanischen 8:30 Uhr-Empfehlung soweit Angaben von Schulen vorhanden) sind generell positiv zu bewerten und könnten die gute Platzierung Belgiens in den Ländervergleichen zu den Bettzeiten erklären (siehe **Punkt 4.1**), sofern sich die Situation aus den verschiedenen Gemeinschaften Belgiens aufeinander übertragen lassen.

- ➔ Es empfiehlt sich, der graduellen Verspätung von Schlafzeiten im Laufe der Entwicklung noch mehr Rechnung zu tragen und daher **Schulstartzeiten von vor allem älteren SchülerInnen in der Sekundarschule weiter zu verspäten**, um Schlafmangel und circadiane Disruption zu verringern. Hierbei raten wir aufgrund der geographischen Lage und Sonnenzeiten (siehe Punkte **4.3** und **4.4**) zu einer Schulanfangszeit von **frühestens 9 Uhr**. Das gleiche gilt insbesondere für SchülerInnen in Lehre/Ausbildung.

- ➔ Für die **Primarstufe** empfehlen wir, die Schulanfangszeiten **durchgängig auf 8:30 Uhr** zu legen.

- ➔ Wir raten außerdem, auch die durchschnittlichen Anfahrtszeiten bei der täglichen Schulstartzeit mit zu berücksichtigen. Die übermittelte Aufstellung der Schülerbeförderung zeigt, dass die meisten Routen weit vor 8 Uhr beginnen; 9 Routen haben eine Anfahrtszeit von 1-2 Stunden, 2 Routen sogar von über 2 Stunden. Gerade die Belastung der aktuell 26 FördersekundarschülerInnen auf Rundfahrt 4780 mit einer Startzeit von 6:20 Uhr und einer Endzeit von 17:50 Uhr ist höchst besorgniserregend.

Addendum Version 1.3:

Wie im Gutachten dargelegt, ist die Datenlage für eine Anpassung des täglichen Schulstarts für jugendliche SchülerInnen (Sekundarstufe) sehr aufschlussreich. Darauf basiert unsere starke Empfehlung für eine Verspätung auf mindestens 9:00 Uhr.

Für die Grundschule (Kindergarten und Primarstufe) ist die Datenlage weit weniger klar, und der Schlafmangel im Durchschnitt nicht so drastisch wie in der Sekundarstufe. Die Empfehlung für 8:30 Uhr in der Primarstufe basiert daher hauptsächlich auf dem aktuellen Stand der lokalen Schulstartzeiten (8-8:30 Uhr) sowie der darin bereits enthaltenen Möglichkeit, den Beginn für alle auf 8:30 Uhr zu legen, um dem Anteil an Kindern mit späten Schlafrhythmen entgegen zu kommen.

Sollte ein unterschiedlicher Schulbeginn zwischen Grund- und Sekundarschule für Familien und Schulen ein organisatorisches Problem aufwerfen, sehen wir aus chronobiologischer Perspektive kein Hindernis, die Grundschulzeiten ebenso auf (mindestens) 9 Uhr zu verspäten. Es gibt lediglich keinen

guten wissenschaftlichen Nachweis, dass es den Schlaf dieser Altersgruppe wesentlich verbessert (was nicht heißt, dass es ihn nicht verbessert), aber auch keinen Nachweis, der ein Risiko für den Schlaf dieser Altersgruppe vermuten lässt.

4.3. Ansatzpunkt B: Lichtexposition

Zur Verbesserung der Lichtexposition im Schulalltag (mehr Licht am Tag, insbesondere am Morgen) stehen zwei Hauptmaßnahmen zur Verfügung: 1. Vermehrter Aufenthalt im Freien und 2. verbesserte Lichtinstallationen in Innenräumen.

Vermehrter Aufenthalt im Freien

- ➔ **Unterricht im Freien:** Die regelmäßigen Waldtage im Kindergarten sind hier ein guter Ansatz, der noch ausgebaut werden könnte - sowohl in dieser Altersstufe als auch in der Primar- und Sekundarstufe. Alternativ können andere Angebote im Freien zu anderen Themen hinzugefügt oder erweitert werden.

- ➔ **Pausenzeiten im Freien:** Mindestens 50-60 min Mittagspause in Grund- und Sekundarstufe bieten gute Möglichkeiten zum Aufenthalt im Freien. Dieser sollte aktiv jeden Tag gefördert werden auch zu den kürzeren Pausen über den Tag verteilt.

- ➔ **Mehr Freizeit:** Unterrichtsfreie Mittwochnachmittage in der Primarstufe (und effektiv auch Sekundarstufe) sind ebenso ein positiver Ansatz, um Möglichkeiten von vermehrter Tageslichtexposition zu schaffen. Jedoch hängt die tatsächliche Exposition vom individuellen Verhalten der SchülerInnen ab, kann hierdurch also mit mehr oder weniger Lichtexposition einhergehen.

Verbesserte Lichtinstallationen in Innenräumen

- ➔ Aufgrund der vergleichsweise geringen Zahl an jährlichen Sonnenstunden in Belgien im Vergleich zu anderen europäischen Ländern [195-197] kommt der Beleuchtung in Innenräumen mit elektrischem Licht sehr wahrscheinlich eine bedeutende Rolle zu, um an bewölkten Tagen Klassen- und Aufenthaltsräume ausreichend mit blauhaltigem Licht zu versorgen.

4.4. Ansatzpunkt C: Jahreszeitliche Planung

Die Deutschsprachige Gemeinschaft Belgiens liegt relativ weit westlich in der Mitteleuropäischen Zeitzone (MEZ oder UTC+1) mit der östlichsten Ortschaft (Krewinkel) auf 50°20′N, 6°23′O und dem Verwaltungssitz Eupen auf 50°38′N, 6°2′O. Diese geographische Lage gekoppelt mit der Lage innerhalb der Zeitzone bedeutet, dass die Sonne in der Deutschsprachigen Gemeinschaft erst ungefähr 35 Minuten später aufgeht/im Zenith steht/untergeht als am Meridian der Zeitzone (15°O).

Durch jahreszeitliche Effekte verändern sich die Sonnenaufgangs- und Sonnenuntergangszeiten in der Deutschsprachigen Gemeinschaft um jeweils ca. 4 Stunden über das Jahr, was Veränderung der Tageslichtlänge (Photoperiode) von über 8 Stunden zur Folge hat (ca. 8 Stunden zur Wintersonnwende im Dezember, ca. 16,5 Stunden zur Sommersonnwende im Juni; **Abbildung 7**). Die Anzahl an Sonnenstunden schwankt zeitgleich zwischen durchschnittlich ca. 1,4 Stunden täglich im Dezember und 6,2 Stunden täglich im Juli aufgrund von Veränderungen in der Photoperiode und des

Wetters [195-197]. Diese Besonderheiten in der geographischen Lage und den jahreszeitlichen Veränderungen sollten idealerweise bei der jahreszeitlichen Planung von Ferienzeiten und täglichen Unterrichtzeiten mit aufgenommen werden.

Jahreszeitliche Ferienzeiten

➔ In der Deutschsprachigen Gemeinschaft finden derzeit im lichtärmeren Winterhalbjahr 4 Wochen Ferien statt (Allerheiligen, Weihnachten, Karneval) und im lichtreicheren Sommerhalbjahr 10 Wochen (Ostern, Sommer). Es bietet sich daher an, diese Imbalance zu reduzieren und **Ferienzeiten im Winterhalbjahr zu erhöhen**. Dies dient dem Versuch, in lichtarmen Jahreszeiten, die von allgemein späteren Schlafzeiten geprägt sind, zusätzliche Möglichkeiten zum Ausschlafen zu schaffen sowie zusätzliche Möglichkeiten zur längeren Tageslichtexposition – sofern davon ausgegangen werden kann, dass SchülerInnen dieses Angebot mit entsprechendem Verhalten nutzen und die Lichtexposition in der Schule nicht als besser anzunehmen ist.

Jahreszeitliche tägliche Schulanfangszeiten

Die Deutschsprachige Gemeinschaft hat aufgrund seiner geographischen Lage im Winter relativ späte Sonnenaufgänge (ca. 8:30 Uhr im Dezember) im Verhältnis zu den Schulanfangszeiten und den dafür nötigen Aufwachzeiten (**Abbildung 7**). Sogar SchülerInnen mit vergleichsweise späten Aufwachzeiten für die aktuellen Schulstartzeiten, wie 7:15-7:30 Uhr, müssen derzeit 4-6 Monate im Jahr vor Sonnenaufgang aufstehen, SchülerInnen mit den längsten Busfahrtzeiten sogar das gesamte Jahr.

➔ Dies legt eine **Verspätung des täglichen Schulbeginnes besonders im Winterhalbjahr** (mindestens November-Februar) nahe, um die Anzahl der Wochen zu erhöhen, wo ein Aufwachen und Schulweg bei Tageslicht ermöglicht wird und somit Schlafmangel entgegengewirkt und die Synchronisierung der circadianen Uhr verbessert werden kann.

Die Deutschsprachige Gemeinschaft hat aktuell, wie der Rest der Europäischen Union, eine 7-monatige Sommerzeitregelung vom letzten Sonntag im März zum letzten Sonntag im Oktober. Dies bedeutet, dass während dieser 7 Monate die Uhren eine Stunde vorgestellt werden und damit die Schule effektiv während des Sommerhalbjahres eine Stunde früher beginnt (**Abbildung 7**).

➔ **Es liegt nahe, die abrupte Vorverlegung des Unterrichtsbeginns im Frühjahr abzufangen,** die besonders den späten Chronotypen wie den Jugendlichen Anpassungsschwierigkeiten bereitet. Hierfür könnte der Unterrichtsbeginn erst ca. 4 Wochen später an die Sommerzeit angepasst werden, wenn Sonnenaufgänge bereits wesentlich früher sind. Idealerweise würde diese Anpassung graduell ablaufen (z.B. in 2 oder 3 Schritten über 1-3 Wochen; siehe Beispiele in **Abbildung 8**, **Abbildung 9**, **Abbildung 10**). Dies wäre eine experimentelle Maßnahme, die unseres Wissens nach so noch nicht versucht wurde, aber wesentlich zur Abfederung der Schlafdeprivation und der circadianen Disruption bei der Frühjahrsumstellung beitragen sollte.

➔ Aufgrund der relativ nördlichen Lage der Deutschsprachigen Gemeinschaft Belgiens und den damit einhergehenden frühen Sonnenaufgängen im Sommer gehen wir nicht davon aus, dass die Schulstartzeitverfrühung, die durch die Sommerzeit bewirkt wird, durchgängig während der Sommerzeitmonate ausgeglichen werden muss, sofern die Unterrichtsstartzeiten nach den Vorschlägen in **Punkt 4.2** angepasst (also verspätet werden) werden.

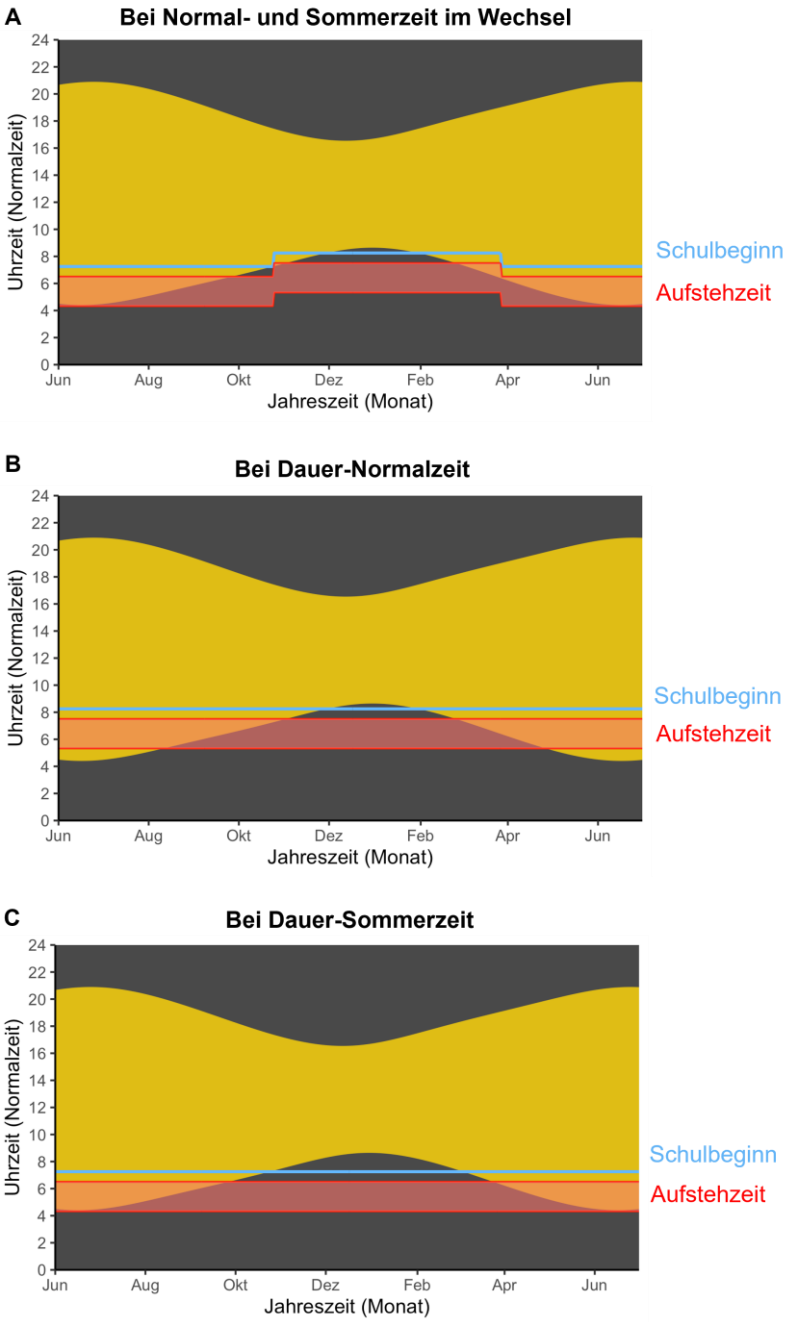

Abbildung 7. Jahreszeitliche Veränderung in der Tageslichtverfügbarkeit in der Deutschsprachigen Gemeinschaft Belgiens im Verhältnis zu Schulbeginn und Aufstehzeiten. *Abgebildet sind die täglichen Zeiten zwischen Sonnenaufgang und Sonnenuntergang (Photoperiode, gelb) in Eupen, Belgien, im Jahresverlauf. Die blaue Linie markiert einen täglichen Schulbeginn von 8:15 Uhr (Schulanfangszeiten liegen aktuell zwischen 8:10-8:30 Uhr in der Deutschsprachigen Gemeinschaft) und die rote Fläche den gemäß Busfahrplänen und Schulbeginn angenommenen Bereich der Aufstehzeiten 5:30-7:30 Uhr. Unter Sommerzeit verschieben sich diese Zeiten um eine Stunde nach vorne (7:15 Schulbeginn, 4:30-6:30 Aufstehzeit), wodurch sich auch das Verhältnis von Aufstehzeiten und Schulbeginn zum Sonnenlicht verändert. A: In dem aktuell praktizierten Wechselmodel liegen während der 7-monatigen Sommerzeit sowohl Schulbeginn als auch Aufstehzeit eine Stunde früher relativ zur Sonnenzeit/Normalzeit. B&C: Unter Dauer-Normalzeit und Dauer-Sommerzeit liegen Aufstehzeit und Schulbeginn konstant zur Sonnenzeit/Normalzeit; bei Dauer-Normalzeit (B) auf der tatsächlich gewählten Uhrzeit (8:15 Uhr Schulbeginn), bei Dauer-Sommerzeit (C) eine Stunde früher (7:15 Uhr Schulbeginn). Die Grafik verdeutlicht, wie SchülerInnen mit den längsten Busfahrtzeiten und den aktuellen Schulanfangszeiten das ganze Jahr vor dem Sonnenaufgang aufstehen müssen, sowohl unter der aktuellen (A) als auch einer Dauer-Sommerzeitregelung (C). Selbst SchülerInnen mit den spätesten Aufwachzeiten müssen unter den aktuellen Schulanfangszeiten 4-6 Monate im Jahr vor Sonnenaufgang aufwachen, die meisten Monate bei einer Dauer-Sommerzeit (C), die wenigsten bei einer Dauer-Normalzeit (B). Das Aufwachen und Absolvieren des Schulwegs ohne helles Tageslicht birgt Risiken für die circadiane Taktung, Schlaf und Gesundheit. Quelle Sonnenzeiten: suncalc R package [198].*

4.5. Ansatzpunkt D: Tägliche Unterrichts- und Prüfungszeiten

Da tägliche Unterrichts- und Prüfzeiten in der Deutschsprachigen Gemeinde von Schulen laut unserer Information aktuell individuell bestimmt werden, gelten hier unsere allgemeinen Empfehlungen zu diesem Ansatzpunkt (**Punkt *3.5***).

➔ Um späte Chronotypen nicht zu benachteiligen und ihren kognitiven circadianen Rhythmen entgegenzukommen, sollten **anspruchsvolle Fächer sowie Prüfungen nicht am frühen Morgen stattfinden.** Chronobiologisch können diese theoretisch bis in den späten Nachmittag hinein gelegt werden, denn Schichtstudien zeigen auch bei Nachmittagsunterricht keine Benachteiligung früherer Chronotypen (**Punkt *3.2.1***). Allerdings sind bei der Fächerabfolge nicht nur die innere Uhrzeit, sondern auch die vorangegangene kognitive Leistung sowie Pausenzeiten zu berücksichtigen, die über alle Chronotypen hinweg Lernleistung beeinflussen können. Für eine effektive Abfolge von Fächern und Unterrichtsmethoden sollte daher unbedingt auch kognitionswissenschaftliche Evidenz herbeigezogen werden (**Punkt *5***).

4.6. Ansatzpunkt E: Edukation und Förderung von gesundem Schlaf- und circadianem Verhalten

Da uns keine aktuellen Maßnahmen in der Deutschsprachigen Gemeinschaft zu diesem Ansatzpunkt bekannt sind, verweisen wir auch hier auf unsere allgemeinen Erläuterungen zu diesem Punkt oben (**Punkt *3.6***).

➔ Um individuelle Gesundheitskompetenz zum Thema Schlaf und circadiane Rhythmen bei SchülerInnen zu fördern, raten wir altersgemäße **Maßnahmen in den Schulunterricht einzubetten zur Edukation über Schlaf und Chronobiologie sowie Unterstützung bei Verhaltensänderungen und deren Aufrechterhaltung.**

4.7. Zusammenfassung

Die hier für die Deutschsprachige Gemeinschaft Belgiens dargelegten Empfehlungen sind ein Paket an möglichen Maßnahmen, die nicht alle zeitgleich, sondern auch individuell eingeführt werden können. Allerdings wird beim Lesen der obigen Beschreibungen sicher klar, dass die Maßnahmen auch nicht unabhängig voneinander sind, sondern gerade Maßnahmen um die Gestaltung von Schulanfangszeiten und deren Lage über das Jahr hinweg eng miteinander verquickt sind. Hier sind sie als verschiedene Varianten derselben Idee zu betrachten, um Schlafmangel und circadianer Disruption mittels einer besseren Schulanfangszeitgestaltung entgegenzuwirken. Die genaue Ausgestaltung und Kombination sollte geschickt gewählt werden, um über das gesamte Jahr je nach Sommerzeitregelung eine optimale Schulstartzeit für alle Altersgruppen an SchülerInnen bieten zu können. Es versteht sich, dass eine Kombination von Maßnahmen aus den verschiedenen Ansatzpunkten synergistisch wirken sollten und somit den Gesamterfolg verbessern können.

5. Empfehlungen zur weiteren wissenschaftlichen Betrachtung der Auswirkungen einer Umstellung des Schul(jahres)rhythmus

Entsprechend unserer Expertise und Erfahrung haben wir in dieser Arbeit die chronobiologischen Gesichtspunkte der Schulzeitgestaltung nach aktuellem wissenschaftlichem Kenntnisstand dargelegt. Für eine umfassende Betrachtung der Auswirkungen einer Umstellung des Schul(jahres)rhythmus auf die Lern- und Leistungsfähigkeit sowie Gesundheit von Kindern und Jugendlichen **raten wir zusätzlich an, auch andere Fachdisziplinen zu konsultieren. Hier sind vor allem folgende zu nennen:**

- **ExpertInnen aus den Kognitions- und Bildungswissenschaften,** die sich mit der effektivsten zeitlichen Abfolge von Wissenserwerb und -konsolidierung befassen, d.h. Lernblöcken innerhalb des Tages, innerhalb weniger Tage, innerhalb von Wochen sowie angemessenen Pausenzeiten. Hierbei geht es nicht um die chronobiologischen Zeiten, sondern um die Abfolge von kognitiven Prozessen nacheinander.

- **ExpertInnen aus den Implementierungswissenschaften und Behavioural Change Psychology** zur erfolgreichen Umsetzung eines neuen Systems und zur Änderung und Aufrechterhaltung etwaiger Verhaltensänderungen.

- **ExpertInnen aus der Architektur und dem Lichtdesign** zur Aufhellung von Schulgebäuden, ohne dabei (visuellen) Komfort zu beeinträchtigen.

Außerdem möchten wir anregen, die Einführung der 7/2-Wochentaktung innerhalb Belgiens wissenschaftlich begleiten zu lassen. Die Kollegen Cavet und Testu weisen zwar in mehreren Artikeln [z.B. 55, 56], die in der Fédération Wallonie-Bruxelles als Quellen der Legitimation für die Schuljahresrhythmus-Umstellung angeführt werden, auf die Möglichkeit einer 7/2-Taktung hin, legen allerdings keine ausführlichen Daten und wissenschaftliche Begründung für eine 7/2-Taktung im Gegensatz zu einer beispielsweise 8/3 oder 6/1-Taktung vor. Testu selbst bemerkte in einem kürzlich erschienenen Interview [199] *"Objectivement, cette formule 7/2, c'est ce qu'il y a de moins scientifique dans les recherches! C'est plutôt de l'ordre de l'intuition. Ce qui est sûr scientifiquement, c'est la variation journalière chez les enfants, sur les plans cognitif, physique, comportemental etc. Au niveau hebdomadaire, c'est moins évident : cela relève plus du pédagogique. C'est plutôt un facteur qui joue sur la rythmicité journalière. Il faut des moments de pause, une alternance repos/travail, d'où l'importance des congés, c'est vrai pour les adultes aussi. 7 semaines/2 semaines, c'est plutôt un dosage."* Die Wichtigkeit von Pausen im Tagesablauf sowie Urlaub- und Ferienzeiten im Jahresverlauf ist aus der Kognitionsforschung unbestreitbar und sollte unbedingt bei der Schulzeitgestaltung bedacht werden. Aus chronobiologischer Sicht sind uns jedoch keine wissenschaftlichen Theorien oder begutachteten Daten bekannt, die für oder gegen eine Einführung einer 7/2-Taktung sprächen. Daher wäre eine Evaluation dieses 7/2-Systems aus unserer Sicht unbedingt angeraten. Dabei sollte ein Vergleich zwischen den Landesteilen Belgiens, die die 7/2-Taktung einführen, mit Teilen, die diese nicht einführen, stattfinden (Kontrollgruppendesign). Sollten alle Teile das neue System übernehmen, kann auch ein Vergleich zu Ausgangswerten vor der Umstellung angestellt werden (Longitudinales/Querschnittsdesign).

Zu solchen Untersuchungen könnten neben unserer eigenen Expertise u.a. lokale ExpertInnen aus der Chronobiologie und Schlaf (z.B. Prof. Christina Schmidt, Université de Liège, BE; Prof. Karen Spruyt, INSERM, Universität Paris, FR, vormals BE) herangezogen werden. Speziell wäre hier aus chronobiologischer Sicht die Auswirkungen auf die Schlafregularität und circadiane Disruption (z.B.

Social Jetlag) sowie Lichtexposition relevant und individuelle Faktoren, die positive oder negative Entwicklungen begünstigen.

Des Weiteren ergeben sich aus den genannten chronobiologischen Ansatzpunkten (Punkt 3.1) wichtige Forschungsfragen, deren Untersuchung im Falle der Implementierung zu neuen wichtigen Erkenntnissen führen können. Hier seien beispielsweise folgende genannt:

- Wie stark sind die Effekte bzw. Assoziationen einer *jahreszeitlichen Anpassung* der Schulstartzeiten (Ansatzpunkt C **3.4**) auf die Lichtexposition, circadiane Taktung und Schlaf?

- Wie wirkt sich eine *Anpassung des täglichen Unterrichtsbeginns* für Jugendliche bei der geographischen Lage von Ostbelgien aus? Kann eine Verspätung hier besonders Schlafdefizite und circadianer Disruption entgegenwirken, die durch die spezielle Lage in der Zeitzone vor allem im Winter entstehen?

- Wie wirkt sich eine Anpassung/Verspätung des täglichen Unterrichtsbeginns *innerhalb der Primarstufe* aus? Kann sie auch hier Schlafdefiziten und circadianer Disruption entgegensteuern?

- Wie wirksam wäre eine sehr einfach einzuführende Maßnahme, wie *verbindliche Outdoor-Pausen*, für die Schlaf- und circadiane Gesundheit über alle Schulstufen hinweg? Ergeben sich Vorteile nur oder besonders für bestimmte Personengruppen (Chronotypen, Altersgruppen, etc.)?

Bibliographie

1. Roenneberg, T., et al., *Chronotype and Social Jetlag: A (Self-) Critical Review*. Biology (Basel), 2019. **8**(3).

2. Crowley, S.J., et al., *An update on adolescent sleep: New evidence informing the perfect storm model*. J Adolesc, 2018. **67**: p. 55-65.

3. Winnebeck, E.C., et al., *Later school start times in a flexible system improve teenage sleep*. Sleep, 2019.

4. Biller, A.M., *Of Teenage Owls and Early School: Longitudinal Effects of Delayed and Flexible School Start Times on Sleep, Psychological Benefits, and Academic Performance*, in *Graduate School of Systemic Neurosciences*. 2020, Ludwig-Maximilians-Universität München.

5. Vitaterna, M.H., J.S. Takahashi, and F.W. Turek, *Overview of circadian rhythms*. Alcohol Res Health, 2001. **25**(2): p. 85-93.

6. Bollinger, T. and U. Schibler, *Circadian rhythms - from genes to physiology and disease*. Swiss Med Wkly, 2014. **144**: p. w13984.

7. Patke, A., M.W. Young, and S. Axelrod, *Molecular mechanisms and physiological importance of circadian rhythms*. Nat Rev Mol Cell Biol, 2020. **21**(2): p. 67-84.

8. Roenneberg, T. and E.B. Klerman, *Eine kurze Einfuhrung in die Chronobiologie A short introduction to Chronobiology*. Somnologie (Berl), 2019. **23**(3): p. 142-146.

9. Roenneberg, T. and M. Merrow, *The Circadian Clock and Human Health*. Curr Biol, 2016. **26**(10): p. R432-43.

10. Schmidt, C., et al., *A time to think: circadian rhythms in human cognition*. Cogn Neuropsychol, 2007. **24**(7): p. 755-89.

11. Brown, T.M., et al., *Recommendations for daytime, evening, and nighttime indoor light exposure to best support physiology, sleep, and wakefulness in healthy adults*. PLOS Biology, 2022. **20**(3): p. e3001571.

12. Duffy, J.F., et al., *Relationship of endogenous circadian melatonin and temperature rhythms to self-reported preference for morning or evening activity in young and older people*. J Investig Med, 1999. **47**(3): p. 141-50.

13. Nováková, M., M. Sládek, and A. Sumová, *Human chronotype is determined in bodily cells under real-life conditions*. Chronobiology International, 2013. **30**(4): p. 607-617.

14. Goulet, G., et al., *Daily light exposure in morning-type and evening-type individuals*. J Biol Rhythms, 2007. **22**(2): p. 151-8.

15. Mongrain, V., et al., *Phase relationships between sleep-wake cycle and underlying circadian rhythms in Morningness-Eveningness*. J Biol Rhythms, 2004. **19**(3): p. 248-57.

16. Roenneberg, T., E.C. Winnebeck, and E.B. Klerman, *Daylight saving time and artificial time zones - A battle between biological and social times*. Frontiers in Physiology, 2019. **10**(944).

17. Roenneberg, T., et al., *Social jetlag and obesity*. Curr Biol, 2012. **22**(10): p. 939-43.

18. Dijk, D.J. and C.A. Czeisler, *Contribution of the circadian pacemaker and the sleep homeostat to sleep propensity, sleep structure, electroencephalographic slow waves, and sleep spindle activity in humans*. J Neurosci, 1995. **15**(5 Pt 1): p. 3526-38.

19. Dijk, D.-J. and H.-P. Landolt, *Sleep Physiology, Circadian Rhythms, Waking Performance and the Development of Sleep-Wake Therapeutics*, in *Sleep-Wake Neurobiology and Pharmacology*, H.-P. Landolt and D.-J. Dijk, Editors. 2019, Springer International Publishing: Cham. p. 441-481.

20. Roenneberg, T., et al., *Epidemiology of the human circadian clock*. Sleep Med Rev, 2007. **11**(6): p. 429-38.

21. Grandner, M.A., *Sleep, Health, and Society*. Sleep Med Clin, 2017. **12**(1): p. 1-22.

22. Foster, R.G., et al., *Sleep and circadian rhythm disruption in social jetlag and mental illness*. Prog Mol Biol Transl Sci, 2013. **119**: p. 325-46.

23. Caliandro, R., et al., *Social Jetlag and Related Risks for Human Health: A Timely Review.* Nutrients, 2021. **13**(12).

24. Czeisler, C.A., *Duration, timing and quality of sleep are each vital for health, performance and safety.* Sleep Health, 2015. **1**(1): p. 5-8.

25. Jonasdottir, S.S., K. Minor, and S. Lehmann, *Gender differences in nighttime sleep patterns and variability across the adult lifespan: a global-scale wearables study.* Sleep, 2021. **44**(2).

26. Ong, J.L., et al., *Large-scale data from wearables reveal regional disparities in sleep patterns that persist across age and sex.* Sci Rep, 2019. **9**(1): p. 3415.

27. Gradisar, M., G. Gardner, and H. Dohnt, *Recent worldwide sleep patterns and problems during adolescence: a review and meta-analysis of age, region, and sleep.* Sleep Med, 2011. **12**(2): p. 110-8.

28. Wittmann, M., et al., *Social jetlag: misalignment of biological and social time.* Chronobiol Int, 2006. **23**(1-2): p. 497-509.

29. Nichols, G.L., et al., *Coronavirus seasonality, respiratory infections and weather.* BMC Infect Dis, 2021. **21**(1): p. 1101.

30. Rosenthal, N.E., et al., *Seasonal affective disorder. A description of the syndrome and preliminary findings with light therapy.* Arch Gen Psychiatry, 1984. **41**(1): p. 72-80.

31. Meyer, C., et al., *Seasonality in human cognitive brain responses.* Proc Natl Acad Sci U S A, 2016. **113**(11): p. 3066-71.

32. Merikanto, I., et al., *Influence of seasonal variation in mood and behavior on cognitive test performance among young adults.* Nord J Psychiatry, 2012. **66**(5): p. 303-10.

33. Zerbini, G., et al., *Tardiness Increases in Winter: Evidence for Annual Rhythms in Humans.* J Biol Rhythms, 2019. **34**(6): p. 672-679.

34. Dunster, G.P., et al., *Daytime light exposure is a strong predictor of seasonal variation in sleep and circadian timing of university students.* Journal of Pineal Research, 2023. **74**(2): p. e12843.

35. Hashizaki, M., et al., *A longitudinal large-scale objective sleep data analysis revealed a seasonal sleep variation in the Japanese population.* Chronobiology International, 2018. **35**(7): p. 933-945.

36. Honma, K., et al., *Seasonal variation in the human circadian rhythm: dissociation between sleep and temperature rhythm.* Am J Physiol, 1992. **262**(5 Pt 2): p. R885-91.

37. Zerbini, G., E.C. Winnebeck, and M. Merrow, *Weekly, seasonal, and chronotype-dependent variation of dim-light melatonin onset.* J Pineal Res, 2021. **70**(3): p. e12723.

38. Allebrandt, K.V., et al., *Chronotype and sleep duration: the influence of season of assessment.* Chronobiol Int, 2014. **31**(5): p. 731-40.

39. Mattingly, S.M., et al., *The effects of seasons and weather on sleep patterns measured through longitudinal multimodal sensing.* NPJ Digit Med, 2021. **4**(1): p. 76.

40. Roenneberg, T. and J. Aschof, *Annual rhythm of human reproduction: I. Biology, sociology, or both?* Journal of biological rhythms, 1990. **5**(3): p. 195-216.

41. Roenneberg, T. and J. Aschoff, *Annual rhythm of human reproduction: II. Environmental correlations.* Journal of Biological Rhythms, 1990. **5**(3): p. 217-239.

42. Roenneberg, T., *The decline in human seasonality.* J Biol Rhythms, 2004. **19**(3): p. 193-5; discussion 196-7.

43. Stothard, E.R., et al., *Circadian Entrainment to the Natural Light-Dark Cycle across Seasons and the Weekend.* Curr Biol, 2017. **27**(4): p. 508-513.

44. Papatsimpa, C., et al., *The interindividual variability of sleep timing and circadian phase in humans is influenced by daytime and evening light conditions.* Scientific Reports, 2021. **11**(1): p. 13709.

45. Schmal, C., H. Herzel, and J. Myung, *Clocks in the Wild: Entrainment to Natural Light*. Frontiers in Physiology, 2020. **11**(272).

46. Zerbini, G., M. Merrow, and E.C. Winnebeck, *Weekly and seasonal variation in the circadian melatonin rhythm in humans: A response*. J Pineal Res, 2022. **72**(1): p. e12777.

47. Wright, K.P., Jr., et al., *Entrainment of the human circadian clock to the natural light-dark cycle*. Curr Biol, 2013. **23**(16): p. 1554-8.

48. Danilenko, K.V., et al., *Summer-winter difference in 24-h melatonin rhythms in subjects on a 5-workdays schedule in Siberia without daylight saving time transitions*. Physiology & behavior, 2019. **212**: p. 112686.

49. Cajochen, C., et al., *Evidence that the Lunar Cycle Influences Human Sleep*. Current Biology, 2013(0).

50. Casiraghi, L., et al., *Moonstruck sleep: Synchronization of human sleep with the moon cycle under field conditions*. Science Advances, 2021. **7**(5): p. eabe0465.

51. Foster, R.G. and T. Roenneberg, *Human responses to the geophysical daily, annual and lunar cycles*. Curr Biol, 2008. **18**(17): p. R784-R794.

52. Helfrich-Förster, C., et al., *Women temporarily synchronize their menstrual cycles with the luminance and gravimetric cycles of the Moon*. Science Advances, 2021. **7**(5): p. eabe1358.

53. Wehr, T.A., *Bipolar mood cycles and lunar tidal cycles*. Molecular psychiatry, 2018. **23**(4): p. 923-931.

54. Raible, F., H. Takekata, and K. Tessmar-Raible, *An overview of monthly rhythms and clocks*. Frontiers in neurology, 2017. **8**: p. 189.

55. Cavet, A., *Rythmes scolaires: pour une dynamique nouvelle des temps éducatifs*, in *Dossier d'actualité n°60 de l'Institut national de recherche pédagogique*. 2011.

56. Interview mit François Testu, *Des outils pour comprendre les rythmes scolaires*, in *Humanisme*. p. 86-88.

57. Roenneberg, T., et al., *A marker for the end of adolescence*. Curr Biol, 2004. **14**(24): p. R1038-9.

58. Crowley, S.J., et al., *A Longitudinal Assessment of Sleep Timing, Circadian Phase, and Phase Angle of Entrainment across Human Adolescence*. PLoS One, 2014. **9**(11): p. e112199.

59. Gariepy, G., et al., *How Are Adolescents Sleeping? Adolescent Sleep Patterns and Sociodemographic Differences in 24 European and North American Countries*. J Adolesc Health, 2020. **66**(6S): p. S81-S88.

60. Tarokh, L., et al., *Sleep and circadian rhythms in adolescence*. Current sleep medicine reports, 2019. **5**: p. 181-192.

61. Crowley, S.J., C. Acebo, and M.A. Carskadon, *Sleep, circadian rhythms, and delayed phase in adolescence*. Sleep Med, 2007. **8**(6): p. 602-12.

62. Hagenauer, M.H. and T.M. Lee, *The neuroendocrine control of the circadian system: Adolescent chronotype*. Frontiers in Neuroendocrinology, 2012. **33**(3): p. 211-229.

63. Randler, C., et al., *Breakpoints of time in bed, midpoint of sleep, and social jetlag from infancy to early adulthood*. Sleep Med, 2019. **57**: p. 80-86.

64. Kamette, F., *Organisation of School Time in the European Union*. Fondation Robert Schuman, European Issues 212, 2011.

65. Galvan, A., *The Need for Sleep in the Adolescent Brain*. Trends Cogn Sci, 2020. **24**(1): p. 79-89.

66. Dahl, R.E., et al., *Importance of investing in adolescence from a developmental science perspective*. Nature, 2018. **554**(7693): p. 441-450.

67. Hirshkowitz, M., et al., *National Sleep Foundation's updated sleep duration recommendations: final report*. Sleep Health, 2015. **1**(4): p. 233-243.

68. Paruthi, S., et al., *Recommended Amount of Sleep for Pediatric Populations: A Consensus Statement of the American Academy of Sleep Medicine.* J Clin Sleep Med, 2016. **12**(6): p. 785-6.

69. Illingworth, G., *The challenges of adolescent sleep.* Interface Focus, 2020. **10**(3): p. 20190080.

70. Matricciani, L., T. Olds, and J. Petkov, *In search of lost sleep: secular trends in the sleep time of school-aged children and adolescents.* Sleep Med Rev, 2012. **16**(3): p. 203-11.

71. Schlarb, A.A., et al., *Sleep Duration and Sleep Problems in a Representative Sample of German Children and Adolescents.* Health, 2015. **07**(11): p. 1397-1408.

72. Loessl, B., et al., *Are adolescents chronically sleep-deprived? An investigation of sleep habits of adolescents in the Southwest of Germany.* Child Care Health Dev, 2008. **34**(5): p. 549-56.

73. Vandendriessche, A., et al., *How Are Adolescents Sleeping? Conservative Estimates of Sleep Duration Underestimate the Problem.* J Adolesc Health, 2021. **68**(4): p. 830.

74. Jarrin, D.C., J.J. McGrath, and E.C. Quon, *Objective and subjective socioeconomic gradients exist for sleep in children and adolescents.* Health Psychol, 2014. **33**(3): p. 301-5.

75. Etindele Sosso, F., et al., *Towards A Socioeconomic Model of Sleep Health among the Canadian Population: A Systematic Review of the Relationship between Age, Income, Employment, Education, Social Class, Socioeconomic Status and Sleep Disparities.* European Journal of Investigation in Health, Psychology and Education, 2022. **12**(8): p. 1143-1167.

76. Deak, M.C. and R. Stickgold, *Sleep and cognition.* Wiley Interdiscip Rev Cogn Sci, 2010. **1**(4): p. 491-500.

77. Lo, J.C., et al., *Effects of partial and acute total sleep deprivation on performance across cognitive domains, individuals and circadian phase.* PLoS One, 2012. **7**(9): p. e45987.

78. Walker, M.P., *The role of sleep in cognition and emotion.* Ann N Y Acad Sci, 2009. **1156**: p. 168-97.

79. Cohen, D.A., et al., *Uncovering Residual Effects of Chronic Sleep Loss on Human Performance.* Science Translational Medicine, 2010. **2**(14): p. doi: 10.1126/scitranslmed.3000458.

80. Dijk, D.J., J.F. Duffy, and C.A. Czeisler, *Circadian and sleep/wake dependent aspects of subjective alertness and cognitive performance.* Journal of sleep research, 1992. **1**(2): p. 112-117.

81. Dewald, J.F., et al., *The influence of sleep quality, sleep duration and sleepiness on school performance in children and adolescents: A meta-analytic review.* Sleep Med Rev, 2010. **14**(3): p. 179-89.

82. Alfonsi, V., et al., *Later School Start Time: The Impact of Sleep on Academic Performance and Health in the Adolescent Population.* Int J Environ Res Public Health, 2020. **17**(7).

83. Sun, W., et al., *Associations of weekday-to-weekend sleep differences with academic performance and health-related outcomes in school-age children and youths.* Sleep Med Rev, 2019. **46**: p. 27-53.

84. Palmer, C.A. and C.A. Alfano, *Sleep and emotion regulation: An organizing, integrative review.* Sleep medicine reviews, 2017. **31**: p. 6-16.

85. Hafner, M., et al., *Why sleep matters - the economic costs of insufficient sleep.* 2016.

86. Uccella, S., et al., *Sleep Deprivation and Insomnia in Adolescence: Implications for Mental Health.* Brain Sciences, 2023. **13**(4).

87. Colrain, I.M. and F.C. Baker, *Changes in sleep as a function of adolescent development.* Neuropsychol Rev, 2011. **21**(1): p. 5-21.

88. Wu, Y., et al., *Short sleep duration and obesity among children: A systematic review and meta-analysis of prospective studies.* Obes Res Clin Pract, 2017. **11**(2): p. 140-150.

89. Miller, M.A., et al., *Sleep duration and incidence of obesity in infants, children, and adolescents: a systematic review and meta-analysis of prospective studies.* Sleep, 2018. **41**(4).

90. Giuntella, O. and F. Mazzonna, *Sunset time and the economic effects of social jetlag: evidence from US time zone borders.* J Health Econ, 2019. **65**: p. 210-226.

91. VoPham, T., et al., *Circadian Misalignment and Hepatocellular Carcinoma Incidence in the United States.* Cancer Epidemiol Biomarkers Prev, 2018. **27**(7): p. 719-727.

92. Gu, F., et al., *Longitude Position in a Time Zone and Cancer Risk in the United States.* Cancer Epidemiol Biomarkers Prev, 2017. **26**(8): p. 1306-1311.

93. Borisenkov, M.F., *Latitude of residence and position in time zone are predictors of cancer incidence, cancer mortality, and life expectancy at birth.* Chronobiol Int, 2011. **28**(2): p. 155-62.

94. Gentry, J., et al., *Living in the wrong time zone: Elevated risk of traffic fatalities in eccentric time localities.* Time & Society, 2022.

95. Åkerstedt, T., et al., *Sleep duration and mortality–Does weekend sleep matter?* Journal of sleep research, 2019. **28**(1): p. e12712.

96. Chung, J.H., J.B. Kim, and J.H. Kim, *Effects of sleep duration and weekend catch-up sleep on falling injury in adolescents: a population-based study.* Sleep Med, 2020. **68**: p. 138-145.

97. Simpkin, C.T., et al., *Chronotype is associated with the timing of the circadian clock and sleep in toddlers.* J Sleep Res, 2014. **23**(4): p. 397-405.

98. Garlo, K., et al. *Assessment of salivary dim light melatonin onset (DLMO) and reported sleep in preschool children.* in *Sleep.* 2008. AMER ACAD SLEEP MEDICINE ONE WESTBROOK CORPORATE CTR, STE 920, WESTCHESTER ….

99. Clara, M.I. and A. Allen Gomes, *An epidemiological study of sleep-wake timings in school children from 4 to 11 years old: insights on the sleep phase shift and implications for the school starting times' debate.* Sleep Med, 2020. **66**: p. 51-60.

100. Almeida, F., et al., *Momentary emotional states in primary school children: combined effects of chronotype X time-of-day.* Biological Rhythm Research, 2022. **54**(1): p. 52-69.

101. Doi, Y., K. Ishihara, and M. Uchiyama, *Associations of chronotype with social jetlag and behavioral problems in preschool children.* Chronobiol Int, 2015. **32**(8): p. 1101-8.

102. Eid, B., et al., *Evaluation of Chronotype Among Children and Associations With BMI, Sleep, Anxiety, and Depression.* Front Neurol, 2020. **11**: p. 416.

103. Arbabi, T., et al., *The influence of chronotype and intelligence on academic achievement in primary school is mediated by conscientiousness, midpoint of sleep and motivation.* Chronobiol Int, 2015. **32**(3): p. 349-57.

104. Martinez-Lozano, N., et al., *Evening types have social jet lag and metabolic alterations in school-age children.* Sci Rep, 2020. **10**(1): p. 16747.

105. Owens, J.A., et al., *Self-Regulation and Sleep Duration, Sleepiness, and Chronotype in Adolescents.* Pediatrics, 2016. **138**(6).

106. Fabbian, F., et al., *Chronotype, gender and general health.* Chronobiol Int, 2016. **33**(7): p. 863-82.

107. Randler, C., *Chronotype in children and adolescents.* Somnologie, 2016. **20**(3): p. 166-171.

108. Arora, T. and S. Taheri, *Associations among late chronotype, body mass index and dietary behaviors in young adolescents.* Int J Obes (Lond), 2015. **39**(1): p. 39-44.

109. Zerbini, G., et al., *Lower school performance in late chronotypes: underlying factors and mechanisms.* Sci Rep, 2017. **7**(1): p. 4385.

110. Schlarb, A.A., et al., *Chronotype-related differences in childhood and adolescent aggression and antisocial behavior--a review of the literature.* Chronobiol Int, 2014. **31**(1): p. 1-16.

111. Zerbini, G. and M. Merrow, *Time to learn: How chronotype impacts education.* Psych J, 2017. **6**(4): p. 263-276.

112. van der Vinne, V., et al., *Timing of examinations affects school performance differently in early and late chronotypes.* J Biol Rhythms, 2015. **30**(1): p. 53-60.

113. Wheaton, A.G., G.A. Ferro, and J.B. Croft, *School Start Times for Middle School and High School Students - United States, 2011-12 School Year.* MMWR Morb Mortal Wkly Rep, 2015. **64**(30): p. 809-13.

114. California Legislative Information. *SB-328 Pupil attendance: school start time.* [cited 2023 März]; Available from: https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billTextClient.xhtml?bill_id=201920200SB328.

115. Watson, N.F., et al., *Delaying Middle School and High School Start Times Promotes Student Health and Performance: An American Academy of Sleep Medicine Position Statement.* J Clin Sleep Med, 2017. **13**(4): p. 623-625.

116. Wheaton, A.G., D.P. Chapman, and J.B. Croft, *School Start Times, Sleep, Behavioral, Health, and Academic Outcomes: A Review of the Literature.* J Sch Health, 2016. **86**(5): p. 363-81.

117. Bowers, J.M. and A. Moyer, *Effects of school start time on students' sleep duration, daytime sleepiness, and attendance: a meta-analysis.* Sleep Health, 2017. **3**(6): p. 423-431.

118. Biller, A.M., et al., *School start times and academic achievement - A systematic review on grades and test scores.* Sleep Med Rev, 2022. **61**: p. 101582.

119. Marx, R., et al., *Later school start times for supporting the education, health, and well-being of high school students.* Cochrane Database of Systematic Reviews, 2017. **2017**(7).

120. Minges, K.E. and N.S. Redeker, *Delayed school start times and adolescent sleep: A systematic review of the experimental evidence.* Sleep Med Rev, 2016. **28**: p. 86-95.

121. Yip, T., et al., *School Start Times, Sleep, and Youth Outcomes: A Meta-analysis.* Pediatrics, 2022. **149**(6).

122. James, S.A., et al., *School start time delays and high school educational outcomes: Evidence from the START/LEARN study.* J Adolesc, 2023.

123. Evanger, L.N., et al., *Later school start time is associated with longer school day sleep duration and less social jetlag among Norwegian high school students: Results from a large-scale, cross-sectional study.* J Sleep Res, 2023: p. e13840.

124. Widome, R., et al., *Association of Delaying School Start Time With Sleep Duration, Timing, and Quality Among Adolescents.* JAMA Pediatr, 2020. **174**(7): p. 697-704.

125. Biller, A.M., et al., *Sleep improvements on days with later school starts persist after 1 year in a flexible start system.* Sci Rep, 2022. **12**(1): p. 2787.

126. Goldin, A.P., et al., *Interplay of chronotype and school timing predicts school performance.* Nat Hum Behav, 2020. **4**(4): p. 387-396.

127. Ferrante, G.R., et al., *A better alignment between chronotype and school timing is associated with lower grade retention in adolescents.* Research Square, 2023.

128. Arrona-Palacios, A. and J.F. Diaz-Morales, *Morningness-eveningness is not associated with academic performance in the afternoon school shift: Preliminary findings.* Br J Educ Psychol, 2018. **88**(3): p. 480-498.

129. Arrona-Palacios, A., A. Garcia, and P. Valdez, *Sleep-wake habits and circadian preference in Mexican secondary school.* Sleep Med, 2015. **16**(10): p. 1259-64.

130. Martin, J.S., et al., *Chronotype, Light Exposure, Sleep, and Daytime Functioning in High School Students Attending Morning or Afternoon School Shifts: An Actigraphic Study.* J Biol Rhythms, 2016. **31**(2): p. 205-17.

131. Carvalho-Mendes, R.P., et al., *Afternoon School Start Times Are Associated with a Lack of Both Social Jetlag and Sleep Deprivation in Adolescents.* J Biol Rhythms, 2020. **35**(4): p. 377-390.

132. Alves, F.R., et al., *Sleep duration and daytime sleepiness in a large sample of Brazilian high school adolescents.* Sleep Med, 2020. **66**: p. 207-215.

133. Estevan, I., et al., *Short Sleep Duration and Extremely Delayed Chronotypes in Uruguayan Youth: The Role of School Start Times and Social Constraints.* J Biol Rhythms, 2020. **35**(4): p. 391-404.

134. Felden, É.P.G., et al., *Sleep in adolescents of different socioeconomic status: a systematic review.* Revista Paulista de Pediatria, 2015. **33**: p. 467-473.

135. Winnebeck, E.C., et al., *Later school start times in a flexible system improve teenage sleep.* Sleep, 2020. **43**(6).

136. Biller, A.M., et al., *A 4-year longitudinal study investigating the relationship between flexible school starts and grades.* Sci Rep, 2022. **12**(1): p. 3178.

137. Lee, C.J., et al., *Law-based arguments and messages to advocate for later school start time policies in the United States.* Sleep Health, 2017. **3**(6): p. 486-497.

138. Hafner, M., M. Stepanek, and W.M. Troxel, *The economic implications of later school start times in the United States.* Sleep Health, 2017. **3**(6): p. 451-457.

139. Wahlstrom, K.L., et al., *Impact of changing school start times on teacher sleep health and daytime functioning.* Journal of School Health, 2023. **93**(2): p. 128-134.

140. Albrecht, J.N., et al., *Teachers' preference for later school start times.* Journal of Sleep Research, 2022. **31**(4): p. e13534.

141. Crowley, S.J., et al., *Extending weeknight sleep of delayed adolescents using weekend morning bright light and evening time management.* Sleep, 2023. **46**(1).

142. Facer-Childs, E.R., et al., *Resetting the late timing of 'night owls' has a positive impact on mental health and performance.* Sleep Med, 2019. **60**: p. 236-247.

143. Wirz-Justice, A., D.J. Skene, and M. Munch, *The relevance of daylight for humans.* Biochem Pharmacol, 2021. **191**: p. 114304.

144. Fournier, C. and A. Wirz-Justice, *Light, Health and Wellbeing: Implications from chronobiology for architectural design.* World Health Design: Architecture, Culture, Technology, 2010. **3**(1): p. 44-49.

145. Bellia, L. and F. Fragliasso, *Good places to live and sleep well: A literature review about the role of architecture in determining non-visual effects of light.* International journal of environmental research and public health, 2021. **18**(3): p. 1002.

146. Akacem, L.D., K.P. Wright, Jr., and M.K. LeBourgeois, *Sensitivity of the circadian system to evening bright light in preschool-age children.* Physiol Rep, 2018. **6**(5).

147. Higuchi, S., et al., *Influence of light at night on melatonin suppression in children.* J Clin Endocrinol Metab, 2014. **99**(9): p. 3298-303.

148. Lee, S.I., et al., *Melatonin suppression and sleepiness in children exposed to blue-enriched white LED lighting at night.* Physiol Rep, 2018. **6**(24): p. e13942.

149. Crowley, S.J., et al., *Increased sensitivity of the circadian system to light in early/mid-puberty.* The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism, 2015. **100**(11): p. 4067-4073.

150. Crowley, S.J. and C.I. Eastman, *Human Adolescent Phase Response Curves to Bright White Light.* J Biol Rhythms, 2017. **32**(4): p. 334-344.

151. Estevan, I., et al., *Bidirectional association between light exposure and sleep in adolescents.* Journal of Sleep Research, 2022. **31**(2): p. e13501.

152. Van der Maren, S., et al., *Daily Profiles of Light Exposure and Evening Use of Light-emitting Devices in Young Adults Complaining of a Delayed Sleep Schedule.* J Biol Rhythms, 2018. **33**(2): p. 192-202.

153. Eto, T., et al., *Circadian phase advances in children during camping life according to the natural light-dark cycle.* J Physiol Anthropol, 2022. **41**(1): p. 42.

154. Ricketts, E.J., et al., *Electric lighting, adolescent sleep and circadian outcomes, and recommendations for improving light health.* Sleep Med Rev, 2022. **64**: p. 101667.

155. Shochat, T., et al., *Sleep Timing in Late Autumn and Late Spring Associates With Light Exposure Rather Than Sun Time in College Students.* Frontiers in Neuroscience, 2019. **13**: p. 882.

156. Roenneberg, T., et al., *Human activity and rest in situ.* Methods Enzymol, 2015. ***552***: p. 257-83.

157. Figueiro, M.G. and M.S. Rea, *Lack of short-wavelength light during the school day delays dim light melatonin onset (DLMO) in middle school students.* Neuro Endocrinol Lett, 2010. **31**(1): p. 92-6.

158. Figueiro, M., et al., *Measuring circadian light and its impact on adolescents.* Light Res Technol, 2011. **43**(2): p. 201-215.

159. Sander, B., et al., *Can sleep quality and wellbeing be improved by changing the indoor lighting in the homes of healthy, elderly citizens?* Chronobiology international, 2015. **32**(8): p. 1049-1060.

160. Nagare, R., et al., *Access to daylight at home improves circadian alignment, sleep, and mental health in healthy adults: A crossover study.* International journal of environmental research and public health, 2021. **18**(19): p. 9980.

161. Benedetti, M., et al., *Optimized office lighting advances melatonin phase and peripheral heat loss prior bedtime.* Sci Rep, 2022. **12**(1): p. 4267.

162. Blume, C., C. Garbazza, and M. Spitschan, *Effects of light on human circadian rhythms, sleep and mood.* Somnologie (Berl), 2019. **23**(3): p. 147-156.

163. Holden, B.A., et al., *Global prevalence of myopia and high myopia and temporal trends from 2000 through 2050.* Ophthalmology, 2016. **123**(5): p. 1036-1042.

164. Williams, K.M., et al., *Increasing Prevalence of Myopia in Europe and the Impact of Education.* Ophthalmology, 2015. **122**(7): p. 1489-97.

165. French, A.N., et al., *Prevalence and 5- to 6-year incidence and progression of myopia and hyperopia in Australian schoolchildren.* Ophthalmology, 2013. **120**(7): p. 1482-91.

166. Hagen, L.A., et al., *Prevalence and Possible Factors of Myopia in Norwegian Adolescents.* Sci Rep, 2018. **8**(1): p. 13479.

167. Ho, C.-L., W.-F. Wu, and Y.M. Liou, *Dose–response relationship of outdoor exposure and myopia indicators: a systematic review and meta-analysis of various research methods.* International journal of environmental research and public health, 2019. **16**(14): p. 2595.

168. Souman, J.L., et al., *Acute alerting effects of light: A systematic literature review.* Behav Brain Res, 2018. **337**: p. 228-239.

169. Mott, M.S., et al., *Illuminating the Effects of Dynamic Lighting on Student Learning.* SAGE Open, 2012. **2**(2): p. 2158244012445585.

170. Barkmann, C., N. Wessolowski, and M. Schulte-Markwort, *Applicability and efficacy of variable light in schools.* Physiology & Behavior, 2012. **105**(3): p. 621-627.

171. Ostrin, L.A., A. Sajjadi, and J.S. Benoit, *Objectively Measured Light Exposure During School and Summer in Children.* Optom Vis Sci, 2018. **95**(4): p. 332-342.

172. Hand, A.J., et al., *Measuring Light Regularity: Sleep Regularity is Associated with Regularity of Light Exposure in Adolescents.* Sleep, 2023.

173. Thorne, H.C., et al., *Daily and seasonal variation in the spectral composition of light exposure in humans.* Chronobiol Int, 2009. **26**(5): p. 854-66.

174. Sládek, M., et al., *Chronotype assessment via a large scale socio-demographic survey favours yearlong Standard time over Daylight Saving Time in central Europe.* Scientific Reports, 2020. **10**(1): p. 1419.

175. Roenneberg, T., et al., *Why Should We Abolish Daylight Saving Time?* J Biol Rhythms, 2019. **34**(3): p. 227-230.

176. Rishi, M.A., et al., *Daylight saving time: an American Academy of Sleep Medicine position statement.* J Clin Sleep Med, 2020. **16**(10): p. 1781-1784.

177. Skeldon, A.C. and D.J. Dijk, *School start times and daylight saving time confuse California lawmakers.* Current Biology, 2019. **29**(8): p. R278-R279.

178. Fritz, J., et al., *A Chronobiological Evaluation of the Acute Effects of Daylight Saving Time on Traffic Accident Risk.* Curr Biol, 2020. **30**(4): p. 729-735 e2.

179. Poteser, M. and H. Moshammer, *Daylight Saving Time Transitions: Impact on Total Mortality.* Int J Environ Res Public Health, 2020. **17**(5).

180. Manfredini, R., et al., *Daylight saving time and myocardial infarction: should we be worried? A review of the evidence.* Eur Rev Med Pharmacol Sci, 2018. **22**(3): p. 750-755.

181. Kantermann, T., et al., *The Human Circadian Clock's Seasonal Adjustment Is Disrupted by Daylight Saving Time.* Current Biology, 2007. **17**(22): p. 1996-2000.

182. Laird, D.A., *Relative performance of college students as conditioned by time of day and day of week.* Journal of Experimental Psychology, 1925. **8**(1): p. 50.

183. Putilov, A.A., *Quo Vadis, Chronopsychology?* Neuroscience and Behavioral Physiology, 2021. **51**(9): p. 1244-1261.

184. Wright, K.P., C.A. Lowry, and M.K. Lebourgeois, *Circadian and wakefulness-sleep modulation of cognition in humans.* Front Mol Neurosci, 2012. **5**: p. 50.

185. Valdez, P., *Homeostatic and circadian regulation of cognitive performance.* Biological Rhythm Research, 2019. **50**(1): p. 85-93.

186. Silva, E.J., et al., *Circadian and wake-dependent influences on subjective sleepiness, cognitive throughput, and reaction time performance in older and young adults.* Sleep, 2010. **33**(4): p. 481-90.

187. Bonnet, M.H., *Sleep deprivation.* In W. C. Dement (Ed.). Principles and practice of sleep medicine. 2000: Philadelphia: Saunders.

188. Itzek-Greulich, H., C. Randler, and C. Vollmer, *The interaction of chronotype and time of day in a science course: Adolescent evening types learn more and are more motivated in the afternoon.* Learning and Individual Differences, 2016. **51**: p. 189-198.

189. Chung, K.F., et al., *School-Based Sleep Education Programs for Short Sleep Duration in Adolescents: A Systematic Review and Meta-Analysis.* J Sch Health, 2017. **87**(6): p. 401-408.

190. Delaruelle, K., et al., *Studie Jongeren en Gezondheid, Deel 3: gezondheid en welzijn–Uitgelicht: slaap [Factsheet].* 2019.

191. Spruyt, K., et al., *Odds, prevalence and predictors of sleep problems in school-age normal children.* J Sleep Res, 2005. **14**(2): p. 163-76.

192. Pieters, D., et al., *Effects of pre-sleep media use on sleep/wake patterns and daytime functioning among adolescents: the moderating role of parental control.* Behav Sleep Med, 2014. **12**(6): p. 427-43.

193. Van den Bulck, J., *Television viewing, computer game playing, and Internet use and self-reported time to bed and time out of bed in secondary-school children.* Sleep, 2004. **27**(1): p. 101-4.

194. Roenneberg, T., et al., *Social jetlag and obesity.* Current Biology, 2012. **22**(10): p. 939-43.

195. Deutscher Wetterdienst. *Klimatafel von Brüssel-Ükkel (Uccle / Ukkel), Brabant / Belgien.* [cited 2023 24. Mai]; Available from: https://www.dwd.de/DWD/klima/beratung/ak/ak_064470_kt.pdf.

196. Deutscher Wetterdienst. *Weltweite Klimastationsdaten - abgeleitete langjaehrige Mittel.* [cited 2023 24. Mai]; Available from: https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/observations_global/CLIMAT/multi_annual/sunshine_duration/.

197. Königliches Meteorologisches Institut Belgiens. *Paramètres climatologiques mensuels à Uccle* [cited 2023 24. Mai]; Available from: https://www.meteobelgique.be/article/donnees-statistiques/uccle-depuis-1833.

198. Thieurmel, B. and A. Elmarhraoui, *R package 'suncalc': Compute Sun Position, Sunlight Phases, Moon Position and Lunar Phase.* 2022.

199. Interview mit François Testu, *On fait toujours passer les intérêts de l'enfant après ceux des adultes*, in *entrées libres.* p. 6-7.

6. Appendix

Addendum Version 1.3

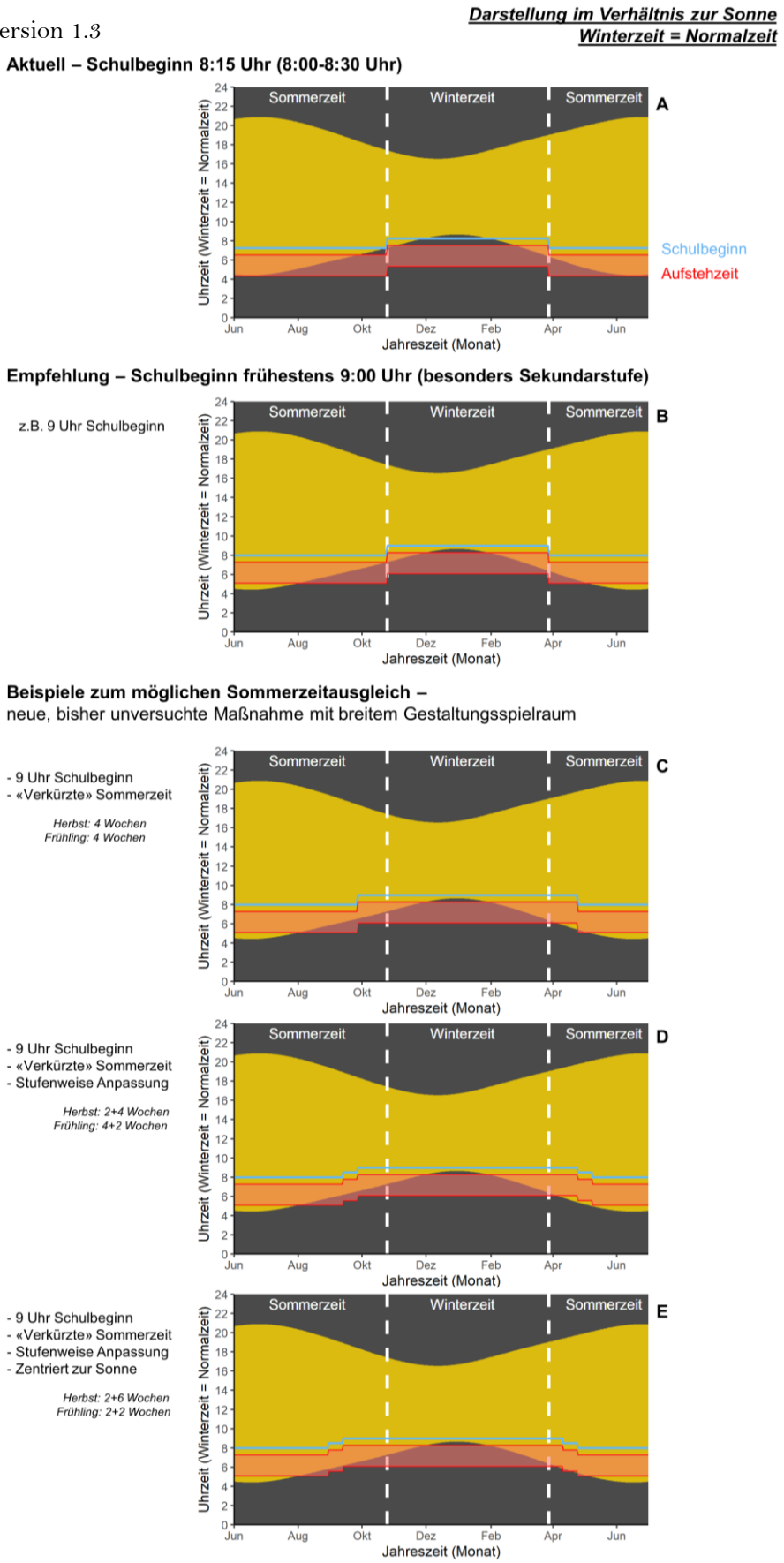

Abbildung 8. Schulstart- und Aufstehzeiten (aktuell und Änderungsbeispiele) *im Verhältnis zur Photoperiode in Eupen, Belgien. Alle Zeiten in Normalzeit = Winterzeit. Siehe Abbildungserläuterung von* ***Abbildung 7*** *und* ***Abbildung 10****.*

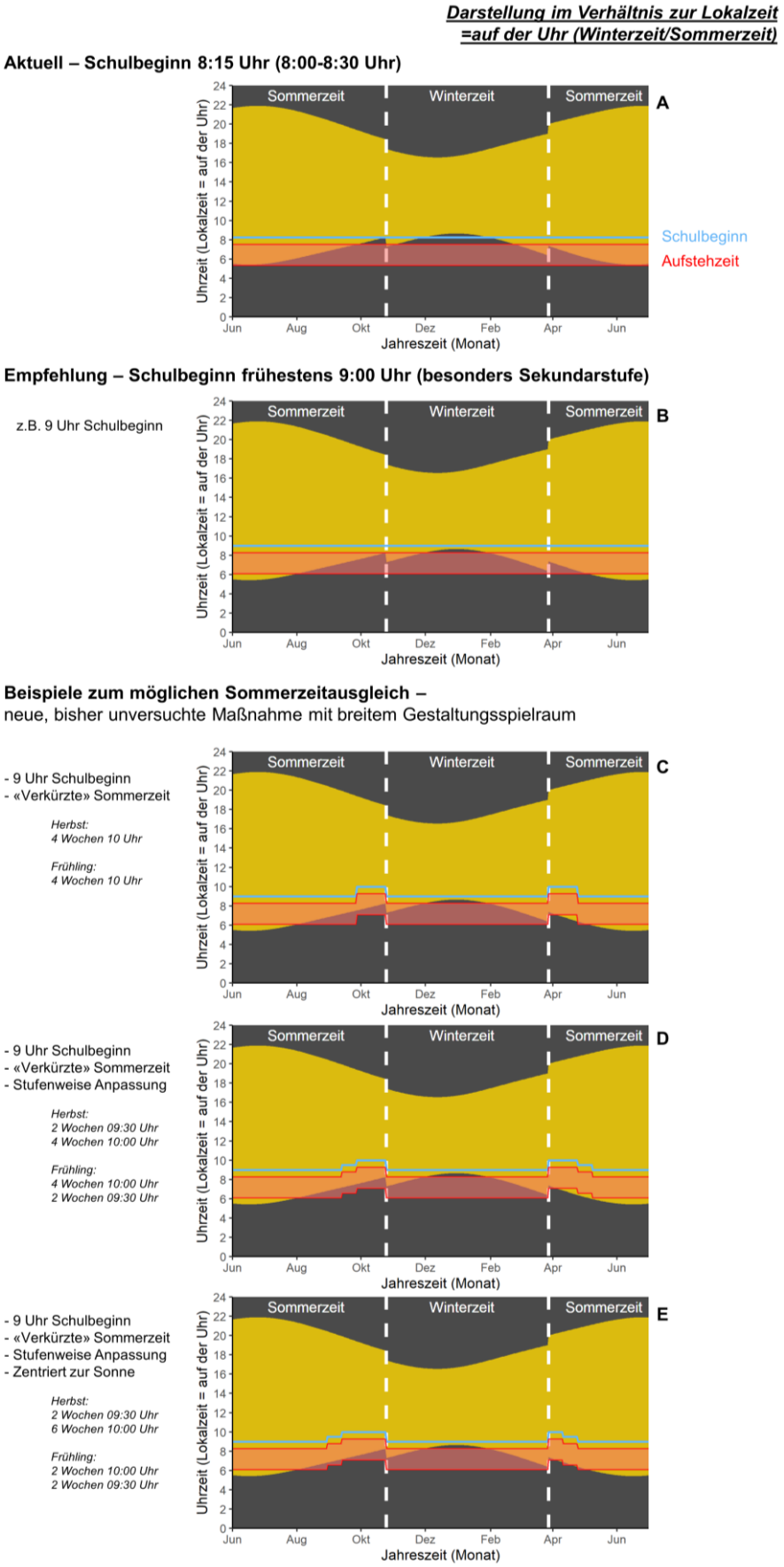

Abbildung 9. Schulstart- und Aufstehzeiten (aktuell und Änderungsbeispiele) *im Verhältnis zur Photoperiode in Eupen, Belgien. Alle Zeiten in Lokalzeit wie es auf der Uhr erscheint. Siehe Abbildungserläuterung von* ***Abbildung 7*** *und* ***Abbildung 10****.*

Beispieljahr 2023/24			Aktuell		9 Uhr		Beispiele zum Versuch eines Ausgleichs der halbjährlichen Sommerzeit: 9 Uhr + verkürzte Sommerzeit		9 Uhr + verkürzte Sommerzeit + stufenweise Anpassung		9 Uhr + verkürzte Sommerzeit + stufenweise Anpassung + zentriert um Sonne	
KW	Wochenanfang		Schustartzeit		Schulstartzeit		Schulstartzeit		Schulstartzeit		Schulstartzeit	
			Lokalzeit	*Normalzeit*	*Lokalzeit*	*Normalzeit*	*Lokalzeit*	*Normalzeit*	*Lokalzeit*	*Normalzeit*	*Lokalzeit*	*Normalzeit*
35	28/08/2023		08:15	07:15	09:00	08:00	09:00	08:00	09:00	08:00	09:00	08:00
36	04/09/2023		08:15	07:15	09:00	08:00	09:00	08:00	09:00	08:00	09:30	08:30
37	11/09/2023		08:15	07:15	09:00	08:00	09:00	08:00	09:00	08:00	09:30	08:30
38	18/09/2023		08:15	07:15	09:00	08:00	09:00	08:00	09:30	08:30	10:00	09:00
39	25/09/2023	Sommerzeit	08:15	07:15	09:00	08:00	09:00	08:00	09:30	08:30	10:00	09:00
40	02/10/2023		08:15	07:15	09:00	08:00	10:00	09:00	10:00	09:00	10:00	09:00
41	09/10/2023		08:15	07:15	09:00	08:00	10:00	09:00	10:00	09:00	10:00	09:00
42	16/10/2023		08:15	07:15	09:00	08:00	10:00	09:00	10:00	09:00	10:00	09:00
43	23/10/2023		08:15	07:15	09:00	08:00	10:00	09:00	10:00	09:00	10:00	09:00
44	30/10/2023		08:15	08:15	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00
45	06/11/2023		08:15	08:15	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00
46	13/11/2023		08:15	08:15	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00
47	20/11/2023		08:15	08:15	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00
48	27/11/2023		08:15	08:15	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00
49	04/12/2023		08:15	08:15	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00
50	11/12/2023		08:15	08:15	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00
51	18/12/2023		08:15	08:15	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00
52	25/12/2023		08:15	08:15	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00
1	01/01/2024		08:15	08:15	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00
2	08/01/2024	Winterzeit	08:15	08:15	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00
3	15/01/2024		08:15	08:15	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00
4	22/01/2024		08:15	08:15	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00
5	29/01/2024		08:15	08:15	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00
6	05/02/2024		08:15	08:15	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00
7	12/02/2024		08:15	08:15	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00
8	19/02/2024		08:15	08:15	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00
9	26/02/2024		08:15	08:15	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00
10	04/03/2024		08:15	08:15	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00
11	11/03/2024		08:15	08:15	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00
12	18/03/2024		08:15	08:15	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00
13	25/03/2024		08:15	08:15	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00
14	01/04/2024		08:15	07:15	09:00	08:00	10:00	09:00	10:00	09:00	10:00	09:00
15	08/04/2024		08:15	07:15	09:00	08:00	10:00	09:00	10:00	09:00	10:00	09:00
16	15/04/2024		08:15	07:15	09:00	08:00	10:00	09:00	10:00	09:00	09:30	08:30
17	22/04/2024		08:15	07:15	09:00	08:00	10:00	09:00	10:00	09:00	09:30	08:30
18	29/04/2024		08:15	07:15	09:00	08:00	09:00	08:00	09:30	08:30	09:00	08:00
19	06/05/2024		08:15	07:15	09:00	08:00	09:00	08:00	09:30	08:30	09:00	08:00
20	13/05/2024		08:15	07:15	09:00	08:00	09:00	08:00	09:00	08:00	09:00	08:00
21	20/05/2024	Sommerzeit	08:15	07:15	09:00	08:00	09:00	08:00	09:00	08:00	09:00	08:00
22	27/05/2024		08:15	07:15	09:00	08:00	09:00	08:00	09:00	08:00	09:00	08:00
23	03/06/2024		08:15	07:15	09:00	08:00	09:00	08:00	09:00	08:00	09:00	08:00
24	10/06/2024		08:15	07:15	09:00	08:00	09:00	08:00	09:00	08:00	09:00	08:00
25	17/06/2024		08:15	07:15	09:00	08:00	09:00	08:00	09:00	08:00	09:00	08:00
26	24/06/2024		08:15	07:15	09:00	08:00	09:00	08:00	09:00	08:00	09:00	08:00
27	01/07/2024		08:15	07:15	09:00	08:00	09:00	08:00	09:00	08:00	09:00	08:00
28	08/07/2024		08:15	07:15	09:00	08:00	09:00	08:00	09:00	08:00	09:00	08:00
29	15/07/2024		08:15	07:15	09:00	08:00	09:00	08:00	09:00	08:00	09:00	08:00
		siehe Abbildung 8 & 9		Abbildung A		Abbildung B		Abbildung C		Abbildung D		Abbildung E

Abbildung 10. Schulstartzeiten (aktuell und Änderungsbeispiele) pro Kalenderwoche aus den Beispielen in Abbildung 8 und Abbildung 9. *Diese Übersicht illustriert (in Ergänzung zu den vorigen Abbildungen) wie sich in dem aktuell praktizierten Wechselmodell zwischen Winterzeit und Sommerzeit die täglichen Schulstartzeiten über das Jahr ändern – ohne dass man es bemerkt, da die Uhren angepasst werden. Die Spalten mit Lokalzeit geben die lokale Uhrzeit wie auf der Uhr angezeigt an, die Spalten in Normalzeit enthalten die Zeiten im Verhältnis zur Sonnenzeit = Zonenzeit = Winterzeit. Während der 7-monatigen Sommerzeit (hellgraue Reihen) ist der Schulbeginn nominal eine Stunde früher im Verhältnis zur Sonne und Normalzeit, während der 5-monatigen Winterzeit (dunkelgraue Reihen) liegt er eine Stunde später.* ***A*** *illustriert den aktuellen Stand in der Deutschsprachigen Gemeinschaft Belgiens,* ***B*** *die Situation unter der empfohlenen frühesten Schulstartzeit von 9 Uhr.* ***C,D,E*** *geben Beispiele, wie zusätzlich noch die Sommerzeit im Frühjahr und Herbst abgefedert werden könnte, um den Schlaf sowie circadiane und jahreszeitlichen Taktung der SchülerInnen in Ostbelgien noch weiter zu fördern. Siehe Erklärungen unter* ***Punkt 3.4*** *und* ***4.4****. Bei dieser neuen, bisher unversuchten Maßnahme gibt es breiten Gestaltungsspielraum, und die Beispiele hier sind lediglich als Denkanstöße zu verstehen. In der etwaigen Umsetzung sollten unbedingt auch die Gesamtschuljahresgestaltung und praktische Gesichtspunkte mit einbezogen werden, wie z.B. das Timing des Sommerferienendes. Nach den Sommerferien könnte man beispielsweise auch direkt in einen späteren Schulstart gehen (z.B. 10 Uhr Sommerzeit) bis zum offiziellen Beginn der Winterzeit, um Klarheit zu schaffen und gleichzeitig die typische Schlafrhythmusverschiebung über die Ferien abzufangen. Eine grundsätzliche Neuordnung der offiziellen Sommerzeitregelung (Verkürzung oder Abschaffung) würde derartige Maßnahmen zur Sommerzeitabfederung obsolet machen und schulorganisatorisch und gesamtgesellschaftlich sicherlich eine klarere und einfachere Lösung schaffen.*