



Universität der Bundeswehr München

Institut für
Sportwissenschaft

**Schlaf, Sport und Digitalisierung:
Zur Rolle des Schlafs als Gesundheits- und Leistungsvariable
unter Einbezug digitaler Aktivitäten und smarter Technologien**

Kristina Klier

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Humanwissenschaften der Universität der Bundeswehr München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Philosophie (Dr. phil.)

genehmigten Dissertation.

Gutachter/Gutachterin:

1. Univ.-Prof. Dr. Matthias Wagner
2. Univ.-Prof.'in Dr. Annette Schmidt

Die Dissertation wurde am 13.03.2023 bei der Universität der Bundeswehr München eingereicht und durch die Fakultät für Humanwissenschaften am 17.08.2023 angenommen. Die mündliche Prüfung fand am 11.10.2023 statt.

Vorwort

Jährlich findet am 21. Juni der *Deutsche Tag des Schlafes*, ein Aktionstag der Deutschen Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin (DGSM), statt. Dieser zielt, neben der Präsentation aktueller Zahlen, Daten und Fakten zum Thema Schlaf und Schlafstörungen, insbesondere auch auf die Sensibilisierung der Bevölkerung für das eigene Schlafverhalten sowie eine gute Schlafgesundheit ab. Laut DGSM ist davon auszugehen, dass ca. 40 % der Allgemeinheit aufgrund der Covid-19-Pandemie an Schlafbeeinträchtigungen litt bzw. weiterhin leidet. In Anbetracht seiner essentiellen gesundheits- und leistungsrelevanten Rolle für uns Menschen ist diese Kennzahl besonders prekär wahrzunehmen. Obwohl Schlafen einer der natürlichsten Abläufe des menschlichen Seins darstellt, scheinen eine beträchtliche Anzahl an Personen, aus den verschiedensten Gründen, Probleme mit dem Ein- und Durchschlafen zu haben. Dabei ist Schlaf jedoch kein Luxusgut, sondern überlebenswichtig. Während kurzfristiger Schlafmangel gut tolerierbar und ausgleichbar ist, birgt die Manifestation einer Schlafdeprivation weitreichende psychische wie physische Konsequenzen (z. B. Konzentrationsmangel, Stimmungsschwankungen, erhöhte Infektanfälligkeit, etc.). Doch die aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnisse geben Hoffnung: Erholsam Schlafen ist erlernbar und unser Schlafverhalten optimierbar.

Gemäß dem Motto des DGSM Aktionstages 2022 „*Smarter schlafen*“ bieten die digitalen Innovationen unseres Zeitalters vielfältige Möglichkeiten, den eigenen Schlaf (unabhängig von medizinischer Diagnostik und Aufklärung) aufzuzeichnen und zu analysieren. Tragbare Sensoren, Sensorik zur Auflage auf der Matratze, smarte Kissen und Decken seien hier nur als einige wenige Beispiele genannt. Digitale Gadgets wie Online-Plattformen und Apps unterstützen zudem mit diversen Angeboten, die von rein schlafedukativer Informationsgabe über Einschlafgeschichten und Hörbücher bis hin zu Entspannungs- und Atemübungen oder gar Ernährungsempfehlungen reichen. Auch wenn die Reliabilität dieser neuartigen (Schlaf-)Technologien nicht umfassend bestätigt ist, können sie uns Nutzerinnen und Nutzern mit ihrer einfachen, zeit- und kostengünstigen Handhabung überzeugen. Daneben ist auch deren präventives Potenzial, im Sinne eines Frühwarnsystems für (schlaf-)gesundheitsliche Veränderungen, nicht zu unterschätzen. Denn letztendlich gilt, nur wer ausreichend und erholsam schläft, ist gesund und leistungsfähig.

Auch wenn die Schlafforschung wissenschaftlich betrachtet noch am Anfang steht und bis dato viele Geheimnisse des Schlafs bzw. zur Funktion und dem Prozess des Schlafens ungeklärt sind, bietet diese Dissertationsschrift einen mehrteiligen Überblick über den Zusammenhang von Schlaf, Gesundheit und Leistung unter Einbezug digitaler Tools und Aktivität.

Abrundend soll diese Arbeit die Leserinnen und Leser dazu anregen, das eigene Schlafverhalten zu beobachten sowie sich weitergehend mit den spannenden Themen des Schlafs und der Schlafgesundheit auseinanderzusetzen.

„Der Himmel hat den Menschen als Gegengewicht gegen die vielen Mühseligkeiten des Lebens drei Dinge gegeben: die Hoffnung, den Schlaf und das Lachen.“

(Immanuel Kant)

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich gern bei allen bedanken, die mich auf dem Weg dieser Promotion begleitet und unterstützt haben. Natürlich gab es in diesem Prozess auch die ein oder anderen schlaflosen Nächte, doch habe ich die Zeit als sehr spannend, lehr- und erfahrungsreich erlebt.

Mein erster Dank gilt Herrn Univ.-Prof. Dr. Matthias Wagner, meinem Doktorvater, der mir nicht nur die Freiheit der Themenwahl gab, sondern auch stets konstruktiv und unterstützend zur Seite stand. Vielen Dank für den gewährten Freiraum sowie die Förderung und Forderung an richtiger Stelle. Ihre Betreuung hat wesentlich zu meiner wissenschaftlichen und persönlichen Entwicklung beigetragen. Frau Univ.-Prof.'in Dr. Annette Schmidt danke ich für die Bereitschaft zur Begutachtung meiner Dissertation, v. a. aber für die gewinnbringende projektbezogene Zusammenarbeit.

Weiter möchte ich mich bei meiner Mentorin, Frau Univ.-Prof.'in Dr. Julia Thaler, für ihr offenes Ohr und ihre Begleitung meiner wissenschaftlichen Laufbahnqualifikation bedanken. Du bist mir ein Vorbild und ich danke dir sehr für den unermüdlichen Zuspruch, die Herausforderungen dieser Promotion in Angriff zu nehmen.

Mein besonderer Dank gilt meinen Kolleginnen und Kollegen der 33er + Anhang-Crew, Anna Vollenweider, Korbinian Ksoll, Tobias Göcking und Dr. Kirstin Seiler. Danke, dass ihr immer bereit zum Zuhören und Diskutieren wart, auch wenn ich manchmal ziemlich viel und (zu) schnell geredet habe. Danke auch dem 6. Stock, insbesondere Dr. Ingo Seidelmeier und Andreas Wagner, für eure Motivationsschübe bei den gemeinsamen Kaffeepausen. Hierzu zählt genauso mein letzter Büopartner, Frederic Arlt, danke für die tolle Arbeitsatmosphäre und den vielen Platz in den Schränken, den du mir überlassen hast. Vielen Dank außerdem an Alissa Wieczorek und Franziska Wallner für euren hilfreichen Input bei unseren Doktorandenkolloquien.

Einen großen Dank möchte ich abschließend meiner Familie aussprechen, die meinen beruflichen Werdegang umfänglich unterstützt und mir auch aus der Ferne Rückhalt bietet.

Zuletzt sei noch allen Probandinnen und Probanden für den wichtigen Beitrag an dieser Arbeit durch ihre Teilnahme an den Studien gedankt.

Zusammenfassung

Ausreichender und erholsamer Schlaf ist essentiell für die Gesundheit, Leistungserbringung und das allgemeine Wohlbefinden (Grandner, 2020). Für Erwachsene wird eine nächtliche Schlafdauer von 7 - 9 Stunden empfohlen (DGSM, 2011). Im Kontext von Sport und Bewegung stellt ein guter Schlaf, im Sinne einer hohen Schlafqualität, einen leistungsbestimmenden Faktor dar (Fullagar et al., 2015; Kölling et al., 2019). Diverse Studien belegen ein reziprokes Verhältnis von Schlaf und Training. Während einerseits regelmäßige körperliche Aktivität als Ausgleich sowie zur Schlafförderung dient, ist andererseits bei Athletinnen und Athleten verschiedenster Sportarten und Altersklassen ein eher kompaktes, reduziertes Schlafverhalten beobachtbar (Lastella et al., 2015; Sargent et al., 2021; Skorski et al., 2019; Vitale et al., 2019). Auch wenn der Forschungsstand u. a. hinsichtlich etwaiger Schlafinterventionen bis dato noch unzureichend ist, herrscht Einigkeit über die bestehende Notwendigkeit der Schlafüberwachung und -optimierung (Bonnar et al., 2018; Claudino et al., 2019). Indem Forschergruppen (Fietze, 2016; Grifantini, 2014; Kolla, Mansukhani, & Mansukhani, 2016) die Potenziale und Limitationen aktueller Schlafapplikationen und Messmethoden betrachten, entstehen kontinuierlich Formulierungsentwürfe von Schlaf- und Verhaltensregeln (Hödlmoser, 2018; Simpson, Gibbs, & Matheson, 2017).

Daher wird im ersten Teilprojekt dieser kumulativen Dissertation mithilfe einer Fragebogenerhebung im CrossFit® gezeigt, dass sich guter Schlaf positiv auf die Leistung bzw. Leistungsentwicklung auswirkt (Klier, Dörr, & Schmidt, 2021). Weiter wird im Rahmen einer Short Communication eine kurze inhaltliche Übersicht zu einfach handhabbaren, digitalen Möglichkeiten zur Schlafoptimierung bei Sportlerinnen und Sportlern erarbeitet (Klier, Seiler, & Wagner, 2021). Zur Untersuchung der Möglichkeiten der Schlafmessung im häuslichen Setting wird als drittes Teilprojekt eine Interventionsstudie unter Nutzung dreier Wearables und einem standardisierten Schlaftagebuch durchgeführt (Klier & Wagner, 2022). In der statistischen Analyse werden die Wearables basierend auf dem Vergleich mit dem subjektiven Goldstandard des Schlaftagebuchs hinsichtlich deren Reliabilität geprüft. Für das vierte Teilprojekt wird das Forschungsfeld der Dissertation im Einklang mit der aktuellen sportwissenschaftlichen Debatte in Richtung des E-Sports [= wettkampfmäßiges, virtuelles Spielen von Computer- oder Videospiele (ESBD, 2018)], geöffnet. Da psychophysiologische Anforderungen wie kognitive Flexibilität, Entscheidungsfindung unter Druck, schnelle Reaktionszeiten oder eine hohe Auge-Hand-Koordination im E-Sport mit denen im

traditionellen Sport vergleichbar sind, dürften Schlaf und Stress in beiden Kontexten eine besonders ähnliche Rolle spielen (Jenny et al., 2017). Zudem weisen erste Studien auf einen wechselseitigen Zusammenhang zwischen Gaming, Schlafverhalten und Stresserleben hin (Akçay & Akçay, 2020; Hartmann et al., 2019; Lee et al., 2021). So werden in einer abschließenden Interventionsstudie die Akuteffekte abendlichen Gamings auf den Schlaf und das individuelle Stresserleben untersucht (Klier, Seiler, & Wagner, 2022). Im Sinne eines innovativen, digitalen Vorgehens wird hier messtechnisch erneut auf eines der im dritten Teilprojekt erprobten Wearables zurückgegriffen. Insgesamt ergeben sich aus diesen vier Teilprojekten diverse Implikationen für die zukünftige Forschung und die angewandte Praxis, die in der vorliegenden Arbeit aufgezeigt werden.

Abstract

Sufficient and restful sleep is essential for health, performance, and general well-being (Grandner, 2020). For adults, a nightly sleep duration of 7 - 9 hours is recommended (DGSM, 2011). Especially in context of sports, good sleep, i.e. high sleep quality, represents a performance-determining factor (Fullagar et al., 2015; Kölling et al., 2019). However, various studies demonstrate a reciprocal relationship between sleep and sport. On the one hand, regular physical activity serves as compensation as well as sleep promotion. On the other hand, a rather compact, reduced sleep behavior is observable in athletes (Lastella et al., 2015; Sargent et al., 2021; Skorski et al., 2019; Vitale et al., 2019). Although the state of research to date is still insufficient, there is agreement on the existing need for sleep monitoring and optimization (Bonnar et al., 2018; Claudino et al., 2019). While research groups (Fietze, 2016; Grifantini, 2014; Kolla, Mansukhani, & Mansukhani, 2016) consider the potentials and limitations of current sleep applications and assessment methods, draft formulations of sleep and behavioral guidelines are continuously emerging (Hödlmoser, 2018; Simpson, Gibbs, & Matheson, 2017).

Therefore, the first subproject of this dissertation uses a questionnaire survey in CrossFit® to show that good sleep has a positive effect on performance respectively performance development (Klier, Dörr, & Schmidt, 2021). Furthermore, a brief overview of the content of easy-to-use, digital tools for optimizing sleep in athletes is developed as part of a short communication (Klier, Seiler, & Wagner, 2021). To investigate the possibilities of sleep assessment in free-living conditions, an intervention study using three wearables and a standardized sleep diary is conducted as third subproject (Klier & Wagner, 2022). In the statistical analysis, the wearables are tested for reliability based on comparison with the subjective gold standard of a sleep diary. For the fourth subproject, the research field of the dissertation is opened towards esports [= competitive, virtual playing of computer or video games (ESBD, 2018)], in line with the current sports science debate. As psychophysiological demands such as cognitive flexibility, decision-making under pressure, fast reaction times, or high hand-eye coordination in esports are comparable to those in traditional sports, sleep and stress are likely to play a particularly similar role in both contexts (Jenny et al., 2017). Moreover, preliminary studies suggest a reciprocal relationship between gaming, sleep, and stress (Akçay & Akçay, 2020; Hartmann et al., 2019; Lee et al., 2021). Thus, a final intervention study examines the acute effects of nightly gaming on sleep and stress (Klier, Seiler, & Wagner, 2022). In terms of an innovative, digital approach, one of the wearables tested in the third subproject is here again used for measurement purposes. Overall, these four

subprojects result in various implications for future research and applied practice, which are highlighted in this doctoral thesis.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	IX
Abkürzungsverzeichnis.....	X
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Aufbau der Arbeit	2
2 Theoretischer Hintergrund	4
2.1 Gesundheit und Leistung – Theoretische Modelle.....	4
2.2 Schlaf als Maß für Gesundheit und Leistungsfähigkeit.....	8
2.2.1 Schlafphysiologie.....	8
2.2.2 Schlafdiagnostik.....	12
2.2.2.1 Objektive Erfassungsmethoden.....	12
2.2.2.2 Subjektive Erfassungsmethoden	13
2.2.3 Einflussvariablen auf Schlaf: Körperliche Aktivität und Stress	14
2.2.3.1 Schlaf und Sport.....	15
2.2.3.2 Schlaf und E-Sport	18
3 Forschungsdesiderat und Fragestellungen	21
4 Teilprojekte	23
4.1 Positiver Einfluss einer hohen Schlafqualität auf die Leistungsentwicklung im CrossFit®	23
4.2 Tauglichkeit digitaler Schlafinterventionen im Sport	24
4.3 Überprüfung der Übereinstimmung der Schlafmessungen von Wearables mit einem standardisierten Schlaftagebuch.....	26
4.4 Akute Auswirkungen von E-Sport auf den Schlaf und das Stresserleben	27
5 Diskussion.....	28
5.1 Zusammenfassung und Diskussion der Befunde	28
5.2 Perspektiven für Wissenschaft und Praxis	41
Literaturverzeichnis	43
Anhang.....	69

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Modellhafte Projektübersicht und deren thematische Verknüpfung (eigene Darstellung).....	3
Abbildung 2: Biopsychosoziales Modell von Gesundheit und Krankheit (modifiziert nach Bolton & Gillett, 2019 und Engel, 1977).....	4
Abbildung 3: Rahmenmodell zum Zusammenspiel von Schlaf bzw. Aktivität mit Gesundheit und Leistung (modifiziert nach Becker, 2006).....	5
Abbildung 4: Vereinfachtes Modell der sportlichen Leistung (Weineck, 2019)	6
Abbildung 5: Normales Hypnogramm (Crönlein, Galetke, & Young, 2020)	9
Abbildung 6: Zwei-Prozess-Modell der Schlafregulation (Borbély, 1988)	10
Abbildung 7: Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen Schlaf und Sport (Falck, Stamatakis, & Liu-Ambrose, 2021)	18
Abbildung 8: Verortung der Teilprojekte im theoretischen Rahmenmodell der Dissertation (eigene Darstellung in Anlehnung an Becker, 2006)	21

Abkürzungsverzeichnis

AASM	American Academy of Sleep Medicine™
ANOVA	Analysis of Variance
C	Zirkadianik
CCC _{Lin}	Konkordanzkorrelationskoeffizient nach Lin
CDU	Christlich Demokratische Union Deutschlands
CF	CrossFit®
CRH	Corticotropin-Releasing-Hormone (Corticoliberin)
CSU	Christlich-Soziale Union in Bayern e. V.
DGSM	Deutsche Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin e. V.
dvs	Deutsche Vereinigung für Sportwissenschaft e. V.
EEG	Elektroenzephalographie
EKG	Elektrokardiogramm
EMG	Elektromyographie
EOG	Elektrookulographie
ESBD	eSport-Bund Deutschland e. V.
ESS	Epworth Sleepiness Scale
f	Effektstärke nach Cohen
F	F-Wert
FPS	First-Person Shooter
G	Gaming
GDT	Gaming Disorder Test
GH	Growth Hormone (Somatotropin)
GHRH	Growth Hormone Releasing Hormone (Somatoliberin)
GSIK	Globale Systeme und Interkulturelle Kompetenz
IFBG	Institut für Betriebliche Gesundheitsberatung
KI	Konfidenzintervall
MAC	Mindfulness-Acceptance-Commitment Approach
MBSR	Mindfulness Based Stress Reduction
MCTQ	Munich Chronotype Questionnaire
MOBA	Multiplayer Online Battle Arena
MSPE	Mindful Sports Performance Enhancement
n	Teilstichprobe

N	Grundgesamtheit
NG	Non-Gaming
η_p^2	Partielles Eta-Quadrat
NREM	Non-Rapid Eye Movement
N1	Schlafstadium 1
N2	Schlafstadium 2
N3	Schlafstadium 3
p	Signifikanzwert
PPG	Photoplethysmographie
PSG	Polysomnographie
PSQI	Pittsburgh Sleep Quality Index
r	Korrelationskoeffizient nach Pearson
R	Traumschlaf
REM	Rapid Eye Movement
RTS	Real-Time Strategy
S	Schlafhomöostase
SAR	Systemisches Anforderungs-Ressourcen-Modell
SCN	Nucleus suprachiasmaticus
SE	Sleep Efficiency
SOL	Sleep Onset Latency
SPD	Sozialdemokratische Partei Deutschlands
SPT	Sleep Period Time
TIB	Time in Bed
TK	Techniker Krankenkasse
TST	Total Sleep Time
VR	Virtual Reality
W	Wachzustand
WASO	Wake After Sleep Onset
WHO	World Health Organization
WOD	Workout of the Day
χ^2	Chi-Quadrat

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Die heutigen westlichen Industriegesellschaften sind geprägt von Schnelllebigkeit, zunehmender Technologisierung sowie stetig wachsenden Leistungsanforderungen. Dabei führt die durch Globalisierung und Digitalisierung veränderte Lebenswelt zugleich zu einer Veränderung respektive Fragmentierung des Schlafverhaltens (Grandner, 2017). Die Bezeichnung als „24/7 sleepless society“ (de Zambotti et al., 2019, S. 22) scheint treffend. Per se beschreibt Schlaf einen psychophysiologischen Zustand, der als Regenerationsphase – eingebettet in den natürlichen Tag-Nacht-Rhythmus – maßgeblich zur Gesundheit sowie dem allgemeinen Wohlbefinden der Menschen beiträgt (Pinel, Barnes, & Pauli, 2019). Somit werden Schlaf und Erholung in den verschiedensten Zielgruppen und Kontexten als leistungsbestimmende Faktoren diskutiert (Brand, 2018; Erlacher et al., 2012; Venter, 2012). Dabei ist bekannt, dass Stress bzw. kognitive wie körperliche Angespanntheit negativ auf den Regenerations- sowie den Einschlafprozess einwirken. So äußert sich die Schattenseite des ständig erreichbar, verfügbar und weltweit vernetzt Seins in einer weiten Verbreitung von Schlafproblemen. Laut Studien leidet mehr als ein Viertel der Bevölkerung regelmäßig oder überdauernd an Schlafbeeinträchtigungen (IFBG & TK, 2021; Marshall et al., 2017). Deren Auswirkungen zeigen sich nicht nur auf gesundheitlicher Ebene, z. B. in Form von Niedergeschlagenheit, reduziertem Wohlbefinden, Konzentrationsschwäche oder erhöhter Krankheitsanfälligkeit. Auch auf ökonomischer Ebene sind die Folgen einschneidend: Produktivitätsabfall bei zugleich steigenden Kosten für das Gesundheitssystem belasten die Wirtschaft stark. Beispielsweise betragen 2016 in Deutschland die Folgekosten aufgrund von Schlafbeeinträchtigungen mehr als 60 Milliarden Euro, was zu dieser Zeit 1,56 % des Bruttoinlandsprodukts ausmacht (Bloomberg, 2017). Aus dem Barmer Gesundheitsreport 2019 zum Themenschwerpunkt Schlafstörungen geht weiter hervor, dass sich 2017 die Arbeitsunfähigkeit in Verbindung mit einer schlafbezogenen (Krankheits-)Diagnose auf im Schnitt 56 Tage beläuft, Tendenz steigend (Grobe, Steinmann, & Gerr, 2019). Aufgrund des reziproken Verhältnisses von Schlaf, Gesundheit und Leistungserbringung scheint der von Buysse (2014) postulierte Ansatz der Gesundheitsförderung durch Schlaf(-gesundheit) vielversprechend. Bei entsprechender Fürsorge würde guter Schlaf zu einer Verbesserung des allgemeinen Gesundheitszustands der Bevölkerung und damit einhergehend zu einer Reduktion der allgemeinen Gesundheitskosten führen.

Neben schlafedukativen Maßnahmen stellt körperlich-sportliche Aktivität eine niederschwellige, höchst effiziente Methode der Schlaf- und Gesundheitsförderung dar (Erlacher, 2019). Gleichmaßen bergen smarte Verbrauchertechnologien vielfältiges Potenzial hinsichtlich des Schlaftrackings sowie digital gestützter Schlafoptimierung (Devine et al., 2022; de Zambotti et al., 2020). Aufgrund der hohen Gesamtprävalenz von Schlafbeeinträchtigungen ungeachtet oder gar wegen der hohen Bewegungszeit verkörpern Athletinnen und Athleten eine besonders interessante Zielgruppe (Singh et al., 2022). Dem entgegen steht die Diskussion um den Rückgang bzw. Ersatz von Bewegungszeit durch Bildschirmzeit. Nicht zuletzt verdeutlichen die kontinuierlich wachsenden Zahlen der sozialen Plattformen und Games-Branche diesen digitalen Trend (Game e. V., 2022). Da sich die Zielgruppen, Inhalte und Applikationsumstände im Kontext der Digitalisierung rapide verändern, erhalten Evidenzen einen Zeitstempel, „der sie zu historischen Momentaufnahmen macht und deren logischen Spielraum und Vorhersagewert damit schmälert“ (Schmidt, 2020, S. 114). So ergibt sich *einerseits* ein dringlicher Forschungsbedarf von Interventionsmöglichkeiten und Applikationsformen im Themenfeld Digitalisierung, Schlaf und (Spitzen-)Sport, *andererseits* gilt es, bestehende Evidenzen einzuordnen und zu diskutieren.

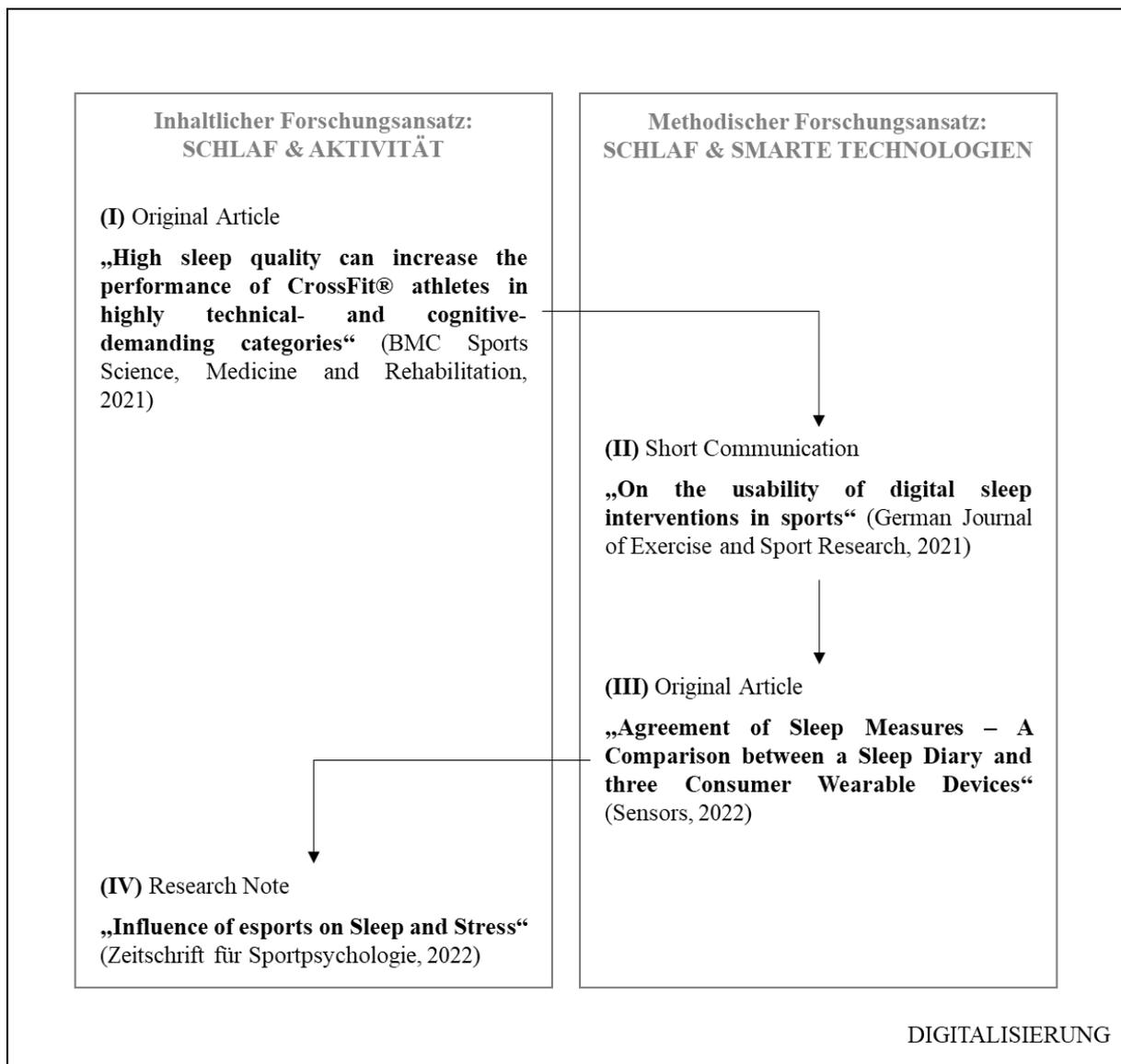
1.2 Aufbau der Arbeit

Basierend auf dieser einleitend skizzierten Problemstellung zu Schlaf, Gesundheit und Leistung im Kontext der Digitalisierung verfolgt die vorliegende Dissertation sowohl eine inhaltlich-thematische als auch methodisch-technische Herangehensweise (vgl. Abb. 1). Die Qualifikationsarbeit gliedert sich in fünf Kapitel. Das folgende Kapitel 2 dient zur umfassenden Beschreibung des theoretischen Hintergrunds. Hier werden zunächst theoretische Modelle zu Gesundheit und Leistung (Kapitel 2.1) eingeführt. Außerdem werden die Grundlagen der Schlafphysiologie (Kapitel 2.2), Schlafmessung (Kapitel 2.3) und (aktivitätsbezogener) Einflussfaktoren auf den Schlaf (Kapitel 2.4) als allen vier Teilprojekten gemeinsamen theoretischem Rahmen dargestellt. Kapitel 3 enthält neben dem Forschungsdesiderat inklusive der metatheoretischen Verortung der Teilprojekte auch die spezifischen Forschungsfragen, denen in den einzelnen Teilprojekten der Dissertation nachgegangen wird. Weiter wird in Kapitel 4 ein zusammenfassender Überblick über die vier durchgeführten Projekte gegeben, der anschließend in einer gemeinschaftlichen Diskussion (Kapitel 5.1) mündet. Darüber hinaus wird ein Ausblick auf weitere Projekte gegeben. Auch werden methodische wie inhaltliche Konsequenzen aus den gewonnenen Erkenntnissen diskutiert. Die Arbeit abschließend werden Perspektiven für die zukünftige Forschung sowie die angewandte Praxis abgeleitet (Kapi-

tel 5.2). Angehängt finden sich nicht zuletzt die im Rahmen der Dissertation veröffentlichten Artikel.

Abbildung 1

Modellhafte Projektübersicht und deren thematische Verknüpfung (eigene Darstellung)



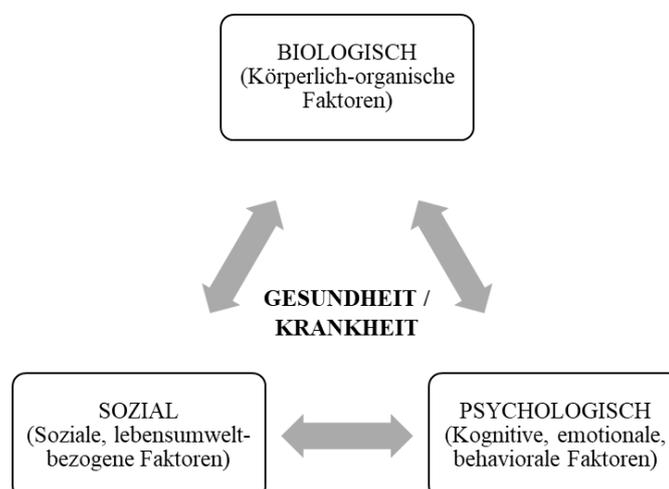
2 Theoretischer Hintergrund

2.1 Gesundheit und Leistung – Theoretische Modelle

Aufgrund seiner evolutionären Entwicklung hat der Mensch ein natürliches Bestreben zu andauernder, guter Gesundheit und Wohlbefinden inne (Hobfoll, 1989). Die Frage, wie sich jedoch ‚gute‘ Gesundheit definieren lässt, kann nicht gänzlich wissenschaftlich beantwortet werden (Huber et al., 2011). Vielmehr zeigt sich das Konstrukt der Gesundheit über theoretische Modelle erschließbar (Becker, 2006; Faltermaier, 2017). Grundlegend lässt sich zwischen *aktueller* und *habituellem* Gesundheit unterscheiden. Während die aktuelle Gesundheit einen akuten Zustand beschreibt, definiert die habituelle Gesundheit ein längerfristiges Verhalten. Entsprechend findet sich auch häufig die Bezeichnung des Gesundheitsverhaltens. Weiter kann im Sinne eines personenbezogenen Ansatzes zwischen *körperlicher* und *psychischer* Gesundheit differenziert werden. Entgegen dem dichotomen, pathogenetischem Ansatz von Gesundheit als Gegenteil bzw. Freisein von Krankheit, definiert beispielsweise bereits 1948 die Weltgesundheitsorganisation (WHO) den idealen Gesundheitszustand als „Zustand des vollständigen körperlichen, geistigen und sozialen Wohlbefindens [...]“ (Präambel der WHO-Verfassung; WHO, 2020). Demnach ist Gesundheit nicht nur höchst individuell, sondern auch von sozialen und umweltbezogenen Faktoren moderiert. Basierend auf diesem Mehrfaktorenansatz sowie dem systemischen Verständnis eines sich wechselseitig beeinflussenden Person-Umwelt-Gefüges entwickelt der Psychiater George Engel 1977 ein *biopsychosoziales Modell von Gesundheit und Krankheit* (vgl. Abb. 2).

Abbildung 2

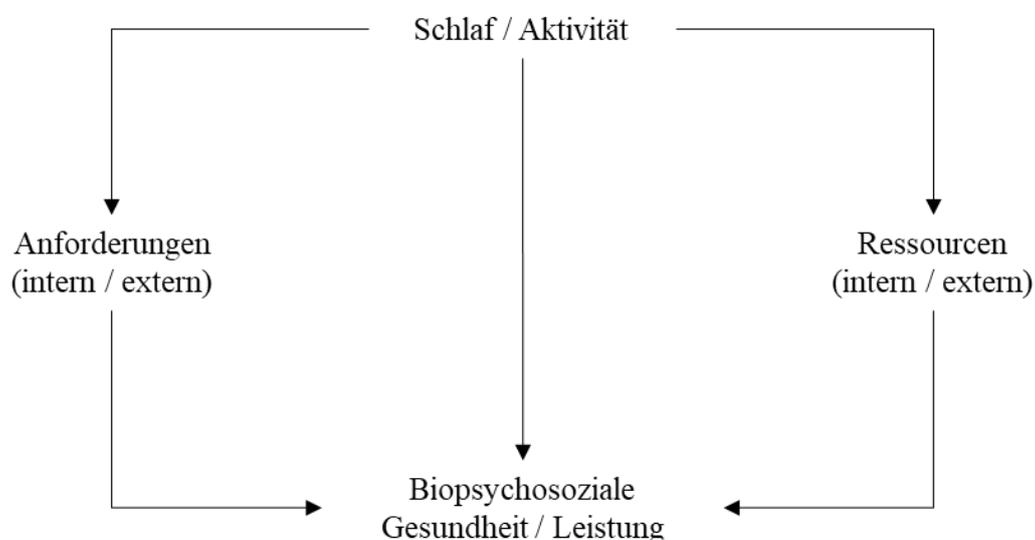
Biopsychosoziales Modell von Gesundheit und Krankheit (modifiziert nach Bolton & Gillett, 2019 und Engel, 1977)



Diesen Ansatz weiterführend erarbeitet der Soziologe Aaron Antonovsky 1979 das *Salutogenese-Modell* zur Erklärung der Entstehung von Gesundheit und Krankheit. Dieser ganzheitliche Ansatz ermöglicht die Einstufung als mehr oder weniger gesund/krank basierend auf mehreren Dimensionen (körperlich, mental, emotional, sozial) im Sinne eines Kontinuums. Da dieses Modell jedoch den aktiven Einfluss des Individuums auf die eigene Gesundheit vernachlässigt, ist es für die theoretische Fundierung dieser Arbeit weniger geeignet. Passender erscheint die systemisch-ökologische Perspektive des *Systemischen Anforderungs-Ressourcen-Modells* (SAR) nach Becker (2003, 2006). Neben der salutogenetischen Inspiration von Antonovsky basiert das Modell u. a. auf stresstheoretischen Ansätzen von Lazarus und Folkman (1984) sowie ressourcentheoretischen Ansätzen von Hobfoll (1989). Gesundheit ist hier als Resultat von Regulations- und Anpassungsprozessen im Sinne eines zirkulären Wechselspiels von Anforderungen und Ressourcen zu verstehen. Kritisch genannt werden muss jedoch, dass das SAR-Modell den Aspekt der Aktivität und dessen direkten Einfluss auf Gesundheit nur unzureichend berücksichtigt. Dies vor allem vor dem Hintergrund, dass in den letzten Jahren körperliche Aktivität als grundlegende Facette des Gesundheitsverhaltens deklariert wird (Kell, Bell, & Quinney, 2001; Wagner et al., 2006). Entsprechend soll in der Dissertation eine wie in Abbildung 3 verdeutlichte, modifizierte Variante des Modells als grundlegender theoretischer Rahmen eingeführt werden.

Abbildung 3

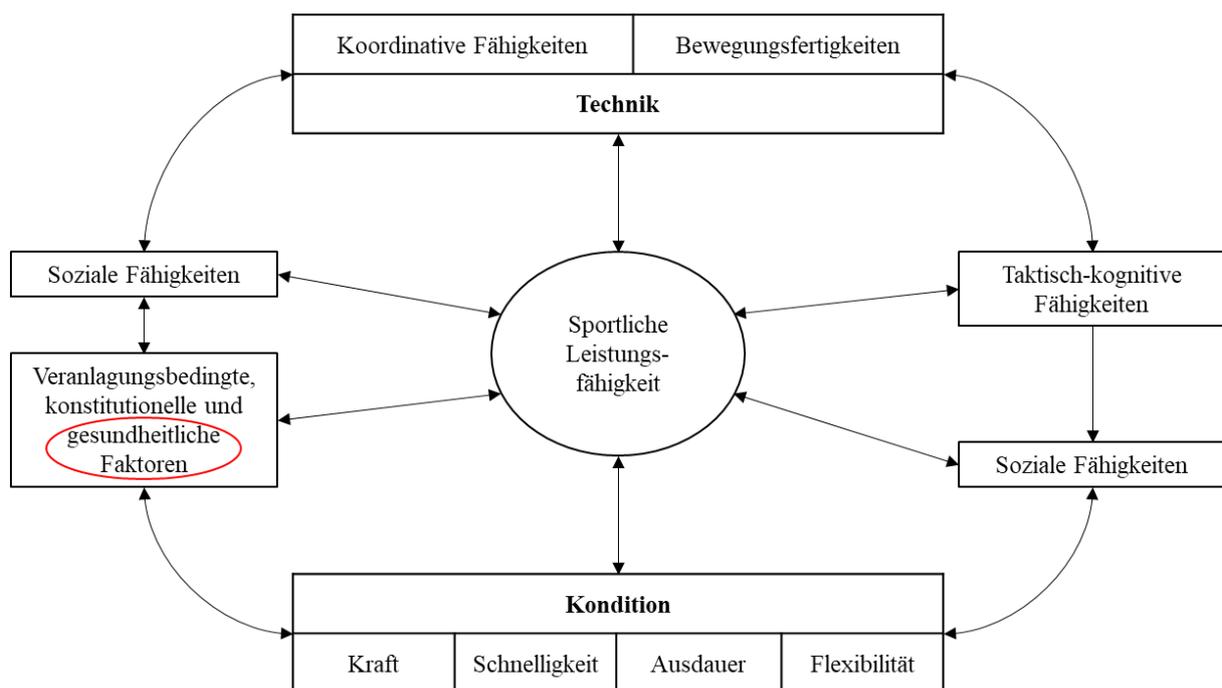
Rahmenmodell zum Zusammenspiel von Schlaf bzw. Aktivität mit Gesundheit und Leistung (modifiziert nach Becker, 2006)



Im Verständnis dieser Arbeit ist eine gute Gesundheit somit zugleich Voraussetzung für Aktivitätsverhalten im Sinne einer körperlich-sportlichen Leistungserbringung. Auch wäre die Einordnung des Schlafs als Gesundheits- und Leistungsressource zu kurz gedacht. Vielmehr stellt Schlaf sowohl ein Verhalten (im Sinne von *Schlafverhalten*) als auch eine Aktivität (im Sinne von *Schlafaktivität*) dar, welche(s) sich unmittelbar auf Gesundheit und damit auf Leistung auswirkt, sowie selbst von verschiedenen internen und externen Faktoren beeinflusst wird. Nicht zuletzt kann Schlaf, z. B. durch selbst aufgelegten Druck, gut schlafen zu wollen/müssen, zu einer An-/Herausforderung werden. Bezogen auf das Konstrukt der sportlichen Leistung, per definitionem das Bewältigen einer Bewegungsaufgabe, wird in Weinecks Modell der sportlichen Leistungsfähigkeit deutlich, dass guter Schlaf, ausreichend Erholung und Regeneration als gesundheitliche Faktoren durchaus leistungsbeeinflussend sind (vgl. Abb. 4).

Abbildung 4

Vereinfachtes Modell der sportlichen Leistung (Weineck, 2019)



Analog zur Entwicklung der westlich geprägten Industriegesellschaften sind die Konstrukte Gesundheit und Leistung in der vorliegenden Arbeit zudem in einem digitalen Rahmen zu verorten (vgl. Abb. 1). So lässt sich im Kontext der Digitalisierung der eigenen Lebenswelt der Trend beobachten, dass einerseits mehr Zeit in soziale Medien und Unterhaltungselektronik investiert, andererseits auch dem Themenbereich Gesundheit, Entspannung und Wohlbefinden mehr Aufmerksamkeit gewidmet wird (Kennedy, 2014; Statistisches Bundesamt, 2019). Entsprechend wird sich in wissenschaftlichen Untersuchungen

verstärkt mit Fragen, die den gesellschafts- und persönlichkeitsfördernden Einsatz sowie die Wirksamkeit von Medien und Technik betreffen, beschäftigt. Eng damit verbunden sind Fragen, die sich auf die notwendigen Kompetenzen beziehen, um erfolgreich wie kritisch mit den digitalen Anforderungen umgehen zu können (Wendeborn, Wallner, & Klier, 2020).

Grundlegender Bezugspunkt ist hierbei v. a. der im englischsprachigen Raum verbreitete Begriff der *Literacy*. Dieser ist gleichzusetzen mit dem deutschsprachigen Verständnis von Grundbildung, d. h. was alle wissen und können sollten oder was jeder zu erlernen hat (Tenorth, 2004). Basierend auf einem fachlich-inhaltlichen sowie situativem Bezug werden die Felder *Gesundheit (Health Literacy)*, *Bewegung, Spiele und Sport (Physical Literacy)* und nicht zuletzt *Digitalität (Digital Literacy)* unterschieden (Wendeborn et al., 2020). Insbesondere dem Public Health Sektor im Sinne einer bewussten, alltäglichen Gesundheitsproduktion ist dabei eine große Relevanz zuzuschreiben (Sørensen et al., 2012). Neben der Verbesserung individueller Gesundheitschancen ist ein möglichst gesellschaftsübergreifender Aufbau gesundheitsfördernder Lebensbedingungen zielführend. Aus einer technischen Perspektive eröffnen sich so beispielsweise neue Ansätze zur Informationsbeschaffung, zum gesundheitsbezogenen Handeln und Problemlösen, sowie zur Kommunikation und Kooperation im Kontext von Gesundheit und Krankheit (Abel & Sommerhalder, 2015; Mackert et al., 2016).

Während die fortschreitende Technisierung der Gesellschaft bis vor wenigen Jahren noch eine eher nachgeordnete Rolle einnimmt, werden Fragen des Übertrags eines digitalen Mehrwerts auf verschiedene Gesundheitskomponenten (u. a. Schlaf, Ernährung, körperliche Aktivität) zunehmend relevant. Die Selbstvermessung sowie das Sammeln, Teilen und Vernetzen von Daten rücken dabei in den Fokus (Abril, 2016; Morgan, 2016). Besonders seit der Gründung der *Quantified-Self-Bewegung* 2007 durch Kevin Kelly und Gary Wolf nimmt das menschliche Bestreben der „self-knowledge through numbers“ (Strübing et al., 2016, S. 9) ein neues, digitales Ausmaß an. Im Sinne einer bestmöglichen Selbstbestimmung und Selbstoptimierung bedeutet ein umfassendes Self-Tracking neben der Analyse und Auswertung physiologischer Daten gleichfalls die Vermessung eigener Verhaltensweisen, emotionaler Zustände oder Körperleistungen über eine bestimmte Zeit (ebd.). Aufgrund seiner Gesundheitsrespektive Leistungsrelevanz ist Schlaf ein in diesem Rahmen häufig thematisierter Aspekt. Im Verständnis der *Health Literacy* bedeutet dies die Notwendigkeit, sich individuell mit diesem Wechselspiel aus Belastung und Erholung auseinanderzusetzen (Cooper & Quick, 2017; Wortley, An, & Nigg, 2017). Dies mit dem Ziel, sowohl relevante Informationen z. B. über die benötigte Erholungs- respektive Schlafdauer aber auch die Einflüsse auf das Maß und deren Qualität zu erhalten, diese einzuordnen und gesundheitsförderlich einzusetzen (de Zambotti et

al., 2019; Perez-Pozuelo et al., 2020). An der Schnittstelle zur *Digital Literacy* werden damit Bedarfe hinsichtlich „digitale[r] Multiplikatoren“ (Wendeborn et al., 2020, S. 232) deutlich, die möglichst übergreifend einen Kompetenzerwerb in den Bereichen Wissen und Können, Kommunikation, Umgang und Nutzung bestehender gesundheitsbezogener wie digitaler Angebote sicherstellen sollen. Entsprechend der aufgezeigten digitalen Entwicklungstrends ist es wenig überraschend, dass auch bzw. besonders im (Spitzen-)Sport das Interesse und die Forschungsaktivität zum nicht nur gesundheits-, sondern auch leistungsbezogenen Themenfeld des Schlafs stark steigend sind. Denn im Sinne des Erbringens von sportlichen Höchstleistungen können gerade an internationaler Spitze der ganzheitlich optimal ausgebildete Zustand von psychischer wie physischer Gesundheit und Training erfolgsentscheidend sein. Die Devise ‚*Höher, schneller, weiter*‘ wird hier vom Ansatz ‚*The best better rest*‘ ergänzt, wenn nicht sogar abgelöst.

2.2 Schlaf als Maß für Gesundheit und Leistungsfähigkeit

Da der Mensch einen Großteil, genauer gesagt sogar ca. ein Drittel, seines Lebens in schlafendem Zustand verbringt, ist das Thema Schlaf seit jeher Inhalt wissenschaftlicher Diskurse. Während bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts die Annahme eines passiven, todähnlichen Zustandes vorherrscht, wird nunmehr auf Grundlage der bildgebenden Darstellung hirnelektrischer Aktivität auch während des Schlafens von einem durchaus aktiven Prozess ausgegangen (Fultz et al., 2019; Goel et al., 2013; Li et al., 2022). Die Entdeckung und Beschreibung des REM-Schlafs (Rapid Eye Movement) 1953 durch Eugene Aserinsky und Nathaniel Kleitman sowie die bis dato geltende Klassifizierung der verschiedenen Schlafstadien 1968 durch Alan Rechtschaffen und Anthony Kales bestärken diese neue Forschungsbasis (Roenneberg, Wirz-Justice, & Merrow, 2003).

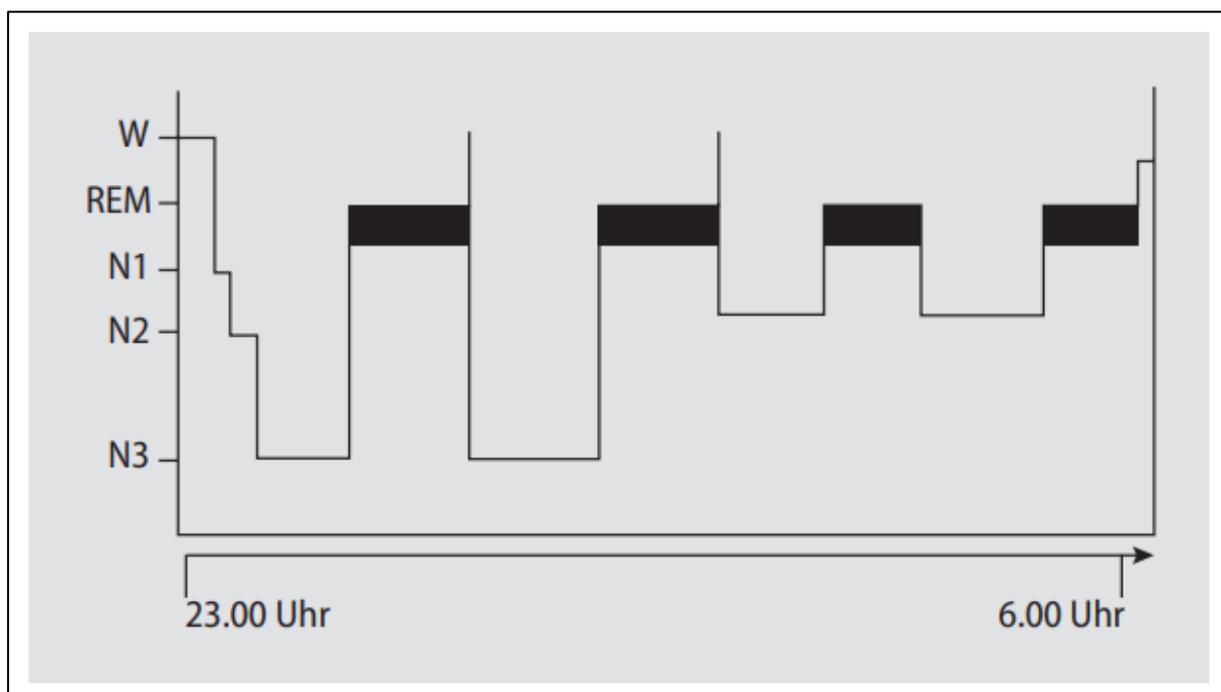
2.2.1 Schlafphysiologie

Zu den grundlegendsten Erkenntnissen der Chronobiologie zählt die Beschreibung der Zirkadianik, gleichermaßen die im ungefähr 24-Stunden-Rhythmus ablaufende Steuerung des Schlaf-Wach-Zustandes (Roenneberg & Merrow, 2016;). Der Schlafanteil liegt dabei bei 20 - 40 % (Grandner, 2017). Kennzeichnend für den Nachtschlaf ist das Durchlaufen von bis zu fünf wiederkehrenden Zyklen von *REM-* und *NREM-Schlaf* (Pinel et al., 2019). Ein Zyklus dauert in der Regel 90 bis maximal 110 Minuten. In seiner Allgemeinarchitektur setzt sich der Schlaf aus den folgenden Phasen zusammen: *Leichtschlaf* (Phasen 1 + 2), *Tiefschlaf* (Phase 3) und *REM-Schlaf* (Grandner & Allen, 2019). Vor dem Einschlafen befindet sich der Körper in

einem Wachzustand (W), was eine erhöhte Muskelaktivität und Augenbewegungen zur Folge hat. Es folgt das Dahindämmern als Übergang vom Wachen zum Schlafen, wobei diese Phase des Einschlafens (N1) nur 5 % des gesamten Schlafs ausmacht. Darauffolgend beginnt der eigentliche Schlaf mit einer weiteren Abnahme des Muskeltonus und einer Verringerung der Atem- und Herzfrequenz. Die anschließende Phase des stabilen Schlafs (N2) macht mit etwa 50 % den größten Anteil am Gesamtschlaf aus. In der folgenden Tiefschlafphase (N3; 20 %) sind die Körperfunktionen minimal reduziert, entsprechend hoch ist die Aufwachschwelle. Die gleichzeitig erhöhte Ausschüttung von Wachstumshormonen in dieser Phase fördert jedoch die Regenerationsprozesse. Während die vollständige Muskelatonie bestehen bleibt, kommt es im anschließenden Traumschlaf (R) zu episodischen, schnellen Augenbewegungen (REM). Unregelmäßige Atmung und Herzfrequenz sind weitere Merkmale dieses REM-Schlafs, der etwa 20 - 30 % des gesamten Schlafs ausmacht. Charakteristisch ist zudem eine verhältnismäßig kurz andauernde REM-Phase im Vergleich zur Tiefschlafphase im ersten Schlafzyklus. Dieses Verhältnis kehrt sich allerdings im Verlauf der Nacht allmählich um, sodass die REM-Phasen immer länger und die Tiefschlafphasen immer kürzer werden. Ungefähr ab dem dritten Schlafzyklus treten sogar kaum mehr Tiefschlafphasen auf. Abbildung 5 zeigt schematisch die Abfolge der Schlafstadien eines normalen, gesunden Schlafs.

Abbildung 5

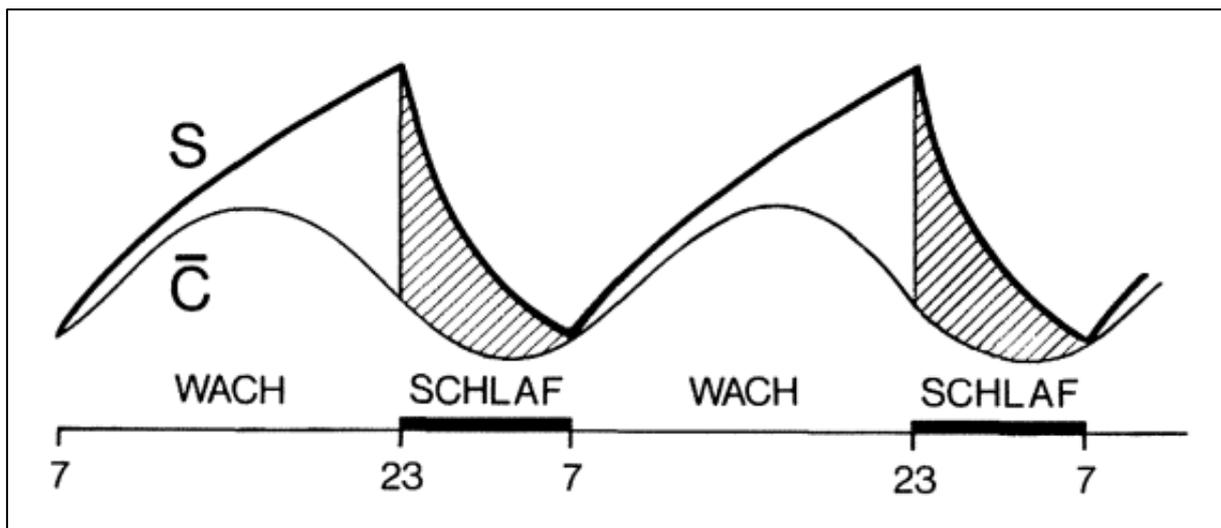
Normales Hypnogramm (Crönlein, Galetke, & Young, 2020)



Der über den Tag aufgebaute ‚*Schlafdruck*‘ erzeugt Müdigkeit und fördert das Einschlafen. Dieser entsteht durch zwei natürliche im Körper ablaufende Prozesse (vgl. Abb. 6). Dabei entwickelt sich der homöostatische Prozess S entgegengerichtet zum zirkadianen Prozess C. Damit soll gesagt werden, die körperliche Müdigkeit, im Sinne von Schlafdruck, nimmt mit andauernder Wachheit zu, um sodann im Schlaf wieder abgebaut zu werden (Borbély et al., 2016). Als Taktgeber fungiert die im suprachiasmatischen Kern (SCN) lokalisierte *innere Uhr*, welche sich selbst durch Zeitgeber wie dem Tageslicht oder Melatonin synchronisiert. Die Wechselwirkung beider Prozesse reguliert schließlich die Struktur und das Timing des Schlafs. Schlafrestriktion oder veränderte Schlafzeiten, beispielsweise durch Schichtarbeit oder einen Jetlag ausgelöst, können hingegen zu einer Verschiebung bzw. Desynchronisation der inneren Uhr führen und dadurch die Schlafqualität verringern (Roenneberg & Merrow, 2016).

Abbildung 6

Zwei-Prozess-Modell der Schlafregulation (Borbély, 1988)



Aufgrund individueller Unterschiede bei Aktivität und Schläfrigkeit werden Morgen- (Lerchen) und Abendtypen (Eulen) unterschieden (Erlacher, 2019): Die Lerchen sind analog zu ihrem tierischen Namengeber v. a. frühmorgens aktiv und bereits am frühen Abend müde. Dagegen sind die Eulen vormittags weniger leistungsstark, jedoch bis in die (späten) Abendstunden wach und aktiv. Übertragen auf die Gesamtbevölkerung können lediglich 20 % diesen Extremen zugeordnet werden, 80 % sind Mischtypen. Genauso sind keine exakten Angaben möglich, wie viel Schlaf der Mensch wirklich braucht bzw. in welchem Richtungsverhältnis endo- und exogene Einflussfaktoren mit dem Schlaf, der Regeneration oder der Leistungsfähigkeit stehen (ebd.; Brand, 2018; Buysse, 2014).

Besonders die Frage nach der Funktion des Schlafs ist bis heute noch nicht gänzlich wissenschaftlich fundiert beantwortet. Grundsätzlich scheint Schlaf nicht nur ein essentieller Bestandteil des menschlichen Lebens zu sein, sondern ist überlebenswichtig. Aus einer phylogenetischen Sicht lässt sich feststellen, dass der Schlaf neben einer Hirnreifung und Verarbeitung tagsüber aufgenommener Informationen maßgeblich auch zu einer Energiekonservierung bzw. metabolischer Regeneration dient. Schlafentzugsexperimente über Zeiträume weniger Tage zeigen bei Gesunden zudem eine Abnahme der psychophysischen Leitungsfähigkeit, wohingegen in Tierexperimenten andauernder Schlafentzug zu metabolischem Versagen bis hin zum Tod führt (Goel et al., 2013).

Die körpereigene Steuerung des Schlafs geschieht durch im Hypothalamus lokalisierte Neuropeptide, genauer deren Interaktion zwischen Wachstumshormonen und den Neuropeptiden Corticoliberin (CRH) und Cortisol. In der ersten Schlafhälfte kommt es zu einer maximalen Ausschüttung der Wachstumshormone Somatoliberin (GHRH) und Somatotropin (GH) bei zugleich minimaler Ausschüttung von CRH und Cortisol. Charakteristisch für die zweite Schlafhälfte ist dagegen die maximale Ausschüttung von CRH und Cortisol bei zugleich minimaler Ausschüttung der Wachstumshormone GHRH und GH (Brand, 2018). Daneben sind der Abtransport von Schlackenstoffen, Zellerneuerung und -umbau physiologische, die Erholung und Regeneration prägenden Merkmale des Schlafs. Während die Aktivität des gesamten Körpers jedoch heruntergefahren ist, zeigen neuere Forschungen in Bezug auf die Gehirnaktivität eine scheinbar nächtlich stattfindende ‚Gehirnwäsche‘, sprich eine Erneuerung des Liquors (Fultz et al., 2019). Diese Erkenntnisse dienen sowohl als möglicher Erklärungsansatz der im Schlaf erfolgenden Gedächtniskonsolidierung (Erlacher, 2019) als auch zur Hypothesenbildung über das Altern sowie neurologische Erkrankungen, die im Zusammenhang mit Schlafstörungen stehen (Fultz et al., 2019). Die regenerative Aufgabe des Schlafs besteht zusammengefasst also vordergründig in der Wiederherstellung der Homöostase, dem inneren, physiologischen Gleichgewicht. Schlafentzug kann, je nach anhaltender Dauer, schwerwiegende physiologische Folgen haben: Neben auftretenden Gedächtnisdefiziten, kommt es zu einer verstärkten Schmerzwahrnehmung bei zugleich verminderter Immunreaktion (erhöhtes Entzündungs-/Erkrankungsrisiko). Nicht zuletzt wird der gesamte Stoffwechsel derart gestört, dass ein erhöhtes Fettleibigkeits- und Diabetesrisiko bestehen können (Pinel et al., 2019).

Nationale Institutionen wie die *American Academy of Sleep Medicine* (AASM) oder die *Deutsche Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin* (DGSM) empfehlen 7 - 9 Stunden Schlaf pro Nacht für gesunde Erwachsene. Eine Forsa-Umfrage aus dem Jahr 2017 zeigt jedoch, dass in Deutschland mehr als die Hälfte aller Befragten weniger als die empfohlene

Menge schläft (TK, 2017). Auch weltweit scheint die Schlafdauer zwischen 6 - 10 Stunden zu liegen, mit einer deutlichen Tendenz zur kürzeren Zeit (Walch, Cochran, & Forger, 2016). Nicht nur bei (Spitzen-)Sportlerinnen und (Spitzen-)Sportlern ist der heutige Alltag geprägt von einem stetigen Wechsel aus Leistungs-/Belastungs- und Erholungsphasen. Die Gefahr besteht dabei in einer Akkumulation der Anspannung, einem Ungleichgewicht zwischen den Phasen bis zu dem Punkt, der ein Abschalten und Entspannen nicht mehr möglich macht (Fuchs & Gerber, 2018; Schinagl, 2016). Die häufige Folge sind Ein- und Durchschlafstörungen. Dabei wird gerade der „Schlaf [...] als das bedeutsamste und effizienteste Werkzeug zur körperlichen, kognitiven, emotionalen und behavioralen Regeneration und Restriktion“ (Brand, 2018, S. 306) beschrieben. Dies führt mittlerweile zu einem Paradigmenwechsel in der Schlafmedizin, sodass nun weniger die Schlaflosigkeit jedoch vielmehr der nicht erholsame Schlaf als Diagnosekriterium zum Beispiel für Insomnien herangezogen werden (Petermann & Vaitl, 2009).

2.2.2 Schlafdiagnostik

2.2.2.1 Objektive Erfassungsmethoden

Der Goldstandard in der Schlafmedizin zur Erfassung von Schlafmerkmalen und zur Diagnose von Schlafstörungen ist die Polysomnographie (PSG). Dabei werden neben den Gehirnströmen mittels Elektroenzephalographie (EEG) auch die Augenbewegungen mittels Elektroofukulographie (EOG) und die Muskelspannung mittels Elektromyographie (EMG) gemessen. Durch die Aufzeichnung dieser Biosignale ergeben sich Signalkurven mittels derer der Schlaf in die verschiedenen Stadien eingeteilt werden kann, die sodann zugleich als Referenz für verschiedene physiologische Zustände und verändertes Erleben dienen (Müller & Paterok, 2017). Gemäß der AASM (Rodenbeck, 2013) sollten für eine standardisierte Charakterisierung des späteren Schlafs folgende quantitative Parameter erfasst/berechnet werden:

- *Time in Bed* (TIB; Zeit zwischen Hinlegen und Aufstehen)
- *Sleep Onset Latency* (SOL; Zeit bis zum Einschlafen)
- *Wake After Sleep Onset* (WASO; Anzahl und Dauer der Aufwachphasen nach dem Einschlafen)
- *Sleep Period Time* (SPT; Zeit zwischen Einschlafen und Aufwachen)
- *Total Sleep Time* (TST; effektive Schlafzeit minus SOL und WASO)
- *Sleep Efficiency* (SE; $[(TST \times 100)/TIB]$)

Sodann sollten geeignete Richtlinien wie die der *National Sleep Foundation* angewandt werden, um diese Werte als gut oder auffällig zu klassifizieren und zu interpretieren (Ohayon et al., 2017).

Da der Einsatz der PSG im Verhältnis teuer und aufwendig ist, ist diese außerhalb des klinischen Settings eher weniger geeignet (Crivello et al., 2019). Hinzukommt die Problematik des sogenannten ‚*first-night-effect*‘, wodurch die Messungen der ersten Nacht in einer fremden/ ungewohnten Umgebung kaum zu verwerten sind (Pinel et al., 2019). Zwar gibt es inzwischen auch portable PSG-Varianten, doch finden diese im Feld, v. a. für ein längerfristiges Monitoring, kaum praktikable Anwendung (Hof zum Berge et al., 2020; Younes et al., 2017).

Im Sinne einer praktikableren Möglichkeit wird in den letzten Jahren zunehmend auf die quantitative Erhebung mittels Aktigraphie gesetzt (Fekedulegn et al., 2020). Diese bewegungsbezogene Aktivitätserfassung über Beschleunigungssensoren (Akzelerometer) bietet eine ebenfalls nicht-invasive, aber einfach zu implementierende Alternative. Sie hat nachweislich keinen Einfluss auf das gewohnte Schlafverhalten und ist gleichzeitig bei jungen, gesunden Personen mit einer Genauigkeit von über 90 % mit vergleichbaren PSG-Daten validiert worden (Full et al., 2018, Gruwez et al., 2017; Marino et al., 2013). Generelle Schwächen der Akzelerometrie scheinen im Unterschätzen der Einschlafdauer sowie dem nicht oder kaum Wahrnehmen bis hin zum Überschätzen der Dauer kurzer Aufwachmomente/-phasen zu liegen (Muzet et al., 2016). Ähnliche Einschränkungen wurden allerdings auch bei nicht tragbaren Alternativen zur Schlaferfassung festgestellt (Chinoy et al., 2019).

Ein weiteres tragbares und gut anwendbares, aber noch nicht vollständig validiertes Instrument zur Erfassung objektiver Schlafparameter sind Wearables wie Fitnessarmbänder und Smartwatches (Baron et al., 2018; Grifantini, 2014; Stone et al., 2020). Neben der Beschleunigungsmessung erfassen und generieren sie Daten hauptsächlich über die Aufzeichnung der Herzfrequenz. Aufgrund der Aufzeichnungsgrenzen der Devices greifen sie auf zusätzliche Algorithmen zurück. Je höher beispielsweise die Anzahl der nächtlichen Unterbrechungen ist, desto weniger zuverlässig wird die Datenausgabe (Mantua, Gravel, & Spencer, 2016; Rieck et al., 2019). Die smarte Technologie nutzt daher den Ansatz einer Lernkurve: Wird das Wearable auch tagsüber getragen, können Daten zu Herzfrequenz und Aktivität gesammelt werden, die wiederum die Grundlage für die nächtliche Datengenerierung bilden. Unlängst veröffentlichten Autoren erste Formulierungen zur Erprobung und schrittweisen Anleitung der (tragbaren) Schlaftracking-Technologie (Depner et al., 2020; Grandner & Rosenberger, 2019; Menghini et al., 2020).

2.2.2.2 Subjektive Erfassungsmethoden

Basierend auf dem aktuellen Forschungsstand kann davon ausgegangen werden, dass eher die Schlafqualität (d. h. das subjektive Erholungs- und Entspannungsgefühl) als die

quantitative Schlafmenge (d. h. die Gesamtschlafzeit oder die Anzahl der Wachphasen) entscheidend für das Maß der Erholung und des Wohlbefindens sei. Daher sind subjektive Bewertungsmethoden wie Schlaftagebücher und -protokolle von besonderer Bedeutung für die retrospektive Erfassung subjektiver Informationen über individuelle Schlafgewohnheiten. Neben dem Abend-Morgenprotokoll der DGSM (Hoffmann et al., 1997) als bekanntem und weit verbreitetem Standard gibt es eine Vielzahl standardisierter und validierter Schlafragebögen [z. B. *Pittsburgh Sleep Quality Index*, PSQI (Buysse et al., 1989); *Epworth Sleepiness Scale*, ESS (Johns, 1991); *Munich Chronotype Questionnaire*, MCTQ (Roenneberg et al., 2003)]. Dabei gilt es anzumerken, dass sich die subjektiv erhobenen Daten durchaus von den objektiven Messwerten unterscheiden können. Während es bei den quantitativen Methoden zu Messfehlern oder Artefakten kommen kann, sind genauso persönliche Wahrnehmung, Setting/Umgebungsfaktoren oder auch instrumentenbezogene Aspekte nicht immer deckungsgleich. Verschiedene Autoren, u. a. Grandner (2017) und Kroshus et al. (2019), beschreiben wiederkehrend, dass Probandinnen und Probanden in Tagebüchern oft mehr/längeren Schlaf dokumentieren als in anderen retrospektiven Berichten. Dies begründet sich hauptsächlich auf die meist unscharfe bzw. fehlende Trennung zwischen Bettliegezeit und tatsächlicher Schlafdauer. Ebenso sind Verzerrungen oder Lücken in der Erinnerung und andere Personencharakteristika Merkmale, die das Beantworten von Fragebögen o. ä. individuell beeinflussen (Ibáñez, Silva, & Cauli, 2018b). Dennoch ist die Kombination verschiedener Erfassungsvarianten zur Erlangung eines möglichst umfassenden Gesamteindrucks des Schlafs und aller beeinflussender Faktoren sinnvoll und erstrebenswert. Analog zu den Empfehlungen zur Erfassung des Aktivitätsverhaltens gewährleistet dieses Vorgehen einen fundierten vielschichtigen Prozess der Erkenntnisgewinnung. Dieser ist beispielsweise für Steuerungsprozesse im und einen praxisrelevanten Transfer in den (Spitzen-)Sport maßgeblich.

2.2.3 Einflussvariablen auf Schlaf: Körperliche Aktivität und Stress

In Anlehnung an das biopsychosoziale Modell (vgl. Abb. 2) sind nicht nur Gesundheit und Leistung von diversen Faktoren abhängig, auch der Schlaf bzw. die Schlafgesundheit werden von verschiedenen Einflüssen moduliert. Sobald es zu einem Ungleichgewicht zwischen den Einflussfaktoren und den individuellen Umgangs-/Bewältigungsmöglichkeiten kommt, entstehen Schlafprobleme, die ihrerseits wiederum Defizite und Einbußen von Gesundheit und Leistung bewirken können.

2.2.3.1 Schlaf und Sport

Gerade (Spitzen-)Sportlerinnen und (Spitzen-)Sportler verkörpern eine besonders vulnerable Gruppe hinsichtlich Schlafproblematiken. Deren erhöhte Anfälligkeit lässt sich laut dem Consensus Statement zu Schlaf und Sport von Walsh und Kollegen (2020) auf die hohe körperliche Belastung, den damit einhergehenden erhöhten Regenerationsbedarf, den erlebten Stress und Druck sowie die eng getakteten Trainings- und Wettkampfzeitpläne zurückführen. Dabei scheinen Individualsportlerinnen und Individualsportler, aufgrund deren Umgangs mit Stress und dem individuellen Leistungsdruck, häufiger betroffen als Mannschaftssportlerinnen und Mannschaftssportler (Lastella, Lovell, & Sargent, 2014). Eine Untersuchung von Biggins et al. (2021) ergibt beispielsweise, dass Schlafprobleme v. a. in der Nacht vor (16 %) und während (23 %) Wettkämpfen weit verbreitet sind. Negative Auswirkungen auf die Stimmung, das Wohlbefinden sowie das allgemeine Gesundheitsgefühl werden benannt. Dabei sind Schwimmerinnen und Schwimmer stärker betroffen als die untersuchten Leichtathletinnen und Leichtathleten und Fußballerinnen und Fußballer (ebd.). Zu ähnlichen Ergebnissen gelangt die Forschergruppe um Lastella et al. bereits 2015, in deren Untersuchung Schwimmerinnen und Schwimmer durchschnittlich 40 Minuten zum Einschlafen benötigen, verglichen mit etwa neun Minuten bei Fußballerinnen und Fußballern. Die in der Erhebung von Biggins et al. (2021) eingeschlossenen Olympioniken berichten zu mehr als zwei Drittel (73 %) sogar ab einem Zeitraum von neun Monaten vor den Olympischen Spielen von wettkampfbezogenen Schlafproblemen. Daneben geben schon in einer früheren Studie von Erlacher et al. (2011) mehr als zwei Drittel der Befragten an, unmittelbar vor dem Wettkampf schlecht/unruhig zu schlafen. Weibliche Athletinnen zeigen sich dabei häufiger betroffen als männliche Athleten. Darüber hinaus sind schlechte Träume, Versagensangst und Nervosität die meist genannten Auslöser für Schlafprobleme. Weiter weisen beispielsweise Knufinke und Kollegen (2018b) sowie Silva und Kollegen (2019) nach, dass, objektiv gemessen, Frauen besser schlafen als Männer, diese jedoch subjektiv ihren Schlaf häufig als schlechter bzw. wenig erholsam oder eingeschränkt beschreiben. Zudem lassen neuere Erkenntnisse aus dem Forschungsbereich zum zyklusbasierten Training einen erhöhten physiologischen Regenerations- und Schlafbedarf bei Frauen während der Menstruation annehmen (Hrozanova et al., 2021). Grundsätzlich unterscheiden sich das Schlafverhalten und die Leistungserbringung in Abhängigkeit des individuellen Chronotyps (Vitale & Weydahl, 2017). Die Zirkadianik gilt demnach nicht nur für die Schlafregulation, sondern auch für die Leistungsfähigkeit über Tag. Basierend auf Untersuchungen im Schwimmsport lässt sich die Tendenz zu etwas leistungsfähigeren Morgentypen erkennen. Das heißt jedoch zugleich, dass Sportlerinnen und Sportler bei Wettkämpfen während

optimaler, individueller Leistungszeit besser abschneiden, als wenn sie außerhalb ihrer persönlichen Komfortzeit Leistung erbringen müssen (ebd.; Facer-Childs & Brandstaetter, 2015).

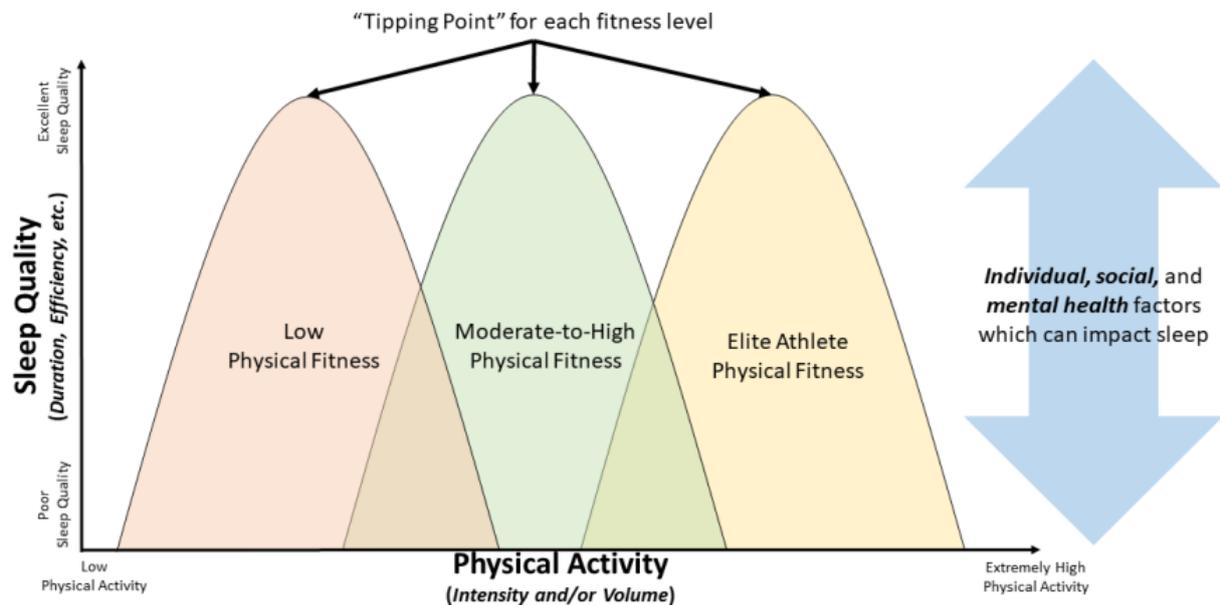
Zusammengenommen zeigen Studien im Sportkontext, dass eine bessere Erholung und Schlafqualität die sportliche Leistung, die Motivation und Konzentration sowie die allgemeine physiologische und psychologische Leistungsfähigkeit positiv beeinflussen (Chandrasekaran, Fernandes, & Davis, 2020; Charest & Grandner, 2020). Auch wirkt sich eine hohe Schlafqualität nicht nur positiv auf den zirkadianen Rhythmus, das Hormon- und das Immunsystem aus, sondern verringert die empfundene Erschöpfung und das Schmerzempfinden (Walsh et al., 2020). Im Gegensatz dazu wirken sich Schlafstörungen negativ auf die Stimmung aus und führen zu einem Rückgang der feinmotorischen Fähigkeiten, der Kraft und der aeroben Leistung (Andrade et al., 2016; Fullagar et al., 2015; Lu, An, & Qiu, 2022). Dabei können Stress sowie kognitive und körperliche Anstrengungen den Regenerationsprozess, insbesondere den Prozess des Einschlafens selbst, negativ beeinflussen. In diesem Zusammenhang zeigen beispielsweise Kellmann, Kölling und Pelka (2018) das Risiko von kurzfristigen Leistungseinbußen bis hin zu langfristigen gesundheitlichen Folgen durch die negative Kombination von Stressfaktoren, geringen Ressourcen und schlechten Schlafgewohnheiten in Bezug auf Schlafqualität und Schlafdauer auf. Dennoch schlafen viele (Spitzen-)Sportlerinnen und (Spitzen-)Sportler weniger als die von der AASM und der DGSM empfohlenen 7 - 9 Stunden, was zu einer Häufung von Schlafproblemen bei (Spitzen-)Sportlerinnen und (Spitzen-)Sportlern führt (Kölling et al., 2019; Nedelec et al., 2020). Laut Gupta, Morgan und Gilchrist (2016) ist diese hohe Gesamtprävalenz von athletischen Schlafbeeinträchtigungen durch Schlafapnoen, hohe Schlaffragmentierung, nicht erholsamen Schlaf und übermäßige Tagesmüdigkeit gekennzeichnet. Wie erwähnt, scheinen v. a. vor Wettkämpfen eine schlafrestriktierende hohe Erregung und ängstliche Gedanken vermehrt aufzutreten. So erkennen u. a. Lastella und Kollegen (2014) eine Varianz von 4 - 5 % in der Stimmung und dem allgemeinen Wohlbefinden nach einer schlechten Nachtruhe. Zudem belegt die Forschergruppe um Sargent et al. (2021) kürzlich, dass die Mehrheit der Sportlerinnen und Sportler (71 %) aus den unterschiedlichsten Sportarten nicht die benötigte Schlafzeit, von im Schnitt 8,3 Stunden ($\pm 0,9$ h), erreicht, um sich ausgeruht zu fühlen. Darüber hinaus kann aufgrund der hohen körperlichen Belastung angenommen werden, dass Sportlerinnen und Sportler sogar mehr Schlaf als die Normalbevölkerung benötigen (ebd.). Auch wenn die Maximalkraft infolge einer einzigen schlecht geschlafenen Nacht nicht oder nur geringfügig beeinträchtigt scheint, sind deutliche Einbußen bei Koordination und längeren Ausdauerleistungen ersichtlich (Knufinke et al., 2018a; Mah et al., 2019). Ein möglicher Erklärungsansatz wäre hier die Verknüpfung mit einer

erschwert aufrechtzuerhaltenden Motivation und Konzentration sowie einem reduzierten Wohlbefinden angesichts einer schlecht geschlafenen Nacht. Dies spricht wiederum auch für die gefundene Korrelation zwischen Untererholung und erhöhter Verletzungsanfälligkeit (Clemente et al., 2021). Besonders bei jugendlichen Athletinnen und Athleten gilt es, diesen Zusammenhang zu berücksichtigen, da diese noch in der Entwicklung und nicht voll austrainiert sind (Copenhaver & Diamond, 2017; Milewski et al., 2014). Da sich das Gefühl der Erholtheit, ausgedrückt in der Schlafqualität, reziprok zum Stressempfinden verhält, ist lediglich die Erhöhung der Schlafdauer nicht ausreichend. Vielmehr bedarf es qualitativer Schlafinterventionsmaßnahmen. Empfehlungen gehen sogar dahin, Schlaf als Trainingsinhalt sowie im Rahmen eines bewussten, ganzheitlichen Monitorings miteinzubeziehen (Vitale et al., 2019). Erste Interventionsstudien und Aufklärungskampagnen für eine gute, optimierte Schlafgesundheit belegen positive Effekte (Fullagar et al., 2016; Shell et al., 2020; van Ryswyk et al., 2017). Denn grundsätzlich gilt, je größer der Schlafmangel, desto einschneidender die Leistungseinbußen (Erlacher, 2019). Bei Schlafmangel im Sinne eines Schlafentzugs (≤ 6 h Schlaf innerhalb einer 24 h Episode) errechnen beispielsweise Craven und Kollegen (2022) unlängst einen durchschnittlichen Leistungsabfall um $-0,4\%$ pro Stunde wach infolge eines Schlafentzugs.

Basierend auf den aktuellen Evidenzen, bleibt die Richtung des Zusammenhangs von Schlaf und Sport jedoch unklar: Während ein guter Schlaf und ausreichend Erholung der sportlichen Leistungserbringung förderlich sind, scheint sich genauso regelmäßige, aber nicht zu intensive, körperlich-sportliche Betätigung positiv auf den Schlaf, vornehmlich das Ein- und Durchschlafen, auszuwirken (Atoui et al., 2021; Chennaoui et al., 2015; Min et al., 2021; Roberts, Teo, & Warmington, 2019). Falck, Stamatakis und Liu-Ambrose (2021) bezeichnen diese reziproke Wechselbeziehung verbunden mit der hohen Gesamtprävalenz von Schlafproblemen bei Athletinnen und Athleten als „athlete’s sleep paradox“ (S. 4) und beschreiben die Beziehung zwischen Schlaf und körperlich-sportlicher Aktivität in einer modifizierten umgekehrten U-Funktion (vgl. Abb. 7). In Übereinstimmung mit Überlegungen von Brand (2018) sehen die Autoren den Scheitelpunkt der U-Form, sprich ab wann körperlich-sportliche Aktivität schlafförderlich wirkt, bei bzw. etwas oberhalb der WHO-Bewegungsempfehlungen von 150 Minuten moderater oder 75 Minuten intensiver Aktivität pro Woche.

Abbildung 7

Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen Schlaf und Sport (Falck, Stamatakis, & Liu-Ambrose, 2021)



2.2.3.2 Schlaf und E-Sport

Eine neuartige Aktivität, die sich ebenfalls mit Schlaf, Gesundheit und Leistung in Verbindung bringen lässt, ist die digitale Aktivität des E-Sports. E-Sport, verstanden als das wettkämpfmäßige, virtuelle Spielen von Computer- oder Videospiele, sowie Gaming als dessen freizeitmäßiger Gebrauch (ESBD, 2018) erfreuen sich stark zunehmender Beliebtheit. Seit der Aufnahme des E-Sports in den Koalitionsvertrag von CDU, CSU und SPD 2018 gibt es in der Bundesrepublik hierzu einen intensiven gesamtgesellschaftlichen sowie (sport-)wissenschaftlichen Diskurs (zusammenfassend siehe Breuer & Görlich, 2022). Die überwiegend normativ geprägte Diskussion führt über die vollständige Ablehnung des E-Sports als Sportart (Borggreffe, 2018), die Forderung nach einer differenziert zu führenden Diskussion (Thiel & John, 2018) und der Betrachtung des E-Sports als Spiel (Wendeborn, Schulke, & Schneider, 2018), bis hin zur Position, E-Sport aufgrund erhobener Belastungsparameter als Sportart anzuerkennen (Tholl et al., 2019). Dieser digitale Trend gilt als globales Phänomen und zeigt sich sowohl in den immer zahlreicher werdenden Plattformen und Spielmöglichkeiten als auch in der wachsenden Anzahl der E-Sporttreibenden. Differenziert nach den zugrundeliegenden Spielmechanismen lassen sich die E-Sport-Titel in die Disziplinen *Ego-Shooter (FPS)*, *Echtzeit-Strategiespiele (RTS)*, *Multiplayer Online Battle Arena-Spiele (MOBA)*, *Sport- und*

Rennsimulationen einteilen (Streppelhoff, 2018). Per se stellt das Spielen solch digitaler Spiele eine kognitionsbasierte, spiel- und wettkampforientierte, vorwiegend mit sedentärem Verhalten und erhöhten Bildschirmzeiten assoziierte Tätigkeit dar. Analog dazu werden an der Schnittmenge von Digitalisierung und Gesundheitsförderung v. a. die veränderten Bildschirmnutzungszeiten diskutiert (Rowland et al., 2016). Während jedoch in den 1990er Jahren die Bildschirmnutzung noch mit Sitzzeiten gleichgesetzt werden (Schmidt, 2020), führen neue Inhalte und Technologien (Augmented Reality, Virtual Reality) aktuell dazu, dass Bildschirmnutzungszeiten nicht mehr unmittelbar mit Sitzzeiten zu assoziieren sind (Kaye & Levy, 2017). In diesem Zusammenhang wird die zunehmende gesellschaftliche Bedeutung des E-Sports relevant. Abseits der Frage, ob es sich beim E-Sport um eine Sportart oder virtuelles Spiel (als Teil der Kultur des Spielens) handelt oder nicht (dvs, 2019), stehen in der Auseinandersetzung mit dem E-Sport vermehrt inhaltliche Aspekte im Vordergrund. Dazu zählen insbesondere die evidenzbasierte Betrachtung des Zusammenhangs von virtuellem Spiel und kognitiven (Gnambs et al., 2020), gesundheitsbezogenen (Marker, Gnambs, & Appel, 2022) und sozialen Markern (Lemcke & Weh, 2018). Im Kontext von Gesundheit ist zu beobachten, dass Game-Engines (Framework für virtuelle Spiele) heute für zahlreiche Zwecke eingesetzt werden. Als ein hinreichend erforschter Vorläufer dieser Entwicklungen lässt sich das *Exergaming* benennen (Benzing, Chang, & Schmidt, 2018). Auch wenn Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler wie Ketelhut und Kollegen (2021) vermehrt für (Exer-)Gaming als Möglichkeit der zeitgemäßen Förderung körperlicher Aktivität plädieren, so fokussiert sich das Gros der Forschung auf dessen negativen Auswirkungen. Gesundheitliche Risikofaktoren sind beispielsweise durch nächtliche Spiel-/Trainingszeiten, erhöhte Koffeinzufuhr sowie teils fehlendem sportlichen Ausgleich gegeben (Rudolf et al., 2020, 2022; Trotter et al., 2020; Yin et al., 2020). Aufgrund der uneinheitlichen Studiendesigns, den heterogenen Zielgruppen und verschiedenen Spieletiteln sind die bis dato durchgeführten Untersuchungen jedoch kaum miteinander vergleichbar und die Evidenzlage ist somit gering (Cranmer et al., 2021; Huard Pelletier et al., 2020).

Im Kontext von Gesundheit und Schlaf weisen erste Studien auf einen wechselseitigen Zusammenhang zwischen Gaming, Schlafverhalten und Stresserleben hin (Lee et al., 2021; Palanichamy et al., 2020). Einerseits scheint das infolge intensiven Spielens erhöhte Arousal das Ein-, Durch- oder Tiefschlafen zu beeinträchtigen (Akçay & Akçay, 2020; Altintas et al., 2019). Andererseits zeigt sich als potenziell problematisch, dass – einhergehend mit Schule und Beruf – der Gaming-Zeitraum meist am Nachmittag und Abend bis in die Nacht hinein liegt (Triberti et al., 2018). Besonders nächtliche Spielsessions bedingen einen reduzierten Schlaf

und verändertes Erwachen, was sich letztlich in einer erhöhten Tagesschläfrigkeit und Trägheit äußert. Schon ab 60 Minuten Spieldauer unmittelbar vor dem Zubettgehen sind negative Auswirkungen bezogen auf die Bettliegezeit, die Schlafdauer sowie allgemein die Einschlaf- und Aufwachphase zu verzeichnen (Peracchia & Curcio, 2018). Eine Erhöhung der Spielzeit auf 150 Minuten hat beispielsweise eine Verringerung der Schlafdauer um durchschnittlich 27 Minuten, verbunden mit einer Abnahme der Schlafqualität um etwa 7 %, zur Folge (ebd.). Bereits 2015 zeigen Exelmans und van den Bulck nicht nur, dass die Schlafqualität umso schlechter ist, je länger gespielt wird, sondern auch, dass jede zusätzliche Stunde digitales Spielen am Abend die Schlafzeit um 6,9 Minuten [95 % KI: 7,8 - 19,7 min] verschiebt. Entsprechend können Hartmann et al. (2019), deren Untersuchung eine einmalige Spieldauer von 300 Minuten umfasst, eine verminderte Schlafeffizienz um -3,5 % ($r = 0,40$, $p = 0,017$) nachweisen. Auch eine Studie aus China (Wang, Mati, & Cai, 2021) sowie die Ergebnisse einer kürzlich in Pakistan durchgeführten Untersuchung (Zaman et al., 2022) bestätigen die bestehende Korrelation zwischen verringerter Schlafqualität und (problematischem) Gamingverhalten. Hingegen korreliert in der Studie von Moen und Kollegen (2022) eine bessere In-game Performance mit besseren Schlafwerten. Darüber hinaus ist laut Sanz-Milone et al. (2021) anzunehmen, dass die durch Gaming reduzierte Schlafqualität langfristig die spielerische genauso wie die akademische Leistung beeinträchtigt. Kemp (2021) und Kristensen (2021) fassen diesen negativen Zusammenhang zwischen Spiel- und Schlafverhalten übersichtsartig zusammen. Aus gesundheitlicher Perspektive besonders kritisch einzuordnen, ist das Spielen auf digitalen Geräten im Bett. Beispielsweise stellen Syvertsen und Kollegen (2022) hier bei jungen Erwachsenen eine signifikante Verschiebung der Schlafmitte nach hinten sowohl unter der Woche ($r = 0,18$; $p < 0,001$) als auch am Wochenende ($r = 0,11$; $p < 0,05$) fest. Letztendlich lassen diese Annahmen und Erkenntnisse auf eine vergleichbare psychophysische Vulnerabilität im E-Sport wie im traditionellen Sport schließen und implizieren den bestehenden Bedarf der Aufarbeitung der Schlafthematik sowohl als Gesundheitsvariable als auch als Grundlage einer erfolgreichen und motivierten Leistungserbringung.

Vor diesem Hintergrund wird in der vorliegenden kumulativen Dissertation der Frage nachgegangen, inwieweit Schlaf als Einflussvariable für Gesundheit und Leistungserbringung dient. Besondere Berücksichtigung findet dabei der Aspekt der Digitalisierung; zum einen aus der Perspektive der Tauglichkeit sowie Zuverlässigkeit digitaler Tools, zum anderen hinsichtlich der Auswirkungen digitaler Aktivität auf Schlaf- und Stressparameter. Zur Differenzierung dieser globalen Forschungsfrage werden folgende Fragestellungen formuliert:

- (I) Inwieweit beeinflusst der Schlaf die sportliche Leistung?
- (II) Inwieweit können digitale Tools zur Schlafoptimierung bei Sportlerinnen und Sportlern genutzt werden?
- (III) Inwieweit sind die Schlafmessungen von Smartwatches reliabel im Vergleich mit dem subjektiven Goldstandard Schlaftagebuch?
- (IV) Inwieweit beeinflusst abendliches Gaming den darauffolgenden Nachtschlaf und das individuelle Stresserleben?

4 Teilprojekte

Im Rahmen dieser Qualifikationsarbeit werden insgesamt vier Teilprojekte ausgeführt. Wie beschrieben, ist die Schlafforschung per se ein noch sehr junges Feld. Auch wenn, beispielsweise hinsichtlich der (biologischen) Funktionen des Schlafs oder der genauen Abläufe im schlafenden Gehirn, bisher wenig Erkenntnis herrscht, wird dem Schlaf grundsätzlich eine essentielle Rolle für die Gesundheit, das Wohlbefinden sowie die psychische und physische Leistungsfähigkeit zugeschrieben (Goel et al., 2013; Grandner, 2020). Auch aus sportwissenschaftlicher Perspektive wird sich daher vermehrt mit dem Wechselspiel von Schlaf und körperlicher Aktivität auseinandergesetzt (Halson & Juliff, 2017; Erlacher, 2019; Thun et al., 2015; Venter, 2012).

4.1 Positiver Einfluss einer hohen Schlafqualität auf die Leistungsentwicklung im CrossFit®

Das Ziel des ersten Teilprojekts ist es somit, die Verbindung zwischen Schlaf und Sport mit eigenen Ergebnissen nachzuweisen. Aufgrund seines vielfältigen Anforderungsprofils wird sich hier für die Trendsportart CrossFit® (CF) entschieden. Dieser im Jahr 2000 von Greg Glassman begründete Trendsport entwickelt sich über die letzten Jahre zu einer eigenen Fitnesskultur, welche neben der CF-Trainings- auch eine eigene Ernährungs- und Schlafphilosophie umfasst (Glassman, 2007). CF zeichnet sich durch mehrere Trainingseinheiten mit festen Trainingsbelastungen aus, die auf eine allgemeine körperliche Fitness abzielen, d. h. auf die Maximierung der Ganzkörperleistung, um auf das Unbekannte und Unerwartete vorbereitet zu sein (ebd.). Dabei werden Übungen des Olympischen Gewichthebens und der Gymnastik mit Eigengewichts- und Ausdauerübungen, wie Rudern und Laufen, kombiniert. Durch die ständig variierende Funktionalität werden alle leistungsrelevanten Aspekte, bestehend aus Ausdauer, Kraft, Beweglichkeit, Schnelligkeit und Koordination, systematisch optimiert. Eine CF-Trainingseinheit dauert in der Regel eine Stunde und besteht aus einer vorher festgelegten Reihenfolge wie z. B. Aufwärmen, Geschicklichkeitstraining (Skill Development), hochintensives Training (Konditionierung, bekannt als WOD [Workout of the Day]) und Stretching. Während des Trainings wählt jede Sportlerin und jeder Sportler Belastung, Intensität, Satzzeiten etc. angepasst an ihr/sein individuelles Leistungsniveau. Um den Leistungszuwachs zu vergleichen, sowie die persönliche Leistungsentwicklung zu verfolgen, werden WODs standardisiert und in unregelmäßigen Abständen, aber immer unter den gleichen Bedingungen

als sogenannte Benchmark-Workouts [bekannt als Hero- (oft besonders lang und hart) bzw. Girl-WODs (meist kurz und intensiv)] wiederholt.

Laut Kirschen, Jones und Hale (2018), die 19 Studien mit insgesamt zwölf verschiedenen Sportarten ausgewertet haben, scheinen insbesondere Sportarten mit hohen technischen, taktischen und Geschwindigkeitsanforderungen anfälliger für die negativen Auswirkungen von Schlafmangel zu sein. Dies wiederum ist von besonderem Interesse für die technischen und geschwindigkeitsfordernden Aspekte des CF. Um nun den Einfluss einer hohen Schlafqualität auf die Leistung im CF zu untersuchen, wird ein Online-Fragebogen erstellt, der neben dem PSQI einige CF-leistungsbezogene Fragen umfasst und sich auf die letzten vier Wochen bezieht. Insgesamt nehmen 178 Personen an der Befragung teil. Nach dem Ausschluss von 29 unvollständiger Fragebögen können $N = 149$ (81 Frauen, 68 Männer; $32,01 \pm 7,48$ Jahre alt, $2,56 \pm 1,77$ Jahre aktiv in CF) Datensätze in die Analyse inkludiert werden. Die Befragten geben an, im Schnitt 7,08 Stunden ($\pm 0,98$ h) zu schlafen. Gemäß dem PSQI können $n = 93$ (62 %; 47 Frauen, 46 Männer) als gute und $n = 56$ (38 %; 34 Frauen, 22 Männer) als schlechte Schläferinnen und Schläfer klassifiziert werden. In der folgenden CF-bezogenen Analyse ist kein Geschlechterunterschied festzustellen. Es zeigt sich, dass sich insbesondere bei Hero-/Girl-Workouts ($\chi^2 = (1, n = 83) = 9,92, p = 0,002, \varphi = 0,37$) und Gymnastik ($\chi^2 = (1, n = 129) = 8,74, p = 0,003, \varphi = 0,28$) die Leistungen zwischen gut und schlecht schlafenden CF-Sportlerinnen und CF-Sportlern signifikant unterscheiden. Da diese CF-Kategorien sehr technisch und kognitiv anspruchsvoll sind, scheint eine hohe Schlafqualität eine grundlegende Rolle beim Erlernen komplexer motorischer Fähigkeiten und bei der Leistungsentwicklung zu spielen. Nicht zuletzt wird von fast allen Befragten eine hohe Schlafqualität als starker Einfluss auf die psychische (89 %) und physische (85 %) Leistungsfähigkeit bewertet.

4.2 Tauglichkeit digitaler Schlafinterventionen im Sport

Davon ausgehend, dass eine hohe Schlafqualität, welche wiederum kennzeichnend für eine gute Erholung ist, einen leistungsrelevanten Faktor darstellt, scheint eine bewusste Schlafoptimierung gerade für (Spitzen-)Sportlerinnen und (Spitzen-)Sportler von besonderer Relevanz. Zur Schaffung optimaler Leistungsvoraussetzungen wird neben einem individuellen (trainingsbezogenem) Aktivitäts- auch ein ganzheitliches Gesundheitsmonitoring empfohlen (Claudino et al., 2019; Halson, 2019). Dazu zählen gleichfalls die Überwachung sowie die proaktive Auseinandersetzung mit dem eigenen Schlafverhalten (Espie, 2021). Denn laut Bonnar und Kollegen (2018) könnten ein erhöhtes Bewusstsein und eine individuelle

Optimierung des Schlafverhaltens von Sportlerinnen und Sportlern indirekt die sportliche Leistung fördern. Vor dem Hintergrund, dass die meisten Sportlerinnen und Sportler bereits diverse digitale Tools wie beispielsweise Smartwatches und Fitnesstracker nutzen, wird sich im zweiten Teilprojekt daher mit der Tauglichkeit solcher neuartiger (Schlaf-)Technologien befasst.

Bevor mit einer Intervention begonnen werden kann, müssen die Sportlerinnen und Sportler zunächst ihr individuelles Schlafverhalten sensibel einschätzen, indem sie ihre aktuelle Schlafsituation bewerten. Nach Ibáñez, Silva und Cauli (2018a) wird eine Kombination aus objektiver und subjektiver Einschätzung empfohlen. Bereits dieser Schritt kann digital unterstützt werden. Die gängigsten und leicht zugänglichen digitalen Tools hierfür sind webbasierte Plattformen und Smartphone-Anwendungen (Crivello et al., 2019). Basierend auf medizinischen Bewertungsmethoden wie Schlaftagebücher und Schlaffragebögen, überwachen sie den Gesundheitszustand mit nur wenigen Klicks, und darüber hinaus können die Ergebnisse direkt mit Gesundheitsdienstleistern wie dem Arzt oder Coach geteilt werden. Diese Tagebücher oder Fragebögen erfassen retrospektiv subjektive Informationen über die Schlafgewohnheiten und das Wohlbefinden der Sportlerinnen und Sportler. Abhängig von der jeweiligen Software erhalten die Sportlerinnen und Sportler Informationen über ihre Schlafhygiene und mittlerweile auch Empfehlungen zur Optimierung der Erholung oder des Schlafs (Fietze, 2016). Nach dieser digitalen Basisbewertung des Schlafverhaltens können maßgeschneiderte Interventionen entsprechend den individuellen Anforderungen (z. B. Verlängerung der Gesamtschlafdauer, Verkürzung der Einschlafzeit durch Verringerung der Erregung vor dem Schlafengehen oder des Grübelns) angewandt werden. Zu diesem Zweck gibt es zahlreiche, oft kostenlose Apps für Android und iOS, die geführte Meditationen, Hörbücher oder ähnliche Methoden anbieten, um das Einschlafen zu unterstützen oder eine individuelle Schlafroutine zu etablieren. Weit verbreitete Apps sind z. B. *Pillow*, *Sleep Better*, *Headspace*, *Calm* oder *Sleep* (für eine Übersicht über Smartphone-Interventionen zur Schlafqualität siehe Shin, Kim, & Grigsby-Toussaint, 2017).

Da der Einsatz smarterer Technologien im Sport ständig zunimmt, sind tragbare Geräte (Wearables) wie Smartwatches und Fitnesstracker weitere vielversprechende technologische Ansätze für die Schlafaufzeichnung und -optimierung (Vlahoyiannis et al., 2020). Seshadri und Kollegen (2017) ergründen beispielsweise, dass Wearable Sensoren einen detaillierteren Einblick in die physiologischen und psychologischen Anforderungen von Sportlerinnen und Sportlern ermöglichen als traditionelle Monitoringmethoden. Da die Validität der smarten Geräte jedoch kaum gegeben ist, sind sie weniger ein standardisiertes medizinisches Tool als

vielmehr ein unterstützendes Gadget (für einen Überblick über Devices zur Schlafmessung siehe Ibáñez et al., 2019). Beispiele für verfügbare Funktionen sind *Sleep Plus* und *Serene* für Polar® Wearables oder *Sleep Score* und *Relax* für Fitbit® Wearables, während Garmin® Schlafdaten und Atemübungen nur über seine *Garmin Connect App* anbietet.

Hinsichtlich digitaler Schlafförderungsmaßnahmen verweisen aktuelle Studienergebnisse darauf, dass die positiven Auswirkungen von achtsamkeitsbasierten Interventionen auch durch virtuelle achtsamkeitsbasierte Interventionen hervorgerufen werden können (Kitson, Prpa, & Riecke, 2018). Virtuelle Realität (VR) kann den Einstieg in Achtsamkeitspraktiken aufgrund ihrer benutzerfreundlichen, immersiven Oberfläche erleichtern (Seabrook et al., 2020). In explorativen Studien von Navarro-Harro et al. (2017) und Chandrasiri et al. (2019) stellt sich eine einzige achtsame VR-Sitzung effizienter in Bezug auf die Verringerung negativer Gedanken und Emotionen heraus als die traditionelle Technik der achtsamkeitsbasierten Stressreduktion (MBSR). Geeignete VR-Meditations-Apps (z. B. *VR Relax Meditation & Sleep*, *Provata VR*) sind kostenlos oder kostengünstig in Appstores für Smartphones und VR-Brillen erhältlich.

4.3 Überprüfung der Übereinstimmung der Schlafmessungen von Wearables mit einem standardisierten Schlaftagebuch

Wie im vorherigen Teilprojekt herausgearbeitet, eignen sich besonders Smartwatches aufgrund ihrer vielfältigen Funktionen, einfachen Handhabbarkeit und großen Beliebtheit für den alltäglichen Gebrauch. Im dritten Projekt wird daher die Genauigkeit der Schlafmessungen dreier Smartwatches im Vergleich zu einem standardisierten Schlaftagebuch untersucht. Über einen Zeitraum von jeweils vier aufeinanderfolgenden Nächten wird der Schlaf von insgesamt 30 Probandinnen und Probanden (19 Frauen, 11 Männer; $24,3 \pm 4,2$ Jahre alt) mithilfe dreier Wearables sowie dem Abend-Morgenprotokoll von Hoffmann et al. (1997) aufgezeichnet. Es kommen Wearables von Garmin®, Polar® und Fitbit® zum Einsatz, da es sich dabei um populäre Marken handelt, die häufig eingesetzt und empfohlen werden (Düking et al., 2020; Evenson, Goto, & Furberg, 2015). Auswertungsstrategisch werden der Konkordanzkorrelationskoeffizient nach Lin (CCC_{Lin}) berechnet und Bland-Altman-Plots zur grafischen Analyse erstellt. Die Wearables und das Schlaftagebuch zeigen eine starke Übereinstimmung in Bezug auf die Zeit im Bett (Range CCC_{Lin} : 0,74 - 0,84) und die Gesamtschlafzeit (Range CCC_{Lin} : 0,76 - 0,85). Hinsichtlich der Schlafeffizienz (Range CCC_{Lin} : 0,05 - 0,34) und Schlafunterbrechungen (Range CCC_{Lin} : -0,02 - 0,10) liegt kaum bis keine ausreichende Übereinstimmung vor.

4.4 Akute Auswirkungen von E-Sport auf den Schlaf und das Stresserleben

In Einklang mit dem aktuellen sportwissenschaftlichen Diskurs wird für die abschließende Studie dieser Dissertation das Forschungsfeld Richtung des E-Sports, im Sinne einer digitalen Vor-Schlaf-Aktivität, geöffnet. Basierend auf den bisherigen Erkenntnissen aus den zuvor dargestellten Teilprojekten sowie im Sinne eines innovativen, digitalen Vorgehens wird hier messtechnisch erneut auf Wearables zurückgegriffen.

Ziel des vierten Teilprojekts ist es, den Einfluss intensiven Gamings in den Abendstunden auf den Schlaf und Stress zu untersuchen. In einem ausbalancierten Within-Subjects-Design absolvieren 44 Probandinnen und Probanden (7 Frauen, 37 Männer; $25,2 \pm 4,6$ Jahre alt) an zwei aufeinanderfolgenden Abenden sowohl eine 200-minütige Gaming- als auch eine entspannte, bildschirmfreie Non-Gaming-Session, während denen jeweils die individuellen Schlaf- und Stressparameter über eine Garmin®-Smartwatch und eine kurze subjektive Skala erhoben werden. Alle Teilnehmenden entsprechen der vorgegebenen Definition von Amateur-E-Sportlerinnen und Amateur-E-Sportlern (zur Klassifizierung von E-Sportlerinnen und E-Sportlern siehe Tholl et al., 2019), d. h. sie spielen für gewöhnlich mindestens 200 Minuten pro Tag wettbewerbsorientierte Computer- oder Videospiele. Zwei Drittel ($n = 27$; 61 %) geben an, dass sich Computer/Spielekonsole im selben Raum wie das Bett befinden. Die inferenzstatistischen Ergebnisse zeigen, dass die Gesamtschlafzeit nach dem Spielen signifikant niedriger ist als nach dem Nicht-Spielen ($F(1,43) = 9,611, p = 0,003, \eta_p^2 = 0,183, f = 0,473$). Ebenso ist das Stressniveau der Teilnehmenden in der Spielbedingung im Vergleich zur Nicht-Spielbedingung signifikant erhöht ($F(1,43) = 8,946, p = 0,005, \eta_p^2 = 0,172, f = 0,456$). Hinsichtlich der subjektiven Bewertungen der Schlafqualität und des Erholungsgefühls lässt sich kein negativer Einfluss des Spielens finden ($F(1,43) = 0,268, p = 0,607, \eta_p^2 = 0,006, f = 0,078, 1 - \beta = 0,173$).

5 Diskussion

5.1 Zusammenfassung und Diskussion der Befunde

Ziel der vorliegenden Dissertation ist es, die Bedeutung eines ausreichenden und erholsamen Schlafs für die Gesundheit sowie körperlich-sportliche Aktivität unter besonderer Berücksichtigung der Digitalisierung zu untersuchen. Im Rahmen der Zusammenfassung und Diskussion der Befunde sollen die Ergebnisse der durchgeführten Studien im Abgleich mit den formulierten Anliegen, den inhaltlich-thematischen sowie methodisch-technischen Ansätzen hinsichtlich der pragmatischen und wissenschaftlichen Relevanz kritisch reflektiert werden. Hierzu kann im ersten Teilprojekt gezeigt werden, dass eine hohe Schlafqualität signifikant leistungsförderlich ist, weshalb gerade für Sportlerinnen und Sportler eine gezielte Schlafoptimierung essentiell scheint. Im zweiten und dritten Teilprojekt findet die wissenschaftliche Annäherung daran mithilfe verschiedener schlaftechnologischer Methoden statt. Basierend auf der Unterscheidung zwischen quantitativen (z. B. Schlafdauer) und qualitativen (z. B. Erholungsgefühl) Schlafparametern kann festgestellt werden, dass mit mehr oder weniger Aufwand ein non-invasives, laborunabhängiges Schlafmonitoring etablierbar ist. Im Sinne eines ganzheitlichen Ansatzes ist eine Kombination aus verschiedenen Messmethoden empfohlen, um daraus schließlich geeignete, individuelle Schlafinterventionen abzuleiten. Besonders Wearables in Verbindung mit der dazugehörigen Smartphone-Applikation oder Online-Plattform scheinen dafür prädestiniert, da diese sowohl reliable Schlafaufzeichnungen ermöglichen als auch kurzweilige und ansprechende Interventionen wie beispielsweise Atemübungen oder geführte Meditationen bieten. Dies wiederum ist in Einklang mit den Nutzungstrend vermehrt multifunktionaler Devices einzuordnen (Khosla et al., 2018). Neben dieser nutzerbezogenen Perspektive ist weiter auch aus ökonomischer Sicht der Einsatz von smarter Verbrauchertechnologie respektive Wearables als Mess- und/oder Interventionsinstrument sinnvoll: Denn viele nutzen eine solche bereits oder würden sich eher ein Device mit mehreren Funktionen anschaffen, um sowohl das Training als auch den Schlaf aufzuzeichnen, anstelle mehrerer Fitnessarmbänder o. ä. für je unterschiedliche Einsatzbereiche (Lu et al., 2020; Lyons et al., 2018). Darüber hinaus ist evident, dass der Zusammenhang zwischen Schlaf und Aktivität nicht nur unilateral, sondern vielmehr bidirektional zu sein scheint (Pesonen et al., 2022). Dementsprechend kann im vierten Teilprojekt ein negativer Einfluss digitaler Spiele, im Sinne von Gaming, auf Schlaf- und Stressparameter aufgezeigt werden. Dem Aspekt der Digitalisierung wird hierbei in doppelter Weise Rechnung getragen, indem zum einen der Forschungsgegenstand selbst eine digitale Aktivität verkörpert und zum

anderen eine Smartwatch als Hauptuntersuchungsinstrument zum Einsatz kommt. Entsprechend werden folgend nicht nur die Befunde diskutiert und in den aktuellen Forschungsstand eingeordnet, sondern auch die Limitationen der Teilprojekte benannt.

Die steigenden Publikationszahlen im Themenfeld Schlaf und Sport zeugen von einer Ausweitung des Forschungsinteresses in der letzten Dekade. Diverse Feldstudien wie auch Übersichtsartikel befassen sich mit der Schlafphysiologie, dessen leistungs- und gesundheitsmoderierendem Einfluss oder auch etwaigen Interventionsmaßnahmen zur Optimierung des Schlafverhaltens (Athey et al., 2017; Chandrasekaran et al., 2020; Fullagar et al., 2016; Kellmann et al., 2018; Kölling et al., 2019; Lastella et al., 2014, 2015; Simpson et al., 2017; Skorski et al., 2019; Taylor et al., 2016; Tuomilehto et al., 2017; Vitale & Weydahl, 2017; Vitale et al., 2019; Waddington, 2019; Walsh et al., 2020). Im Allgemeinen konzentriert sich die Mehrzahl der Studien auf die Umstände der Dauer bzw. der Qualität des Schlafs oder auf die Faktoren, die Schlafentzug und seine Folgen verursachen. Das untersuchte sportliche Umfeld wird meist auf die Sportarten Radsport, Schwimmen, Rudern, Basketball und Fußball sowie auf die Nacht/Nächte vor und nach dem/den Wettkampf/Wettkämpfen eingegrenzt. Insbesondere der Forschungsstand zum Trainingssetting sowie zu Schlafinterventionen ist noch unzureichend berücksichtigt. Teilprojekt I zielt darauf ab, mit eigenen Befunden aus dem CF den Zusammenhang zwischen Schlaf und Sport nachzuweisen. Es wird ein signifikanter Unterschied in der Leistungsentwicklung von Sportlerinnen und Sportlern mit gutem Schlafverhalten, im Sinne von hoher Schlafqualität, im Vergleich zu denen mit schlechtem Schlaf angenommen. Auch wenn diese Hypothese nicht in Gänze bestätigt werden kann, decken sich die gefundenen mit den beschriebenen Ergebnissen aus der Literatur. So wird in Anlehnung an die Erkenntnisse von Fullagar et al. (2015) und Lastella et al. (2018) der Zusammenhang zwischen Trainingsbelastung bzw. Leistungsergebnissen und dem individuellen Schlafverhalten von Sportlerinnen und Sportlern häufig unterschätzt und könnte weitreichende Auswirkungen haben. Bezogen auf die signifikante Leistungssteigerung in Hero-/Girls-WODs sei angemerkt, dass diese Workouts das widerspiegeln, was die Sportlerinnen und Sportler in fast jeder Einheit trainieren. Nunmehr ist es offensichtlich wahrscheinlicher sich in etwas, das man regelmäßig macht (in diesem Fall Workouts), zu verbessern als z. B. in maximaler Krafterleistung, die wiederum selten trainiert wird. Dieses Prinzip der Leistungssteigerung durch eine Vielzahl von Trainingswiederholungen gilt auch für die gymnastischen Elemente. Obwohl es sich um regelmäßige Trainingsübungen handelt, nehmen sie bei geringer Intensität wenig Zeit in Anspruch, sodass sie problemlos ‚zwischendurch‘ geübt werden können. Wenn sie über einen Zeitraum von vier Wochen mehrmals in Satzpausen oder nach

WODs geübt werden, ist es somit auch wahrscheinlicher, dass diese Fähigkeiten im Vergleich zur (maximalen) Kraft schneller gesteigert werden können. Der wichtigste Aspekt dürfte jedoch der folgende sein: Die turnerischen Elemente bestehen aus koordinativ und motorisch sehr anspruchsvollen Bewegungen. Da der Schlaf eine wesentliche Rolle beim motorischen und kognitiven Lernen und Konsolidieren (Charest & Grandner, 2020; Thun et al., 2015; Venter, 2012) spielt, ist davon auszugehen, dass insbesondere die technischen Bewegungsabläufe von turnerischen Elementen im Schlaf verarbeitet und gespeichert werden (Halson & Juliff, 2017; O'Donnell, Beaven, & Driller, 2018). Im Gegensatz dazu führt Schlafmangel zu einer verminderten motorischen Lernfähigkeit und einer erhöhten Verletzungsanfälligkeit, was wiederum die gefundenen Unterschiede zwischen gut und schlecht schlafenden CF-Sportlerinnen und CF-Sportlern erklären könnte. In Übereinstimmung mit den Annahmen von Kirschen und Kollegen (2018) und Watson (2017) bedeutet eine hohe Schlafqualität also einen Vorteil bei der nächtlichen Verarbeitung des bereits Gelernten sowie eine verbesserte Ausgangslage, um neue Bewegungen und technische Komponenten effizient und verletzungs-frei zu erlernen.

Des Weiteren wird in der Studie nach der subjektiven Bewertung der Auswirkungen der Schlafqualität auf die sportliche Leistungsfähigkeit gefragt. Bemerkenswert fällt neben der allgemein hoch eingeschätzten Rolle der Schlafqualität die Bewertung der beiden Komponenten *psychische* und *physische Leistungsfähigkeit* leicht unterschiedlich aus. Der Einfluss der Schlafqualität auf die psychische Leistungsfähigkeit wird höher eingeschätzt als der auf die physische Leistungsfähigkeit. Dies zeigt wiederum die positiven psychologischen Langzeiteffekte eines gesunden Schlafverhaltens: Neben einer besseren Verarbeitung von Emotionen (Brink et al., 2019), die sowohl bewusst als auch unbewusst meist im Schlaf stattfindet, führen eine gute Schlafhygiene und ein gesundes Schlafverhalten zu einem verbesserten psychischen Wohlbefinden (Buysse, 2014).

Da diese Untersuchung die erste ist, die sich mit Einfluss von Schlaf im CF beschäftigt, sind einige Einschränkungen zu berücksichtigen. Alle Ergebnisse basieren auf der subjektiven Selbsteinschätzung der Befragten, weder das tatsächliche Schlafverhalten noch die sportliche Leistung werden objektiv quantifiziert. Während die objektive Bewertung des Schlafs durch Umweltfaktoren oder instrumentenbezogene Aspekte eingeschränkt wird, sind Verzerrungen oder Erinnerungslücken und andere persönliche Merkmale Faktoren, die die Beantwortung eines Fragebogens individuell beeinflussen können. Da es kein standardisiertes Instrument zur Überprüfung der CF-Leistung gibt, besteht zudem die methodische Herausforderung darin, die vielfältigen Merkmale von CF und die täglichen Routinen der CF-Sportlerinnen und CF-

Sportler in praktikabler Weise zu erfassen. Weiter wird der Einfluss des Schlafs auf die Leistung untersucht, sodass die leistungsbezogenen Ergebnisse als die abhängigen Variablen definiert werden. Dabei werden jedoch weder der individuelle Bedarf an Erholungszeit bzw. Schlafmenge in Abhängigkeit von der internen und externen Trainingsbelastung berücksichtigt noch die Tatsache, dass die Erholungsfähigkeit im Allgemeinen mit dem Alter abnimmt und mit zunehmender Anpassung an erhöhte Trainingsbelastungen zunimmt (Vyazovskiy, 2015). Zusammenfassend sind die Daten aufgrund verschiedener mehr oder weniger kontrollierbarer Einflussfaktoren also eher temporär als umfassend. Um ein ganzheitliches Verständnis des Zusammenhangs zwischen Schlaf und CF-Leistung zu erlangen, sollten künftige Studien einen Mixed-Methods-Ansatz erwägen.

Entsprechend des Ansatzes ‚*Sleep to perform*‘ steigt auch die Zahl der Studien zu Schlafinterventionen weiter an. Beispielsweise zeigen van Ryswyk et al. (2017), dass ein maßgeschneidertes Schlafoptimierungsprogramm zu einer Verbesserung des allgemeinen Wohlbefindens bei männlichen Fußballspielern führt. Bonnar und Kollegen (2018) weisen nach, dass eine auf die einzelne Sportlerin und den einzelnen Sportler zugeschnittene Schlafoptimierung (z. B. Schlafverlängerung, Power Naps, Schlafhygiene) die Schlafqualität und das Wohlbefinden signifikant erhöht. Darauf aufbauend zielt Teilprojekt II darauf ab, narrativ die Tauglichkeit digitaler Tools zum Schlafmonitoring sowie zur Schlafoptimierung bei Sportlerinnen und Sportlern zu elaborieren. Diese literarische Annäherung dient zugleich als Vorbereitung für die empirische Arbeit mit den Wearables in den daran anschließenden Teilprojekten III und IV.

Unternehmen wie Garmin Ltd. oder Fitbit Inc. entwickeln multifunktionale Geräte, die gesundheits- und aktivitätsbezogene Daten sammeln. Neuere Modelle dokumentieren sogar Atem- und Entspannungsübungen, während mobile Apps und Plattformen meist den selbstberichteten Gesundheitszustand mit einer medizinischen Beratung verbinden. Allen Systemen ist gemeinsam, dass sie ein unmittelbares, individuelles Feedback liefern und sich zeiteffizient in den Alltag integrieren lassen. Außerdem reichen sie von der einfachen Datenerfassung (retrospektiv berichtet oder in Echtzeit gemessen) bis hin zu Empfehlungen für digitale Interventionen (z. B. Achtsamkeit). Vor allem Fitnesstracker und Smartwatches sind sehr beliebt und weit verbreitet. In Deutschland beispielsweise hat sich ihr Absatz zwischen 2014 und 2017 mehr als verdoppelt, und die Tendenz ist in den kommenden Jahren weiter steigend (Lutter, Meinecke, & Tropf, 2017).

Im Rahmen der Literaturrecherche für das Teilprojekt II zeigt sich, dass sich auch im Sportkontext vermehrt mit den Nutzungsmöglichkeiten von Wearables beschäftigt wird

(Aroganam, Manivannan, & Harrison, 2019; Li et al., 2016; Santos-Gago et al., 2019; Vlahoyiannis et al., 2020). Am gebräuchlichsten sind Devices, die am Handgelenk getragen werden und physiologische Parameter mit der Erfassung von Aktivitäten kombinieren (Shin et al., 2019). Während einige nur Schritte zählen, ermöglichen andere die Dokumentation, Kontrolle und Analyse von Gesundheits- und Trainingsdaten oder erweitern sogar die Funktionen von Smartphones um smarte Gadgets. Aufgrund des breiten, schnelllebigen Marktes sowie der unterschiedlichen Nutzbarkeit ist es nahezu unmöglich, den Status quo der erhältlichen Wearables zu bestimmen (Bunn et al., 2018; Statista, 2020). Neben der Abhängigkeit von Funktion, Zielgruppe und Nutzbarkeit könnte zukünftig eine systematische Klassifizierung der Geräte nach Gehäuseformen, Trageort am Körper oder an der Kleidung oder der Anzahl und Komplexität der Sensoren sinnvoll sein (Williamson et al., 2015). Auch wenn es noch weiterer Forschung bedarf, scheint nun, unter Berücksichtigung aktueller Evidenzen, der Einsatz von Wearables im Sportkontext ökonomisch und vorteilhaft: Viele Sportlerinnen und Sportler verwenden bereits solche Devices oder würden lieber eines mit mehreren Funktionen nutzen, um sowohl ihr Training als auch ihr Schlafverhalten zu tracken (Halson, Peake, & Sullivan, 2016). So können die Sportlerinnen und Sportler ihre tägliche Routine beibehalten. Daneben verbessert die Schlafüberwachung mithilfe von Wearables das Schlafbewusstsein der Sportlerinnen und Sportler bzw. erhöht die Sensibilität für das eigene Schlafverhalten. Nicht zuletzt unterstützen die Geräte etablierte Schlafinterventionen durch eine unmittelbare Rückmeldung der erzielten Effekte. Allerdings ist die Nutzbarkeit von Wearables limitiert: Erstens sind die Messgenauigkeit solcher Geräte und die Anforderungen an den Umgang mit den erhobenen Daten noch unklar (de Zambotti et al., 2020; Evenson et al., 2015; Fuller et al., 2020). Den Ergebnissen der wenigen Validierungsstudien zufolge scheinen die smarten Geräte die Gesamtschlafzeit und die Schlaffeffizienz zu überschätzen und die Schlafstadien nicht genau zu messen. Während die Sensitivität relativ hoch ist (mehr als 90 % Genauigkeit; Ibáñez et al., 2019; Sargent et al., 2016), d. h. die Wearables identifizieren den Schlaf in den meisten Fällen korrekt als Schlaf, ist die Spezifität eher gering, d. h. die Wearables identifizieren fälschlicherweise Wachsein als Schlaf. Folglich können sie kaum als standardisiertes, medizinisches Diagnoseinstrument angewandt werden. Zweitens ist der Zugang zu Algorithmen und Rohdaten beschränkt und häufig von den Herstellern wenig unterstützt. Darüber hinaus ist aufgrund der technischen Entwicklung der Devices und der zugrundeliegenden Algorithmen, die ständig verbessert und angepasst werden, davon auszugehen, dass sie in der Regel nicht zu 100 % an die Werte des Goldstandards herankommen oder sogar nicht alle in der PSG messbaren Parameter erfassen (Arriba-Pérez et al., 2018; Kolla

et al., 2016; Liang & Chapa Martell, 2018; Mantua et al., 2016). In diesem Zusammenhang ist anzumerken, dass der fehlende Zugang zu den Rohdaten der Wearables keine Quantifizierung oder einen übergreifenden statistischen Vergleich der Schlafphasen ermöglicht. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler begegnen diesem Problem derzeit, indem sie eigene Algorithmen entwickeln oder neuronale Netze programmieren, um Rohdaten zu erfassen (Muzet et al., 2016; Roomkham et al., 2018). Somit sind die Durchführung von Reliabilitäts- und Validierungsstudien und damit die Analyse und der Vergleich von Daten im Detail aufgrund der begrenzten Datenlage und der uneinheitlichen Studiendesigns schwierig. Drittens ist bisher wenig über die Nutzbarkeit für verschiedene Zielgruppen oder Settings bekannt. Im Vergleich zu polysomnographischen Messungen sind die von Wearables gelieferten Daten jedoch hochsensibel und bieten daher Potenziale für den nicht-klinischen Bereich.

Des Weiteren kann in diesem Teilprojekt erarbeitet werden, dass der technologische Fortschritt nicht nur Unterstützung bei der Aufzeichnung des tatsächlichen Schlafverhaltens bietet, sondern digitale Systeme auch für Interventionen genutzt werden können, die darauf abzielen, die Schlafqualität zu optimieren und damit wiederum die Gesundheit und Leistungsfähigkeit zu steigern. Eine Maßnahme, die bereits empirisch getestet ist und digital praktiziert werden kann, sind achtsamkeitsbasierte Interventionen (Collins et al., 2019). Unlängst untersuchen mehrere Studien herkömmliche (d. h. nicht-digitale) Meditations- und Achtsamkeitspraktiken als zeit- und kosteneffiziente Möglichkeit zur Reduzierung kognitiver Aktivität und Erregung (Hülshager, Feinholdt & Nübold, 2015). Besonders vor dem Schlafengehen angewandt, scheinen Achtsamkeitsmeditationen das Einschlafen zu erleichtern und die Schlafqualität zu verbessern (Dentico et al., 2016; Shallcross et al., 2019). Auch im Sport sind achtsamkeitsbasierte Programme wie der *Mindfulness-Acceptance-Commitment Approach* (MAC; Gardner & Moore, 2004) oder *Mindful Sports Performance Enhancement* (MSPE; Kaufman, Glass, & Arnkoff, 2009) bereits gut etabliert, da sie den Fokus und die Konzentration zu verbessern sowie negative Emotionen und Ablenkung bei Sportlerinnen und Sportlern zu reduzieren scheinen. Beispielsweise können Li und Kollegen (2018) mithilfe sechsminütiger achtsamkeitsbasierter Videos bei Universitätssportlerinnen und Universitätssportlern aus verschiedenen Sportarten eine signifikante Verringerung der Erregung vor dem Schlafengehen bewirken. Darüber hinaus können nach einer fünfwöchigen Achtsamkeitsintervention die geistige und körperliche Anstrengung reduziert und die Schlafqualität erhöht werden (Röthlin et al., 2016).

Zusammengenommen scheinen digitale Tools zur Schlafaufzeichnung und -optimierung vielversprechend, um nicht nur die Leistung von Sportlerinnen und Sportlern zu steigern,

ohne ihre tägliche Routine zu beeinträchtigen, sondern auch um gleichzeitig ein besseres Verständnis der psychophysiologischen Anforderungen von Sportlerinnen und Sportlern im Allgemeinen zu erlangen. Zukünftige Forschung ist jedoch erforderlich, um einen tieferen Einblick in die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der smarten Technologien zu gewinnen. Außerdem bedarf es weiterer empirischer Überprüfung der Auswirkungen von virtuellen achtsamkeitsbasierten Entspannungstechniken auf die Schlafqualität von Sportlerinnen und Sportlern. Da hier kein systematisches Review durchgeführt wurde, kann kein Anspruch auf vollständige Erfassung der Literaturlage erhoben werden. Vielmehr soll die kurze Übersicht aktuelle Entwicklungen aufgreifen und zu weiterer Auseinandersetzung mit den Potenzialen der Digitalisierung anregen.

Im Sinne eines fortlaufenden methodischen Ansatzes innerhalb der Dissertation kommen in Teilprojekt III drei Wearables zum Einsatz, mit dem Ziel, deren Reliabilität im Feld verglichen mit den subjektiven Goldstandard Schlaftagebuch zu untersuchen. Während die Wearables die Wach- und Schlafphasen aus den Veränderungen der Körperbewegungen und der Herzfrequenzvariabilität ableiten, stützt sich das Schlaftagebuch auf die Erinnerung der Person an ihre Schlaf-/Wach-Erfahrungen in der vorangegangenen Nacht. Da jede Methode viele der gleichen Schlafparameter erfassen kann, ist eine gewisse Übereinstimmung zu erwarten, gleichzeitig kann es aber aufgrund der unterschiedlichen Datenquellen zu erheblichen Abweichungen kommen. Auf den ersten Blick unterscheiden sich die Wearables bei allen Messungen: Trotz einer Fehlerrate von Null überschätzt die Garmin®-Smartwatch die Gesamtschlafdauer und ist nicht in der Lage, Schlafphasen gut zu erkennen. Im Gegensatz dazu ist die Fitbit®-Smartwatch sensitiver, obwohl die Aufwachzeiten deutlich zu lang erscheinen. Die Polar®-Smartwatch zeichnet schließlich nicht nur die meisten Parameter auf, sondern kommt auch den grundlegenden physiologischen Schlafmerkmalen am nächsten (z. B. 15 - 20 % Tief- und REM-Schlaf, 55 - 60 % leichter Schlaf). Im Einklang mit der aktuellen Literatur zeigen die Ergebnisse, dass die Messungen von TIB und TST durch Wearables als zuverlässig angesehen werden können, wenn sie mit einem Schlaftagebuch bei gesunden jungen Erwachsenen in freier Umgebung verglichen werden (Degroote et al., 2020; Lee et al., 2018). Allerdings könnte die Zuverlässigkeit in Bezug auf nächtliche Unterbrechungen und Schlafstadien nicht gegeben sein. Letztere treten insbesondere aufgrund von Veränderungen der Hirnströme auf, während Wearables die Aufzeichnung der Herzfrequenz und Aktigraphie für die Bewertung des Schlafs heranziehen. Die Diskrepanz bei WASO könnte auf die unterschiedliche Empfindlichkeit der beiden Bewertungsmethoden zurückzuführen sein. D. h., dass sich Personen eher an ein längeres Aufwachen erinnern, während Wearables aufgrund der aktigrafischen Erfassung von

subtilen Handgelenk- oder Körperbewegungen auch kurze Aufwachphasen besser erkennen können. Zusammenfassend können mit dem vorliegenden Teilprojekt frühere Ergebnisse von Jungquist et al. (2015), Campanini et al. (2018) und Thurman et al. (2018), die ebenfalls am Handgelenk getragene Devices und Schlaftagebücher verglichen haben, repliziert werden. Bezugnehmend auf Teilprojekt II sind diese Ergebnisse insbesondere für den Sportbereich bedeutend, da Wearables demnach als reliable, einfach anwendbare und kostengünstige Alternative zu aufwendigen Messapparaturen im Sinne eines ganzheitlichen Leistungs- und Gesundheitsmonitorings eingesetzt werden können. In Anlehnung an Baron et al. (2018) und Ibáñez et al. (2019) sollten die Devices in erster Linie zur Orientierung über das eigene Schlafverhalten und als individuelle Rückmeldung über den individuellen Schlafgesundheitsstatus genutzt werden. Im Sinne der Gesundheitskompetenz scheinen Wearables ein geeignetes Instrument zu sein, um Informationen über die eigenen Schlafgewohnheiten zu sammeln und damit die Schlafgesundheit zu fördern (Berryhill et al., 2020). Eine ausgeprägte Gesundheitskompetenz sowie ein umfangreiches Monitoring werden v. a. bei der Berücksichtigung des Vorrangs von Quantität in Konkurrenz- und Leistungssituationen relevant, indem Zahlen und Daten Gesundheit wie Leistung einen ‚Wert‘ verleihen. Schließlich wird seit jeher im Sport umfassend vermessen, denkt man einzig an die Entwicklung respektive den technologischen Fortschritt von Stoppuhr, Maßband und Trillerpfeife hin zu intelligenten Hochgeschwindigkeitskameras und vielfältigen Sensoren (Strübing et al., 2016). Der umfassende personenbezogene Einsatz smarter Technologien setzt diesen digitalen Trend nun lückenlos fort. Zugleich werden ein reflektierter Umgang und Interpretation der Daten unumgänglich.

Entsprechend limitieren folgende Einschränkungen diese dritte Studie: Allgemein werden die Daten der Wearables nicht mit dem Goldstandard PSG verglichen. Anstelle wird sich auf den Quasi-Goldstandard Schlaftagebuch konzentriert, sodass objektive mit subjektiven Daten korreliert werden. Darüber hinaus messen Wearables den Schlaf nicht direkt, sondern die Berechnungen der Schlafparameter basieren auf mathematischen Algorithmen. Deshalb können bei Personen, die sich nachts häufig hin und her bewegen, fehlende Daten oder Ausreißerwerte auftreten. Aufgrund des fehlenden Zugangs zu den Rohdaten ist es außerdem nicht möglich, nachzuvollziehen, wann oder ob die Hersteller der Wearables ihre Algorithmen ändern. Weiter werden die Teilnehmenden zwar in die Handhabung der Smartwatches eingeführt, jedoch finden die untersuchten Nächte in eigener Verantwortung statt. Das gleiche Verfahren wird bei der Verwendung des Schlaftagebuchs angewandt. Es ist aber davon auszugehen, dass die Teilnehmenden die beschriebene Handhabung und das Studienprotokoll so genau wie möglich befolgen. Abschließend wird die Studie unter häuslichen Bedingungen

und nicht im Labor durchgeführt. Dieses Setting ermöglicht es den Teilnehmenden zwar, ihre normale Schlafroutine beizubehalten, ein standardisiertes Vorgehen inklusive der Kontrolle möglicher Störungen kann jedoch nicht vollständig gewährleistet werden. Bezugnehmend auf die unter Teilprojekt II erläuterten Limitationen von Wearables sollten zukünftige Studien daher nicht nur deren Messgenauigkeit mithilfe eines standardisierten Forschungsrahmens, sondern auch deren Anwendungsfelder im nicht-klinischen Bereich weiter prüfen und empirisch untersuchen.

Grundsätzlich sei darauf verwiesen, dass es besonders hinsichtlich des Zusammenspiels von Schlaf, Digitalisierung und smarterer Technologien gilt, deren Dualität zu beachten. Zwar wird sich diesen Themen in der vorliegenden Arbeit v. a. positiv unterstützend und potenzialsuchend genähert, doch klingen auch deren negativen Seiten wiederholt zwischen den Zeilen an, sodass diese hier nochmals deutlich formuliert werden sollen: *Zum einen* können die Medialisierung und Digitalisierung unserer Lebenswelt selbst, z. B. durch verlängerte Bildschirmzeiten oder ständige Erreichbarkeit, Schlafprobleme verursachen (Grandner, 2020). Insbesondere im Kontext von Bildschirmen und elektronischen Devices wird der Einfluss des ausgestrahlten Blaulichts kritisch diskutiert. Wie im Theorieteil dieser Arbeit bereits beschrieben, wird die biologische innere Uhr des Menschen im SCN des Hypothalamus durch das natürliche Licht mit dem 24-Stunden-Rhythmus der Sonne synchronisiert. Dabei ist tagsüber die Exposition von Helligkeit – dies schließt blaues Licht mit ein – wichtig für die Aufrechterhaltung des Wohlbefindens, der Wachsamkeit und der kognitiven Leistung des Organismus, wohingegen eine künstliche, regelmäßig andauernde Blaulichtexposition unmittelbar vor dem Zubettgehen gravierende Auswirkungen auf den Schlaf haben kann (Wahl et al., 2019). Denn normalerweise wird durch die abendliche Dunkelheit ein Anstieg der Melatoninkonzentration ausgelöst, um den Schlafbeginn einzuleiten und so die zirkadiane, nächtliche Schlafphase zu regulieren (Gandhi et al., 2015). Hingegen wird bei erhöhter Exposition von kurzweiligem, blauem Licht in den Abendstunden das Melatonin stark unterdrückt, was wiederum das Schlaf-Timing und die Schlafqualität beeinträchtigt und so langfristig zu Schlafproblemen führen kann (Mireku et al., 2019). *Zum anderen* können ebenso durch vermehrtes Tracking, Analysen und Aufzeichnungen des Schlafs wie auch der Gesundheit Problematiken respektive Auffälligkeiten erkannt oder gar als Erkrankung diagnostiziert werden, die per se ohne technologisches Zutun kaum ins Gewicht des individuellen Wohlbefindens gefallen wären (Grandner & Allen, 2019). Beispielhaft in den Sportkontext übertragen, meint diese digital-technologische Dualität also positiverweise, das Vorhandensein bzw. die Ergänzung der subjektiven Wahrnehmungen von Erholung und

Gesundheit um objektive (Schlaf-)Daten, was wiederum ein ganzheitliches Athletenmonitoring ermöglicht. Negativerweise kann dies, gerade bei Sportlerinnen und Sportlern, die entweder Zahlen und Daten kaum kontextualisieren und hinterfragen oder auch diesen mehr vertrauen als dem eigenen Körpergefühl, dazu führen, dass verändert trainiert sowie sich verstärkt Sorgen gemacht wird, wenn beispielsweise am Morgen die Smartwatch vermeintlich schlechte Schlaf- und Erholungswerte anzeigt. Zieht sich dies im ungünstigen Fall über mehrere Tage oder Wochen, sodass sich die Sportlerin oder der Sportler zudem einen Druck auferlegt, gut schlafen zu müssen, können sich langfristig daraus tatsächliche Schlafprobleme und damit einhergehende Leistungsdefizite entwickeln (Erlacher, 2019). Demnach ist entscheidend, um die digitalen Potenziale wie Einschränkungen zu wissen, um diese letztlich zielgerichtet und individuell angepasst nutzen zu können (Khosla et al., 2018).

Zur methodischen Abrundung, im Sinne einer Betrachtung beider eben genannten Seiten der Themenmedaille, sowie um noch einen weiteren schlafbezogenen Aspekt aufzugreifen, wird abschließend in Teilprojekt IV unter Zuhilfenahme eines Wearables der Frage nach dem Einfluss von abendlichem Gaming auf Schlaf- und Stressparameter nachgegangen. Hierzu wird die Hypothese aufgestellt, dass abendliches, digitales Spielen (G) im Vergleich zum Nicht-Spielen (NG) die Schlafdauer bzw. die Schlafqualität reduziert und zu einer erhöhten Stressanhäufung führt. Die messwiederholte ANOVA zeigt, dass die TST nach G im Vergleich zu NG signifikant reduziert ist. Bemerkenswerterweise ist die Abnahme der TST von etwa 39 Minuten nach G identisch mit den Ergebnissen der deutschen eSport-Studie 2019 (Fröbose et al., 2019). Auf Grundlage dieser Ergebnisse kann der erste Teil der Hypothese somit angenommen werden. Der zweite Teil bezüglich der Schlafqualität kann jedoch nicht bestätigt werden, obwohl beispielsweise Exelmans und van den Bulck (2015) einen negativen Effekt des Spielens auf die Schlafqualität nachweisen können und Lemola et al. (2013) feststellen, dass die subjektive Schlafqualität als Mediator für den Zusammenhang zwischen Schlafdauer und Wohlbefinden dient. Dementgegen lassen sich die vorliegenden Ergebnisse mit gegenteiligen Erkenntnissen aus der Schlafforschung in Verbindungen bringen, die zeigen, dass die Schlafqualität nicht direkt durch eine kurzfristige/moderate Abweichung von der normalen Schlafdauer beeinflusst wird (Ohayon et al., 2017), was hier aufgrund der Einzelsession der Fall sein könnte. Außerdem ist bei der Beurteilung des Schlafs in Labor- und Nicht-Labor-Settings häufig ein Unterschied zwischen quantitativ gemessenen (z. B. TST) im Vergleich zu subjektiv bewerteten Daten (z. B. Schlafqualität) festzustellen (Ibáñez et al., 2018a). Dementsprechend könnte das Gefühl der Erholung und des Wohlbefindens, im Sinne der subjektiven Schlafqualität, nach fünf Stunden Schlaf höher sein als nach acht Stunden

Schlaf, auch wenn die objektive Zahl der TST eine geringere Schlafqualität vermuten lässt. Möglicherweise ist dies der Grund, warum der Unterschied in der Schlafdauer in der vorliegenden Studie keinen wesentlichen Einfluss auf die Schlafqualität hat. Davon ausgehend, dass die Teilnehmenden normalerweise einen großen Teil ihrer Freizeit mit digitalen Spielen, elektronischen Geräten und sozialen Medien verbringen, ist außerdem zu bedenken, dass möglicherweise Gewöhnungseffekte auftreten. D. h. es ist durchaus möglich, dass ein einzelner spielfreier Tag keine signifikante Veränderung des Schlafverhaltens und der subjektiven Schlafqualität zur Folge hat.

Als zusätzlicher Gesundheitsparameter wird das individuelle Stressniveau vor und nach G vs. NG erhoben. Während ein signifikanter Unterschied zwischen Post-G vs. NG festgestellt wird, zeigt sich im Retentionstest am nächsten Morgen kein signifikanter Unterschied im Stresslevel zwischen G und NG. Die Gewöhnung der Teilnehmenden an den wettbewerbsorientierten und stressigen Charakter des E-Sports kann ein Grund für die nicht anhaltende Wirkung des Spielens auf den individuellen Stress sein. Komplementäre Ergebnisse liefert beispielsweise die Untersuchung von Schmidt et al. (2020), die das Stressniveau professioneller E-Sportlerinnen und E-Sportler während des Spielens durch Messung der Cortisolkonzentration zu verschiedenen Zeitpunkten bestimmt haben. Einerseits ist Cortisol als Stressindikatorhormon während des Spielens signifikant erhöht. Andererseits unterscheidet sich die Cortisolkonzentration beim Gewinnen oder Verlieren des digitalen Spiels. Diese Resultate stützen somit den dritten Teil der Hypothese, auch wenn die eigenen Ergebnisse dies nicht vollständig belegen. Ebenso können auf der Grundlage der vorliegenden Studie keine Schlussfolgerungen darüber gezogen werden, ob das Spielen einen negativen Einfluss auf die Wahrnehmung von Stress und körperlicher Erschöpfung hat.

Abgesehen davon stimmen die gefundenen Befunde mit der aktuellen Literatur überein, die Auswirkungen von Spielen auf Schlafverhalten und Stress aufzeigt (Altintas et al., 2019; Bonnar et al., 2019a; Poulus et al., 2020). Denn entgegen der unzureichenden Evidenz für die Auswirkungen von Gaming auf die Schlafqualität, weisen die Ergebnisse deutlich auf den Einfluss von Gaming auf die TST sowie auf zumindest akute Auswirkungen auf das individuelle Stresserleben hin. Zukünftige Forschung (für eine umfassende E-Sport-Forschungsagenda siehe Cranmer et al., 2021 und Kelly & Leung, 2021) sollte hierauf aufbauen und Ansätze zu Schlaf- (Bonnar et al., 2019b) und Gesundheitsinterventionen (Emara et al., 2020; Smith, Birch, & Bright, 2019) im E-Sport weiterentwickeln. Dies gilt besonders vor dem Hintergrund, dass aufgrund der gerade auch durch Corona bzw. die pandemiebedingten Kontakt- und Aktivitätsrestriktionen rasant gestiegenen Beliebtheit des E-Sports, v. a. bei jungen Menschen, die Spiel-

zeit wahrscheinlich weiter zunehmen wird. Daher ist es wichtig, sich mit den Auswirkungen des Spielens auf die Gesundheit und das Wohlbefinden des Einzelnen auseinanderzusetzen (Leis & Lautenbach, 2020; Pereira et al., 2019; Yin et al., 2020).

In Anbetracht des noch sehr jungen Forschungsfeld im E-Sport kann das vorliegende Teilprojekt als Basis weiterer Studien dienen. Dennoch gilt es, einige Einschränkungen zu berücksichtigen. Die Einschlusskriterien bezüglich der Spieletitel werden nicht spezifiziert, obwohl verschiedene Spiele wie Shooter oder Sportsimulationen unterschiedliche Schwerpunkte haben und daher nicht unbedingt ähnliche Erregungszustände/Stress oder Aufregung erzeugen (Reitman et al., 2019). Um einen tieferen Einblick zu erhalten, sollten die Auswirkungen verschiedener Spiele in Zukunft separat untersucht werden. Ebenso sollten aus Gründen der Replikation und Standardisierung dieselben Studienprotokolle bei unterschiedlichen Fähigkeitsniveaus von E-Sportlerinnen und E-Sportlern angewandt werden. Daneben könnten sowohl der Zeitraum als auch das Setting der Untersuchung selbst als Einschränkungen angesehen werden: Bei jeweils nur einer einzigen Session von G und NG könnten verschiedene Verzerrungsmöglichkeiten oder andere nicht kontrollierbare Nebeneffekte wie Umgebungsgeräusche oder die Anwesenheit von Mitbewohnerinnen und Mitbewohnern die Ergebnisse beeinflussen. Darüber hinaus ist es fraglich, inwieweit ein einziger Abend ohne exzessives Spielen das individuelle Schlafverhalten von Teilnehmenden, die regelmäßig > 200 Minuten pro Tag spielen, effektiv verändert? Auch wird nicht retrospektiv kontrolliert, wie die Teilnehmenden ihren spiefreien Abend verbracht haben. Perspektivisch könnten praktikablere/kontrollierbarere Spezifikationen bezüglich der G- und NG-Bedingung angebracht sein. Um das Risiko von Messfehlern oder fehlenden Werten zu vermeiden, könnte zudem ein alternatives Bewertungsinstrument, das automatisch und kontinuierlich die Herzfrequenzvariabilität bzw. das Stressniveau der Probandinnen und Probanden misst, zuverlässiger sein. Weiter ist die Interpretation der Garmin®-Stress-Scores aufgrund der fehlenden Unterscheidung zwischen positivem und negativem Stress sowie der Skalierung (von 1 bis 100) selbst begrenzt, d. h. die Stress-Scores könnten das tatsächliche Stressniveau der Teilnehmenden nur in begrenztem Maße widerspiegeln. Die gleiche Herausforderung, im Sinne potenzieller Ungenauigkeit, könnte sich bei der Bewertung des Schlafs mit der Garmin®-Smartwatch ergeben. Nicht zuletzt werden keine Angaben zu den Computer- oder Konsolenbildschirmen gemacht. Es wird also nicht berücksichtigt, dass die Emission von blauem Licht oder die Verwendung eines Blaulichtfilters die Ergebnisse beeinflussen könnten. Da blaues Licht einen negativen Einfluss auf Schlaf und Konzentration zu haben scheint (Wahl et al., 2019), sollten zukünftige Studien die Verwendung von Blaulichtfiltern oder -brillen sowie den Abstand zum

Bildschirm spezifizieren. Abgesehen von diesen Schwierigkeiten bei der Durchführung besteht der Mehrwert von Nicht-Labor-/Interventionsstudien jedoch maßgeblich in Bezug auf deren praktische Relevanz. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass zwar zahlreiche Forschungsarbeiten den Zusammenhang zwischen Schlaf, Stress und Sport untersuchen, aber nur wenig über den Einfluss von E-Sports auf Schlaf und Stress bekannt ist. Basierend auf den teils ähnlichen psychophysiologischen Anforderungen im Sport und E-Sport (Jenny et al., 2017), sollten die wechselseitigen Auswirkungen von E-Sport auf gesundheitsbezogene Faktoren wie Schlaf und Stress allerdings in gleicher Weise erwägt und untersucht werden. Entsprechend führt beispielsweise die eigene Arbeitsgruppe in Kooperation mit der Deutschen Sporthochschule Köln und der Universitätsmedizin Mainz dieses Forschungsprojekt in weiterentwickelter Form fort: Über vier Abende sowie unter Zuhilfenahme von 1-Kanal-EKG-Sensoren, Aktigraphen und Speichelproben sollen schlaf- und stressbezogene Akuteffekte des Spielens von ‚League of Legends‘ und ‚Counter-Strike: Global Offensive‘ mit dem Ansehen eines Naturdokumentationsfilms verglichen werden.

Letztendlich, bezugnehmend auf den in Kapitel 2 angeführten theoretischen Hintergrund sowie die modelltheoretische Verortung dieser Arbeit in Kapitel 3, stellt sich der Schlaf als durchweg aktiver, multimodaler Prozess dar: Als Verhalten kann er direkt auf Gesundheit und Leistung wirken, indirekt kommt seine Rolle als Unterstützer (im Sinne einer Gesundheits- und Leistungsressource), aber auch als Hemmer (im Sinne einer psychophysischen Anforderung) zum Tragen. Auf einer Zeitachse gesehen, kann der Schlaf, bzw. vor allem das Ein- und Durchschlafen, durch Vor-Schlaf-Aktivitäten sowohl positiv (z. B. durch moderate körperlich-sportliche Aktivität oder Entspannungsmaßnahmen) als auch negativ (z. B. durch zu hohe körperliche oder kognitive Beanspruchung oder intensivem digitalen Input) beeinflusst werden. Genauso werden aber auch die Tagesaktivitäten von der Dauer und Qualität des Schlafs aus der vorangegangenen Nacht moduliert. Neben diesen Ergebnissen des inhaltlichen Forschungsansatzes der Dissertation zeigt genauso die methodisch-technische Annäherung an den Schlaf respektive das individuelle Schlafverhalten, dass das gesundheits- und leistungs-förderliche Potenzial smarterer Technologien nicht zu unterschätzen ist. Insbesondere hinsichtlich der Nutzerorientierung und ökonomischen Alltagsanwendbarkeit sind digitale Angebote – hier v. a. Wearables – als eine externe Ressource der Gesundheitsförderung einzuordnen. Wobei die externe Anforderung eines solch reflektierten, datenbasierten Umgangs mit dem eigenen Schlaf zugleich darin besteht, umfassend, im Sinne von ganzheitlich und individuell, gesundheits-förderliches Verhalten anzuregen.

5.2 Perspektiven für Wissenschaft und Praxis

Abschließend sollen nochmals pointiert die aus den Erkenntnissen der Teilprojekte abgeleiteten Implikationen für die zukünftige Forschung sowie die angewandte Praxis zusammengefasst werden. Da die moderne, westlich geprägte Gesellschaft also eine digitale Gesellschaft ist, hat die Nutzung von sozialen Medien und Unterhaltungselektronik in den letzten Jahrzehnten rapide zugenommen (Martin, 2008). Es zeigt sich, dass die Digitalisierung auch im Kontext von Gesundheit und Wohlbefinden zahlreiche Instrumente und Möglichkeiten wie webbasierte Plattformen, Smartphone-Anwendungen oder Fitnesstracker bietet, um Gesundheit und gesundheitsbewusstes Verhalten in der Gesellschaft zu fördern (Azzopardi-Muscat et al., 2019; Kennedy, 2014; Kitson et al., 2018). Dementsprechend sollte sich die Forschung auf bestehende Technologien, Medien und Netzwerke in verschiedenen Settings (z. B. Sport, Bildung, Medizin) sowie auf allgemeine und zielgruppenbezogene Aspekte hinsichtlich ihrer Nutzbarkeit und Wirksamkeit fokussieren (de Zambotti et al., 2019; Dunn, Runge, & Snyder, 2018; Mansukhani & Kolla, 2017; Santos-Gago et al., 2019; Sliwinski, Katsikitis, & Jones, 2017). Damit einhergeht ein grundsätzlicher Forschungsbedarf hinsichtlich der erforderlichen Fähigkeiten, um erfolgreich und kritisch mit verfügbaren digitalen Tools umgehen zu können (Ho & Quick, 2018; Mackert et al., 2016; Peake, Kerr, & Sullivan, 2018; Wright et al., 2017).

In Anbetracht der fortschreitenden Technisierung und steigenden Beliebtheit von Wearables erscheint eine umfassende Überprüfung deren Messgenauigkeit unumgänglich. Da sich bereits zeigt, dass diese eine einfach anwendbare und kostengünstige Alternative zu aufwendigen Messapparaturen sind, wäre beispielsweise eine alltägliche Verknüpfung von Schlaf- und Trainingsdaten denkbar. Auch eine langfristige Implementierung sowie Etablierung eines ganzheitlichen – dies bezieht den Schlaf zwingend mit ein – Athletenmonitorings mithilfe von Wearables sind zielführend, wovon in erster Linie der (Spitzen-)Sport mehr als profitieren könnte. Aus einer gesundheitswissenschaftlichen Perspektive sei hier nochmals der Bezug zur *Health* und *Digital Literacy* genannt, wonach solch digitale Tools gesundheitsförderlich und mit geringen Zugangsbarrieren eingesetzt werden können. Letztlich gilt es, die technischen Entwicklungen und die daraus entstehenden Möglichkeiten für den Sport im Allgemeinen und das Thema Schlaf im Speziellen zu übertragen. Auch eine weiterführende Auseinandersetzung, Dokumentation oder Digitalisierung bis hin zu digitalem (Schlaf-) Training wären sich daraus ergebende zukünftige Ansatzpunkte.

In Anbetracht des Booms der E-Sport-Branche gilt es, vordergründig zwei Aspekte zu benennen: Zum einen können die eben für den traditionellen Sport beschriebenen Implikationen

gleichfalls auf die Zielgruppe der (professionellen) E-Sportlerinnen und E-Sportler übertragen werden. Denn auch hier können ein individuelles Schlaf- bzw. Gesundheitsmonitoring sowie eine gezielte Schlafoptimierung zur Leistungssteigerung, wenn auch im digitalen anstatt realem Setting, genutzt werden. Zum anderen besteht ein notwendiger Forschungsbedarf hinsichtlich gesundheitsrelevanter Auswirkungen der digitalen Spielaktivität. Entsprechend sind nicht nur qualitative, sondern breit angelegte quantitative Studien erforderlich. In der alltäglichen Praxis bedarf es sodann Interventionen, die auf pädagogisch intendierten (auf Ebene der WOZU-Fragen), didaktisch instrumentierten (auf Ebene der WAS-Fragen) und methodisch (auf Ebene der WIE-Fragen) aufbereiteten Prozessen basieren, um auf eine bewusste Spielaktivität abzielen. Ein solcher gesunder Umgang mit Gaming sollte jedoch nicht nur im professionellen E-Sport-Kontext umgesetzt werden, sondern scheint auch ein vielversprechender Ansatz im pädagogischen Kontext, um Jugendliche für die potenziellen Risiken von exzessivem Gaming in Bezug auf gesundheitsrelevante Faktoren zu sensibilisieren und folglich geeignete stressreduzierende Interventionen durchzuführen. Letztendlich birgt das Themenfeld des Schlafs weitreichendes Potenzial für verschiedene Forschungsfelder, wobei allen die bedeutsame Rolle des Schlafs als Gesundheits- und Leistungsvariable gemein ist.

„Der Schlaf ist für den ganzen Menschen, was das Aufziehen für die Uhr.“

(Arthur Schopenhauer)

Literaturverzeichnis

- Abel, T., & Sommerhalder, K. (2015). Gesundheitskompetenz/Health Literacy : Das Konzept und seine Operationalisierung [Health literacy: An introduction to the concept and its measurement]. *Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz*, 58(9), 923-929. <https://doi.org/10.1007/s00103-015-2198-2>
- Abril, E. P. (2016). Tracking Myself: Assessing the Contribution of Mobile Technologies for Self-Trackers of Weight, Diet, or Exercise. *Journal of Health Communication*, 21(6), 638-646. <https://doi.org/10.1080/10810730.2016.1153756>
- Akçay, D., & Akçay, B. D. (2020). The effect of computer game playing habits of university students on their sleep states. *Perspectives in Psychiatric Care*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1111/ppc.12497>
- Altintas, E., Karaca, Y., Hullaert, T., & Tassi, P. (2019). Sleep quality and video game playing: Effect of intensity of video game playing and mental health. *Psychiatry Research*, 273, 487-492. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2019.01.030>
- Andrade, A., Bevilacqua, G. G., Coimbra, D. R., Pereira, F. S., & Brandt, R. (2016). Sleep Quality, Mood and Performance: A Study of Elite Brazilian Volleyball Athletes. *Journal of Sports Science & Medicine*, 15(4), 601-605.
- Antonovsky, A. (1979). *Health, stress and coping*. Jossey Bass.
- Arogamam, G., Manivannan, N., & Harrison, D. (2019). Review on Wearable Technology Sensors Used in Consumer Sport Applications. *Sensors*, 19(9). <https://doi.org/10.3390/s19091983>
- Arriba-Pérez, F. de, Caeiro-Rodríguez, M., & Santos-Gago, J. M. (2018). How do you sleep? Using off the shelf wrist wearables to estimate sleep quality, sleepiness level, chronotype and sleep regularity indicators. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 9(4), 897-917. <https://doi.org/10.1007/s12652-017-0477-5>
- Athey, A., Alfonso-Miller, P., Killgore, W. D., & Grandner, M. A. (2017). Preliminary results of a sleep health intervention in student athletes: perceived changes to sleep, performance, and mental and physical well-being. *Sleep*, 40, A450-A450. <https://doi.org/10.1093/sleepj/zsx050.1206>
- Atoui, S., Chevance, G., Romain, A.-J., Kingsbury, C., Lachance, J.-P., & Bernard, P. (2021). Daily associations between sleep and physical activity: A systematic review and meta-analysis. *Sleep Medicine Reviews*, 57, 101426. <https://doi.org/10.1016/j.smr.2021.101426>

- Azzopardi-Muscat, N., Ricciardi, W., Odone, A., Buttigieg, S., & Zeegers Paget, D. (2019). Digitalization: Potentials and pitfalls from a public health perspective. *European Journal of Public Health*, 29, 1-2. <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckz169>
- Baron, K. G., Duffecy, J., Berendsen, M. A., Cheung Mason, I., Lattie, E. G., & Manalo, N. C. (2018). Feeling validated yet? A scoping review of the use of consumer-targeted wearable and mobile technology to measure and improve sleep. *Sleep Medicine Reviews*, 40, 151-159. <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2017.12.002>
- Becker, P. (2003). Anforderungs-Ressourcen-Modell in der Gesundheitsförderung. In Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung (Hrsg.), *Leitbegriffe der Gesundheitsförderung* (S. 13-15). Fachverlag Peter Sabo.
- Becker, P. (2006). Gesundheit und Gesundheitsmodelle. In K. Bös, W. Brehm, & K. Abu-Omar (Hrsg.), *Beiträge zur Lehre und Forschung der Leibeseziehung: Band 120. Handbuch Gesundheitssport* (2. Auflage, S. 31-41). Hofmann.
- Benzing, V., Chang, Y. K., & Schmidt, M. (2018). Acute Physical Activity Enhances Executive Functions in Children with ADHD. *Scientific reports*, 8(1), 12382. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-30067-8>
- Berryhill, S., Morton, C. J., Dean, A., Berryhill, A., Provencio-Dean, N., Patel, S. I., Estep, L., Combs, D., Mashaqi, S., Gerald, L. B., Krishnan, J. A., & Parthasarathy, S. (2020). Effect of wearables on sleep in healthy individuals: A randomized crossover trial and validation study. *Journal of Clinical Sleep Medicine : Official Publication of the American Academy of Sleep Medicine*, 16(5), 775-783. <https://doi.org/10.5664/jcsm.8356>
- Biggins, M., Purtill, H., Fowler, P., Bender, A., Sullivan, K. O., Samuels, C., & Cahalan, R. (2021). Sleep, health, and well-being in elite athletes from different sports, before, during, and after international competition. *The Physician and Sportsmedicine*, 49(4), 429-437. <https://doi.org/10.1080/00913847.2020.1850149>
- Bloomberg. (2017). Anteil der ökonomischen Folgekosten von Schlafmangel am Bruttoinlandsprodukt ausgewählter Länder im Jahr 2016 [Graph]. In *Statista*. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/677145/umfrage/oekonomische-kosten-von-schlafmangel-in-ausgewaehlten-laendern/>
- Bolton, D., & Gillett, G. (2019). The Biopsychosocial Model 40 Years On. In D. Bolton & G. Gillett (Hrsg.), *The Biopsychosocial Model of Health and Disease* (S. 1-43). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-11899-0_1

- Bonnar, D., Bartel, K., Kakoschke, N., & Lang, C. (2018). Sleep Interventions Designed to Improve Athletic Performance and Recovery: A Systematic Review of Current Approaches. *Sports Medicine*, 48(3), 683-703. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0832-x>
- Bonnar, D., Castine, B., Kakoschke, N., & Sharp, G. (2019a). Sleep and performance in Eathletes: For the win! *Sleep Health*, 5(6), 647-650. <https://doi.org/10.1016/j.sleh.2019.06.007>
- Bonnar, D., Lee, S., Gradisar, M., & Suh, S. (2019b). Risk Factors and Sleep Intervention Considerations in Esports: A Review and Practical Guide. *Sleep Medicine Research*, 10(2), 59-66. <https://doi.org/10.17241/SMR.2019.00479>
- Borbély, A. (1988). Das Zwei-Prozeß-Modell der Schlafregulation. In H. Hippius, E. Rütther, & M. Schmauss (Hrsg.), *Schlaf-Wach-Funktionen* (S. 1-4). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-72923-2_1
- Borbély, A. A., Daan, S., Wirz-Justice, A., & Deboer, T. (2016). The two-process model of sleep regulation: A reappraisal. *Journal of Sleep Research*, 25(2), 131-143. <https://doi.org/10.1111/jsr.12371>
- Borggrefe, C. (2018). eSport gehört nicht unter das Dach des organisierten Sports. *German Journal of Exercise and Sport Research*, 48(3), 447-450. <https://doi.org/10.1007/s12662-018-0532-1>
- Brand, S. (2018). Schlaf, körperliche Aktivität und Stress. In R. Fuchs & M. Gerber (Hrsg.), *Handbuch Stressregulation und Sport* (S. 293-310). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-49322-9_12
- Breuer, M., & Görlich, D. (Hrsg.). (2022). *E-Sport: Status quo und Entwicklungspotenziale* (2., vollständig überarbeitete Auflage). Springer Gabler. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-36079-5>
- Brink, M. ten, Lee, H. Y., Manber, R., Gross, J., & Yeager, D. (2019). Stress, Sleep, And Coping Self-Efficacy In Adolescents. *Sleep*, 42, A102-A102. <https://doi.org/10.1093/sleep/zsz067.247>
- Bunn, J. A., Navalta, J. W., Fountaine, C. J., & Reece, J. D. (2018). Current State of Commercial Wearable Technology in Physical Activity Monitoring 2015-2017. *International Journal of Exercise Science*, 11(7), 503-515.
- Buysse, D. J. (2014). Sleep health: Can we define it? Does it matter? *Sleep*, 37(1), 9-17. <https://doi.org/10.5665/sleep.3298>

- Buysse, D. J., Reynolds, C. F., Monk, T. H., Berman, S. R., & Kupfer, D. J. (1989). The Pittsburgh sleep quality index: A new instrument for psychiatric practice and research. *Psychiatry Research*, 28(2), 193-213. [https://doi.org/10.1016/0165-1781\(89\)90047-4](https://doi.org/10.1016/0165-1781(89)90047-4)
- Campanini, M. Z., Lopez-Garcia, E., Rodríguez-Artalejo, F., González, A. D., Andrade, S. M., & Mesas, A. E. (2017). Agreement between sleep diary and actigraphy in a highly educated Brazilian population. *Sleep Medicine*, 35, 27-34. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2017.04.004>
- Chandrasekaran, B., Fernandes, S., & Davis, F. (2020). Science of sleep and sports performance - a scoping review. *Science & Sports*, 35(1), 3-11. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2019.03.006>
- Chandrasiri, A., Collett, J., Fassbender, E., & Foe, A. de (2020). A virtual reality approach to mindfulness skills training. *Virtual Reality*, 24(1), 143-149. <https://doi.org/10.1007/s10055-019-00380-2>
- Charest, J., & Grandner, M. A. (2020). Sleep and Athletic Performance: Impacts on Physical Performance, Mental Performance, Injury Risk and Recovery, and Mental Health. *Sleep Medicine Clinics*, 15(1), 41-57. <https://doi.org/10.1016/j.jsmc.2019.11.005>
- Chennaoui, M., Arnal, P. J., Sauvet, F., & Léger, D. (2015). Sleep and exercise: A reciprocal issue? *Sleep Medicine Reviews*, 20, 59-72. <https://doi.org/10.1016/j.smr.2014.06.008>
- Chinoy, E. D., Huwa, K. E., Snider, M. N., Bessman, S. C., Cuellar, J. A., Cooper, A. D., Hirsch, D. A., Nardulli, P. J., Jameson, J. T., Drummond, S. P. A., & Markwald, R. R. (2019). Examination of Wearable and Non-Wearable Consumer Sleep-Tracking Devices Versus Polysomnography. *Sleep*, 42, A403-A404. <https://doi.org/10.1093/sleep/zsz067.999>
- Claudino, J. G., J Gabbet, T., Sá Souza, H. de, Simim, M., Fowler, P., Alcantara Borba, D. de, Melo, M., Bottino, A., Loturco, I., D'Almeida, V., Carlos Amadio, A., Cerca Serrão, J., & P Nassis, G. (2019). Which parameters to use for sleep quality monitoring in team sport athletes? A systematic review and meta-analysis. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 5(1), e000475. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2018-000475>
- Clemente, F. M., Afonso, J., Costa, J., Oliveira, R., Pino-Ortega, J., & Rico-González, M. (2021). Relationships between Sleep, Athletic and Match Performance, Training Load, and Injuries: A Systematic Review of Soccer Players. *Healthcare*, 9(7). <https://doi.org/10.3390/healthcare9070808>

- Collins, E., Cox, A., Wilcock, C., & Sethu-Jones, G. (2019). Digital Games and Mindfulness Apps: Comparison of Effects on Post Work Recovery. *JMIR Mental Health*, 6(7), e12853. <https://doi.org/10.2196/12853>
- Cooper, C. L., & Quick, J. C. (Hrsg.). (2017). *The handbook of stress and health: A guide to research and practice*. Wiley-Blackwell. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118993811>
- Copenhaver, E. A., & Diamond, A. B. (2017). The Value of Sleep on Athletic Performance, Injury, and Recovery in the Young Athlete. *Pediatric Annals*, 46(3), e106-e111. <https://doi.org/10.3928/19382359-20170221-01>
- Cranmer, E. E., Han, D.-I. D., van Gisbergen, M., & Jung, T. (2021). Esports matrix: Structuring the esports research agenda. *Computers in Human Behavior*, 117, 106671. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106671>
- Craven, J., McCartney, D., Desbrow, B., Sabapathy, S., Bellinger, P., Roberts, L., & Irwin, C. (2022). Effects of Acute Sleep Loss on Physical Performance: A Systematic and Meta-Analytical Review. *Sports Medicine*, 52(11), 2669-2690. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01706-y>
- Crivello, A., Barsocchi, P., Girolami, M., & Palumbo, F. (2019). The Meaning of Sleep Quality: A Survey of Available Technologies. *IEEE Access*, 7, 167374-167390. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2953835>
- Crönlein, T., Galetke, W., & Young, P. (2020). *SCHLAFMEDIZIN IXI: Praxisorientiertes Basiswissen*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-60406-9>
- de Zambotti, M., Cellini, N., Goldstone, A., Colrain, I. M., & Baker, F. C. (2019). Wearable Sleep Technology in Clinical and Research Settings. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 51(7), 1538-1557. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001947>
- de Zambotti, M., Cellini, N., Menghini, L., Sarlo, M., & Baker, F. C. (2020). Sensors Capabilities, Performance, and Use of Consumer Sleep Technology. *Sleep Medicine Clinics*, 15(1), 1-30. <https://doi.org/10.1016/j.jsmc.2019.11.003>
- Degroote, L., Hamerlinck, G., Poels, K., Maher, C., Crombez, G., Bourdeaudhuij, I. de, Vandendriessche, A., Curtis, R. G., & DeSmet, A. (2020). Low-Cost Consumer-Based Trackers to Measure Physical Activity and Sleep Duration Among Adults in Free-Living Conditions: Validation Study. *JMIR MHealth and UHealth*, 8(5), e16674. <https://doi.org/10.2196/16674>
- Dentico, D., Ferrarelli, F., Riedner, B. A., Smith, R., Zennig, C., Lutz, A., Tononi, G., & Davidson, R. J. (2016). Short Meditation Trainings Enhance Non-REM Sleep Low-

- Frequency Oscillations. *PloS One*, 11(2), e0148961. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0148961>
- Depner, C. M., Cheng, P. C., Devine, J. K., Khosla, S., Zambotti, M. de, Robillard, R., Vakulin, A., & Drummond, S. P. A. (2020). Wearable technologies for developing sleep and circadian biomarkers: A summary of workshop discussions. *Sleep*, 43(2). <https://doi.org/10.1093/sleep/zsz254>
- Deutsche Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin. (2011). *Patientenratgeber: Ein- und Durchschlafstörungen*. https://www.dgsm.de/downloads/dgsm/arbeitsgruppen/ratgeber/neu-Nov2011/Schlafstoerung_A4.pdf
- Deutsche Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin. (2022). *DGSM-Aktionstag Erholsamer Schlaf 2022*. <https://www.dgsm.de/gesellschaft/aktionstag/aktionstag-2022>
- Deutscher Vereinigung für Sportwissenschaft. (2019). *E-Sport als Herausforderung für die Sportwissenschaft*. <https://bit.ly/36EzaF3>
- Devine, J. K., Schwartz, L. P., Choynowski, J., & Hursh, S. R. (2022). Expert Demand for Consumer Sleep Technology Features and Wearable Devices: A Case Study. *IoT*, 3(2), 315-331. <https://doi.org/10.3390/iot3020018>
- Düking, P., Giessing, L., Frenkel, M. O., Koehler, K., Holmberg, H.-C., & Sperlich, B. (2020). Wrist-Worn Wearables for Monitoring Heart Rate and Energy Expenditure While Sitting or Performing Light-to-Vigorous Physical Activity: Validation Study. *JMIR MHealth and UHealth*, 8(5), e16716. <https://doi.org/10.2196/16716>
- Dunn, J., Runge, R., & Snyder, M. (2018). Wearables and the medical revolution. *Personalized Medicine*, 15(5), 429-448. <https://doi.org/10.2217/pme-2018-0044>
- Emara, A. K., Ng, M. K., Cruickshank, J. A., Kampert, M. W., Piuze, N. S., Schaffer, J. L., & King, D. (2020). Gamer's Health Guide: Optimizing Performance, Recognizing Hazards, and Promoting Wellness in Esports. *Current Sports Medicine Reports*, 19(12), 537-545. <https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000787>
- Engel, G. L. (1977). The need for a new medical model: A challenge for biomedicine. *Science*, 196(4286), 129-136. <https://doi.org/10.1126/science.847460>
- Erlacher, D. (2019). *Sport und Schlaf*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-58132-2>
- Erlacher, D., Ehrlenspiel, F., Adegbesan, O. A., & El-Din, H. G. (2011). Sleep habits in German athletes before important competitions or games. *Journal of Sports Sciences*, 29(8), 859-866. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.565782>

- Erlacher, D., Gebhart, C., Ehrlenspiel, F., Blischke, K., & Schredl, M. (2012). Schlaf und Sport. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 19(1), 4-15. <https://doi.org/10.1026/1612-5010/a000063>
- Espie, C. A. (2021). The '5 principles' of good sleep health. *Journal of Sleep Research*, e13502. <https://doi.org/10.1111/jsr.13502>
- eSport-Bund Deutschland e.V. (2018). *Was ist eSport?* <https://esportbund.de/esport/was-ist-esport/>
- Evenson, K. R., Goto, M. M., & Furberg, R. D. (2015). Systematic review of the validity and reliability of consumer-wearable activity trackers. *The International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 12, 159. <https://doi.org/10.1186/s12966-015-0314-1>
- Exelmanns, L., & van den Bulck, J. (2015). Sleep quality is negatively related to video gaming volume in adults. *Journal of Sleep Research*, 24(2), 189-196. <https://doi.org/10.1111/jsr.12255>
- Facer-Childs, E., & Brandstaetter, R. (2015). The impact of circadian phenotype and time since awakening on diurnal performance in athletes. *Current Biology*, 25(4), 518-522. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2014.12.036>
- Falck, R. S., Stamatakis, E., & Liu-Ambrose, T. (2021). The athlete's sleep paradox prompts us to reconsider the dose-response relationship of physical activity and sleep. *British Journal of Sports Medicine*, 55(16), 887-888. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-103835>
- Faltermaier, T. (2017). *Gesundheitspsychologie* (2., überarbeitete und erweiterte Auflage). Kohlhammer Verlag.
- Fekedulegn, D., Andrew, M. E., Shi, M., Violanti, J. M., Knox, S., & Innes, K. E. (2020). Actigraphy-Based Assessment of Sleep Parameters. *Annals of Work Exposures and Health*, 64(4), 350-367. <https://doi.org/10.1093/annweh/wxaa007>
- Fietze, I. (2016). Sleep Applications to Assess Sleep Quality. *Sleep Medicine Clinics*, 11(4), 461-468. <https://doi.org/10.1016/j.jsmc.2016.08.008>
- Froböse, I., Rudolf, K., Wechsler, K., Tholl, C., & Grieben, C. (2019). *eSport Studie 2019: eSportler im Fokus der Wissenschaft*. <https://www.esportwissen.de/wp-content/uploads/2019/01/eSportwissen.de-eSport-Studie-2019.pdf>
- Fuchs, R., & Gerber, M. (Hrsg.). (2018). *Handbuch Stressregulation und Sport*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-49322-9>

- Full, K. M., Kerr, J., Grandner, M. A., Malhotra, A., Moran, K., Godoble, S., Natarajan, L., & Soler, X. (2018). Validation of a physical activity accelerometer device worn on the hip and wrist against polysomnography. *Sleep Health, 4*(2), 209-216. <https://doi.org/10.1016/j.sleh.2017.12.007>
- Fullagar, H. H. K., Skorski, S., Duffield, R., Hammes, D., Coutts, A. J., & Meyer, T. (2015). Sleep and athletic performance: The effects of sleep loss on exercise performance, and physiological and cognitive responses to exercise. *Sports Medicine, 45*(2), 161-186. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0260-0>
- Fullagar, H., Skorski, S., Duffield, R., & Meyer, T. (2016). The effect of an acute sleep hygiene strategy following a late-night soccer match on recovery of players. *Chronobiology International, 33*(5), 490-505. <https://doi.org/10.3109/07420528.2016.1149190>
- Fuller, D., Colwell, E., Low, J., Orychock, K., Tobin, M. A., Simango, B., Buote, R., van Heerden, D., Luan, H., Cullen, K., Slade, L., & Taylor, N. G. A. (2020). Reliability and Validity of Commercially Available Wearable Devices for Measuring Steps, Energy Expenditure, and Heart Rate: Systematic Review. *JMIR MHealth and UHealth, 8*(9), e18694. <https://doi.org/10.2196/18694>
- Fultz, N. E., Bonmassar, G., Setsompop, K., Stickgold, R. A., Rosen, B. R., Polimeni, J. R., & Lewis, L. D. (2019). Coupled electrophysiological, hemodynamic, and cerebrospinal fluid oscillations in human sleep. *Science, 366*(6465), 628-631. <https://doi.org/10.1126/science.aax5440>
- Game e.V. (2022). *Jahresreport der deutschen Games-Branche 2022*. <https://www.game.de/wp-content/uploads/2022/08/Jahresreport-der-deutschen-Games-Branche-2022.pdf>
- Gandhi, A. V., Mosser, E. A., Oikonomou, G., & Prober, D. A. (2015). Melatonin is required for the circadian regulation of sleep. *Neuron, 85*(6), 1193-1199. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2015.02.016>
- Gardner, F. L., & Moore, Z. E. (2004). A mindfulness-acceptance-commitment-based approach to athletic performance enhancement: Theoretical considerations. *Behavior Therapy, 35*(4), 707-723. [https://doi.org/10.1016/S0005-7894\(04\)80016-9](https://doi.org/10.1016/S0005-7894(04)80016-9)
- Glassman, G. (2007). Understanding CrossFit. *CrossFit Journal, 56*. <http://journal.crossfit.com/2007/04/understanding-crossfit-by-greg.tpl>
- Gnambs, T., Stasielowicz, L., Wolter, I., & Appel, M. (2020). Do computer games jeopardize educational outcomes? A prospective study on gaming times and academic

- achievement. *Psychology of Popular Media*, 9(1), 69-82.
<https://doi.org/10.1037/ppm0000204>
- Goel, N., Basner, M., Rao, H., & Dinges, D. F. (2013). Circadian rhythms, sleep deprivation, and human performance. *Progress in Molecular Biology and Translational Science*, 119, 155-190. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-396971-2.00007-5>
- Grandner, M. A. (2017). Sleep, Health, and Society. *Sleep Medicine Clinics*, 12(1), 1-22.
<https://doi.org/10.1016/j.jsmc.2016.10.012>
- Grandner, M. A. (2020). Sleep, Health, and Society. *Sleep Medicine Clinics*, 15(2), 319-340.
<https://doi.org/10.1016/j.jsmc.2020.02.017>
- Grandner, M. A., & Allen, S. F. (Hrsg.). (2019). *Sleep and health*. Elsevier.
- Grandner, M. A., & Rosenberger, M. E. (2019). Actigraphic sleep tracking and wearables: Historical context, scientific applications and guidelines, limitations, and considerations for commercial sleep devices. In M. A. Grandner & S. F. Allen (Hrsg.), *Sleep and health* (S. 147-157). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815373-4.00012-5>
- Grifantini, K. (2014). How's my sleep? Personal sleep trackers are gaining in popularity, but their accuracy is still open to debate. *IEEE Pulse*, 5(5), 14-18.
<https://doi.org/10.1109/MPUL.2014.2339252>
- Grobe, T., Steinmann, S., & Gerr, J. (2019). Gesundheitsreport 2019: Schlafstörungen. In Barmer (Hrsg.), *Schriftenreihe zur Gesundheitsanalyse* (Band 17).
<https://www.barmer.de/resource/blob/1024158/be5371374ee8e7463bb077cb6567b843/barmer-gesundheitsreport-2019-data.pdf>
- Gruwez, A., Libert, W., Ameye, L., & Bruyneel, M. (2017). Reliability of commercially available sleep and activity trackers with manual switch-to-sleep mode activation in free-living healthy individuals. *International Journal of Medical Informatics*, 102, 87-92. <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2017.03.008>
- Gupta, L., Morgan, K., & Gilchrist, S. (2017). Does Elite Sport Degrade Sleep Quality? A Systematic Review. *Sports Medicine*, 47(7), 1317-1333.
<https://doi.org/10.1007/s40279-016-0650-6>
- Halson, S. L. (2019). Sleep Monitoring in Athletes: Motivation, Methods, Miscalculations and Why it Matters. *Sports Medicine*. Advance online publication.
<https://doi.org/10.1007/s40279-019-01119-4>
- Halson, S. L., & Juliff, L. E. (2017). Sleep, sport, and the brain. *Progress in Brain Research*, 234, 13-31. <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2017.06.006>

- Halson, S. L., Peake, J. M., & Sullivan, J. P. (2016). Wearable Technology for Athletes: Information Overload and Pseudoscience? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *11*(6), 705-706. <https://doi.org/10.1123/IJSP.2016-0486>
- Hartmann, M., Pelzl, M. A., Kann, P. H., Koehler, U., Betz, M., Hildebrandt, O., & Cassel, W. (2019). The effects of prolonged single night session of videogaming on sleep and declarative memory. *PloS One*, *14*(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224893>
- Ho, A., & Quick, O. (2018). Leaving patients to their own devices? Smart technology, safety and therapeutic relationships. *BMC Medical Ethics*, *19*(1), 18. <https://doi.org/10.1186/s12910-018-0255-8>
- Hobfoll, S. E. (1989). Conservation of resources. A new attempt at conceptualizing stress. *The American psychologist*, *44*(3), 513-524. <https://doi.org/10.1037//0003-066x.44.3.513>
- Hödlmoser, K. (2018). Sleep to be an All-Star! *Sportphysio*, *06*(01), 16-23. <https://doi.org/10.1055/s-0043-123864>
- Hof zum Berge, A., Kellmann, M., Kallweit, U., Mir, S., Giesemann, A., Meyer, T., Ferrauti, A., Pfeiffer, M., & Kölling, S. (2020). Portable PSG for sleep stage monitoring in sports: Assessment of SOMNOWatch plus EEG. *European Journal of Sport Science*, *20*(6), 713-721. <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1659421>
- Hoffmann, R. M., Müller, T., Hajak, G., & Cassel, W. (1997). Abend-Morgenprotokolle in Schlafforschung und Schlafmedizin: Ein Standardinstrument für den deutschsprachigen Raum. *Somnologie*, *1*, 103-109.
- Hrozanova, M., Klöckner, C. A., Sandbakk, Ø., Pallesen, S., & Moen, F. (2021). Sex differences in sleep and influence of the menstrual cycle on women's sleep in junior endurance athletes. *PloS One*, *16*(6), e0253376. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0253376>
- Huard Pelletier, V., Lessard, A., Piché, F., Tétreau, C., & Descarreaux, M. (2020). Video games and their associations with physical health: A scoping review. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, *6*(1), e000832. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2020-000832>
- Huber, M., Knottnerus, J. A., Green, L., van der Horst, H., Jadad, A. R., Kromhout, D., Leonard, B., Lorig, K., Loureiro, M. I., van der Meer, J. W. M., Schnabel, P., Smith, R., van Weel, C., & Smid, H. (2011). How should we define health? *BMJ*, *343*, d4163. <https://doi.org/10.1136/bmj.d4163>
- Hülshager, U. R., Feinholdt, A., & Nübold, A. (2015). A low-dose mindfulness intervention and recovery from work: Effects on psychological detachment, sleep quality, and sleep

- duration. *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, 88(3), 464-489. <https://doi.org/10.1111/joop.12115>
- Ibáñez, V., Silva, J., & Cauli, O. (2018a). A survey on sleep assessment methods. *PeerJ*, 6, e4849. <https://doi.org/10.7717/peerj.4849>
- Ibáñez, V., Silva, J., & Cauli, O. (2018b). A survey on sleep questionnaires and diaries. *Sleep Medicine*, 42, 90-96. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2017.08.026>
- Ibáñez, V., Silva, J., Navarro, E., & Cauli, O. (2019). Sleep assessment devices: Types, market analysis, and a critical view on accuracy and validation. *Expert Review of Medical Devices*, 16(12), 1041-1052. <https://doi.org/10.1080/17434440.2019.1693890>
- IFBG, & TK. (2021). Verteilung von Schlafstörungen unter Beschäftigten in Deutschland im Jahr 2021 [Graph]. In *Statista*. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1332829/umfrage/schlafverhalten-und-schlafstoerungen-unter-deutschen-beschaefigten/>
- Jenny, S. E., Manning, R. D., Keiper, M. C., & Olrich, T. W. (2017). Virtual(ly) Athletes: Where eSports Fit Within the Definition of “Sport”. *Quest*, 69(1), 1-18. <https://doi.org/10.1080/00336297.2016.1144517>
- Johns, M. W. (1991). A new method for measuring daytime sleepiness: the Epworth sleepiness scale. *Sleep*, 14(6), 540-545. <https://doi.org/10.1093/sleep/14.6.540>
- Jungquist, C. R., Pender, J. J., Klingman, K. J., & Mund, J. (2015). Validation of Capturing Sleep Diary Data via a Wrist-Worn Device. *Sleep Disorders*, 2015, 758937. <https://doi.org/10.1155/2015/758937>
- Kaufman, K. A., Glass, C. R., & Arnkoff, D. B. (2009). Evaluation of Mindful Sport Performance Enhancement (MSPE): A New Approach to Promote Flow in Athletes. *Journal of Clinical Sport Psychology*, 3(4), 334-356. <https://doi.org/10.1123/JCSP.3.4.334>
- Kaye, L. K., & Levy, A. R. (2017). Reconceptualizing the Link Between Screen Time When Gaming with Physical Activity and Sedentary Behavior. *Cyberpsychology, Behavior and Social Networking*, 20(12), 769-773. <https://doi.org/10.1089/cyber.2017.0067>
- Kell, R. T., Bell, G., & Quinney, A. (2001). Musculoskeletal fitness, health outcomes and quality of life. *Sports Medicine*, 31(12), 863-873. <https://doi.org/10.2165/00007256>
- Kellmann, M., Bertollo, M., Bosquet, L., Brink, M., Coutts, A. J., Duffield, R., Erlacher, D., Halson, S. L., Hecksteden, A., Heidari, J., Kallus, K. W., Meeusen, R., Mujika, I., Robazza, C., Skorski, S., Venter, R., & Beckmann, J. (2018). Recovery and

- Performance in Sport: Consensus Statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(2), 240-245. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0759>
- Kellmann, M., Kölling, S., & Pelka, M. (2018). Erholung und Belastung im Leistungssport. In R. Fuchs & M. Gerber (Hrsg.), *Handbuch Stressregulation und Sport* (S. 435-449). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-49322-9_21
- Kelly, S., & Leung, J. (2021). The New Frontier of Esports and Gaming: A Scoping Meta-Review of Health Impacts and Research Agenda. *Frontiers in Sports and Active Living*, 3, 640362. <https://doi.org/10.3389/fspor.2021.640362>
- Kemp, C., Pienaar, P. R., Rosslee, D. T., Lipinska, G., Roden, L. C., & Rae, D. E. (2021). Sleep in Habitual Adult Video Gamers: A Systematic Review. *Frontiers in Neuroscience*, 15, 781351. <https://doi.org/10.3389/fnins.2021.781351>
- Kennedy, S. D. (2014). TechnoWellness: A New Wellness Construct in the 21st Century. *Journal of Counselor Leadership and Advocacy*, 1(2), 113-127. <https://doi.org/10.1080/2326716X.2014.902759>
- Ketelhut, S., Martin-Niedecken, A. L., Zimmermann, P., & Nigg, C. R. (2021). Physical Activity and Health Promotion in Esports and Gaming-Discussing Unique Opportunities for an Unprecedented Cultural Phenomenon. *Frontiers in Sports and Active Living*, 3, 693700. <https://doi.org/10.3389/fspor.2021.693700>
- Khosla, S., Deak, M. C., Gault, D., Goldstein, C. A., Hwang, D., Kwon, Y., O'Hearn, D., Schutte-Rodin, S., Yurcheshen, M., Rosen, I. M., Kirsch, D. B., Chervin, R. D., Carden, K. A., Ramar, K., Aurora, R. N., Kristo, D. A., Malhotra, R. K., Martin, J. L., Olson, E. J., . . . Rowley, J. A. (2018). Consumer Sleep Technology: An American Academy of Sleep Medicine Position Statement. *Journal of Clinical Sleep Medicine : Official Publication of the American Academy of Sleep Medicine*, 14(5), 877-880. <https://doi.org/10.5664/jcsm.7128>
- Kirschen, G. W., Jones, J. J., & Hale, L. (2018). The Impact of Sleep Duration on Performance Among Competitive Athletes: A Systematic Literature Review. *Clinical Journal of Sport Medicine : Official Journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000000622>
- Kitson, A., Prpa, M., & Riecke, B. E. (2018). Immersive Interactive Technologies for Positive Change: A Scoping Review and Design Considerations. *Frontiers in Psychology*, 9, 1354. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01354>

- Klier, K., & Wagner, M. (2022). Agreement of Sleep Measures – A Comparison between a Sleep Diary and Three Consumer Wearable Devices. *Sensors*, 22(16), 6189. <https://doi.org/10.3390/s22166189>
- Klier, K., Dörr, S., & Schmidt, A. (2021). High sleep quality can increase the performance of CrossFit® athletes in highly technical- and cognitive-demanding categories. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 13(1). <https://doi.org/10.1186/s13102-021-00365-2>
- Klier, K., Seiler, K., & Wagner, M. (2021). On the usability of digital sleep interventions in sports. *German Journal of Exercise and Sport Research*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s12662-021-00771-1>
- Klier, K., Seiler, K., & Wagner, M. (2022). Influence of esports on Sleep and Stress. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 29(2-3), 95-103. <https://doi.org/10.1026/1612-5010/a000368>
- Knufinke, M., Nieuwenhuys, A., Geurts, S. A. E., Coenen, A. M. L., & Kompier, M. A. J. (2018b). Self-reported sleep quantity, quality and sleep hygiene in elite athletes. *Journal of Sleep Research*, 27(1), 78-85. <https://doi.org/10.1111/jsr.12509>
- Knufinke, M., Nieuwenhuys, A., Maase, K., Moen, M. H., Geurts, S. A. E., Coenen, A. M. L., & Kompier, M. A. J. (2018a). Effects of Natural Between-Days Variation in Sleep on Elite Athletes' Psychomotor Vigilance and Sport-Specific Measures of Performance. *Journal of Sports Science & Medicine*, 17(4), 515-524.
- Kolla, B. P., Mansukhani, S., & Mansukhani, M. P. (2016). Consumer sleep tracking devices: A review of mechanisms, validity and utility. *Expert Review of Medical Devices*, 13(5), 497-506. <https://doi.org/10.1586/17434440.2016.1171708>
- Kölling, S., Duffield, R., Erlacher, D., Venter, R., & Halson, S. L. (2019). Sleep-Related Issues for Recovery and Performance in Athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(2), 144-148. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0746>
- Kristensen, J. H., Pallesen, S., King, D. L., Hysing, M., & Erevik, E. K. (2021). Problematic Gaming and Sleep: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Psychiatry*, 12, 675237. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2021.675237>
- Kroshus, E., Wagner, J., Wyrick, D., Athey, A., Bell, L., Benjamin, H. J., Grandner, M. A., Kline, C. E., Mohler, J. M., Roxanne Prichard, J., Watson, N. F., & Hainline, B. (2019). Wake up call for collegiate athlete sleep: Narrative review and consensus recommendations from the NCAA Interassociation Task Force on Sleep and Wellness. *British Journal of Sports Medicine*, 53(12), 731-736. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2019-100590>

- Lastella, M., Lovell, G. P., & Sargent, C. (2014). Athletes' precompetitive sleep behaviour and its relationship with subsequent precompetitive mood and performance. *European Journal of Sport Science, 14*, S123-30. <https://doi.org/10.1080/17461391.2012.660505>
- Lastella, M., Roach, G. D., Halson, S. L., & Sargent, C. (2015). Sleep/wake behaviours of elite athletes from individual and team sports. *European Journal of Sport Science, 15*(2), 94-100. <https://doi.org/10.1080/17461391.2014.932016>
- Lastella, M., Vincent, G. E., Duffield, R., Roach, G. D., Halson, S. L., Heales, L. J., & Sargent, C. (2018). Can Sleep Be Used as an Indicator of Overreaching and Overtraining in Athletes? *Frontiers in Physiology, 9*, 436. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00436>
- Lazarus, R. S., & Folkman, S. (1984). *Stress, appraisal, and coping*. Springer.
- Lee, J.-M., Byun, W., Keill, A., Dinkel, D., & Seo, Y. (2018). Comparison of Wearable Trackers' Ability to Estimate Sleep. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 15*(6). <https://doi.org/10.3390/ijerph15061265>
- Lee, S., Bonnar, D., Roane, B., Gradisar, M., Dunican, I. C., Lastella, M., Maisey, G., & Suh, S. (2021). Sleep Characteristics and Mood of Professional Esports Athletes: A Multi-National Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 18*(2). <https://doi.org/10.3390/ijerph18020664>
- Leis, O., & Lautenbach, F. (2020). Psychological and physiological stress in non-competitive and competitive esports settings: A systematic review. *Psychology of Sport and Exercise, 51*, 101738. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2020.101738>
- Lemcke, P., & Weh, I. (2018). „eSport Should be played in School“. The Project „eSchool“ by DGS Dialogue Lecture. *Athens Journal of Sports, 4*(5), 323-330.
- Lemola, S., Ledermann, T., & Friedman, E. M. (2013). Variability of sleep duration is related to subjective sleep quality and subjective well-being: An actigraphy study. *PloS One, 8*(8), e71292. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0071292>
- Li, C., Kee, Y. H., & Lam, L. S. (2018). Effect of Brief Mindfulness Induction on University Athletes' Sleep Quality Following Night Training. *Frontiers in Psychology, 9*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00508>
- Li, Y., Sahakian, B. J., Kang, J., Langley, C., Zhang, W., Xie, C., Xiang, S., Yu, J., Cheng, W., & Feng, J. (2022). The brain structure and genetic mechanisms underlying the nonlinear association between sleep duration, cognition and mental health. *Nature Aging*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1038/s43587-022-00210-2>
- Liang, Z., & Chapa Martell, M. A. (2018). Validity of Consumer Activity Wristbands and Wearable EEG for Measuring Overall Sleep Parameters and Sleep Structure in Free-

- Living Conditions. *Journal of Healthcare Informatics Research*, 2(1-2), 152-178. <https://doi.org/10.1007/s41666-018-0013-1>
- Lu, J., An, Y., & Qiu, J. (2022). Relationship between sleep quality, mood state, and performance of elite air-rifle shooters. *BMC Sports Science, Medicine & Rehabilitation*, 14(1), 32. <https://doi.org/10.1186/s13102-022-00424-2>
- Lu, L., Zhang, J., Xie, Y., Gao, F., Xu, S., Wu, X., & Ye, Z. (2020). Wearable Health Devices in Health Care: Narrative Systematic Review. *JMIR MHealth and UHealth*, 8(11), e18907. <https://doi.org/10.2196/18907>
- Lutter, T., Meinecke, C. & Tropf, T. (2017). *Zukunft der Consumer Technology – 2017*. <https://www.bitkom.org/sites/default/files/file/import/170901-CT-Studie-online.pdf>
- Lyons, E., Lang, M., Ridgers, N. D., Timperio, A., Brown, H., Ball, K., Macfarlane, S., Lai, S. K., Richards, K., Mackintosh, K. A., McNarry, M. A., Foster, M., & Salmon, J. (2018). Wearable Activity Tracker Use Among Australian Adolescents: Usability and Acceptability Study. *JMIR MHealth and UHealth*, 6(4). <https://doi.org/10.2196/mhealth.9199>
- Mackert, M., Mabry-Flynn, A., Champlin, S., Donovan, E. E., & Pounders, K. (2016). Health Literacy and Health Information Technology Adoption: The Potential for a New Digital Divide. *Journal of Medical Internet Research*, 18(10), e264. <https://doi.org/10.2196/jmir.6349>
- Mah, C. D., Sparks, A. J., Samaan, M. A., Souza, R. B., & Luke, A. (2019). Sleep restriction impairs maximal jump performance and joint coordination in elite athletes. *Journal of Sports Sciences*, 37(17), 1981-1988. <https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1612504>
- Mansukhani, M. P., & Kolla, B. P. (2017). Apps and fitness trackers that measure sleep: Are they useful? *Cleveland Clinic Journal of Medicine*, 84(6), 451-456. <https://doi.org/10.3949/ccjm.84a.15173>
- Mantua, J., Gravel, N., & Spencer, R. M. C. (2016). Reliability of Sleep Measures from Four Personal Health Monitoring Devices Compared to Research-Based Actigraphy and Polysomnography. *Sensors*, 16(5). <https://doi.org/10.3390/s16050646>
- Marino, M., Li, Y., Rueschman, M. N., Winkelman, J. W., Ellenbogen, J. M., Solet, J. M., Dulin, H., Berkman, L. F., & Buxton, O. M. (2013). Measuring sleep: Accuracy, sensitivity, and specificity of wrist actigraphy compared to polysomnography. *Sleep*, 36(11), 1747-1755. <https://doi.org/10.5665/sleep.3142>

- Marker, C., Gnambs, T., & Appel, M. (2022). Exploring the myth of the chubby gamer: A meta-analysis on sedentary video gaming and body mass. *Social Science & Medicine*, 301, 112325. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2019.05.030>
- Marschall, J., Hildebrandt, S., Sydow, H., & Nolting, H.-D. (2017). Gesundheitsreport 2017: Analyse der Arbeitsunfähigkeitsdaten. Update: Schlafstörungen. In A. Storm (Hrsg.), *Beiträge zur Gesundheitsökonomie und Versorgungsforschung* (Band 16). medhochzwei Verlag. <https://www.dak.de/dak/download/gesundheitsreport-2017-2108948.pdf>
- Martin, A. (2008). Digital literacy and the "digital society". In C. Lankshear & M. Knobel (Hrsg.), *Digital literacies: Concepts, policies and practices* (S. 151-176). Lang.
- Menghini, L., Cellini, N., Goldstone, A., Baker, F. C., & Zambotti, M. de (2020). A standardized framework for testing the performance of sleep-tracking technology: Step-by-step guidelines and open-source code. *Sleep*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1093/sleep/zsaa170>
- Milewski, M. D., Skaggs, D. L., Bishop, G. A., Pace, J. L., Ibrahim, D. A., Wren, T. A. L., & Barzdukas, A. (2014). Chronic lack of sleep is associated with increased sports injuries in adolescent athletes. *Journal of Pediatric Orthopedics*, 34(2), 129-133. <https://doi.org/10.1097/BPO.0000000000000151>
- Min, L., Wang, D., You, Y., Fu, Y., & Ma, X. (2021). Effects of High-Intensity Interval Training on Sleep: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(20). <https://doi.org/10.3390/ijerph182010973>
- Mireku, M. O., Barker, M. M., Mutz, J., Dumontheil, I., Thomas, M. S. C., Rösli, M., Elliott, P., & Toledano, M. B. (2019). Night-time screen-based media device use and adolescents' sleep and health-related quality of life. *Environment International*, 124, 66-78. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.11.069>
- Moen, F., Vatn, M., Olsen, M., Haugan, J. A., & Skalicka, V. (2021). Sleep Characteristics in Esport Players and Associations With Game Performance: Residual Dynamic Structural Equation Modeling. *Frontiers in Sports and Active Living*, 3, 697535. <https://doi.org/10.3389/fspor.2021.697535>
- Morgan, H. (2016). 'pushed' self-tracking using digital technologies for chronic health condition management: A critical interpretive synthesis. *Digital Health*, 2, 2055207616678498. <https://doi.org/10.1177/2055207616678498>

- Müller, T. H., & Paterok, B. (2017). *Schlaf erfolgreich trainieren: Ein Ratgeber zur Selbsthilfe* (3., neu ausgestattete Auflage). Hogrefe.
- Muzet, A., Werner, S., Fuchs, G., Roth, T., Saoud, J. B., Viola, A. U., Schaffhauser, J.-Y., & Luthringer, R. (2016). Assessing sleep architecture and continuity measures through the analysis of heart rate and wrist movement recordings in healthy subjects: Comparison with results based on polysomnography. *Sleep Medicine, 21*, 47-56. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2016.01.015>
- Navarro-Haro, M. V., López-Del-Hoyo, Y., Campos, D., Linehan, M. M., Hoffman, H. G., García-Palacios, A., Modrego-Alarcón, M., Borao, L., & García-Campayo, J. (2017). Meditation experts try Virtual Reality Mindfulness: A pilot study evaluation of the feasibility and acceptability of Virtual Reality to facilitate mindfulness practice in people attending a Mindfulness conference. *PloS One, 12*(11), e0187777. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187777>
- Nedelec, M., Aloulou, A., Duforez, F., Meyer, T., & Dupont, G. (2018). The Variability of Sleep Among Elite Athletes. *Sports Medicine, 4*(1), 34. <https://doi.org/10.1186/s40798-018-0151-2>
- O'Donnell, S., Beaven, C. M., & Driller, M. W. (2018). From pillow to podium: A review on understanding sleep for elite athletes. *Nature and Science of Sleep, 10*, 243-253. <https://doi.org/10.2147/NSS.S158598>
- Ohayon, M., Wickwire, E. M., Hirshkowitz, M., Albert, S. M., Avidan, A., Daly, F. J., Dauvilliers, Y., Ferri, R., Fung, C., Gozal, D., Hazen, N., Krystal, A., Lichstein, K., Mallampalli, M., Plazzi, G., Rawding, R., Scheer, F. A., Somers, V., & Vitiello, M. V. (2017). National Sleep Foundation's sleep quality recommendations: First report. *Sleep Health, 3*(1), 6-19. <https://doi.org/10.1016/j.sleh.2016.11.006>
- Palanichamy, T., Sharma, M. K., Sahu, M., & Kanchana, D. M. (2020). Influence of Esports on stress: A systematic review. *Industrial Psychiatry Journal, 29*(2), 191-199. https://doi.org/10.4103/ipj.ipj_195_20
- Peake, J. M., Kerr, G., & Sullivan, J. P. (2018). A Critical Review of Consumer Wearables, Mobile Applications, and Equipment for Providing Biofeedback, Monitoring Stress, and Sleep in Physically Active Populations. *Frontiers in Physiology, 9*, 743. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00743>
- Peracchia, S., & Curcio, G. (2018). Exposure to video games: Effects on sleep and on post-sleep cognitive abilities. A systematic review of experimental evidences. *Sleep Science, 11*(4), 302-314. <https://doi.org/10.5935/1984-0063.20180046>

- Pereira, A. M., Brito, J., Figueiredo, P., & Verhagen, E. (2019). Virtual sports deserve real sports medical attention. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 5(1), e000606. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2019-000606>
- Perez-Pozuelo, I., Zhai, B., Palotti, J., Mall, R., Aupetit, M., Garcia-Gomez, J. M., Taheri, S., Guan, Y., & Fernandez-Luque, L. (2020). The future of sleep health: A data-driven revolution in sleep science and medicine. *NPJ Digital Medicine*, 3, 42. <https://doi.org/10.1038/s41746-020-0244-4>
- Pesonen, A.-K., Kahn, M., Kuula, L., Korhonen, T., Leinonen, L., Martinmäki, K., Gradisar, M., & Lipsanen, J. (2022). Sleep and physical activity - the dynamics of bi-directional influences over a fortnight. *BMC Public Health*, 22(1), 1160. <https://doi.org/10.1186/s12889-022-13586-y>
- Petermann, F., & Vaitl, D. (Hrsg.). (2009). *Entspannungsverfahren: Das Praxishandbuch* (4., vollständig überarbeitete Auflage). Beltz.
- Pinel, J. P. J., Barnes, S. J., & Pauli, P. (2019). *Biopsychologie* (10. aktualisierte und erweiterte Auflage). Pearson. <https://elibrary.pearson.de/book/99.150005/9783863268343>
- Poulus, D., Coulter, T. J., Trotter, M. G., & Polman, R. (2020). Stress and Coping in Esports and the Influence of Mental Toughness. *Frontiers in Psychology*, 11, 628. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00628>
- Reitman, J. G., Anderson-Coto, M. J., Wu, M., Lee, J. S., & Steinkuehler, C. (2020). Esports Research: A Literature Review. *Games and Culture*, 15(1), 32-50. <https://doi.org/10.1177/1555412019840892>
- Rieck, T. M., Gaz, D. V., Peterson, N. W., Jenkins, S. M., Rosedahl, J. K., Krzoska, A. A., Mansukhani, M. P., Clark, M. M., Kolla, B. P., Morgenthaler, T. I., & Hagen, P. T. (2019). Comparison of Commercially-Available Sleep Tracking Devices With Sleep Diary and Actigraphy. *Sleep*, 42, A404-A405. <https://doi.org/10.1093/sleep/zsz067.1002>
- Roberts, S. S. H., Teo, W.-P., & Warmington, S. A. (2019). Effects of training and competition on the sleep of elite athletes: A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 53(8), 513-522. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099322>
- Rodenbeck, A. (2013). Manual der American Academy of Sleep Medicine. *Somnologie*, 17(2), 122-130. <https://doi.org/10.1007/s11818-013-0611-3>
- Roenneberg, T., & Merrow, M. (2016). The Circadian Clock and Human Health. *Current Biology*, 26(10), R432-43. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2016.04.011>

- Roenneberg, T., Wirz-Justice, A., & Merrow, M. (2003). Life between clocks: Daily temporal patterns of human chronotypes. *Journal of Biological Rhythms*, 18(1), 80-90. <https://doi.org/10.1177/0748730402239679>
- Roomkham, S., Lovell, D., Cheung, J., & Perrin, D. (2018). Promises and Challenges in the Use of Consumer-Grade Devices for Sleep Monitoring. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, 11, 53-67. <https://doi.org/10.1109/RBME.2018.2811735>
- Röthlin, P., Birrer, D., Horvath, S., & Grosse Holtforth, M. (2016). Psychological skills training and a mindfulness-based intervention to enhance functional athletic performance: Design of a randomized controlled trial using ambulatory assessment. *BMC Psychology*, 4(1), 39. <https://doi.org/10.1186/s40359-016-0147-y>
- Rowland, J. L., Malone, L. A., Fidopiastis, C. M., Padalabalanarayanan, S., Thirumalai, M., & Rimmer, J. H. (2016). Perspectives on Active Video Gaming as a New Frontier in Accessible Physical Activity for Youth With Physical Disabilities. *Physical therapy*, 96(4), 521-532. <https://doi.org/10.2522/ptj.20140258>
- Rudolf, K., Bickmann, P., Froböse, I., Tholl, C., Wechsler, K., & Grieben, C. (2020). Demographics and Health Behavior of Video Game and eSports Players in Germany: The eSports Study 2019. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(6), 1870. <https://doi.org/10.3390/ijerph17061870>
- Rudolf, K., Soffner, M., Bickmann, P., Froböse, I., Tholl, C., Wechsler, K., & Grieben, C. (2022). Media Consumption, Stress and Wellbeing of Video Game and eSports Players in Germany: The eSports Study 2020. *Frontiers in Sports and Active Living*, 4, 665604. <https://doi.org/10.3389/fspor.2022.665604>
- Santos-Gago, J. M., Ramos-Merino, M., Vallarades-Rodriguez, S., Álvarez-Sabucedo, L. M., Fernández-Iglesias, M. J., & García-Soidán, J. L. (2019). Innovative Use of Wrist-Worn Wearable Devices in the Sports Domain: A Systematic Review. *Electronics*, 8(11), 1257. <https://doi.org/10.3390/electronics8111257>
- Sanz-Milone, V., Yoshinori, P., & Maculano Esteves, A. (2021). Sleep quality of professional e-Sports athletes (Counter Strike: Global Offensive). *International Journal of Esports*, 1(1). <https://www.ijesports.org/article/45/html>
- Sargent, C., Lastella, M., Halson, S. L., & Roach, G. D. (2016). The validity of activity monitors for measuring sleep in elite athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 19(10), 848-853. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2015.12.007>

- Sargent, C., Lastella, M., Halson, S. L., & Roach, G. D. (2021). How Much Sleep Does an Elite Athlete Need? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 16(12), 1746-1757. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2020-0896>
- Schinagl, G. (2016). *Anti-Stress-Training: Autogenes Training mit Yoga und Meditation* (5., überarbeitete und erweiterte Auflage). *Arbeitshefte zur Führungspsychologie: Band 13*. Windmühle.
- Schmidt, S. (2020). Die Zusammenhänge zwischen Gaming und körperlicher Aktivität und Übergewicht. *Sportunterricht*, 69(03), 113-118. <https://doi.org/10.30426/SU-2020-03-3>
- Schmidt, S. C. E., Gnam, J.-P., Kopf, M., Rathgeber, T., & Woll, A. (2020). The Influence of Cortisol, Flow, and Anxiety on Performance in E-Sports: A Field Study. *BioMed Research International*, 2020, 9651245. <https://doi.org/10.1155/2020/9651245>
- Seabrook, E., Kelly, R., Foley, F., Theiler, S., Thomas, N., Wadley, G., & Nedeljkovic, M. (2020). Understanding How Virtual Reality Can Support Mindfulness Practice: Mixed Methods Study. *Journal of Medical Internet Research*, 22(3), e16106. <https://doi.org/10.2196/16106>
- Seshadri, D. R., Drummond, C., Craker, J., Rowbottom, J. R., & Voos, J. E. (2017). Wearable Devices for Sports: New Integrated Technologies Allow Coaches, Physicians, and Trainers to Better Understand the Physical Demands of Athletes in Real time. *IEEE Pulse*, 8(1), 38-43. <https://doi.org/10.1109/MPUL.2016.2627240>
- Shallcross, A. J., Visvanathan, P. D., Sperber, S. H., & Duberstein, Z. T. (2019). Waking up to the problem of sleep: Can mindfulness help? A review of theory and evidence for the effects of mindfulness for sleep. *Current Opinion in Psychology*, 28, 37-41. <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2018.10.005>
- Shell, S. J., Slattery, K., Clark, B., Broatch, J. R., Halson, S., Kellmann, M., & Coutts, A. J. (2020). Perceptions and use of recovery strategies: Do swimmers and coaches believe they are effective? *Journal of Sports Sciences*, 38(18), 2092-2099. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1770925>
- Shin, G., Jarrahi, M. H., Fei, Y., Karami, A., Gafinowitz, N., Byun, A., & Lu, X. (2019). Wearable activity trackers, accuracy, adoption, acceptance and health impact: A systematic literature review. *Journal of Biomedical Informatics*, 93, 103153. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2019.103153>

- Shin, J. C., Kim, J., & Grigsby-Toussaint, D. (2017). Mobile Phone Interventions for Sleep Disorders and Sleep Quality: Systematic Review. *JMIR MHealth and UHealth*, 5(9), e131. <https://doi.org/10.2196/mhealth.7244>
- Silva, A., Narciso, F. V., Rosa, J. P., Rodrigues, D. F., Da Cruz, A. Â. S., Tufik, S., Viana, F., Bichara, J. J., Pereira, S. R. D., da Silva, S. C., & Mello, M. T. de (2019). Gender differences in sleep patterns and sleep complaints of elite athletes. *Sleep Science*, 12(4), 242-248. <https://doi.org/10.5935/1984-0063.20190084>
- Simpson, N. S., Gibbs, E. L., & Matheson, G. O. (2017). Optimizing sleep to maximize performance: Implications and recommendations for elite athletes. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 27(3), 266-274. <https://doi.org/10.1111/sms.12703>
- Singh, M., Bird, S. P., Charest, J., & Workings, M. (2022). Sleep and Athletes. *Operative Techniques in Sports Medicine*, 30(1), 150897. <https://doi.org/10.1016/j.otsm.2022.150897>
- Skorski, S., Mujika, I., Bosquet, L., Meeusen, R., Coutts, A. J., & Meyer, T. (2019). The Temporal Relationship Between Exercise, Recovery Processes, and Changes in Performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(8), 1015-1021. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0668>
- Sliwinski, J., Katsikitis, M., & Jones, C. M. (2017). A Review of Interactive Technologies as Support Tools for the Cultivation of Mindfulness. *Mindfulness*, 8(5), 1150-1159. <https://doi.org/10.1007/s12671-017-0698-x>
- Smith, M. J., Birch, P. D., & Bright, D. (2019). Identifying Stressors and Coping Strategies of Elite Esports Competitors. *International Journal of Gaming and Computer-Mediated Simulations*, 11(2), 22-39. <https://doi.org/10.4018/IJGCMS.2019040102>
- Sørensen, K., van den Broucke, S., Fullam, J., Doyle, G., Pelikan, J., Slonska, Z., & Brand, H. (2012). Health literacy and public health: A systematic review and integration of definitions and models. *BMC Public Health*, 12, 80. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-12-80>
- Statista. (2020). *Wearables*. <https://www.statista.com/study/15607/wearables-statista-dossier/>
- Statistisches Bundesamt. (2019). *Statistisches Jahrbuch: Kapitel 6 - Einkommen, Konsum, Lebensbedingungen*. https://www.destatis.de/DE/Themen/Querschnitt/Jahrbuch/jb-einkommenKonsumLeben.pdf?__blob=publicationFile
- Stone, J. D., Rentz, L. E., Forsey, J., Ramadan, J., Markwald, R. R., Finomore, V. S., Galster, S. M., Rezai, A., & Hagen, J. A. (2020). Evaluations of Commercial Sleep Technologies

- for Objective Monitoring During Routine Sleeping Conditions. *Nature and Science of Sleep*, 12, 821-842. <https://doi.org/10.2147/NSS.S270705>
- Streppelhoff, R. (2018). *E-Sport und serious games: Videospiele im Sportkontext: eine Bibliographie*.
https://www.bisp.de/SharedDocs/Downloads/Publikationen/Bibliographien/esport.pdf?__blob=publicationFile&v=1
- Strübing, J., Passoth, J.-H., Gugutzer, R., & Duttweiler, S. (Hrsg.). (2016). *Leben nach Zahlen: Self-Tracking als Optimierungsprojekt?* Transcript Verlag.
- Syvertsen, A., Ortiz de Gortari, A. B., King, D. L., & Pallesen, S. (2022). Problem mobile gaming: The role of mobile gaming habits, context, and platform. *Nordisk Alkohol- & Narkotikatidskrift*, 39(4), 362-378. <https://doi.org/10.1177/14550725221083189>
- Taylor, L., Christmas, B. C. R., Dascombe, B., Chamari, K., & Fowler, P. M. (2016). The Importance of Monitoring Sleep within Adolescent Athletes: Athletic, Academic, and Health Considerations. *Frontiers in Physiology*, 7, 101. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00101>
- Techniker Krankenkasse. (2017). *Schlaf gut, Deutschland: TK-Schlafstudie 2017*. <https://www.tk.de/resource/blob/2033604/118707bfcd95b0b1ccdaf06b30226ea/schlaf-gut-deutschland-data.pdf>
- Tenorth, H.-E. (2004). Grundbildung – Allgemeinbildung: Basiskompetenzen und Steigerungsformen. *Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät*, 73, 87-98.
- Thiel, A. & John, J. M. (2018). Is eSport a ‘real’ sport? Reflections on the spread of virtual competitions. *European Journal for Sport and Society*, 15(4), 311-315. <https://doi.org/10.1080/16138171.2018.1559019>
- Tholl, C., Rudolf, K., Wechsler, K., Froböse, I., & Grieben, C. (2019). eSportler im Fokus der Sportwissenschaft: Erfassung einer neuen Risikozielgruppe. *IMPULSE - Das Wissensmagazin Der Deutschen Sporthochschule Köln*, 24(1), 12-19. https://issuu.com/sporthochschule-koeln/docs/impulse_01-2019_es
- Thun, E., Bjorvatn, B., Flo, E., Harris, A., & Pallesen, S. (2015). Sleep, circadian rhythms, and athletic performance. *Sleep Medicine Reviews*, 23, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.smr.2014.11.003>
- Thurman, S. M., Wasylyshyn, N., Roy, H., Lieberman, G., Garcia, J. O., Asturias, A., Okafor, G. N., Elliott, J. C., Giesbrecht, B., Grafton, S. T., Mednick, S. C., & Vettel, J. M. (2018). Individual differences in compliance and agreement for sleep logs and wrist

- actigraphy: A longitudinal study of naturalistic sleep in healthy adults. *PloS One*, 13(1), e0191883. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191883>
- Triberti, S., Milani, L., Villani, D., Grumi, S., Peracchia, S., Curcio, G., & Riva, G. (2018). What matters is when you play: Investigating the relationship between online video games addiction and time spent playing over specific day phases. *Addictive Behaviors Reports*, 8, 185-188. <https://doi.org/10.1016/j.abrep.2018.06.003>
- Trotter, M. G., Coulter, T. J., Davis, P. A., Poulus, D. R., & Polman, R. (2020). The Association between Esports Participation, Health and Physical Activity Behaviour. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(19). <https://doi.org/10.3390/ijerph17197329>
- Tuomilehto, H., Vuorinen, V.-P., Penttilä, E., Kivimäki, M., Vuorenmaa, M., Venojärvi, M., Airaksinen, O., & Pihlajamäki, J. (2017). Sleep of professional athletes: Underexploited potential to improve health and performance. *Journal of Sports Sciences*, 35(7), 704-710. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1184300>
- van Ryswyk, E., Weeks, R., Bandick, L., O'Keefe, M., Vakulin, A., Catcheside, P., Barger, L., Potter, A., Poulos, N., Wallace, J., & Antic, N. A. (2017). A novel sleep optimisation programme to improve athletes' well-being and performance. *European Journal of Sport Science*, 17(2), 144-151. <https://doi.org/10.1080/17461391.2016.1221470>
- Venter, R. (2012). Role of Sleep in Performance and Recovery of Athletes: A Review Article. *South African Journal for Research in Sport, Physical Education and Recreation*, 34(1), 167-184.
- Vitale, J. A., & Weydahl, A. (2017). Chronotype, Physical Activity, and Sport Performance: A Systematic Review. *Sports Medicine*, 47(9), 1859-1868. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0741-z>
- Vitale, K. C., Owens, R., Hopkins, S. R., & Malhotra, A. (2019). Sleep Hygiene for Optimizing Recovery in Athletes: Review and Recommendations. *International Journal of Sports Medicine*, 40(8), 535-543. <https://doi.org/10.1055/a-0905-3103>
- Vlahoyiannis, A., Sakkas, G. K., Manconi, M., Aphas, G., & Giannaki, C. D. (2020). A critical review on sleep assessment methodologies in athletic populations: Factors to be considered. *Sleep Medicine*, 74, 211-223. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2020.07.029>
- Vyazovskiy, V. V. (2015). Sleep, recovery, and metaregulation: Explaining the benefits of sleep. *Nature and Science of Sleep*, 7, 171-184. <https://doi.org/10.2147/NSS.S54036>
- Waddington, G. S. (2019). Improving athlete sleep? *Journal of Science and Medicine in Sport*, 22(7), 747. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2019.05.007>

- Wagner, P., Woll, A., Singer, R., & Bös, K. (2006). Körperlich-sportliche Aktivität. In K. Bös, W. Brehm, & K. Abu-Omar (Hrsg.), *Beiträge zur Lehre und Forschung der Leibeserziehung: Band 120. Handbuch Gesundheitssport* (2. Auflage, S. 58-68). Hofmann.
- Wahl, S., Engelhardt, M., Schaupp, P., Lappe, C., & Ivanov, I. V. (2019). The inner clock-Blue light sets the human rhythm. *Journal of Biophotonics*, *12*(12), e201900102. <https://doi.org/10.1002/jbio.201900102>
- Walch, O. J., Cochran, A., & Forger, D. B. (2016). A global quantification of "normal" sleep schedules using smartphone data. *Science Advances*, *2*(5), e1501705. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1501705>
- Walsh, N. P., Halson, S. L., Sargent, C., Roach, G. D., Nédélec, M., Gupta, L., Leeder, J., Fullagar, H. H., Coutts, A. J., Edwards, B. J., Pullinger, S. A., Robertson, C. M., Burniston, J. G., Lastella, M., Le Meur, Y., Hausswirth, C., Bender, A. M., Grandner, M. A., & Samuels, C. H. (2020). Sleep and the athlete: Narrative review and 2021 expert consensus recommendations. *British Journal of Sports Medicine*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-102025>
- Wang, Q., Mati, K., & Cai, Y. (2021). The link between problematic internet use, problematic gaming, and psychological distress: Does sleep quality matter? *BMC Psychiatry*, *21*(1), 103. <https://doi.org/10.1186/s12888-021-03105-5>
- Watson, A. M. (2017). Sleep and Athletic Performance. *Current Sports Medicine Reports*, *16*(6), 413-418. <https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000418>
- Weineck, J. (2019). *Optimales Training: Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtrainings* (17., neu überarbeitete Auflage). Spitta.
- Weltgesundheitsorganisation. (2020). *Constitution of the World Health Organization*. In *Basic Documents* (S. 1-19). https://apps.who.int/gb/bd/pdf_files/BD_49th-en.pdf
- Wendeborn, T., Schulke, H. J., & Schneider, A. (2018). eSport: Vom Präfix zum Thema für den organisierten Sport!? *German Journal of Exercise and Sport Research*, *48*(3), 451-455. <https://doi.org/10.1007/s12662-018-0533-0>
- Wendeborn, T., Wallner, F., & Klier, K. (2020). E-Sport und digitaler Kompetenzerwerb: Fakten, Mythen und Analysen. In A.R. Hofmann (Hrsg.), *Das Phänomen E-Sport. Eine sportwissenschaftliche Annäherung aus verschiedenen Disziplinen* (S. 212-242). Meyer & Meyer.

- Williamson, J., Liu, Q., Lu, F., Mohrman, W., Li, K., Dick, R., & Shang, L. (2015). Data sensing and analysis: Challenges for wearables. In *20th Asia and South Pacific Design Automation Conference (ASP-DAC 2015): Chiba, Japan, 19. - 22. Januar 2015* (S. 136-141). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ASPDAC.2015.7058994>
- Wortley, D., An, J.-Y., & Nigg, C. (2017). Wearable technologies, health and well-being: A case review. *Digital Medicine*, 3(1), 11. https://doi.org/10.4103/digm.digm_13_17
- Wright, S. P., Hall Brown, T. S., Collier, S. R., & Sandberg, K. (2017). How consumer physical activity monitors could transform human physiology research. *American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 312(3), R358-R367. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00349.2016>
- Yin, K., Zi, Y., Zhuang, W., Gao, Y., Tong, Y., Song, L., & Liu, Y. (2020). Linking Esports to health risks and benefits: Current knowledge and future research needs. *Journal of Sport and Health Science*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.04.006>
- Younes, M., Soiferman, M., Thompson, W., & Giannouli, E. (2017). Performance of a New Portable Wireless Sleep Monitor. *Journal of Clinical Sleep Medicine : Official Publication of the American Academy of Sleep Medicine*, 13(2), 245-258. <https://doi.org/10.5664/jcsm.6456>
- Zaman, M., Babar, M. S., Babar, M., Sabir, F., Ashraf, F., Tahir, M. J., Ullah, I., Griffiths, M. D., Lin, C.-Y., & Pakpour, A. H. (2022). Prevalence of gaming addiction and its impact on sleep quality: A cross-sectional study from Pakistan. *Annals of Medicine and Surgery*, 78, 103641. <https://doi.org/10.1016/j.amsu.2022.103641>

Anhang

Die vorliegende kumulative Dissertation basiert auf den untenstehenden Publikationen. Die vollständigen Manuskripte finden sich sodann auf den nächsten Seiten dieses Anhangs.

- (I) **Klier, K.,** Dörr, S., & Schmidt, A. (2021). High sleep quality can increase the performance of CrossFit® athletes in highly technical- and cognitive-demanding categories. *BMC Sports Science, Medicine & Rehabilitation*, 13(1), 137. <https://doi.org/10.1186/s13102-021-00365-2>
- (II) **Klier, K.,** Seiler, K., & Wagner, M. (2021). On the usability of digital sleep interventions in sports. *German Journal of Exercise and Sport Research*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s12662-021-00771-1>
- (III) **Klier, K.,** & Wagner, M. (2022). Agreement of Sleep Measures – A Comparison between a Sleep Diary and Three Consumer Wearable Devices. *Sensors*, 22(16), 6189. <https://doi.org/10.3390/s22166189>
- (IV) **Klier, K.,** Seiler, K., & Wagner, M. (2022). Influence of esports on Sleep and Stress. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 29(2-3), 95-103. <https://doi.org/10.1026/1612-5010/a000368>

RESEARCH

Open Access



High sleep quality can increase the performance of CrossFit[®] athletes in highly technical- and cognitive-demanding categories

Kristina Klier^{1,2*}, Selina Dörr^{1,3} and Annette Schmidt^{1,3}

Abstract

Background: In current sports science, the important role of sleep quality for health and peak performance is well acknowledged. More precisely, it is evident that the negative combination of stressful factors, low resources, and bad sleep habits causes short-term performance losses as well as long-term health consequences. As the maximization of human performance consisting of multiple fixed workloads is the main motivation in CrossFit[®] (CF), the aim of the present study was to investigate the influence of high sleep quality on performance in CrossFit[®] athletes (CFA) and the different training categories that are addressed in CF.

Methods: In total, 149 CFA (81 females, 68 males; 32.01 ± 7.49 years old, 2.56 ± 1.77 active years in CF) filled in the online survey comprising the Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) and CF performance-specific questions.

Results: It was found that CFA with high sleep quality reported higher values in all performance-related outcomes. Especially in Hero-/Girl-Workouts ($\chi^2 = (1, n = 83) = 9.92, p = .002, \phi = 0.37$) and Gymnastics ($\chi^2 = (1, n = 129) = 8.74, p = .003, \phi = 0.28$), performance differed significantly between good and poor sleeping CFA. Since those CF categories are highly technical- and cognitive-demanding high sleep quality seems to play a fundamental role in complex motor skill learning and performance development.

Conclusions: These results reveal for the first time the positive effects of high sleep quality for performance in CFA and could be used as basis for future studies. Future research should also develop and empirically test suitable interventions to foster high sleep quality in CFA.

Trial Registration: The study was conducted according to the guidelines of the Declaration of Helsinki, and approved by the Ethics Committee of University of the Federal Armed Forces Munich, Germany (06/04/2018).

Keywords: Athletes, Fitness, Health, Performance, Sleep quality

Within the last decades, sleep is focused in various research fields because of its essential functions for human well-being [16]. Besides psychophysiological recreation, it is of particular importance for learning and memory consolidation [17]. Moreover, in terms

of health and performance, it is discussed as enhancing resource and at the same time as determining factor [6, 19]. Likewise, growing number of researches has dealt with the relationship between sleep and physical activity [8]. Whereas regular physical activity seems to promote work-life-balance and even fosters high sleep quality, especially among athletes, an accumulation of sleep problems can be identified [26]. Further, the direction of this relationship remains open: No precise statements can be made about whether it is the level of activity that affects

*Correspondence: kristina.klier@unibw.de

¹ Fakultät Für Humanwissenschaften, Institut Für Sportwissenschaft, Universität der Bundeswehr München, Werner-Heisenberg-Weg 39, 85577 Neubiberg, Germany

Full list of author information is available at the end of the article



© The Author(s) 2021. **Open Access** This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>. The Creative Commons Public Domain Dedication waiver (<http://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/>) applies to the data made available in this article, unless otherwise stated in a credit line to the data.

sleep, or whether it is the quality or duration of sleep per se that affect sports performance [27, 41].

However, various studies have shown the importance of high sleep quality and its positive effects on the circadian rhythm as well as on the hormonal and immune system while sleep disturbances negatively affect mood and cause a decline in fine motor skills, maximum strength, and aerobic performance [14, 24, 36, 40]. Furthermore, high sleep quality is associated with high motivation, attention and concentration, and decreases in perceived exhaustion and pain perception [12, 35]. Accordingly, Chandrasekaran and colleagues [6] recommend to keep cognitive, emotional and environment-related influences as low as possible in order to be able to fall asleep timely and sleep uninterruptedly, and consequently, to be more concentrated and more attentive during waking phases. In this context, body temperature and light conditions (i.e., brightness) seem the easiest factors to influence, followed by noise, excitement/tension and fear. Especially before competitions, high arousal and fearful thoughts seem to appear more often. For example, Lastella and colleagues [25] have shown a variance of 4–5% in mood and general well-being after bad night sleep. In line, van Ryswyk et al. [34] have demonstrated that a tailored sleep optimization program led to an improvement in general well-being in male football players. Bonnar et al. [1] have proved that sleep optimization tailored to the individual athlete (e.g., sleep extension, power naps, sleep hygiene) significantly increases sleep quality and well-being. Hence, Kellmann and colleagues [21] have summarized the risk of short-term performance losses up to long-term health consequences due to the negative combination of stressful factors, low resources, and bad sleep habits in terms of sleep quality and sleep duration.

In general, the majority of the studies has focused on the circumstances of the duration respectively the quality of sleep, or the factors causing sleep deprivation and its consequences. Mostly, the examined sports setting has been localized in cycling, swimming, rowing, basketball and football as well as in regard to the night(s) before and after competition(s). In particular, the state of research in the training setting as well as in concerns of sleep interventions remains insufficiently considered. However, there is broad consensus on the need for sleep monitoring and documentation [1, 10, 33]. There are currently no explicit recommendations or guidelines on sleep hygiene or sleep monitoring [18, 30]. While on the one hand, research groups consider the potentials and limitations of current sleep applications and measurement methods [20, 38], on the other

hand, drafts of formulations for sleep and behavioral rules are continually emerging [23, 31, 37].

Accordingly, the sporting paradigm seems to shift from “faster, higher, stronger” to “the best better rest”. This approach of sleeping to perform might also be promising in the fitness setting. For instance, CF is becoming most popular within the last years. CF was established in 2000 by Greg Glassman as a trend sport, now being even more a fitness culture itself. It is characterized by multiple workouts with fixed training loads aiming for general physical preparedness, i.e., maximize full body performance to be prepared for the unknown and unexpected [15]. The highly intense sport combines various categories like exercises of Olympic Weightlifting and gymnastics with self-weight exercises and cardiovascular endurance exercises such as rowing and running. Due to the constantly varied functionality, all performance-related aspects consisting endurance, strength, flexibility, speed, balance and coordination are systematically optimized. Accordingly, the main goal of CF is to develop healthy and powerful bodies, and to achieve highest possible functional fitness level [11]. A CF training session usually lasts one hour and consists of beforehand set daily tasks including warm-up, skill training (skill development), high-intensity training (conditioning, known as WOD (Workout Of the Day)) and stretching. During training each CFA chooses load, intensity, set times etc. adapted to his/her individual performance level. Despite these individual load norms, the workouts are completed by all in-site CFA at the same time in order to increase extrinsic and intrinsic motivation and will power. Thus, the nature of CF is very competitive. To compare the increase in performance as well as to track the personal performance development, WODs are standardized, and at irregular intervals but always under the same conditions so-called benchmark workouts (known as Hero- (often particularly long and hard)/Girl-WODs (mostly short and intense)) should be repeated. Besides its competitive nature, CF maintains its own philosophy, which, in addition to the training principle described, also promotes other influencing factors such as an active lifestyle and healthy diet.

As mentioned above, in spite of the growing research interest, there is still a lack and an unequivocal evidence respectively in terms of sleep, health and performance [6, 39]. According to Kirschen et al. [22], who reviewed 19 studies comprising a total of 12 different sports, especially sports with high technical, tactical and speed requirements seem more prone to the negative effects of sleep deprivation. This, in turn, is of particular interest for the technical and speed-demanding aspects of CF. Therefore, the aim of the present study was to investigate for the first time the influence of high sleep quality

on performance in CFA and the different categories of CF training. Based on the described body of research, we expect the performance of CFA developing respectively increasing more positively in addition to high sleep quality than compared to persistently poor sleep.

Methods

Participants

In total, 178 participants clicked the online survey. Due to incomplete answers, 20 participants were excluded as well as 9 others who did not meet the inclusion criteria. To be included, participants needed to actively practice CF and do not consume caffeinated drinks immediately before training. Latter exclusion criterion was set to provide the established negative effects of caffeine on sleep quality and performance [9]. In general, participation was voluntary and without consideration.

Study procedure

The study was conducted using a common online survey tool that met the university's ethics and privacy policy, and was in accordance to the guidelines of the Declaration of Helsinki. For investigation, we developed a questionnaire based on standardized scales and the current state of the literature, and shared the link on local CF platforms and social media. Finally, the questionnaire was online available for 33 days.

Materials

Pittsburgh Sleep Quality Index

To gather all relevant information about participants' sleep we used the standardized Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI; [5]). It is a reliable and valid instrument (total score of Cronbach's $\alpha=0.80$, test-retest reliability $r=0.82$ to 0.89) to collect and categorize individual sleep quality. The questionnaire comprises 19 items for self-assessment of one's own sleep behavior within the last four weeks. The last question (question about partner and/or roommate) will not be included in the quantitative evaluation. From the remaining 18 questions seven individual components can be derived: (1) subjective sleep quality (one item), (2) sleep latency (two items), (3) sleep duration (one item), (4) sleep efficiency (three items), (5) potential sleep disorders (nine items), (6) sleep medication consumption (one item), and (7) daytime sleepiness (two items). The value of the individual components ranges between zero and three. The index value itself ultimately represents the sum of the seven individual component values and can assume values between a minimum of zero and a maximum of 21. In general, values < 5 refer to high sleep quality, 6–10 poor sleep quality, and > 10 chronic sleep disturbances [5]. Reference values

exist both for samples with and without diagnosed sleep problems.

Related Questions about Influence On Mental And Physical Performance We extended the sleep questioning part by few further questions. First, participants should answer whether (yes/no) respectively which method(s) (e.g., meditation, autogenic training, avoidance of blue light before going to bed) they use to improve their sleep quality. For the latter question, participants could choose multiple answers as well as "nothing" or specify a method that is not listed under "other" in the free text field. Finally, they were asked in two separate items to rate on a four-point Likert scale the role of their individual sleep behavior for their physical and mental performance.

CF-specific questions

The questions regarding the CF performance development were oriented to the basic CF disciplines, as these are exercises that are performed regularly. To determine a positive or negative development of the performance, all CF-specific questions were related to the training within the last four weeks. Thus, a reliable statement on changes could be made, and at the same time, all performance components inquired. In total, we formulated six items for this CF-specific questioning part, in which participants were asked about the state or improvement of their performance, which they could either affirm or deny on a nominal scale. Additionally, we added the option "I cannot provide any information" in case the questioned exercise has not been carried out within the last four weeks. First, the development of the general fitness level should be rated, followed by the maximum strength (1 RM, i.e., maximum weight, which can be mastered one time) and strength endurance (5 RM, i.e., maximum weight, which can be mastered five times) of the basic exercises of weightlifting: deadlift, squat, bench press, snatch, reposition, push. Further, participants were asked to report their performance development of so-called Hero-WODs and Girl-WODs. These are standardized workouts with fixed repetitions and weights that are ideal for comparing performance. Likewise, there are two different variants to improve workout performance: On the one hand, the time to complete the given exercises and repetitions can be shortened (time improvement), and on the other hand, the workout can be completed with a higher weight or more difficult form of exercise (implementation improvement). Both variants counted for this item equivalent as an improvement and were not differentiated. Finally, the progress in gymnastic exercises such as handstand, pull-up, dips or muscle-up, and cardiorespiratory demands during rowing, swimming, running, or cycling was inquired.

The whole survey ended with demographic (age, gender, type of employment) and anthropometric (height, body weight) data. At last, participants should specify how long they have been actively practicing CF in order to be able to better evaluate and classify possible side effects (e.g., steeper learning curve for beginners, more forced training planning for advanced CFA).

Statistical analysis

The statistical analysis was carried out using the data processing programs Excel (Microsoft, 2019) and SPSS Statistics Version 27 (IBM, Inc., Chicago, IL, 2021). The level of significance was set a priori at $\alpha < 0.05$ [2]. According to PSQI we grouped participants as good or poor sleepers. CF performance was analyzed descriptively. Further, as it was two independent samples with a nominal scale level, we calculated chi-square and Phi coefficient in order to test existing relationship between sleep quality and CF performance. Only the results of participants who have decided for or against an improvement in performance were included. All data sets with the selection "I cannot provide any information" were excluded from the respective analysis.

Results

Descriptive Statistics

After excluding the total of 29 invalid questionnaires, 149 valid data records have been included into the statistical analysis. Of these, 81 participants were female and 68 were male. Their age ranged from 18 to 60 years, and their active CF training experience ranged from few months up to ten years. Further descriptive characteristics of participants are shown in Table 1.

In terms of sleep behavior, participants reported 7.08 h of total sleep duration (± 0.98 h). 87% of all participants ($n = 129$) experienced various sleep interruptions up to once a week (e.g., nocturnal awakening due to feelings of cold/heat, urination, breathing difficulties, nightmares).

In addition, only 22% ($n = 33$) rated their sleep quality within the last four weeks as "good", 58% ($n = 86$) as "rather good", and 20% ($n = 30$) as "rather or very bad". There were particularly great differences in the duration of falling sleep. While the average time was 19.89 min (± 17.28 min), the maximum sleep latency was 90 min. Likewise, the reported daytime sleepiness seemed rather bad with 74 participants (50%) struggling once a week and 36 participants (24%) up to twice a week with staying awake and tackling the momentum during everyday activities.

Referring to the complete analysis of PSQI, 93 participants (62%; 46 males, 47 females) could be assigned as *good sleepers* (GS) and 56 participants (38%; 22 males, 34 females) as *poor sleepers* (PS).

Performance development

To analyze the influence of high sleep quality on performance development of CFA we calculated the difference of the named CF categories by facing the answers of GS with PS. Expressed in percentage, overall, more subjects of GS reported a performance improvement than PS. Although this general difference is not significant, it could be found in all CF-specific outcomes (see Fig. 1).

In all analyzing aspects, no difference could be found between males and females. General survey results are shown in Tables 2 and 3 (* indicates significant differences between good and poor sleeping CFA ($p < 0.05$)).

General fitness level

The first CF performance item asked about participants' general fitness level. GS and PS values were according to chi-square test with $\chi^2 = (2, N = 149) = 0.96, p = 0.62, \phi = 0.08$ not significant.

Cardio

Regarding cardiorespiratory outcome, again, although a difference could be seen between the two groups, it is with $\chi^2 = (1, n = 126) = 2.28, p = 0.13, \phi = 0.15$ not significant.

5 RM

The analysis of the 5 RM also showed different results, but statistically, the difference with $\chi^2 = (1, n = 108) = 0.52, p = 0.47, \phi = 0.09$ is not significant.

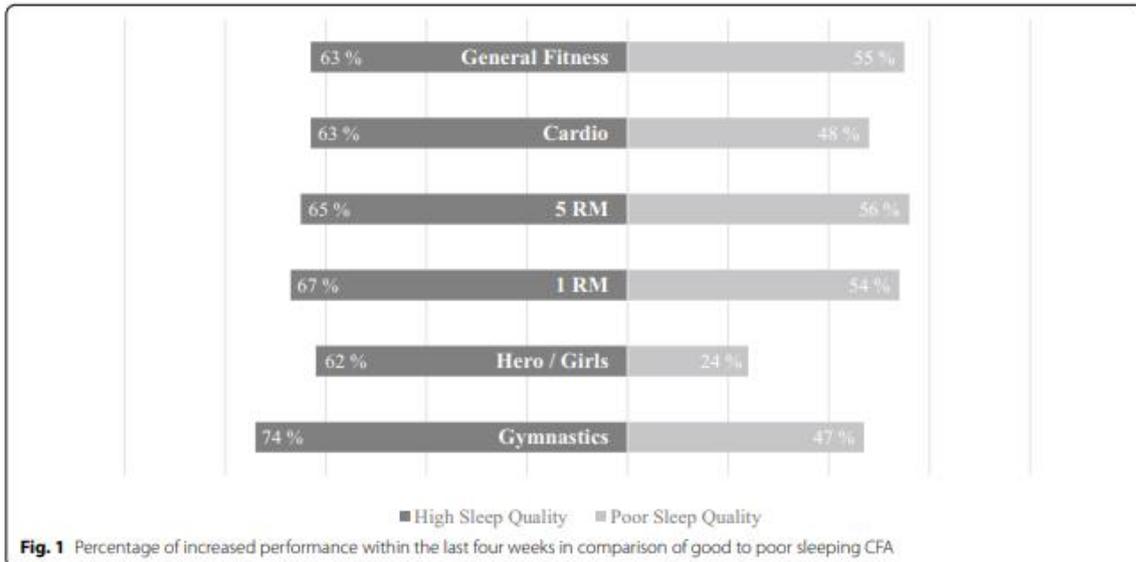
1 RM

Results were similar when looking at the performance development under the aspect of maximum strength. Expressed in percentage, the difference is after continuity correction with $\chi^2 = (1, n = 116) = 1.60, p = 0.21, \phi = 0.14$ not significant.

Table 1 Descriptive characteristics of participants ($\bar{x} \pm SD$)

	Total (N = 149)	Male (n = 68)	Female (n = 81)
Age (years)	32.01 \pm 7.49	32.07 \pm 7.48	31.95 \pm 7.53
Height (cm)	173.93 \pm 8.99	180.65 \pm 6.39	168.30 \pm 6.69
Weight (kg)	74.92 \pm 12.51	83.40 \pm 9.28	67.72 \pm 10.19
BMI (kg/m ²)	24.65 \pm 3.08	25.55 \pm 2.47	23.89 \pm 3.35
CF experience (years)	2.56 \pm 1.77	2.50 \pm 1.66	2.61 \pm 1.87
Main training time(s)	Afternoon (28%); Evening (48%)	Afternoon (25%); Evening (51%)	Afternoon (31%); Evening (44%)

[BMI = Body Mass Index; Afternoon = 3 to 6 pm; Evening = 7 to 10 pm]

**Table 2** General overview of results referring CF performance

Variable			High sleep quality	Poor sleep quality
General Fitness	Absolute (Relative) Frequency	Improvement	59 (63%)	31 (55%)
		No Improvement	18 (19%)	13 (23%)
		Not Applicable	16 (17%)	12 (21%)
			$\chi^2 = (2, N = 149) = 0.96, p = .62, \phi = 0.08$	
Cardio	Absolute (Relative) Frequency	Improvement	52 (63%)	21 (48%)
		No Improvement	30 (37%)	23 (52%)
			$\chi^2 = (1, n = 126) = 2.28, p = .13, \phi = 0.15$	
5 RM	Absolute (Relative) Frequency	Improvement	42 (65%)	24 (56%)
		No Improvement	23 (35%)	19 (44%)
			$\chi^2 = (1, n = 108) = 0.52, p = .47, \phi = 0.09$	
1 RM	Absolute (Relative) Frequency	Improvement	49 (67%)	23 (54%)
		No Improvement	24 (33%)	20 (47%)
			$\chi^2 = (1, n = 116) = 1.60, p = .21, \phi = 0.14$	
Hero-/Girl-WODs	Absolute (Relative) Frequency	Improvement	31 (62%)	8 (24%)
		No Improvement	19 (38%)	25 (76%)
			$\chi^2 = (1, n = 83) = 9.92, p = .002^*, \phi = 0.37$	
Gymnastics	Absolute (Relative) Frequency	Improvement	61 (74%)	22 (47%)
		No Improvement	21 (26%)	25 (53%)
			$\chi^2 = (1, n = 129) = 8.74, p = .003^*, \phi = 0.28$	

Hero-/Girl-WODs

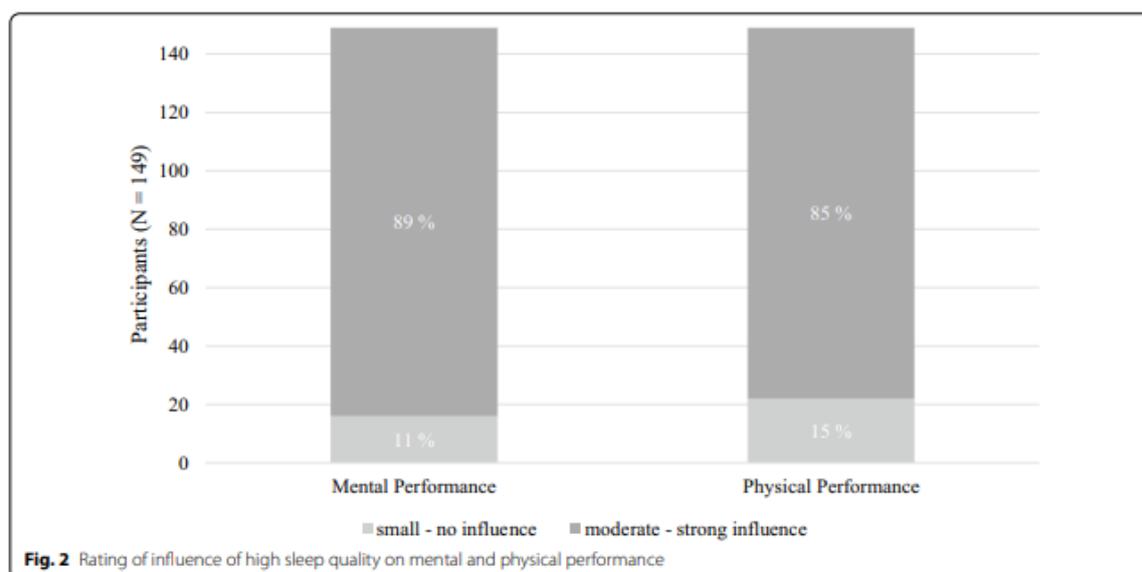
The analysis of the standardized Hero-/Girl-WODs revealed different results. Thereby, not only the comparison of the percentage values is noticeable, but also the results of the statistical test procedure. With $\chi^2 = (1, n = 83) = 9.92, p = 0.002, \phi = 0.37$ this found difference is statistically significant.

Gymnastics

When looking at the gymnastics elements, another significant difference could be found ($\chi^2 = (1, n = 129) = 8.74, p = 0.003, \phi = 0.28$).

Table 3 General overview of results referring other factors

Variable			High sleep quality	Poor sleep quality
Sleep quality	Absolute (Relative) Frequency	Very Good	33 (35%)	0 (0%)
		Rather Good	59 (63%)	27 (48%)
		Rather Bad	0 (0%)	27 (48%)
		Very Bad	1 (1%)	2 (4%)
Sleep duration	Absolute (Relative) Frequency	3–4 Hours	0 (0%)	1 (2%)
		5–6 Hours	7 (8%)	33 (59%)
		7–8 Hours	82 (88%)	20 (36%)
		9–10 Hours	4 (4%)	2 (4%)
Influence on mental performance	Absolute (Relative) Frequency	Small–No Influence	10 (11%)	6 (11%)
		Moderate–strong influence	83 (89%)	50 (89%)
Influence on physical performance	Absolute (Relative) Frequency	Small–no influence	11 (12%)	11 (20%)
		Moderate–strong influence	82 (88%)	45 (80%)
Sleep tracking/optimization	Absolute (Relative) Frequency	Yes	32 (34%)	27 (48%)
		No	61 (66%)	29 (52%)

**Fig. 2** Rating of influence of high sleep quality on mental and physical performance**Other factors****Sleep quality and duration**

Even in terms of the subjective assessment of one's own sleep quality as well as in the analysis of sleep duration, we found a connection to group assignment: Answers of PS tend to be more negative than of GS.

Influence on mental and physical performance

In a further item, participants were asked to assess the influence of their subjective sleep quality on their performance, both mentally and physically. Interestingly, regarding the whole sample, the influence of high sleep

quality on mental performance was rated four percent higher than that of physical performance (see Fig. 2).

In addition to the question of how important participants rated sleep quality, they were asked whether they use any methods to optimize their sleep quality. Of the 149 participants, two thirds (60%, $n=90$) answered not to intentionally assess and optimize their sleep. The others reported, for example, to avoid bright light in the evening (26%, $n=39$), meditate (9%, $n=13$), read a book (3%, $n=4$), listen to music (19%, $n=28$), or do some breathing or stretching exercises (4%, $n=6$) to establish a healthy sleep hygiene.

Discussion

The aim of the present study was to investigate the influence of high sleep quality on performance-specific outcomes in CFA differentiated on the different categories of CF training. We hypothesized that there would be a significant difference in the performance development of CFA with good sleep behavior, i.e., high sleep quality, compared to those with poor sleep. Sleep is referred to as good or healthy sleep when it comprises sufficient duration (recommended 7–9 h), efficiency ($\geq 85\%$), depth (15–20% deep and REM sleep, 55–60% light sleep), low sleep latency (≤ 15 min) and one or fewer interruptions [28]. If these characteristics are partially or completely absent, sleep is considered poor or unhealthy. Thus, whereas the performance development is likely to decrease due to persistently poor sleep, CF performance will develop more positively in addition to high sleep quality. As this is the first study considering the influence of sleep in CF, our findings, i.e., calculated percentage values, are consistent with current literature revealing that high sleep quality can lead to an increased sports performance.

Difference in CF performance development

Although we could not accept our hypothesis in total due to partially not significant results, we found differences between good and poor sleeping CFA in all CF categories. In particular, Hero-/Girl-WODs and Gymnastics were found to be statistically significant.

As mentioned, CFA use Hero-/Girl-WODs to assess their own performance improvements over time as well as to compare and to compete with other CFA. Besides the exact knowledge of upcoming training load, the workouts' benchmark character together with their high status are also increasing intrinsic motivation when completing the workouts [13]. As CFA know their previous times and performance achievements, they might better plan targeted improvements based on lap times and appropriately selected timing. Finally, Hero-/Girl-WODs just reflect what CFA do in nearly every training session: workouts. Evidently, it is more likely to get better at something doing regularly (in this case workouts) than, for example, maximum strength performance that in turn is trained rarely [29].

This principle of increased performance by plural training repetitions also applies to the gymnastic elements. Despite being regular training exercises, they take up little time at low intensity, so that they can easily be practiced "in between" (e.g., hand stand hold or handstand walk). When practiced several times during set breaks or after WODs over a period of four weeks, those skills are also more likely to reach results faster compared to (maximum) strength. However, the most

important aspect might be the following: The gymnastic elements comprise movements that are highly demanding in terms of coordination and motor skills. As already theoretically explained in detail, sleep plays a primary role in motor and cognitive learning and consolidation [32, 35]. Therefore, especially the technical movement sequences of gymnastic elements might be absorbed and consolidated during sleep [19, 27]. In contrast, sleep deprivation causes a reduced motor learning ability and an increased injury proneness, which in turn might explain the found differences between good and poor sleeping CFA [7]. Hence, in line with the assumptions from Kirschen and colleagues [22] and Watson [41], high sleep quality means an advantage of nightly processing of what has already been learned as well as an improved starting position to learn new movements and technical components efficiently and without injury.

However, as Olympic Weightlifting can also have a high due of technical and motor-related requirements, the question why no significant differences could be found within this CF discipline arises. Particularly, the assessment of maximum strength could be seen as critical. Measuring 1 RM correctly requires a certain know-how and targeted, structured training. On the one hand, maximum strength tests should be carried out within the mesocycle (lowering the volume in the previous week, so-called "tapering") and, on the other hand, be directly prepared on the respective assessment day (observing specific warm up sets, set breaks and timing, correct movement realization.). Furthermore, neither the three basic exercises (squat, deadlift, bench press) nor the dynamic exercises of Olympic Weightlifting (clean and jerk) are singular training disciplines in all CF programs. In many CF boxes, these strength exercises are not trained in a separate strength circuit, but rather within workouts. Thus, if no maximal strength training is carried out – even regardless of CFAs' sleep quality – no major increases in maximum strength can be achieved.

To conclude, it should be noted that due to the nature of CF (i.e., various cognitive and motor skills required), not all performance categories can be compared equally with one another. Nevertheless, referring to the findings from Fullagar et al. [14] and Lastella et al. [25] the relationship between training load respectively performance outcome and athletes individual sleep behavior is often underestimated and might have much extensive impact. In line, the present study – as the first one dealing with sleep in the context of CF – showed that high sleep quality can be an important factor to consider in order to gain optimal performance outcomes in all different CF performance categories.

Other factors

Among other things, we asked for the rating of the effects of sleep quality on personal performance. Interestingly, beside the generally highly rated role of sleep quality, the evaluation of the two components “physical” and “mental” performance differed slightly. The influence of sleep quality on mental performance was rated higher than that on physical performance (see Fig. 2). Again, this reveals the positive psychological long-term effects of a healthy sleep behavior: In addition to better processing of emotions [3], that consciously as well as subconsciously mostly takes place during sleep, a good sleep hygiene and healthy sleep patterns lead to improved psychological well-being [4]. Likewise, Goel et al. [16] and Grandner [17] have summarized that the majority of people suffering from (chronic) sleep loss feel groggy, unfocused, unmotivated and aimless. On days with high sleepiness, many have problems passing their daily work/activities or tackle all upcoming tasks, including training sessions, with the needed motivation and concentration. Therefore, as we found that the sleep quality of CFA has an important influence on both, mental and physical performance, we provide the approaches of Bonnar and colleagues [1] and Halson [18] establishing tailored sleep monitoring methods and interventions, e.g., sleep hygiene strategies, to foster individual performance development in athletes.

Limitations

There are some constraints limiting our study: First, it is important to critically question the selection of the examination instrument. Although, due to the used online questionnaire, we were able to acquire a large and diverse group of participants, all results were only based on participants' subjective self-assessment. Neither the actual sleep behavior nor the performance was quantified objectively. However, in line with well-reputed sleep research, it could be assumed that rather the sleep quality (i.e., subjective restoring and relaxation feelings) than the quantitative amount of sleep (i.e., total sleep time or number of awakenings) seems to be most essential for recovery and well-being. Whilst objective sleep assessment is restricted by environmental factors or instrument-related aspects, bias or gaps in memory and other personal characteristics are factors that might individually influence the answering of a questionnaire. Likewise, the quality of retrospectively collected data about participants' performance development could be noted discussable. As there is no standardized CF performance testing framework/tool the methodological challenge was to sample the plural characteristics of CF and daily routines of CFA in feasible manner. Second, we examined the role of sleep on performance, i.e., considering

performance-related outcomes as dependent variables. However, we neither considered the individuals' need of recovery time respectively amount of sleep depending on their internal and external training load nor the fact that, in general, the ability to recover decreases with age and increases with increasing adaptation to increased training loads [39].

To conclude, data might be rather temporary than comprehensive due to various more or less controllable influencing factors. Hence, to achieve a holistic understanding of the relationship between sleep and CF performance we recommend mixed-methods designs for future studies.

Conclusion and future directions

The current study reveals that high sleep quality can be a performance-enhancing factor in CF: The better CFA rated their individual sleep quality, the better were their performance outcomes. Especially in Hero-/Girls-WOD and Gymnastics, results were significant. However, future research is needed to gain a deeper insight in psychophysiological demands and sleep-related influences of performance as well as the daily training routine (periodization) in CFA.

In sum, the increasing awareness and optimization of CFA' sleep behavior to maximize performance seems to be a promising approach. Finally, suitable sleep interventions to foster high sleep quality in CFA should be developed and empirically tested.

Abbreviations

CF: CrossFit®; CFA: CrossFit® athletes; PSQI: Pittsburgh Sleep Quality Index; GS: Good sleepers; PS: Poor sleepers.

Acknowledgements

Not applicable.

Authors' contributions

SD and AS conceptualized the study; SD conducted the investigation and was in contact with participants; KK carried out statistical analysis and curated the data, and further wrote the original draft; AS reviewed and edited the writing. All authors read and approved the final manuscript.

Funding

Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL. This research received no external funding.

Availability of data and materials

The datasets used and/or analyzed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Declarations

Ethics approval

The study was conducted according to the guidelines of the Declaration of Helsinki, and approved by the Ethics Committee of University of the Federal Armed Forces Munich, Germany (06/04/2018).

Consent for publication

Not applicable.

Informed consent

Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

Competing interests

The authors declare that they have no competing interests.

Author details

¹Fakultät Für Humanwissenschaften, Institut Für Sportwissenschaft, Universität der Bundeswehr München, Werner-Heisenberg-Weg 39, 85577 Neubiberg, Germany. ²Forschungs- und Lehrgebiet Gesundheit, Betriebliche Gesundheitsförderung und Prävention, Universität der Bundeswehr München, Werner-Heisenberg-Weg 39, 85577 Neubiberg, Germany. ³Forschungs- und Lehrgebiet Sportbiologie, Universität der Bundeswehr München, Werner-Heisenberg-Weg 39, 85577 Neubiberg, Germany.

Received: 23 August 2021 Accepted: 19 October 2021

Published online: 28 October 2021

References

- Bonnar D, Bartel K, Kakoschke N, Lang C. Sleep interventions designed to improve athletic performance and recovery: a systematic review of current approaches. *Sports Med*. 2018;48(3):683–703. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0832-x>.
- Bortz J, Schuster C. Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler: Extras online (Limitierte Sonderausgabe, 7., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage). Springer-Lehrbuch. Berlin; 2016. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-12770-0>.
- ten Brink M, Lee HY, Manber R, Gross J, Yeager D. Stress, sleep, and coping self-efficacy in adolescents. *Sleep*. 2019;42:A102–A102. <https://doi.org/10.1093/sleep/zsz067.247>.
- Buyse DJ. Sleep health: can we define it? Does it matter? *Sleep*. 2014;37(1):9–17. <https://doi.org/10.5665/sleep.3298>.
- Buyse DJ, Reynolds CF, Monk TH, Berman SR, Kupfer DJ. The Pittsburgh sleep quality index: a new instrument for psychiatric practice and research. *Psychiatry Res*. 1989;28(2):193–213. [https://doi.org/10.1016/0165-1781\(89\)90047-4](https://doi.org/10.1016/0165-1781(89)90047-4).
- Chandrasekaran B, Fernandes S, Davis F. Science of sleep and sports performance—a scoping review. *Sci Sports*. 2020;35(1):3–11. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2019.03.006>.
- Charest J, Grandner MA. Sleep and athletic performance: impacts on physical performance, mental performance, injury risk and recovery, and mental health. *Sleep Med Clin*. 2020;15(1):41–57. <https://doi.org/10.1016/j.jsmc.2019.11.005>.
- Chennaoui M, Arnal PJ, Sauvet F, Léger D. Sleep and exercise: a reciprocal issue? *Sleep Med Rev*. 2015;20:59–72. <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2014.06.008>.
- Clark I, Landolt HP. Coffee, caffeine, and sleep: a systematic review of epidemiological studies and randomized controlled trials. *Sleep Med Rev*. 2017;31:70–8. <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2016.01.006>.
- Claudino JG, J Gabbet T, de Sá Souza H, Simim M, Fowler P, de Alcantara Borba D, Melo M, Bottino A, Loturco I, D'Almeida V, Carlos Amadio A, Cerca Serrão J, P Nassis G. Which parameters to use for sleep quality monitoring in team sport athletes? A systematic review and meta-analysis. *BMJ Open Sport Exerc Med*. 2019;5(1):e000475. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2018-000475>.
- CrossFit Inc. (2007). The CrossFit Level 1 Training Guide. Washington D.C. https://journal.crossfit.com/article/training-guide-compiled?_ga=2.105366019.1824846920.1618229556-514783387.1618229556. Accessed 7 Aug 2021.
- Erlacher D, Gebhart C, Ehrlenspiel F, Blischke K, Schredl M. Schlaf und Sport. Motorisches Gedächtnis, Wettkampfleistung und Schlafqualität. *Zeitschrift für Sportpsychologie*. 2012;19:4–15. <https://doi.org/10.1026/1612-5010/a000063>.
- Fisher J, Sales A, Carlson L, Steele J. A comparison of the motivational factors between CrossFit participants and other resistance exercise modalities: a pilot study. *J Sports Med Phys Fitness*. 2017;57(9):1227–34. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.16.06434-3>.
- Fullagar HHK, Skorski S, Duffield R, Hammes D, Coutts AJ, Meyer T. Sleep and athletic performance: the effects of sleep loss on exercise performance, and physiological and cognitive responses to exercise. *Sports Med*. 2015;45(2):161–86. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0260-0>.
- Glassman G. Understanding CrossFit. *CrossFit Journal*. 2007, 56. <http://journal.crossfit.com/2007/04/understanding-crossfit-by-greg.tpl>. Accessed 7 Aug 2021.
- Goel N, Basner M, Rao H, Dinges DF. Circadian rhythms, sleep deprivation, and human performance. *Prog Mol Biol Transl Sci*. 2013;119:155–90. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-396971-2.00007-5>.
- Grandner MA. Sleep, health, and society. *Sleep Med Clin*. 2017;12(1):1–22. <https://doi.org/10.1016/j.jsmc.2016.10.012>.
- Halson SL. Sleep monitoring in athletes: motivation, methods, miscalculations and why it matters. *Sports Med*. 2019;49(10):1487–97. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01119-4>.
- Halson SL, Julliff LE. Sleep, sport, and the brain. *Prog Brain Res*. 2017;234:13–31. <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2017.06.006>.
- Ibáñez V, Silva J, Cauli O. A survey on sleep assessment methods. *PeerJ*. 2018;6: e4849. <https://doi.org/10.7717/peerj.4849>.
- Kellmann M, Bertollo M, Bosquet L, Brink M, Coutts AJ, Duffield R, Erlacher D, Halson SL, Hecksteden A, Heidari J, Kallus KW, Meeusen R, Mujika I, Robazza C, Skorski S, Venter R, Beckmann J. Recovery and performance in sport: consensus statement. *Int J Sports Physiol Perform*. 2018;13(2):240–5. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2017-0759>.
- Kirschen GW, Jones JJ, Hale L. The impact of sleep duration on performance among competitive athletes: a systematic literature review. *Clin J Sport Med Off J Can Acad Sport Med*. 2018. <https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000000622>.
- Kölling S, Duffield R, Erlacher D, Venter R, Halson SL. Sleep-related issues for recovery and performance in athletes. *Int J Sports Physiol Perform*. 2019;14(2):144–8. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2017-0746>.
- Lastella M, Lovell GP, Sargent C. Athletes' precompetitive sleep behaviour and its relationship with subsequent precompetitive mood and performance. *Eur J Sport Sci*. 2014;14(Suppl 1):123–30. <https://doi.org/10.1080/17461391.2012.660505>.
- Lastella M, Vincent GE, Duffield R, Roach GD, Halson SL, Heales LJ, Sargent C. Can sleep be used as an indicator of overreaching and overtraining in athletes? *Front Physiol*. 2018;9:436. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00436>.
- Nedelec M, Aloulou A, Dufrez F, Meyer T, Dupont G. The variability of sleep among elite athletes. *Sports Med Open*. 2018;4(1):34. <https://doi.org/10.1186/s40798-018-0151-2>.
- O'Donnell S, Beaven CM, Driller MW. From pillow to podium: a review on understanding sleep for elite athletes. *Nat Sci Sleep*. 2018;10:243–53. <https://doi.org/10.2147/NSS.S158598>.
- Ohayon M, Wickwire EM, Hirshkowitz M, Albert SM, Avidan A, Daly FJ, Dauvilliers Y, Ferri R, Fung C, Gozal D, Hazen N, Krystal A, Lichstein K, Mallampalli M, Plazzi G, Rawding R, Scheer FA, Somers V, Vitiello MV. National Sleep Foundation's sleep quality recommendations: first report. *Sleep Health*. 2017;3(1):6–19. <https://doi.org/10.1016/j.sleh.2016.11.006>.
- Schlegel P. CrossFit® training strategies from the perspective of concurrent training: a systematic review. *J Sports Sci Med*. 2020;19(4):670–80.
- Simim M, Helton de Sá Souza Filho CAC, Gianoni Rodriguez Luiz da Silva Berezza RR, Affonso HdQ, Amadio AC, D'Almeida V, Serrão JC, Claudino JG. Sleep quality monitoring in individual sports athletes: parameters and definitions by systematic review. *Sleep Sci*. 2020. <https://doi.org/10.5935/1984-0063.20200032>.
- Simpson NS, Gibbs EL, Matheson GO. Optimizing sleep to maximize performance: implications and recommendations for elite athletes. *Scand J Med Sci Sports*. 2017;27(3):266–74. <https://doi.org/10.1111/sms.12703>.
- Thun E, Bjorvatn B, Flo E, Harris A, Pallesen S. Sleep, circadian rhythms, and athletic performance. *Sleep Med Rev*. 2015;23:1–9. <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2014.11.003>.
- Tuomilehto H, Vuorinen VP, Penttilä E, Kivimäki M, Vuorenmaa M, Venojärvi M, Airaksinen O, Pihlajamäki J. Sleep of professional athletes: Underexploited potential to improve health and performance. *J Sports Sci*. 2017;35(7):704–10. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1184300>.
- van Ryswyk E, Weeks R, Bandick L, O'Keefe M, Vakulin A, Catchside P, Barger L, Potter A, Poulos N, Wallace J, Antic NA. A novel sleep

- optimisation programme to improve athletes' well-being and performance. *Eur J Sport Sci.* 2017;17(2):144–51. <https://doi.org/10.1080/17461391.2016.1221470>.
35. Venter R. Role of sleep in performance and recovery of athletes: a review article. *S Afr J Res Sport Phys Educ Recreat.* 2012;34(1):167–84.
 36. Vitale JA, Weydahl A. Chronotype, physical activity, and sport performance: a systematic review. *Sports Med.* 2017;47(9):1859–68. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0741-z>.
 37. Vitale KC, Owens R, Hopkins SR, Malhotra A. Sleep hygiene for optimizing recovery in athletes: review and recommendations. *Int J Sports Med.* 2019;40(8):535–43. <https://doi.org/10.1055/a-0905-3103>.
 38. Vlahoyiannis A, Sakkas GK, Manconi M, Aphasios G, Giannaki CD. A critical review on sleep assessment methodologies in athletic populations: factors to be considered. *Sleep Med.* 2020;74:211–23. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2020.07.029>.
 39. Vyazovskiy VV. Sleep, recovery, and metaregulation: explaining the benefits of sleep. *Nat Sci Sleep.* 2015;7:171–84. <https://doi.org/10.2147/NSS.S54036>.
 40. Walsh NP, Halson SL, Sargent C, Roach GD, Nédélec M, Gupta L, Leeder J, Fullagar HH, Coutts AJ, Edwards BJ, Pullinger SA, Robertson CM, Burniston JG, Lastella M, Le Meur Y, Hausswirth C, Bender AM, Grandner MA, Samuels CH. Sleep and the athlete: narrative review and 2021 expert consensus recommendations. *Br J Sports Med.* 2020. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-102025>.
 41. Watson AM. Sleep and athletic performance. *Curr Sports Med Rep.* 2017;16(6):413–8. <https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000418>.

Publisher's Note

Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Ready to submit your research? Choose BMC and benefit from:

- fast, convenient online submission
- thorough peer review by experienced researchers in your field
- rapid publication on acceptance
- support for research data, including large and complex data types
- gold Open Access which fosters wider collaboration and increased citations
- maximum visibility for your research: over 100M website views per year

At BMC, research is always in progress.

Learn more biomedcentral.com/submissions



Brief Communication

Ger J Exerc Sport Res
<https://doi.org/10.1007/s12662-021-00771-1>
 Received: 10 March 2021
 Accepted: 27 September 2021

© The Author(s) 2021



Kristina Klier¹ · Kirstin Seiler² · Matthias Wagner²

¹Institut für Sportwissenschaft, Forschungs- und Lehrgebiet Gesundheit, Betriebliche Gesundheitsförderung und Prävention, Universität der Bundeswehr München, Fakultät für Humanwissenschaften, Neubiberg, Germany

²Institut für Sportwissenschaft, Forschungs- und Lehrgebiet Sportpsychologie, Universität der Bundeswehr München, Fakultät für Humanwissenschaften, Neubiberg, Germany

On the usability of digital sleep interventions in sports

High sleep quality is essential to promote health as it—beyond other functions such as learning and memory consolidation—serves to recreate psychophysiological homeostasis which is of particular importance for human well-being (Grandner, 2017).

In the sports context, better sleep is associated with performance enhancement (Walsh et al., 2020). However, due to the high time pressure in athletes' daily training and competition routine, athletes are prone to suffer from sleep disturbances. Therefore, commercially accessible and easily manageable interventions helping athletes to improve their sleep quality, and consequently, their performance and health, are needed. As digitalization and the use of technology are increasing rapidly, digital features are one promising approach to assess sleep patterns, and to provide suitable (e.g., mindfulness-based, Mrazek et al., 2019) interventions (Bonnar, Bartel, Kakoschke, & Lang, 2018).

While numerous studies have been conducted on the importance of sleep in general and specifically in sports (Fullagar et al., 2015; Grandner, 2017), so far, the potentials (i.e., opportunities as well as constraints) of digital features in the context of sleep interventions for the optimization of sleep quality among athletes have neither been elaborated from a theoretical perspective nor have they been empirically tested. Thus, this article aims to give an overview on the usability of digital sleep interventions with a specific focus on the potentials of mindfulness-based sleep optimization.

Importance of sleep quality in the context of sports

In the sports performance setting, studies have shown that better recovery and sleep quality positively influence sports performance, motivation and concentration as well as the general physiological and psychological capability (Chandrasekaran, Fernandes, & Davis, 2020). Furthermore, high sleep quality positively affects the circadian rhythm, and the hormonal and immune system, while decreasing perceived exhaustion and pain perception (Walsh et al., 2020). In contrast, sleep disturbances negatively affect mood and cause a decline in fine motor skills, maximum strength, and aerobic performance (Fullagar et al., 2015). Further, stress as well as cognitive and physical exertion negatively influence the regeneration process, in particular the process of falling asleep itself. In this context, Kellmann et al. (2018) have demonstrated the risk of short-term performance losses up to long-term health consequences due to the negative combination of stressful factors, low resources, and bad sleep habits in terms of sleep quality and sleep duration. However, many professional athletes sleep less than the 7–9 h recommended by the American Academy of Sleep Medicine and the German Sleep Society leading to an accumulation of sleep problems in athletes (Kölling, Duffield, Erlacher, Venter, & Halson, 2019; Nedelec, Aloulou, Dufrez, Meyer, & Dupont, 2018). Especially before competitions, high arousal and fearful thoughts seem to appear more often. For instance, Lastella, Lovell, and

Sargent (2014) have shown a variance of 4–5% in mood and general well-being after bad night sleep. To carry out this important role of sleep quality, detailed and holistic sleep assessment and treatments are needed (Claudino et al., 2019; Halson, 2019). Hence, an increased awareness and tailored optimization of athletes' sleep behavior might foster sports performance (Bonnar et al., 2018).

Potentials of mindfulness in the context of sleep

Besides the fact that proceeding digitalization could be used for monitoring actual sleep behavior, digital systems can also be used for interventions aiming to optimize sleep quality, and as a consequence, to increase health and performance. One technique which is already empirically tested and can also be practiced digitally, is a mindfulness-based intervention (Collins, Cox, Wilcock, & Sethu-Jones, 2019). Recently, several studies have examined common (i.e., non-digital-based) meditation and mindfulness-based practices as a time- and cost-effective possibility to reduce cognitive activity and arousal (Hülshager, Feinholdt, & Nübold, 2015). Especially before going to bed, mindfulness meditation could help to fall asleep and enhances sleep quality (Rusch et al., 2019). Likewise, in sports, mindfulness-based programs such as the Mindfulness–Acceptance–Commitment (MAC) approach (Gardner & Moore, 2004) or Mindful Sports Performance Enhancement (MSPE; Kaufman, Glass, & Arnkoff, 2009) are well established as they seem

to improve focus and concentration as well as to reduce negative emotions and deflection among athletes. In accordance to Jones, Kaur, Miller, and Spencer (2020), Li, Kee, and Lam (2018) recorded a significant decrease in presleep arousal after having applied 6-minute mindfulness-based videos to university athletes from various sports. Thus, mindfulness-based interventions support sleep quality. As high sleep quality is an essential prerequisite for performance, mindful techniques might be especially useful for athletes (Bühlmayer, Birrer, Röthlin, Faude, & Donath, 2017).

Digital sleep interventions

When conducting research on sleep, sleep quality and sleep quantity need to be differentiated. While research on sleep quantity, i.e., total sleep time and sleep onset latency, is already highly elaborated and can be assessed by actigraphy or polysomnography, research on parameters influencing sleep quality is rather rare as it can only be measured by subjective ratings of recovery or sleepiness (for a review of sleep assessment methods see Ibáñez, Silva, & Cauli, 2018). As a high total sleep duration does not necessarily result in high feelings of recovery and low sleepiness, rather the individual sleep quality than quantity seems crucial, and therefore, should be particularly addressed in sleep interventions.

Online and smartphone applications

At first, before starting any intervention, athletes need to be sensitive concerning their individual sleep behavior by assessing their actual sleep situation. According to Ibáñez et al. (2018), a combination of objective and subjective assessment is recommended. This step can be digitally supported. The most common and easily accessible digital gadgets are web-based platforms and smartphone applications (Crivello, Barsocchi, Girolami, & Palumbo, 2019). Based on a medical assessment like sleep diaries and sleep questionnaires, they monitor the health status with only a few clicks and the results can be shared with health providers

such as the doctor or coach. These diaries or questionnaires retrospectively gather subjective information about athletes' sleep habits and well-being. Dependent on the respective software, athletes receive information about their sleep hygiene and by now recommendations to optimize recovery or sleep (Fietze, 2016). Besides the subjective rating of sleep quality some smartphone apps can even track sleep time, snore or body movements by placing the phone on the mattress during sleep. After this digital baseline assessment of athletes' sleep patterns, tailored interventions according to individual requirements (e.g., extend total sleep duration, reduce time to fall asleep by reducing presleep arousal or rumination) can be set. For this purpose, numerous, often free-of-charge apps are available for Android and iOS providing guided meditations, audiobooks or similar methods in order to support falling asleep or to establish an individual sleep routine. Widely-used apps are, for example, Pillow, Sleep Better, Headspace, Calm or Sleep (for a review of mobile phone interventions for sleep quality see Shin, Kim, & Grigsby-Toussaint, 2017). In this context, Huberty et al. (2021) have shown that a mindful meditation mobile app could foster mindfulness and sleep quality.

Wearables

As the use of smart technology in sports is increasing constantly, wearable devices such as smartwatches and fitness trackers are other promising technological approaches for sleep assessment and treatment (Vlahoyiannis, Sakkas, Manconi, Aphamis, & Giannaki, 2020). For instance, Seshadri, Drummond, Craker, Rowbottom, and Voos (2017) have demonstrated that wearable sensors allow more detailed insight into athletes' (physiological and psychological) demands than traditional monitoring methods. However, as the smart devices' validity is barely given, they are less a standardized medical tool than rather a supportive gadget (for review of sleep assessment devices see Ibáñez, Silva, Navarro, & Cauli, 2019). Examples for available features are Sleep Plus and

Abstract

Ger J Exerc Sport Res
<https://doi.org/10.1007/s12662-021-00771-1>
 © The Author(s) 2021

K. Klier · K. Seiler · M. Wagner

On the usability of digital sleep interventions in sports

Abstract

High sleep quality is highly related to better health and peak performance. Nowadays, multiple applications and platforms are available to track activity, to monitor heart rate, or to evaluate sleep quality. While activity tracking and heart rate monitoring are widely used, little is known about the potentials of digital tools to optimize sleep quality. Especially among athletes, who often suffer from reduced sleep quality because of full schedules and high competition performance pressure, interventions to maximize performance by optimizing recovery and sleep quality seem to be promising. In the present paper, we give an overview on existing research focusing on the potentials of digital interventions to enhance sleep quality among athletes. In particular, mindfulness-based digital interventions seem to be promising as they evidently foster high sleep quality and related health and performance patterns. Further, athletes can time- and cost-effectively integrate them into their daily routines. Future research is needed to empirically test the usability of digital features and suitable interventions to optimize sleep.

Keywords

Sports performance · Technology · Wearables · Virtual reality · Mindfulness

Serene for Polar® (Polar Electro GmbH Deutschland, Büttelborn, Germany) wearables, or Sleep Score and Relax for Fitbit® (Fitbit Germany GmbH, Frankfurt am Main, Germany) wearables, whereas Garmin® (Garmin Deutschland GmbH, Garching, Germany) provides sleep tracking and breathing exercises only via its Garmin connect app.

Virtual reality

Recently, studies have shown that the positive effects of mindfulness-based interventions can also be evoked by virtual mindfulness-based interventions (Kitson, Prpa, & Riecke, 2018). Virtual reality (VR) may facilitate getting

used to mindfulness practices because of its user-friendly, immersive surface (Seabrook et al., 2020). Moreover, in exploratory studies from Navarro-Harro et al. (2017) and Chandrasiri, Collett, Fassbender, and de Foe (2020), even a single mindful VR session was more efficient in terms of reducing negative thoughts and emotions compared to the traditional Mindfulness-Based Stress Reduction (MBSR) technique. Thus, virtual mindfulness-based interventions seem to be a promising approach to optimize health and recovery even though the feasibility and effects of these interventions needs to be empirically tested. Suitable VR-meditation apps (e.g., VR Relax Meditation & Sleep, Provata VR) are available for free or low-cost in smartphone and VR-glasses appstores.

Conclusion and future directions

Sleep is essential in terms of recovery, health, and peak performance by influencing physical, psychological, and cognitive functioning, whereas mindfulness-based techniques have been shown to improve sleep quality. The present paper provides an overview on the usability of digital mindfulness-based interventions to foster high sleep quality and associated health and performance aspects. We demonstrated that digital features could be used as both an assessment and an intervention tool. Regarding mindfulness-based interventions, apps and VR meditations seem particularly promising. However, future research is needed to gain deeper insight into the reliability and validity of digital sleep assessment and interventions.

In sum, the application of digital tools with the aim to optimize athletes' sleep habits without interfering in their daily lives seems to be a promising approach whose efficacy needs to be tested more precisely.

Corresponding address



Kristina Klier

Institut für Sportwissenschaft,
Forschungs- und Lehrgebiet
Gesundheit, Betriebliche
Gesundheitsförderung
und Prävention, Univer-
sität der Bundeswehr
München, Fakultät für
Humanwissenschaften
Werner-Heisenberg-Weg 39,
85577 Neubiberg, Germany
kristina.klier@unibw.de

Funding. Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

Declarations

Conflict of interest. K. Klier, K. Seiler and M. Wagner declare that they have no competing interests.

For this article no studies with human participants or animals were performed by any of the authors. All studies performed were in accordance with the ethical standards indicated in each case.

Open Access. This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

References

- Bonnar, D., Bartel, K., Kakoschke, N., & Lang, C. (2018). Sleep interventions designed to improve athletic performance and recovery: a systematic review of current approaches. *Sports medicine*, 48(3), 683–703. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0832-x>.
- Bühlmayer, L., Birrer, D., Röthlin, P., Faude, O., & Donath, L. (2017). Effects of mindfulness practice on performance-relevant parameters and performance outcomes in sports: a meta-analytical review. *Sports Medicine*, 47(11), 2309–2321. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0752-9>.
- Chandrasekaran, B., Fernandes, S., & Davis, F. (2020). Science of sleep and sports performance—a scoping review. *Science & Sports*, 35(1), 3–11. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2019.03.006>.
- Chandrasiri, A., Collett, J., Fassbender, E., & de Foe, A. (2020). A virtual reality approach to mindfulness

- skills training. *Virtual Reality*, 24(1), 143–149. <https://doi.org/10.1007/s10055-019-00380-2>.
- Claudino, J. G., Gabbet, T. J., de Sá Souza, H., Simim, M., Fowler, P., de Alcantara Borba, D., Melo, M., Bottino, A., Loturco, I., D'Almeida, V., Amadio, C. A., Cerca Serrão, J., & Nassis, P. G. (2019). Which parameters to use for sleep quality monitoring in team sport athletes? A systematic review and meta-analysis. *BMJ open sport & exercise medicine*, 5(1), e475. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2018-000475>.
- Collins, E., Cox, A., Wilcock, C., & Sethu-Jones, G. (2019). Digital games and mindfulness apps: comparison of effects on post work recovery. *JMIR mental health*, 6(7), e12853. <https://doi.org/10.2196/12853>.
- Crivello, A., Barsocchi, P., Girolami, M., & Palumbo, F. (2019). The meaning of sleep quality: a survey of available technologies. *IEEE Access*, 7, 167374–167390. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2953835>.
- Fietze, I. (2016). Sleep applications to assess sleep quality. *Sleep medicine clinics*, 11(4), 461468. <https://doi.org/10.1016/j.jsmc.2016.08.008>.
- Fullagar, H. H. K., Skorski, S., Duffield, R., Hammes, D., Coutts, A. J., & Meyer, T. (2015). Sleep and athletic performance: the effects of sleep loss on exercise performance, and physiological and cognitive responses to exercise. *Sports medicine*, 45(2), 161–186. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0260-0>.
- Gardner, F. L., & Moore, Z. E. (2004). A mindfulness-acceptance-commitment-based approach to athletic performance enhancement: theoretical considerations. *Behavior Therapy*, 35(4), 707–723. [https://doi.org/10.1016/S0005-7894\(04\)80016-9](https://doi.org/10.1016/S0005-7894(04)80016-9).
- Grandner, M. A. (2017). Sleep, health, and society. *Sleep medicine clinics*, 12(1), 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.jsmc.2016.10.012>.
- Halson, S. L. (2019). Sleep monitoring in athletes: motivation, methods, miscalculations and why it matters. *Sports medicine*, 49(10), 1487–1497. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01119-4>.
- Huberty, J. L., Green, J., Puzia, M. E., Larkey, L., Laird, B., Vranceanu, A.-M., Vlisides-Henry, R., & Irwin, M. R. (2021). Testing a mindfulness meditation mobile app for the treatment of sleep-related symptoms in adults with sleep disturbance: a randomized controlled trial. *PLoS One*, 16(1), e244717. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0244717>.
- Hülshager, U. R., Feinholdt, A., & Nübold, A. (2015). A low-dose mindfulness intervention and recovery from work: effects on psychological detachment, sleep quality, and sleep duration. *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, 88(3), 464–489. <https://doi.org/10.1111/joop.12115>.
- Ibáñez, V., Silva, J., & Cauli, O. (2018). A survey on sleep assessment methods. *PeerJ*, 6, e4849. <https://doi.org/10.7717/peerj.4849>.
- Ibáñez, V., Silva, J., Navarro, E., & Cauli, O. (2019). Sleep assessment devices: Types, market analysis, and a critical view on accuracy and validation. *Expert Review of Medical Devices*, 16(12), 1041–1052. <https://doi.org/10.1080/17434440.2019.1693890>.
- Jones, B. J., Kaur, S., Miller, M., & Spencer, R. M. C. (2020). Mindfulness-based stress reduction benefits psychological well-being, sleep quality, and athletic performance in female collegiate rowers. *Frontiers in Psychology*, 11, 572980. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.572980>.

Brief Communication

- Kaufman, K. A., Glass, C. R., & Arnkoff, D. B. (2009). Evaluation of mindful sport performance enhancement (MSPE): a new approach to promote flow in athletes. *Journal of Clinical Sport Psychology*, 3(4), 334–356. <https://doi.org/10.1123/jcsp.3.4.334>.
- Kellmann, M., Bertollo, M., Bosquet, L., Brink, M., Coutts, A. J., Duffield, R., Erlacher, D., Halson, S. L., Hecksteden, A., Heidari, J., Kallus, K. W., Meeusen, R., Mujika, I., Robazza, C., Skorski, S., Venter, R., & Beckmann, J. (2018). Recovery and performance in sport: consensus statement. *International journal of sports physiology and performance*, 13(2), 240–245. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0759>.
- Kitson, A., Prpa, M., & Riecke, B. E. (2018). Immersive interactive technologies for positive change: a scoping review and design considerations. *Frontiers in Psychology*, 9, 1354. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01354>.
- Kölling, S., Duffield, R., Erlacher, D., Venter, R., & Halson, S. L. (2019). Sleep-related issues for recovery and performance in athletes. *International journal of sports physiology and performance*, 14(2), 144–148. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0746>.
- Lastella, M., Lovell, G. P., & Sargent, C. (2014). Athletes' precompetitive sleep behaviour and its relationship with subsequent precompetitive mood and performance. *European journal of sport science*, 14(Suppl 1), 123–130. <https://doi.org/10.1080/17461391.2012.660505>.
- Li, C., Kee, Y. H., & Lam, L. S. (2018). Effect of brief mindfulness induction on university athletes' sleep quality following night training. *Frontiers in psychology*, 9, 508. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00508>.
- Mrazek, A. J., Mrazek, M. D., Cheralini, C. M., Cloughesy, J. N., Cynman, D. J., Gougis, L. J., Landry, A. P., Reese, J. V., & Schooler, J. W. (2019). The future of mindfulness training is digital, and the future is now. *Current Opinion in Psychology*, 28, 81–86. <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2018.11.012>.
- Navarro-Haro, M. V., López-Del-Hoyo, Y., Campos, D., Linehan, M. M., Hoffman, H. G., García-Palacios, A., Modrego-Alarcón, M., Boraio, L., & García-Campayo, J. (2017). Meditation experts try virtual reality mindfulness: a pilot study evaluation of the feasibility and acceptability of virtual reality to facilitate mindfulness practice in people attending a mindfulness conference. *PLoS one*, 12(11), e187777. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187777>.
- Nedelec, M., Aloulou, A., Duforez, F., Meyer, T., & Dupont, G. (2018). The variability of sleep among elite athletes. *Sports medicine—open*, 4(1), 34. <https://doi.org/10.1186/s40798-018-0151-2>.
- Rusch, H. L., Rosario, M., Levison, L. M., Olivera, A., Livingston, W. S., Wu, T., & Gill, J. M. (2019). The effect of mindfulness meditation on sleep quality: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1445(1), 5–16. <https://doi.org/10.1111/nyas.13996>.
- Seabrook, E., Kelly, R., Foley, F., Theiler, S., Thomas, N., Wadley, G., & Nedeljkovic, M. (2020). Understanding how virtual reality can support mindfulness practice: mixed methods study. *Journal of medical Internet research*, 22(3), e16106. <https://doi.org/10.2196/16106>.
- Seshadri, D. R., Drummond, C., Craker, J., Rowbottom, J. R., & Voos, J. E. (2017). Wearable devices for sports: new integrated technologies allow coaches, physicians, and trainers to better understand the physical demands of athletes in real time. *IEEE Pulse*, 8(1), 38–43. <https://doi.org/10.1109/MPUL.2016.2627240>.
- Shin, J. C., Kim, J., & Grigsby-Toussaint, D. (2017). Mobile phone interventions for sleep disorders and sleep quality: systematic review. *JMIR MHealth and UHealth*, 5(9), e131. <https://doi.org/10.2196/mhealth.7244>.
- Vlahoyiannis, A., Sakkas, G. K., Manconi, M., Aphasias, G., & Giannaki, C. D. (2020). A critical review on sleep assessment methodologies in athletic populations: factors to be considered. *Sleep medicine*, 74, 211–223. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2020.07.029>.
- Walsh, N. P., Halson, S. L., Sargent, C., Roach, G. D., Nédélec, M., Gupta, L., Leeder, J., Fullagar, H. H., Coutts, A. J., Edwards, B. J., Pullinger, S. A., Robertson, C. M., Burniston, J. G., Lastella, M., Le Meur, Y., Hausswirth, C., Bender, A. M., Grandner, M. A., & Samuels, C. H. (2020). Sleep and the athlete: narrative review and 2021 expert consensus recommendations. *British journal of sports medicine*. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-102025>.



Article

Agreement of Sleep Measures—A Comparison between a Sleep Diary and Three Consumer Wearable Devices

Kristina Klier * and Matthias Wagner

Fakultät für Humanwissenschaften, Institut für Sportwissenschaft, Universität der Bundeswehr München, 85577 Neubiberg, Germany

* Correspondence: kristina.klier@unibw.de; Tel.: +49-89-6004-2382

Abstract: Nowadays, self-tracking and optimization are widely spread. As sleep is essential for well-being, health, and peak performance, the number of available consumer technologies to assess individual sleep behavior is increasing rapidly. However, little is known about the consumer wearables' usability and reliability for sleep tracking. Therefore, the aim of the present study was to compare the sleep measures of wearable devices with a standardized sleep diary in young healthy adults in free-living conditions. We tracked night sleep from 30 participants (19 females, 11 males; 24.3 ± 4.2 years old). Each wore three wearables and simultaneously assessed individual sleep patterns for four consecutive nights. Wearables and diaries correlated substantially regarding time in bed (Range CCC_{Lin} : 0.74–0.84) and total sleep time (Range CCC_{Lin} : 0.76–0.85). There was no sufficient agreement regarding the measures of sleep efficiency (Range CCC_{Lin} : 0.05–0.34) and sleep interruptions (Range CCC_{Lin} : -0.02 – 0.10). Finally, these results show wearables to be an easy-to-handle, time- and cost-efficient alternative to tracking sleep in healthy populations. Future research should develop and empirically test the usability of such consumer sleep technologies.

Keywords: concordance; sleep; sleep assessment; sleep diaries; self-tracking; wearable devices



Citation: Klier, K.; Wagner, M. Agreement of Sleep Measures—A Comparison between a Sleep Diary and Three Consumer Wearable Devices. *Sensors* **2022**, *22*, 6189. <https://doi.org/10.3390/s22166189>

Academic Editor: Ki H. Chon

Received: 20 July 2022

Accepted: 16 August 2022

Published: 18 August 2022

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

The important role of high sleep quality for well-being, health, and peak performance is well acknowledged [1–3]. In terms of health literacy, proactive and targeted dealing with own sleep patterns is also becoming increasingly relevant [4,5]. A popular trend in this context is self-tracking by using wearable consumer sleep technologies such as fitness trackers or smartwatches as easy to handle and time- and cost-efficient tools [6–8]. Wearables are portable sensors that track activity combined with the recording of physiological parameters such as heart rate or body temperature. Connected to a mobile application, this information is usually available to the consumer in graphic form on an ad hoc basis. However, the measurement accuracy of respective devices and the requirements for handling the collected data still need to be seen as critical [9–12]. Hence, there is a need for research investigating the measurement accuracy, especially of market-leading devices, in order to prove the validity and reliability of their outcomes [13]. As many people already use such wearables to track their everyday activities, the additional recording of sleep quality using the same system is cost-efficient and highly feasible [14,15]. It might be considered that wearables measure what they claim to measure, but at the same time, due to the technical development of the devices and the underlying algorithms, which are constantly adapted, it can be assumed that they generally do not come 100% close to the values of the gold standard or even do not assess all parameters measurable in polysomnography (PSG; [16–21]). It should be noted that lacking access to the raw data of wearables does not allow any quantification or overall associated statistical comparison of sleep stages. Researchers are currently approaching this problem by developing their own algorithms or programming neural networks to capture raw data [22–25]. This, in turn,

reveals the need for research regarding the feasibility and practical implications for the devices' usability [26–28]. Accordingly, as most of the sleep research has been conducted in the laboratory setting and little is known about the consumer wearable devices' ability to measure sleep in free-living conditions, the aim of the present study was to assess the level of agreement of sleep measures between a standardized sleep diary, i.e., the gold standard in non-laboratory conditions, and three available consumer sleep technologies.

2. Materials and Methods

2.1. Study Conception and Procedure

To compare the sleep measures from the sleep diary and three common consumer wearable devices, participants were asked to assess their sleep for four consecutive nights. The study was designed as a within-subject protocol and lasted ten weeks overall. Figure 1 illustrates the examined study protocol.

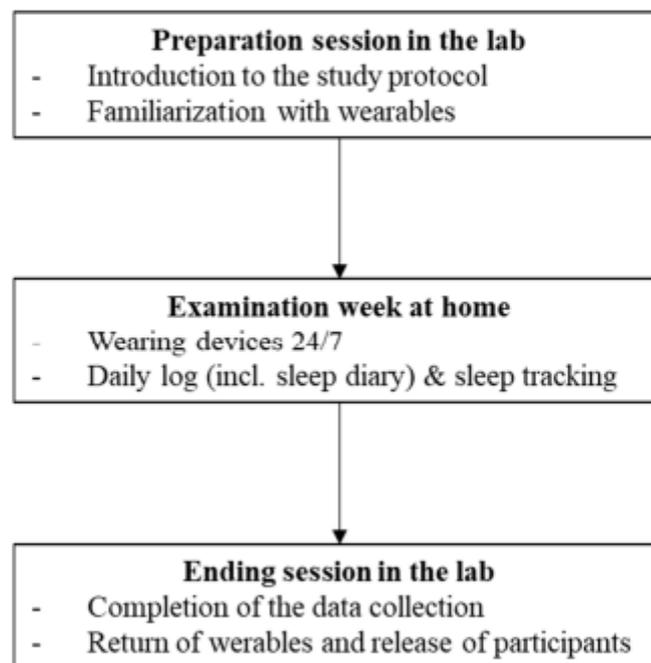


Figure 1. Flow Chart of the examined study protocol.

The investigations started on Mondays with the collection of relevant anthropometric data and an introduction to the assessment procedure. In addition to creating customer accounts, the latter included setting up the devices individually, explaining how to fill in the daily log (including the sleep diary), and finally clarifying open questions. The wearables should always be worn on the non-dominant wrist. Their arrangement was randomly assigned. From Tuesday to Friday, participants kept their daily routine, during which they wore the wearables with as few interruptions as possible. Every morning after filling in the log, participants sent the tracked sleep data as screenshots from the watch-related apps/platforms to the study administration. After these four consecutive nights, the investigation ended on Fridays with the return of the wearables and reception of individual feedback on handling the devices as well as on the subjective rating of the wearables and their measurements. Finally, the wearables were reset and the accounts deleted in order to prepare them for the following subjects.

2.2. Participants

Thirty participants (mean age = 24.3 years (SD 4.3; Range 19–35), mean BMI = 23.3 (SD 1.9; Range 20.3–29.3), 11 males, 19 females) were recruited via students' and employees' mailing lists in the authors' institutional context. The university's ethics committee approved all procedures, and all participants provided informed written consent. The research was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki [29]. As participation was voluntary and did not involve any further risks, healthy young adults who did not suffer from diagnosed sleep disturbances, were injured, ill, or pregnant were included in the study. Based on the medium effect size reported in Lee et al. [30], a priori G*Power analysis [31] predicted a required sample size of $N = 26$ ($p = 0.05$, $d = 0.5$, $1 - \beta = 0.80$).

2.3. Materials

Three different wearables were used for the objective measurement of sleep. We chose wearables from Garmin®, Polar®, and Fitbit® as these are well-known brands, often used, and recommended (see, for example, [9,32]). All three devices measure movement using a 3D accelerometer and heart rate based on photoplethysmography. Technical specifications of the individual devices can be found in Table 1.

Table 1. Technical specifications of the used wearables.

Device Name	Device Type	Measurement Strategy	PPG Technicalities	Battery Life
Fitbit Versa® 2	Wrist-worn wearable	PPG Accelerometer	Contact PPG Red LED Reflective	4+ days
Garmin Fenix® 5X Plus	Wrist-worn wearable	PPG Accelerometer Gyroscope	Contact PPG Green LED Reflective	≤20 days
Polar Ignite®	Wrist-worn wearable	PPG Accelerometer	Contact PPG Green LED Reflective	≤5 days

PPG = photoplethysmography; LED = light emitting diode.

Versa® 2 is a wrist smartwatch from Fitbit® Inc., San Francisco, CA, USA (model year 2019) that is located in the middle price segment and is designed for holistic use in daily life. In addition to the classic wristwatch functions, it is mainly characterized by the GPS function and 24-h heart rate monitoring. Sleep and relaxation modules as well as other available apps broaden the functioning spectrum. Hence, the compatibility with IOS and Android supports these usage options. *Fenix® 5X Plus* is a wrist sports watch from Garmin® Ltd., Olathe, KS, USA (model year 2018). As a GPS multisport watch, it is one of the high-end products (middle-to-upper price segment) of the current market, which can be used both in everyday life and specifically as a training watch. According to the compatibility with IOS and Android, there are a large number of overarching usage functions. *Ignite®* is a wrist sports watch from Polar Electro® Oy, Kempele, Finland (model year 2019). As a fitness watch in the middle price segment, it is primarily designed for analyzing and controlling physical and sporting activities. Numerous training modes, the recording and monitoring of several vital parameters, as well as the compatibility with IOS and Android, enable the watch to be used in various ways.

As it is not only important to observe quantitative parameters for a comprehensive understanding of sleep, the combination of objective and subjective measurement methods is recommended. Therefore, the standardized evening-morning protocol [33], which is a valid tool in sleep medicine, was included for the subjective assessment of sleep. Immediately before going to bed and after waking up, six or rather eight questions on the state of mood and sleep quality needed to be answered. Usually (i.e., mainly in a clinical setting), this daily logging covers a period of two weeks. An individual period of time can be implemented for healthy subjects or to estimate a tendency. For evaluation, the means of time in bed, sleep onset latency, sleep duration, and waking frequency and duration were taken. Mood and tiredness in the morning as well as in the evening were also averaged. However, for interpretation, the calculation of sleep efficiency is more decisive. Hereby, val-

ues between 80 and 90% are considered normal, although a high subjective sleep efficiency does not necessarily imply a good objective sleep quality.

2.4. Data Analysis

We used the data processing programs Excel (Microsoft, 2019) for data preparation and SPSS Statistics Version 27 (IBM, Inc., Chicago, IL, USA, 2021) for the statistical analysis. The level of significance was set a priori at $\alpha = 0.05$. To analyze the wearables' usability, we performed descriptive statistics and conducted an examination of the devices' success or failure. For proving the reliability, we first created Bland-Altman plots (B-A-P; [34]) for graphic interpretation and the detection of outliers. Second, we calculated the Lin's concordance coefficient (CCC_{Lin} ; [35]). Third, to answer the question of whether mean value differences scatter systematically over the range of the x-axis, we verified the assumption of normality of the data using the Shapiro-Wilk test (S-W-T; [36]) and assessed the assumption of homoscedasticity using the modified Breusch-Pagan test (B-P-T; [37]). If data were not normally or heteroscedastic distributed, we performed a logarithmic transformation. For a better interpretation of the resulting Limits of Agreements of the original measurements, we performed an inverse transformation using the 'antilog' function [38] and, finally, computed the percentage deviation of mean value differences. It should be noted that, in the statistical analysis, only those sleep parameters were included that were available respectively calculable for the sleep diary and all three wearables: time in bed (TIB), total sleep time (TST), sleep efficiency (SE), sleep stages (SS), and sleep interruptions (WASO). All variables were calculated in minutes, except SE which is expressed as a percentage. Unless otherwise stated, all data are given as means and standard deviations ($\bar{x} \pm SD$).

3. Results

The following results section is split in line with the two main analyses we have performed. To gain first insights, we first present the descriptively analyzed sleep measurements. We then focus on the comparison of the wearables and the sleep diary. This agreement section is partitioned according to the considered sleep parameters.

3.1. Descriptives

In total, 120 nights were recorded with an overall failure rate of 4.1% (Fitbit® 9.8%, Garmin® 0%, Polar® 1.7%). Either hardware/software errors or human errors could have influenced the outcome. For example, whereas data loss was caused by the software's inability to detect any data or the device's inability to connect with the software and download data, participants might have failed to use the devices' "sleep mode" or correctly document and save the nightly recordings. In line with the examined missing sleep values, participants rated the handling and form of data presentation/availability poorest for Fitbit®, whereas Polar® and Garmin® ranked equally best.

Participants' sleep characteristics are presented in Table 2. Although participants slept while wearing multiple devices on one arm, mean values of sleep variables were in the normal range of prevailing sleep guidelines [39].

Table 2. Mean values of sleep variables.

	N	TIB (min)	TST (min)	SS (min)			SE (%)	WASO (min)
				REM	Deep	Light		
Fitbit Versa® 2	29	463.1 ± 53.0	423.8 ± 45.6	89.9 ± 29.7	77.8 ± 18.0	254.6 ± 40.8	88.2 ± 1.9	55.9 ± 11.8
Garmin Fenix® 5X Plus	30	478.3 ± 47.0	472.6 ± 45.9	122.8 ± 43.2	65.9 ± 32.6	283.2 ± 35.9	98.7 ± 1.3	6.4 ± 6.8
Polar Ignite®	30	459.3 ± 48.8	430.2 ± 45.4	102.4 ± 18.8	78.0 ± 20.6	245.0 ± 37.8	93.6 ± 2.4	29.1 ± 11.3
Sleep Diary	30	491.6 ± 58.5	446.2 ± 47.7	not available			91.1 ± 5.9	6.4 ± 7.3

TIB = time in bed; TST = total sleep time; SS = sleep stages; REM = rapid eye movement; Deep = deep sleep; Light = light sleep; SE = sleep efficiency; WASO = wake after sleep onset.

A first graphical comparison between the devices in the further inferential statistical analysis considering sleep variables is shown in Figure 2.

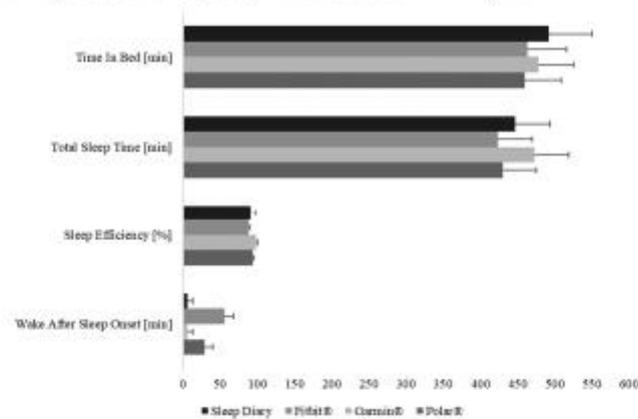


Figure 2. Overview of the analyzed sleep variables presenting time parameters in minutes and sleep efficiency in percentage.

3.2. Agreement between Wearables and Sleep Diary

For the inferential statistical analysis at first, Bland-Altman plots were created for the variables TIB, TST, SE, and WASO to graphically illustrate the agreement between the devices and the sleep diary (see Figures 3–14; for an overview of calculated values see Table A1 in Appendix A). The x-axis is the mean of both assessment tools, and the y-axis represents the diary minus the device with the line of equality (LoE) plotted at zero. Dotted lines are two standard deviations from the mean ($\bar{x} \pm 1.96 \cdot SD$), and the highlighted sectors are the 95% confidence intervals (CI) of the mean and the limits of agreement (LoA). After removing outliers, and analyzing the reliability of the devices, we compared their measures with the sleep diary by calculating CCC_{Lin} as it allows us to quantify existing intraindividual concordance due to its comprising accuracy and precision subcomponent. If both measurement methods were completely in agreement, both the location and scale shift (accuracy) = 0, and the precision (correlation) $r = 1$, i.e., $CCC_{Lin} = 1$. Results were classified in addition to Cohen's Kappa [40]. To calculate the mean differences between the devices and the sleep diary respectively, their percentage deviations, normality, and homoscedasticity of data must be given. Notably, no conclusions can be drawn about the sleep stages' reliability because they have not been assessed by the sleep diary.

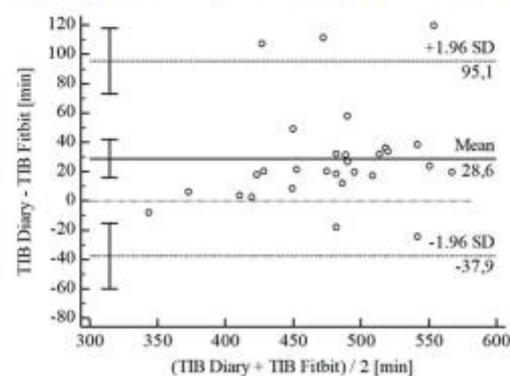


Figure 3. Bland-Altman plot for TIB Fitbit® vs. diary.

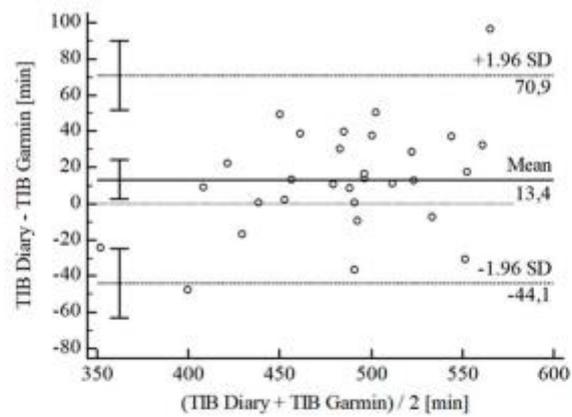


Figure 4. Bland-Altman plot for TIB Garmin® vs. diary.

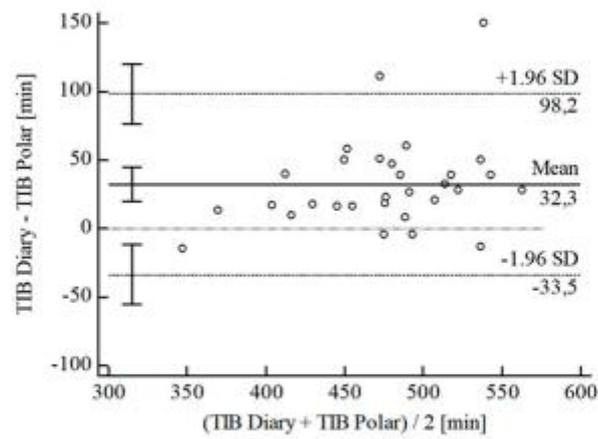


Figure 5. Bland-Altman plot for TIB Polar® vs. diary.

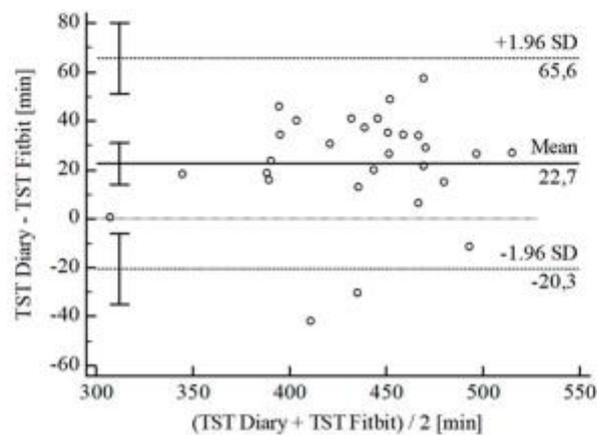


Figure 6. Bland-Altman plot for TST Fitbit® vs. diary.

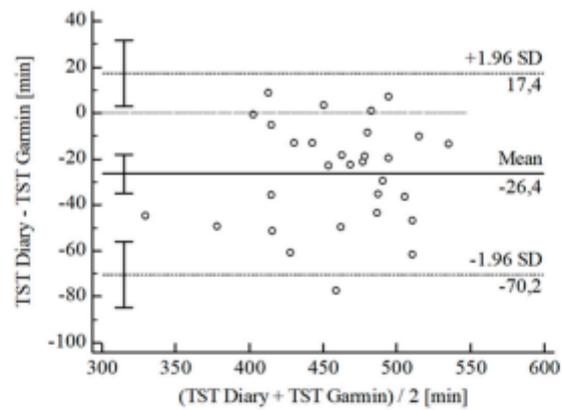


Figure 7. Bland-Altman Plot for TST Garmin® vs. diary.

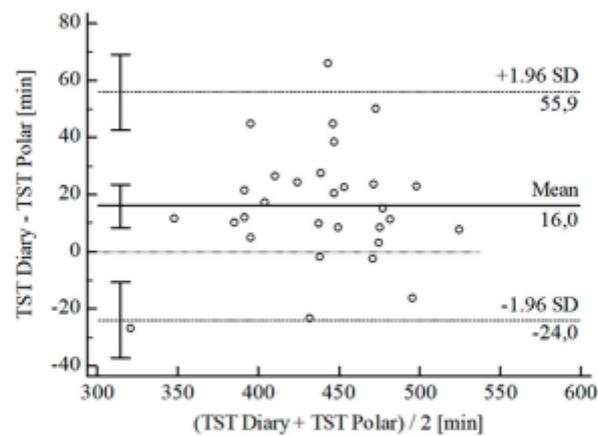


Figure 8. Bland-Altman plot for TST Polar® vs. diary.

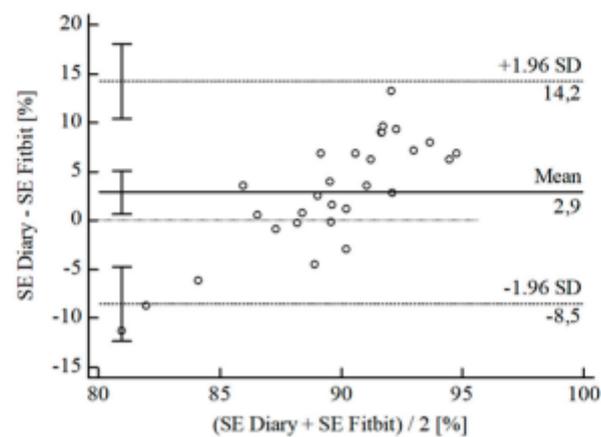


Figure 9. Bland-Altman plot for SE Fitbit® vs. diary.

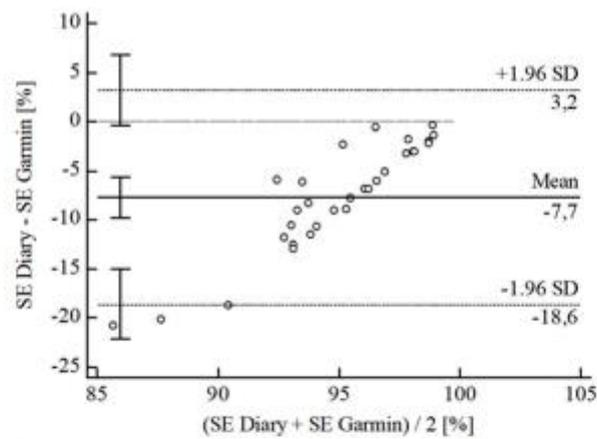


Figure 10. Bland-Altman plot for SE Garmin[®] vs. diary.

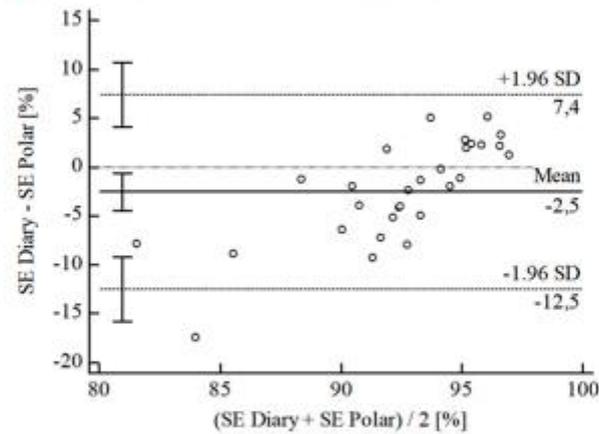


Figure 11. Bland-Altman plot for SE Polar[®] vs. diary.

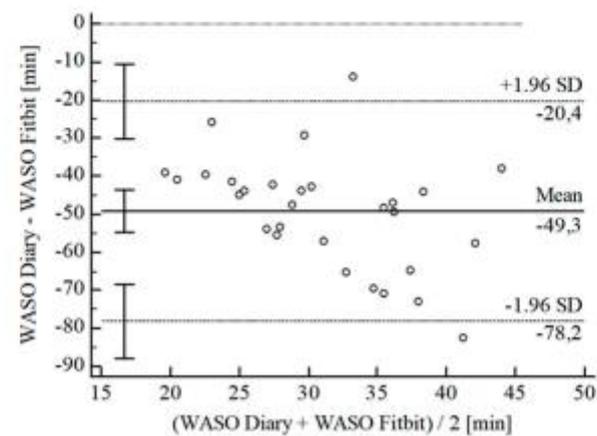


Figure 12. Bland-Altman Plot for WASO Fitbit[®] vs. diary.

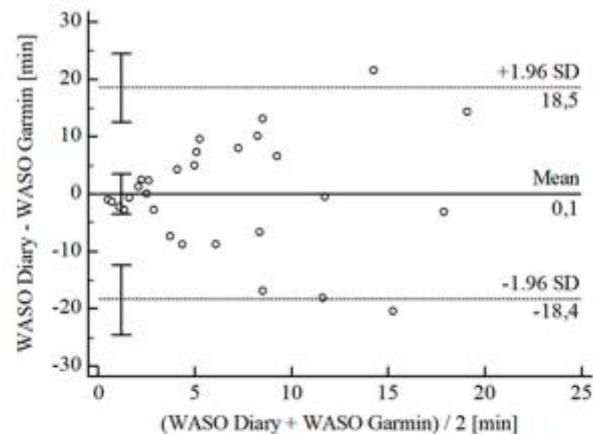


Figure 13. Bland-Altman Plot for WASO Garmin[®] vs. diary.

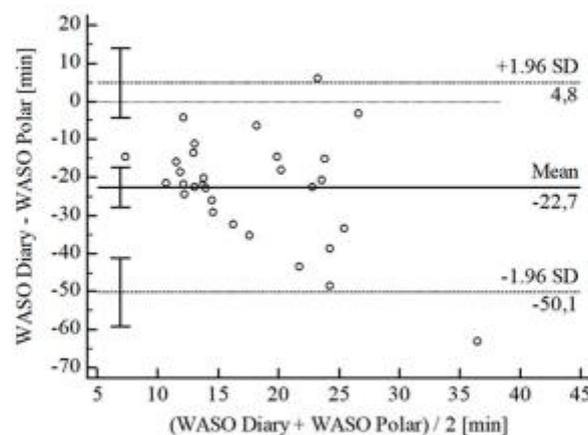


Figure 14. Bland-Altman Plot for WASO Polar[®] vs. diary.

For TIB, the B-A-P of the Fitbit[®] compared to the diary showed one measure outlying the 95% CI of the LoA (see Figure 3). After its removal, the computed agreement between the Fitbit[®] and the diary was substantial ($CCC_{Lin} = 0.75$). As data were not normally distributed [$W(28) = 0.86$; $p = 0.001$], we performed a Johnson transformation [41]. Although transformed data again did not fit the assumption of normality [$W(28) = 0.90$; $p = 0.010$], the B-P-T revealed a homoscedastic distribution with $\chi^2(1) = 0.02$; $p = 0.891$. Hence, we calculated a mean difference of $Diary-Fitbit^{\otimes} \bar{x} = -0.15$ units ($SD = 0.53$; 95% CI $[-0.35; 0.06]$). The LoE was within this 95% CI, and in general, 95% of the values were within a LoA-interval between -1.18 units (95% CI $[-1.53; -0.82]$; Lower LoA) and 0.89 units (95% CI $[0.53; 1.24]$; Upper LoA). The inverse transformation of data resulted in a mean difference of $\bar{x} = 0.86$ units ($SD = 1.70$; 95% CI $[0.70; 1.06]$) within a LoA-interval between 0.31 units (95% CI $[0.22; 0.44]$; Lower LoA) and 2.44 units (95% CI $[1.70; 3.46]$; Upper LoA), i.e., by chance, the Fitbit[®] underestimated TIB on average by 5.33% (95% CI $[2.82\%; 7.84\%]$) with a range from -7.36% (95% CI $[-11.71\%; -3.02\%]$) overestimation to 18.02% (95% CI $[13.67\%; 22.36\%]$) underestimation of the subjective TIB. Including LoA-CI intervals, the maximal deviation was between 0.22 units (-11.71%) overestimation and 3.46 units (22.36%) underestimation.

The B-A-P comparing Garmin® and the diary showed one measure outlying the 95% CI of the LoA (see Figure 4). After its removal, the computed agreement between the Garmin® and the diary was almost perfect ($CCC_{Lin} = 0.84$). Data were normally distributed [$W(29) = 0.96$; $p = 0.370$], and the B-P-T showed a homoscedastic distribution with $\chi^2(1) = 0.00$; $p = 0.968$. The mean difference of TIB *Diary-Garmin®* was $\bar{x} = 10.54$ min (SD = 25.24 min; 95% CI [0.93 min; 20.14 min]). The LoE was within the 95% CI, and the LoA-interval ranged from -38.95 min (95% CI [-55.55 min; -22.34 min]; *Lower LoA*) and 60.02 min (95% CI [43.41 min; 76.62 min]; *Upper LoA*), i.e., the Garmin® underestimated TIB on average by 2.01% (95% CI [-0.05% ; 4.08%]) with a range from -8.64% (95% CI [-12.21% ; -5.06%]) overestimation to 12.66% (95% CI [9.09%; 16.23%]) underestimation of the subjective TIB. Including LoA-CI intervals, the maximal deviation was between -55.55 min (-12.21%) overestimation and 76.62 min (16.23%) underestimation.

The B-A-P comparing Polar® and the diary showed one measure outlying the 95% CI of the LoA (see Figure 5). After its removal, the computed agreement between the Polar® and the diary was substantial ($CCC_{Lin} = 0.74$), and S-W-T assumed normality [$W(29) = 0.94$; $p = 0.077$]. According to the B-P-T, the distribution was homoscedastic with $\chi^2(1) = 0.01$; $p = 0.912$. The mean difference of TIB *Diary-Polar®* was $\bar{x} = 28.30$ min (SD = 25.70 min; 95% CI [18.52 min; 38.08 min]). The LoE was within the 95% CI, and the LoA-interval ranged from -22.08 min (95% CI [-38.98 min; -5.17 min]; *Lower LoA*) to 78.67 min (95% CI [61.77 min; 95.58 min]; *Upper LoA*), i.e., the Polar® underestimated TIB on average by 5.90% (95% CI [3.83%; 7.97%]) with a range from -4.77% (95% CI [-8.35% ; -1.19%]) overestimation to 16.57% (95% CI [12.99%; 20.15%]) underestimation of the subjective TIB. Including LoA-CI intervals, the maximal deviation was between -38.98 min (-8.35%) overestimation and 95.58 min (20.15%) underestimation.

For TST, the B-A-P comparing the Fitbit® and the diary showed one measure outlying the 95% CI of the LoA (see Figure 6). After its removal, the computed agreement between the Fitbit® and the diary was almost perfect ($CCC_{Lin} = 0.83$). Data were normally distributed [$W(28) = 0.94$; $p = 0.108$], and also the B-P-T revealed a homoscedastic distribution with $\chi^2(1) = 0.16$; $p = 0.686$. The mean difference of *Diary-Fitbit®* was $\bar{x} = 24.96$ min (SD = 18.37 min; 95% CI [17.84 min; 32.09 min]). The LoE was within the 95% CI, and the LoA-interval ranged from -11.04 min (95% CI [-23.36 min; 1.28 min]; *Lower LoA*) to 60.96 min (95% CI [48.64 min; 73.28 min]; *Upper LoA*), i.e., the Fitbit® underestimated TST on average by 5.72% (95% CI [4.11%; 7.35%]) with a range from -2.46% (95% CI [-5.26% ; 0.34%]) overestimation to 13.91% (95% CI [11.11%; 16.71%]) underestimation of the subjective TST. Including LoA-CI intervals, the maximal deviation was between -23.36 min (-5.26%) overestimation and 73.28 min (16.71%) underestimation.

The B-A-P comparing the Garmin® and the diary showed that all measures were within the 95% CI of the LoA (see Figure 7). The computed agreement between the Garmin® and the diary was substantial ($CCC_{Lin} = 0.76$), and also the S-W-T showed a normal [$W(30) = 0.97$; $p = 0.473$] as well as the B-P-T a homoscedastic distribution [$\chi^2(1) = 0.22$; $p = 0.637$]. The mean difference of *Diary-Garmin®* was calculated with $\bar{x} = -26.40$ min (SD = 22.36 min; 95% CI [-34.75 min; -18.05 min]). The LoE was within this 95% CI, and the LoA-interval ranged from -70.23 min (95% CI [-84.67 min; -55.80 min]; *Lower LoA*) and 17.43 min (95% CI [3.00 min; 31.87 min]; *Upper LoA*), i.e., by chance, the Garmin® overestimated TST on average by -5.86% (95% CI [-7.78% ; -3.94%]) with a range from -15.93% (95% CI [-19.24% ; -12.61%]) overestimation to 4.20% (95% CI [0.89%; 7.52%]) underestimation of the subjective TST. Including LoA-CI intervals, the maximal deviation was between -84.67 min (-19.24%) overestimation and 31.87 min (7.52%) underestimation.

The B-A-P comparing Polar® and the diary showed that all measures were within the 95% CI of the LoA (see Figure 8). The computed agreement between the Polar® and the diary was almost perfect ($CCC_{Lin} = 0.85$). The S-W-T assumed normality [$W(30) = 0.97$; $p = 0.485$], and the B-P-T revealed a homoscedastic distribution of the measures with $\chi^2(1) = 0.10$; $p = 0.756$. The mean difference of TST *Diary-Polar®* was $\bar{x} = 15.95$ min (SD = 20.38 min; 95% CI [8.34 min; 23.56 min]). The LoE was within 95% CI, and the LoA-

interval ranged from -24.00 min (95% CI $[-7.15$ min; -10.84 min]; *Lower LoA*) to 55.90 min (95% CI $[42.74$ min; 69.05 min]; *Upper LoA*), i.e., the Polar® underestimated TST on average by 3.59% (95% CI $[1.80\%$; 5.38%]) with a range from -5.82% (95% CI $[-8.92\%$; -2.72%]) overestimation to 13.00% (95% CI $[9.90\%$; 16.10%]) underestimation of the subjective TST. Including LoA-CI intervals, the maximal deviation was between -37.15 min (-8.92%) overestimation and 69.05 min (16.10%) underestimation.

For SE, the B-A-P comparing Fitbit® and the diary showed that all measures were within the 95% CI of the LoA (see Figure 9). Calculations resulted in a very weak agreement between the Polar® and the diary ($CCC_{Lin} = 0.12$), although the S-W-T showed a normal $[W(29) = 0.96$; $p = 0.327]$ and the B-P-T a homoscedastic distribution $[\chi^2(1) = 0.49$; $p = 0.486]$. The mean difference of *Diary-Fitbit®* was $\bar{x} = 2.87$ min (SD = 5.79 min; 95% CI $[0.67$ min; 5.08 min]). The LoE was within the 95% CI, and the LoA-interval ranged from -8.47 min (95% CI $[-12.28$ min; -4.67 min]; *Lower LoA*) to 14.22 min (95% CI $[10.41$ min; 18.03 min]; *Upper LoA*), i.e., the Fitbit® underestimated SE on average by 3.01% (95% CI $[0.51\%$; 5.51%]) with a range from -9.87% (95% CI $[-14.19\%$; -5.55%]) overestimation to 15.89% (95% CI $[11.57\%$; 20.21%]) underestimation of the subjective SE. Including LoA-CI intervals, the maximal deviation was between -12.28 min (-14.19%) overestimation and 18.03 min (20.21%) underestimation.

The B-A-P comparing Garmin® and the diary showed that all measures were within the 95% CI of the LoA (see Figure 10), but calculations resulted in no agreement between Garmin® and the diary ($CCC_{Lin} = 0.05$). Thus, according to Landis and Koch [40], data interpretation of $CCC_{Lin} \leq 0.10$ is not robust. We did not conduct further statistical analysis of SE Garmin® vs. the diary.

The B-A-P comparing Polar® and the diary showed one measure outlying the 95% CI of the LoA (see Figure 11). After its removal, the computed agreement between Polar® and the diary was small ($CCC_{Lin} = 0.34$) whilst the S-W-T showed a normal $[W(29) = 0.96$; $p = 0.240]$ and the B-P-T a homoscedastic distribution $[\chi^2(1) = 0.98$; $p = 0.322]$. The mean difference of *SE Diary-Polar®* was $\bar{x} = -2.03$ min (SD = 4.30 min; 95% CI $[-3.67$ min; -0.40 min]). The LoE was within the 95% CI, and the LoA-interval ranged from -10.47 min (95% CI $[-13.30$ min; -7.64 min]; *Lower LoA*) to 6.40 min (95% CI $[3.57$ min; 9.23 min]; *Upper LoA*), i.e., Polar® overestimated SE on average by -2.32% (95% CI $[-4.12\%$; -0.51%]) with a range from -11.62% (95% CI $[-14.74\%$; -8.50%]) overestimation to 6.98% (95% CI $[3.86\%$; 10.10%]) underestimation of the subjective SE. Including LoA-CI intervals, the maximal deviation was between -13.30 min (-14.74%) overestimation and 9.23 min (10.10%) underestimation.

For WASO, the B-A-P comparing Fitbit® and the diary showed that all measures were within the 95% CI of the LoA (see Figure 12). However, calculations resulted in no agreement between Fitbit® and the diary ($CCC_{Lin} = -0.01$), for which reason we did not conduct further statistical analysis.

The B-A-P comparing Garmin® and the diary showed that all measures were within the 95% CI of the LoA (see Figure 13). Again, calculations resulted in no agreement between Garmin® and the diary ($CCC_{Lin} = 0.10$), and, referring to Landis and Koch [40], further statistical analysis would not be robust.

The B-A-P comparing Polar® and the diary showed one measure outlying the 95% CI of the LoA (see Figure 14). After its removal, calculations resulted in no agreement between Polar® and diary ($CCC_{Lin} = -0.02$). We did not conduct further statistical analysis.

4. Discussion

The aim of the present study was to assess the level of agreement of sleep measures between a sleep diary and three common consumer wearable devices. By comparing the wearables' sleep measures with the subjective gold standard sleep diary, we wanted to test the devices as reliable tools for daily sleep assessment in young healthy adults in free-living conditions. Although sleep variables originate from the same objective sleep/wake experience of the individual, each assessment method depends on different source data to calculate these values. Whereas the wearables infer wake and sleep phases from changes in

the amount of body movement and heart rate variability detected on the persons' wrists, the sleep diary relies on the memory of the individual about their sleep/wake experience of the previous night. Thus, as each method can assess many of the same sleep/wake variables, it is reasonable to expect some agreement, but, at the same time, there might be substantial discrepancies due to the distinct source data.

For comprehensive proceeding, data collection was conducted over a period of four consecutive nights. Notably, wearables differed in all measurements: Despite zero missing rate, the Garmin® device overestimated total sleep duration and was not able to detect sleep stages well. In contrast, the Fitbit® device was more sensitive although wake times seemed considerably too long. At last, the Polar® device did not only offer the most various parameters but also came closest to basic physiological sleep characteristics (e.g., 15–20% deep and REM sleep, 55–60% light sleep). In line with current literature, our results show that the wearables' measures of TIB and TST can be considered reliable when compared with a sleep diary in healthy young adults in free-living conditions [30,42]. However, reliability might not be on hand regarding nightly interruptions and sleep stages. In particular, the latter occurs due to changes in brainwaves whereas wearables use heart rate recording and actigraphy for sleep assessment. The discrepancy in WASO might be due to the differences in sensitivity of the two assessment methods, i.e., individuals might be more likely to remember substantial awakenings whereas wearables might be more sensitive to detect also brief wake phases due to the actigraphic assessment of subtle wrist/body movements. Accordingly, we were able to replicate the findings of Jungquist et al. [43], Campanini et al. [44], and Thurman et al. [45].

Despite this limited data processing, in terms of consumer orientation, adequate knowledge and sleep tracking result from reliable sleep duration, approximate number and duration of awakenings after sleep onset, as well as the subjective feeling of recovery. Thus, for personal use, all three wearables depicted these data comprehensively. As the popularity of wearables is further booming and many people already use any kind of devices to track their daily life and share it with their friends and social community, additionally, usage in terms of health literacy, and therefore, adding the sleep component to one's tracking habits, is highly feasible [13,46]. In line with this, the market changes more and more from health-related single-use to multifunctional gadgets [47].

To conclude, referring to Baron et al. [26] and Ibáñez et al. [48], the devices should primarily be used as an orientation of one's own sleep behavior and as individual feedback on the individual sleep health status. In terms of health literacy, wearables seem a suitable tool to gather information about one's sleep habits, and thereby, foster sleep health [49]. Especially during current pandemic times, the role of sleep for human well-being and functioning has become central. COVID-19 changed our lives and sleep. Whilst some do have more time to sleep, others suffer from sleep disturbances due to rumination and worries about the situation or the future [50]. Therefore, a proactive examination of their own sleep patterns and setting up healthy sleep and living conditions is crucial. Future research can start here by developing and empirically testing suitable sleep assessment and intervention tools.

According to the young consumer sleep technology research history, we want to emphasize our study's strengths: First, it is one of the few and first investigations that took place in the field/under free-living conditions and not in the lab. Second, as it is known that the subjective rating of recovery is at least as important as good quantitative sleep values, we used a standardized sleep diary as a reference parameter for examining the wearables' reliability. Third, we were able to track, in total, 120 nights consisting of four consecutive nights per person which is more than the recommended 72 h of tracking when using actigraphy [51]. Fourth, regarding the practical impact, we were able to show that the wearables, especially Garmin® and Polar®, were in a reliable range compared to the sleep diary. Thus, it could be concluded that individuals can choose the wearable they prefer for tracking sleep and activity as they seem to be reliable tools, and as we found at least regarding sleep measures, none has the edge over the other.

Nevertheless, there are also some constraints limiting our study: First, we did not compare wearable data with the gold standard PSG, but focused on the quasi-gold standard sleep diary, i.e., correlating objective with subjective data. In addition, wearables do not measure sleep directly, and sleep parameters' calculations are based on mathematical algorithms. This is why missing data or outlier values might occur in persons who toss and turn frequently during the night. Furthermore, due to the lacking access to raw data, consumers and researchers might not be able to notify when or if the wearables' manufacturers change their algorithms. Second, participants got familiar with the handling of the devices in their preparation session and then tracked the investigated nights on their own responsibility. The same procedure was applied to the use of the sleep diary. Though, we assume that participants followed the described handling and study protocol as accurately as possible. Third, we conducted our study in free-living conditions and not in a laboratory. Whilst this setting made it possible for participants to keep their normal sleeping routine, a standardized approach including control of the side effects and possible disturbances could not be ensured in total.

5. Conclusions

In the current study, we found indications that wearables are reliable and highly feasible when compared to the subjective gold standard sleep diary. The greatest benefit of sleep tracking via wearables is the immediate increase in one's sleep awareness. By wearing the device and dealing with the direct feedback, the sensitivity to their own sleep behavior increases. This, in turn, supports sleep health and positive (long-term) lifestyle changes, and at the same time, makes it possible to notice unhealthy sleep disturbances early. In sum, the use of consumer wearables seems to be a promising approach to assessing sleep in healthy populations in free-living conditions. Accordingly, future research should not only establish coherent study designs to investigate the usability as well as reliability and validity of wearable devices for sleep tracking in different target groups and settings but should also focus on the development of further monitoring devices using technological progress to facilitate their literal applicability in everyday life.

Author Contributions: Conceptualization, K.K. and M.W.; methodology, K.K. and M.W.; analysis, K.K. and M.W.; investigation, K.K.; data curation, K.K.; writing-original draft preparation, K.K.; writing-review and editing, M.W. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: We acknowledge financial support by Universität der Bundeswehr München.

Institutional Review Board Statement: The study was conducted according to the guidelines of the Declaration of Helsinki, and approved by the Ethics Committee of the Universität der Bundeswehr München, Germany (28/09/2020).

Informed Consent Statement: Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

Data Availability Statement: Not applicable.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

Appendix A

Table A1. Overview of agreement between wearables and diary (outliers removed).

	TIB			TST			SE			WASO		
	Fitbit®	Garmin®	Polar®	Fitbit®	Garmin®	Polar®	Fitbit®	Garmin®	Polar®	Fitbit®	Garmin®	Polar®
N	28	29	29	28	30	30	29	30	29	29	30	29
$\bar{x} \pm SD$	10.54 ± 25.24	28.30 ± 25.70	28.30 ± 25.70	24.96 ± 18.37	26.40 ± 22.36	15.95 ± 20.38	2.87 ± 5.79		2.03 ± 4.30			
95% CI	0.93; 20.14	18.52; 38.08	17.84; 32.09	8.34; 23.56	34.75; 18.05	8.34; 23.56	0.67; 5.08		3.67; 0.40			
Upper LoA	60.02	78.67	60.96	17.43	17.43	55.90	14.22		6.40			
95% CI	43.41; 76.62	61.77; 95.58	48.64; 73.28	3.00; 31.87	3.00; 31.87	42.74; 69.05	10.41; 18.03		3.57; 9.23			
Lower LoA	38.95	-22.08	11.04	70.23	70.23	24.00	8.47		10.47			
95% CI	55.55; 22.34	38.98; 5.17	23.36; 1.28	84.67; 55.80	84.67; 55.80	37.15; 10.84	12.28; 4.67		13.30; 7.64			
$\bar{x} \pm SD$	5.33 ± 6.47	2.01 ± 5.43	5.90 ± 5.44	5.72 ± 4.18	5.86 ± 5.13	3.59 ± 4.80	3.01 ± 6.57		2.32 ± 4.74			
95% CI	2.82; 7.84	0.05; 4.08	3.83; 7.97	4.11; 7.35	7.78; 3.94	1.80; 5.38	0.51; 5.51		4.12; 0.51			
Upper LoA	18.02	12.66	16.57	13.91	4.20	13.00	15.89		6.98			
95% CI	13.67; 22.36	9.09; 16.23	12.99; 20.15	11.11; 16.71	0.89; 7.52	9.90; 16.10	11.57; 20.21		3.86; 10.10			
Lower LoA	7.36	8.64	4.77	2.46	15.93	5.82	9.87		11.62			
95% CI	11.71; 3.02	12.21; 5.06	8.35; 1.19	5.26; 0.34	19.24; 12.61	8.92; 2.72	14.19; 5.55		14.74; 8.50			
over/underestimation	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↓		↑			
CCC _{Lin}	0.75	0.84	0.74	0.83	0.76	0.85	0.12	0.05	0.34	0.01	0.10	0.02
1 - β	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.10	0.06	0.48	0.05	0.09	0.05

Due to transformation TIB Fitbit® cannot be given in minutes, and in general, agreement was only calculated if CCC_{Lin} was robust (> 0.10).

References

- Halson, S.L.; Juliff, L.E. Sleep, sport, and the brain. *Prog. Brain Res.* **2017**, *234*, 13–31. [CrossRef] [PubMed]
- Goel, N.; Basner, M.; Rao, H.; Dinges, D.F. Circadian rhythms, sleep deprivation, and human performance. *Prog. Mol. Biol. Transl. Sci.* **2013**, *119*, 155–190. [CrossRef] [PubMed]
- Grandner, M.A. Sleep, Health, and Society. *Sleep Med. Clin.* **2017**, *12*, 1–22. [CrossRef]
- Buysse, D.J. Sleep health: Can we define it? Does it matter? *Sleep* **2014**, *37*, 9–17. [CrossRef]
- Mackert, M.; Mabry-Flynn, A.; Champlin, S.; Donovan, E.E.; Pounders, K. Health Literacy and Health Information Technology Adoption: The Potential for a New Digital Divide. *J. Med. Internet Res.* **2016**, *18*, e264. [CrossRef] [PubMed]
- Kitson, A.; Prpa, M.; Riecke, B.E. Immersive Interactive Technologies for Positive Change: A Scoping Review and Design Considerations. *Front. Psychol.* **2018**, *9*, 1354. [CrossRef] [PubMed]
- Mansukhani, M.P.; Kolla, B.P. Apps and fitness trackers that measure sleep: Are they useful? *Clevel. Clin. J. Med.* **2017**, *84*, 451–456. [CrossRef]
- Peake, J.M.; Kerr, G.; Sullivan, J.P. A Critical Review of Consumer Wearables, Mobile Applications, and Equipment for Providing Biofeedback, Monitoring Stress, and Sleep in Physically Active Populations. *Front. Physiol.* **2018**, *9*, 743. [CrossRef]
- Evenson, K.R.; Goto, M.M.; Furberg, R.D. Systematic review of the validity and reliability of consumer-wearable activity trackers. *Int. J. Behav. Nutr. Phys. Act.* **2015**, *12*, 159. [CrossRef]
- Fuller, D.; Colwell, E.; Low, J.; Orychock, K.; Tobin, M.A.; Simango, B.; Buote, R.; van Heerden, D.; Luan, H.; Cullen, K.; et al. Reliability and Validity of Commercially Available Wearable Devices for Measuring Steps, Energy Expenditure, and Heart Rate: Systematic Review. *JMIR MHealth UHealth* **2020**, *8*, e18694. [CrossRef]
- Grifantini, K. How's my sleep? Personal sleep trackers are gaining in popularity, but their accuracy is still open to debate. *IEEE Pulse* **2014**, *5*, 14–18. [CrossRef] [PubMed]
- Shin, G.; Jarrahi, M.H.; Fei, Y.; Karami, A.; Gafinowitz, N.; Byun, A.; Lu, X. Wearable activity trackers, accuracy, adoption, acceptance and health impact: A systematic literature review. *J. Biomed. Inform.* **2019**, *93*, 103153. [CrossRef]
- Grandner, M.A.; Rosenberger, M.E. Actigraphic sleep tracking and wearables: Historical context, scientific applications and guidelines, limitations, and considerations for commercial sleep devices. In *Sleep and Health*; Grandner, M.A., Allen, S.F., Eds.; Academic Press Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2019; pp. 147–157. [CrossRef]
- Lu, L.; Zhang, J.; Xie, Y.; Gao, F.; Xu, S.; Wu, X.; Ye, Z. Wearable Health Devices in Health Care: Narrative Systematic Review. *JMIR MHealth UHealth* **2020**, *8*, e18907. [CrossRef] [PubMed]
- Lyons, E.; Lang, M.; Ridgers, N.D.; Timperio, A.; Brown, H.; Ball, K.; Macfarlane, S.; Lai, S.K.; Richards, K.; Mackintosh, K.A.; et al. Wearable Activity Tracker Use Among Australian Adolescents: Usability and Acceptability Study. *JMIR MHealth UHealth* **2018**, *6*, e86. [CrossRef]
- De Arriba-Pérez, F.; Caeiro-Rodríguez, M.; Santos-Gago, J.M. How do you sleep? Using off the shelf wrist wearables to estimate sleep quality, sleepiness level, chronotype and sleep regularity indicators. *J. Ambient Intell. Humaniz. Comput.* **2018**, *9*, 897–917. [CrossRef]
- Chinoy, E.D.; Huwa, K.E.; Snider, M.N.; Bessman, S.C.; Cuellar, J.A.; Cooper, A.D.; Hirsch, D.A.; Nardulli, P.J.; Jameson, J.T.; Drummond, S.P.A.; et al. Examination of Wearable and Non-Wearable Consumer Sleep-Tracking Devices Versus Polysomnography. *Sleep* **2019**, *42*, A403–A404. [CrossRef]
- Crivello, A.; Barsocchi, P.; Girolami, M.; Palumbo, F. The Meaning of Sleep Quality: A Survey of Available Technologies. *IEEE Access* **2019**, *7*, 167374–167390. [CrossRef]
- Kolla, B.P.; Mansukhani, S.; Mansukhani, M.P. Consumer sleep tracking devices: A review of mechanisms, validity and utility. *Expert Rev. Med. Devices* **2016**, *13*, 497–506. [CrossRef]
- Liang, Z.; Chapa Martell, M.A. Validity of Consumer Activity Wristbands and Wearable EEG for Measuring Overall Sleep Parameters and Sleep Structure in Free-Living Conditions. *J. Healthc. Inform. Res.* **2018**, *2*, 152–178. [CrossRef]
- Manuta, J.; Gravel, N.; Spencer, R.M.C. Reliability of Sleep Measures from Four Personal Health Monitoring Devices Compared to Research-Based Actigraphy and Polysomnography. *Sensors* **2016**, *16*, 646. [CrossRef]
- Menghini, L.; Cellini, N.; Goldstone, A.; Baker, F.C.; de Zambotti, M. A standardized framework for testing the performance of sleep-tracking technology: Step-by-step guidelines and open-source code. *Sleep* **2020**, *44*, zsa170. [CrossRef] [PubMed]
- Muzet, A.; Werner, S.; Fuchs, G.; Roth, T.; Saoud, J.B.; Viola, A.U.; Schaffhauser, J.Y.; Luthringer, R. Assessing sleep architecture and continuity measures through the analysis of heart rate and wrist movement recordings in healthy subjects: Comparison with results based on polysomnography. *Sleep Med.* **2016**, *21*, 47–56. [CrossRef] [PubMed]
- Roomkham, S.; Lovell, D.; Cheung, J.; Perrin, D. Promises and Challenges in the Use of Consumer-Grade Devices for Sleep Monitoring. *IEEE Rev. Biomed. Eng.* **2018**, *11*, 53–67. [CrossRef] [PubMed]
- Williamson, J.; Liu, Q.; Lu, F.; Mohrman, W.; Li, K.; Dick, R.; Shang, L. Data Sensing and Analysis: Challenges for Wearables. In Proceedings of the 20th Asia and South Pacific Design Automation Conference, Chiba, Japan, 19–22 January 2015; pp. 136–141. [CrossRef]
- Baron, K.G.; Duffecy, J.; Berendsen, M.A.; Cheung Mason, I.; Lattie, E.G.; Manalo, N.C. Feeling validated yet? A scoping review of the use of consumer-targeted wearable and mobile technology to measure and improve sleep. *Sleep Med. Rev.* **2018**, *40*, 151–159. [CrossRef] [PubMed]

27. De Zambotti, M.; Cellini, N.; Goldstone, A.; Colrain, I.M.; Baker, F.C. Wearable Sleep Technology in Clinical and Research Settings. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2019**, *51*, 1538–1557. [[CrossRef](#)]
28. Perez-Pozuelo, I.; Zhai, B.; Palotti, J.; Mall, R.; Aupetit, M.; Garcia-Gomez, J.M.; Taheri, S.; Guan, Y.; Fernandez-Luque, L. The future of sleep health: A data-driven revolution in sleep science and medicine. *NPJ Digit. Med.* **2020**, *3*, 42. [[CrossRef](#)]
29. Wiesing, U.; Ehni, H.J. Die Deklaration von Helsinki des Weltärztebundes—Ethische Grundsätze für die Forschung am Menschen. In *Handbuch Ethik und Recht der Forschung am Menschen*; Lenk, C., Duttge, G., Fangerau, H., Eds.; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2014; pp. 517–524. [[CrossRef](#)]
30. Lee, J.M.; Byun, W.; Keill, A.; Dinkel, D.; Seo, Y. Comparison of Wearable Trackers' Ability to Estimate Sleep. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2018**, *15*, 1265. [[CrossRef](#)]
31. Faul, F.; Erdfelder, E.; Buchner, A.; Lang, A.G. Statistical power analyses using G*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behav. Res. Methods* **2009**, *41*, 1149–1160. [[CrossRef](#)]
32. Düking, P.; Giessing, L.; Frenkel, M.O.; Koehler, K.; Holmberg, H.C.; Sperlich, B. Wrist-Worn Wearables for Monitoring Heart Rate and Energy Expenditure While Sitting or Performing Light-to-Vigorous Physical Activity: Validation Study. *JMIR Mhealth Uhealth* **2020**, *8*, e16716. [[CrossRef](#)]
33. Hoffmann, R.M.; Müller, T.; Hajak, G.; Cassel, W. Abend-Morgenprotokolle in Schlaforschung und Schlafmedizin: Ein Standardinstrument für den deutschsprachigen Raum. *Somnologie* **1997**, *1*, 103–109. [[CrossRef](#)]
34. Bland, J.M.; Altman, D.G. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* **1986**, *1*, 307–310. [[CrossRef](#)]
35. Lin, L.I.K. A Concordance Correlation Coefficient to Evaluate Reproducibility. *Biometrics* **1989**, *45*, 255. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
36. Shapiro, S.S.; Wilk, M.B. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* **1965**, *52*, 591. [[CrossRef](#)]
37. Breusch, T.S.; Pagan, A.R. A simple test for heteroscedasticity and random coefficient variation. *Econometrica* **1979**, *47*, 1287. [[CrossRef](#)]
38. Bland, J.M.; Altman, D.G. Measuring agreement in method comparison studies. *Stat. Methods Med. Res.* **1999**, *8*, 135–160. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
39. Ohayon, M.; Wickwire, E.M.; Hirshkowitz, M.; Albert, S.M.; Avidan, A.; Daly, F.J.; Dauvilliers, Y.; Ferri, R.; Fung, C.; Gozal, D.; et al. National Sleep Foundation's sleep quality recommendations: First report. *Sleep Health* **2017**, *3*, 6–19. [[CrossRef](#)]
40. Landis, J.R.; Koch, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* **1977**, *33*, 159. [[CrossRef](#)]
41. Johnson, N.L. Systems of frequency curves generated by methods of translation. *Biometrika* **1949**, *36*, 149–176. [[CrossRef](#)]
42. Degroote, L.; Hamerlinck, G.; Poels, K.; Maher, C.; Crombez, G.; de Bourdeaudhuij, I.; Vandendriessche, A.; Curtis, R.G.; DeSmet, A. Low-cost consumer-based trackers to measure physical activity and sleep duration among adults in free-living conditions: Validation study. *JMIR Mhealth Uhealth* **2020**, *8*, e16674. [[CrossRef](#)]
43. Jungquist, C.R.; Pender, J.J.; Klingman, K.J.; Mund, J. Validation of Capturing Sleep Diary Data via a Wrist-Worn Device. *Sleep Disord.* **2015**, *2015*, 758937. [[CrossRef](#)]
44. Campanini, M.Z.; Lopez-García, E.; Rodríguez-Artalejo, F.; González, A.D.; Andrade, S.M.; Mesas, A.E. Agreement between sleep diary and actigraphy in a highly educated Brazilian population. *Sleep Med.* **2017**, *35*, 27–34. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
45. Thurman, S.M.; Wasylyshyn, N.; Roy, H.; Lieberman, G.; Garcia, J.O.; Asturias, A.; Okafor, G.N.; Elliott, J.C.; Giesbrecht, B.; Grafton, S.T.; et al. Individual differences in compliance and agreement for sleep logs and wrist actigraphy: A longitudinal study of naturalistic sleep in healthy adults. *PLoS ONE* **2018**, *13*, e0191883. [[CrossRef](#)]
46. Stone, J.D.; Rentz, L.E.; Forsey, J.; Ramadan, J.; Markwald, R.R.; Finomore, V.S.; Galster, S.M.; Rezaei, A.; Hagen, J.A. Evaluations of Commercial Sleep Technologies for Objective Monitoring During Routine Sleeping Conditions. *Nat. Sci. Sleep* **2020**, *12*, 821–842. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
47. Khosla, S.; Deak, M.C.; Gault, D.; Goldstein, C.A.; Hwang, D.; Kwon, Y.; O'Hearn, D.; Schutte-Rodin, S.; Yurcheshen, M.; Rosen, I.M.; et al. Consumer Sleep Technology: An American Academy of Sleep Medicine Position Statement. *J. Clin. Sleep Med. Off. Publ. Am. Acad. Sleep Med.* **2018**, *14*, 877–880. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
48. Ibáñez, V.; Silva, J.; Navarro, E.; Cauli, O. Sleep assessment devices: Types, market analysis, and a critical view on accuracy and validation. *Expert Rev. Med. Devices* **2019**, *16*, 1041–1052. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
49. Berryhill, S.; Morton, C.J.; Dean, A.; Berryhill, A.; Provencio-Dean, N.; Patel, S.I.; Estep, L.; Combs, D.; Mashaqi, S.; Gerald, L.B.; et al. Effect of wearables on sleep in healthy individuals: A randomized crossover trial and validation study. *J. Clin. Sleep Med. Off. Publ. Am. Acad. Sleep Med.* **2020**, *16*, 775–783. [[CrossRef](#)]
50. Blume, C.; Schmidt, M.H.; Cajochen, C. Effects of the COVID-19 lockdown on human sleep and rest-activity rhythms. *Curr. Biol.* **2020**, *30*, R795–R797. [[CrossRef](#)]
51. Ancoli-Israel, S.; Martin, J.L.; Blackwell, T.; Buenaver, L.; Liu, L.; Meltzer, L.J.; Sadeh, A.; Spira, A.P.; Taylor, D.J. The SBSM Guide to Actigraphy Monitoring: Clinical and Research Applications. *Behav. Sleep Med.* **2015**, *13* (Suppl. 1), S4–S38. [[CrossRef](#)]

Research Note



Influence of esports on Sleep and Stress

Kristina Klier^{ORCID}, Kirstin Seiler, and Matthias Wagner

Institute of Sports Science, Department of Human Sciences, Universität der Bundeswehr München, Germany

Abstract: Recreative sleep and a low stress level are important health- and performance-enhancing factors in daily life. The present investigation examines the influence of esports on sleep and stress. In a counterbalanced within-subjects design, 44 participants (37 males, 7 females, 25.2 ± 4.6 years old) completed both a gaming and a nongaming session on two consecutive evenings. We assessed individual sleep duration and individual stress parameters via a Garmin® smartwatch in addition to a short subjective scale. The results show that, in the gaming condition, total sleep time was significantly lower than in the nongaming condition ($p = .003$). The participants' stress level was significantly increased after gaming compared to nongaming ($p = .005$). Future research should not only examine the long-term effects of esports on health longitudinally, but also establish suitable sleep interventions and stress coping strategies.

Keywords: esports, gaming, sleep, stress

Auswirkungen von E-Sport auf den Schlaf und das Stresserleben

Zusammenfassung: Erholsamer Schlaf sowie ein geringes individuelles Stressniveau sind wichtige gesundheits- und leistungssteigernde Faktoren im alltäglichen Leben. Ziel der vorliegenden Untersuchung war es daher, den Einfluss von E-Sport auf den Schlaf und Stress zu untersuchen. In einem ausbalancierten Within-Subjects-Design absolvierten 44 Teilnehmende (37 Männer, 7 Frauen, 25,2 ± 4,6 Jahre alt) an zwei aufeinanderfolgenden Abenden sowohl eine Gaming- als auch eine Non-Gaming-Session, während derer jeweils die Schlafdauer und das individuelle Stresserleben mittels einer Garmin®-Smartwatch und einer kurzen subjektiven Skala erhoben wurden. Die Ergebnisse zeigen, dass die Gesamtschlafzeit nach dem Spielen signifikant niedriger war als nach dem Nichtspielen ($p = .003$). Ebenso war das Stressniveau der Teilnehmenden nach der Spielbedingung im Vergleich zur Nichtspielbedingung signifikant erhöht ($p = .005$). Zukünftige Forschung sollte somit nicht nur die langfristigen Auswirkungen von E-Sport auf die Gesundheit im Längsschnitt untersuchen, sondern auch geeignete Schlafinterventionen und Stressbewältigungsstrategien etablieren.

Schlüsselwörter: E-Sport, Gaming, Schlaf, Stress

The popularity of esports – the competitive, virtual playing of computer or video games (§2 ESBG; eSport Union Germany, 2018) – is rapidly increasing over the last decade. This trend is observable both in the increasing number of platforms and available games and in the growing amount of esports players. Besides the quick and easy access, the current digital rethinking because of the Covid-19 pandemic is especially supporting this gaming industry boom. Regardless of whether esports should be defined/categorized as sports or as virtual games, the effects of esports on several psychophysiological outcomes have increasingly been examined from a scientific perspective. However, the scientific understanding and knowledge of esports and its effects is still at the beginning (Cranmer et al., 2021; Kelly & Leung, 2021; Leis et al., 2021). First studies in this context show that recurring sleep deprivation because of (intensive) gaming sessions in the evening or competitions in different time zones seem to be prevalent (Bányai et al., 2019; Smith et al., 2019). Furthermore, in their eSport survey, Froböse et al. (2019, 2020) showed that esports players ($n = 1100$) not only sleep

about 40 minutes less than the German average but also subjectively rate the quality of their sleep negatively. In addition, the increasing number of intervention studies (e.g., Akçay & Akçay, 2020; Miskoff et al., 2019) – mainly in the amateur and leisure context – as well as first systematic reviews (Leis & Lautenbach, 2020; Pedraza-Ramirez et al., 2020; Peracchia & Curcio, 2018) indicate higher stress levels and less sleep in digital gamers. In particular, nightly gaming sessions are related to reduced sleep duration and altered awakening, manifesting in increased daytime sleepiness and sluggishness (Miskoff et al., 2019). Following Exelmans and van den Bulck (2015), gaming 1 hour immediately before going to bed negatively influences the time spent in bed, the duration of sleep, and the overall quality of the periods of falling asleep and waking up. These results were examined using a standardized questionnaire in a face-to-face-interview setting ($n = 844$). Hierarchical regression analyses showed gaming volume to be a significant predictor for the named sleep variables. If playing time is increased to 150 minutes, sleep duration is reduced by an average of

27 minutes, together with a decrease in sleep quality of about 7% (Akçay & Akçay, 2020). Lee et al. (2021) found similar results, showing via wrist-actigraphy and standardized sleep and mood questionnaires that professional esports players ($n = 17$, mean age 20.00 years) sleep less than 7 hours and might have a rather poor to depressed well-being. Based on heart rate recording during playing, Lee et al. (2021) have also determined that the inner excitement, observable in an increased heart rate or significantly increased activity of the very low frequency component of heart rate variability (cf. arousal in sport), seems to similarly affect falling and staying asleep. Accordingly, Hartmann et al. (2019) demonstrated in a laboratory study with adolescents ($n = 18$, mean age 16.84 years) that a single gaming session of 300 minutes is associated with a reduced sleep efficiency of -3.5% ($p = .017$, $r = .40$). In contrast, adequate and restful sleep as well as low individual stress levels are important health- and performance-enhancing factors in daily life (Grandner, 2017). Referring to Zimbardo and Gerrig (2004), stress is a pattern of specific and nonspecific psychological and physical responses of an individual to internal or external stimuli. While good stress ("eustress") positively stimulates adaption and activates the organism, bad stress negatively affects health and can cause (chronic) illnesses (Lu et al., 2021). Similarly, in their transactional stress model theory, Lazarus and Folkman (1984) formulated that the individuals' stress reaction in the same situation can differ because of individual perception of the stressor and available coping resources (Biggs et al., 2017). Regarding the influence of esports on stress, in their review Palanichamy et al. (2020) summed up that, because of the competitive nature of esports, arousal and stress increase in accordance with individuals' pressure to perform by simultaneously decreasing emotion regulation. Poulus and colleagues (2020) found similar results in their questionnaire-based survey with $n = 316$ professional esports players (mean age 22.61 years), revealing an accumulation of stress during gaming. Furthermore, Canale et al. (2019) demonstrated in $n = 605$ respondents (mean age 24.01 years) who played digital games at least half an hour per week that longer hours of gaming per week are combined with increased perceived stress and less psychological resilience. Thus, according to the mentioned findings, esports seems to negatively affect sleep behavior and is consequently related to higher stress levels. However, to date studies have not experimentally investigated the respective triad relationship between esports, sleep, and stress. Therefore, the present study aimed to quantitatively examine the influence of esports – more precisely the effect of nightly gaming – on sleep and stress in a real-world setting. We hypothesized that, compared to nongaming, even a single evening of gaming reduces sleep duration (Hypothesis 1) and sleep quality (Hypothesis 2), which leads to an increased accumulation of individuals' stress (Hypothesis 3).

Methods

Participants

A total of 44 participants (37 male, 7 female, 25.2 ± 4.6 years old) voluntarily took part in this study. The university's Ethics Committee approved all procedures, and all participants provided informed written consent. The research was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki (Wiesing & Ehni, 2014). All participants were young adults who were not suffering from diagnosed sleep disturbances. Furthermore, to ensure that the participants were gaming at least on an amateur level, participants had to fulfill the criterium that they were gaming at least 200 minutes regularly per day (for classification of esports players, see Tholl et al., 2019).

Study Procedure

The investigation was conducted on two consecutive days/evenings per participant (see Figure 1); the order of the sessions (gaming [G] respectively nongaming [NG]) was counterbalanced. For G, participants played the game they usually played on their computer or games console. The lighting and audio volume did not change, and the gaming environment was the same as their normal playing situation. For NG, participants would relax, meditate, read a book, or listen to music but necessarily avoid social media or other electronic devices. The study was a within-subjects design study, i.e., all participants gamed on the first day and did not game on the second day or vice versa. To rely on similar sleep patterns, the study was conducted only on weekdays and in a home-based setting.

In the beginning, we collected anthropometric and personal gaming-related data (e.g., game title, level, console) and baseline measures, including a standardized gaming (Gaming Disorder Test, Montag et al., 2019) and sleep (Pittsburgh Sleep Quality Index, Buysse et al., 1989) questionnaire. In addition, we equipped participants with a Garmin® smartwatch to gain objective sleep and stress data. After familiarizing the participants with the study procedure and time-specific tasks (i.e., how to handle the smartwatch and how to fill in the daily log), we assessed their initial stress score. The G/NG session was set each evening between dinner and bedtime for at least 200 minutes. Immediately before the first session started, participants were asked to assess their current stress level via Garmin® (pretest). At the end of both sessions (G or NG), i.e., before going to bed, once again the individual stress level was measured (posttest). During the night, the participants' sleep was assessed via the Garmin® smart-

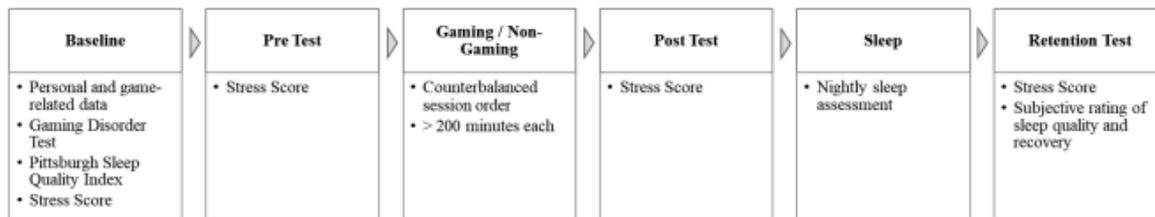


Figure 1. Study procedure.

watch. Immediately after waking up the next morning, participants again measured their stress level and subjectively rated their sleep quality and their feelings of recovery (retention test). This procedure was exactly repeated on the second evening. When participants were gaming the first evening, they were not gaming the second evening and vice versa. At the end of the investigation, all digital data was reset. The participants were handed over their subjective ratings, and they were debriefed accordingly.

Materials

Gaming-Related Questions

To describe our target group, we asked participants in the baseline session about their gaming habits. We were interested in how many minutes they play computer and/or online games per day, which medium they mainly use for playing, and whether this medium is in the same room as their bed. Besides these questions, we used one multiple choice question with multiple answers possible regarding the usually played genre: "Which of the following game genres do you play?" Participants could choose between (a) first-person shooter, (b) roleplay games, (c) real-time strategy, (d) sport simulations, and (e) others. Regarding our study set-up, participants were then told to play the game they were used to playing most of their leisure time.

Gaming Disorder Test

Since participants had to fulfill the criterium of at least 200 minutes of gaming per day, the sample might be particularly prone to problematic gambling behavior (Pontes et al., 2019). To further characterize participants and exclude vulnerable participants in advance, we conducted the Gaming Disorder Test (GDT; Montag et al., 2019; Pontes et al., 2021). The GDT (Cronbach's $\alpha = .84$, composite reliability CR = .85) resembles the Internet Gaming Disorder Test (IGDT; Pontes & Griffiths, 2015), which was applied in previous studies but does not include the online dimension. The test consists of four items,

measuring (1) impaired control over gaming, (2) increased priority given to gaming, (3) continuation despite negative consequences, and (4) experience of significant problems in life on a 5-point Likert scale (ranging from 1 = *never* to 5 = *very often*). The items relate to the period of the previous 12 months. The GDT was analyzed by summing up all item scores, resulting in a minimum score of 4 and a maximum score of 20. The higher the total number of points, the more likely problematic gaming behavior.

Pittsburgh Sleep Quality Index

The Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI; Buysse et al., 1989) is a reliable instrument (Cronbach's $\alpha = .80$, test-retest reliability $r = .82$ to $.89$) for collecting and categorizing sleep quality. The questionnaire comprises 19 items for self-assessment of sleep behavior within the last 4 weeks. The last question (about partner and/or roommate) is not included in the quantitative evaluation. From the remaining 18 questions, seven individual components can be derived: (1) subjective sleep quality (1 item), (2) sleep latency (2 items), (3) sleep duration (1 item), (4) sleep efficiency (3 items), (5) potential sleep disorders (9 items), (6) sleep medication consumption (1 item), and (7) daytime sleepiness (2 items). The value of the individual components ranges between 0 and 3. The index value itself ultimately represents the sum of the seven individual component values and, thus, ranges between a minimum of 0 and a maximum of 21. Values < 5 refer to high sleep quality, values between 6 and 10 indicate poor sleep quality, and values > 10 are a sign of chronic sleep disturbances.

Sleep and Stress Assessment

Because the total sleep time (TST) represents the most important objective sleep parameter (Kirschen et al., 2018), we decided to examine it as the primary sleep-related outcome. Current research shows fitness trackers and smartwatches to be reliable instruments for measuring TST in nonlaboratory settings (Stone et al., 2020); we chose the Garmin Fenix® 5X Plus wrist-worn smartwatch for objective sleep assessment. We also recorded participants' heart rates and measured their stress levels by

using the smartwatch's stress score function. Based on the recorded heart rate data and combined with a mathematical algorithm, stress scoring ranges from 1 (*low stress level*) to 100 (*high stress level*). Wagner and colleagues (2021) recently validated the Garmin Fenix® 5X Plus smartwatch. The results indicated a high precision of the Garmin® stress score compared to the reference method of electrocardiography. The smartwatch data were available on the associated smartphone application Garmin Connect®.

Subjective Rating of Sleep Quality and Recovery

To assess the subjective rating of the individuals' sleep quality and feelings of recovery, we included the following two questions which participants had to answer on 5-respectively 6-point Likert scales after waking up in the mornings: "How restful was your sleep?" (1 = *very much*, 5 = *not at all*), "How do you feel now?" (1 = *very bad*, 6 = *excellent*). Both questions were taken from the standardized sleep diary by Hoffmann et al. (1997).

For consistent documentation, we had participants report the assessed sleep and stress data of the smartwatch as well as the subjective rating in a daily log. The log also provided basic information for the participants on how to handle the used instruments and when to do/assess what.

Statistical Analysis

The statistical analysis was conducted using the data processing program SPSS Statistics Version 27 (IBM, Inc., Chicago, IL, 2021). The level of significance was set a priori at $\alpha < .05$. No substantial correlations between sleep and stress could be detected ($r_{\text{pre-post}} = -.162, p = .292$; $r_{\text{post-ret}} = .082, p = .595$). Thus, we calculated hypothesis-specific repeated measure ANOVA including effect size f (Cohen, 1988) based on partial eta square.

Results

Descriptive Statistics

All participants fit the definition of amateur esports players, i.e., playing competitive digital games at least 200 minutes per day. 77% ($n = 34$) play on their computer, each with 11.5% on a games console ($n = 5$) or both ($n = 5$). Two-thirds ($n = 27$; 61%) reported having their computer/console in their bedroom. Nearly half of them ($n = 21$; 48%) were playing shooters, 25% ($n = 11$) roleplay games, 7% ($n = 3$) strategy games, 4% ($n = 2$) sport simulations, and the remaining 16% ($n = 7$) chose "other" without

further specification. Apart from 3 participants (7%) whose GDT score was higher than 12 – which is the cut-off for potential risk for addiction – the others ($n = 41$; 75%) do not seem to have any habit of problematic gaming behavior. According to the PSQI, 33 participants (75%) were good and 11 (25%) poor sleepers. There were no chronically bad sleepers in our sample, so we included the data from all participants in the analyses.

Test of Hypotheses

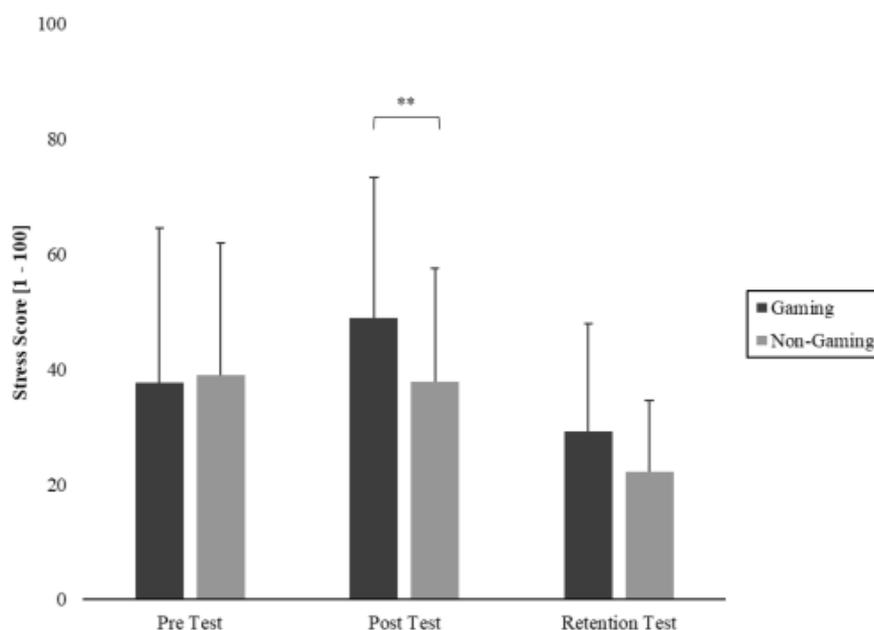
Influence of Gaming on Sleep (Hypotheses 1 and 2)

To determine the impact of gaming on sleep, we analyzed the difference between G and NG regarding participants' TST (Hypothesis 1) and sleep quality (Hypothesis 2). After G, participants slept on average 7:01 hours ($\pm 1:28$ h) in contrast to 7:40 hours ($\pm 1:26$ h) after NG. This difference of 39 minutes between (both) groups is statistically significant ($F(1,43) = 9.611, p = .003, \eta_p^2 = .183$) and represents a moderate effect ($f = .473$). However, there was no significant difference in the subjective ratings of sleep quality as participants rated their sleep quality as moderate to good after both G ($M = 2.32 \pm 0.67$) and NG ($M = 2.25 \pm 0.81$), $F(1,43) = 0.268, p = .607, \eta_p^2 = .006, f = .078, 1 - \beta = .173$. In sum, these findings reveal a considerably negative effect of gaming on sleep duration, whereas individuals' sleep quality does not seem to be affected.

Influence of Gaming on Stress (Hypothesis 3)

To analyze the impact of gaming on stress (Hypothesis 3), we compared the participants' Garmin® stress scores before and after the sessions as well as after waking up the next morning (see Figure 2).

Immediately before the sessions, the participants' stress was at similar levels, whereas afterward (post), the mean stress difference pre-post between G ($M_{\text{Diff}} = 11.23 \pm 29.76$) and NG ($M_{\text{Diff}} = -1.02 \pm 16.74$) was statistically significant ($F(1,43) = 8.946, p = .005, \eta_p^2 = .172, f = .456$). Regarding the retention test the next morning, stress level difference postretention differed numerically between G ($M_{\text{Diff}} = -19.75 \pm 24.14$) and NG ($M_{\text{Diff}} = -15.66 \pm 19.60$). This mean difference is not significant ($F(1,43) = 0.960, p = .333, \eta_p^2 = .022, f = .150, 1 - \beta = .494$). In sum, findings indicate that gaming activity seems to influence individuals' acute stress development, while this effect could not be detected in the retention test.



Note. Stress levels (presented as means plus standard deviation) at the three measurement times are shown for G- and NG-sessions. $**p < .01$. **Figure 2.** Mean stress levels.

Discussion

The present study quantitatively examined the acute effects of esports, more precisely of a single nightly gaming session, on sleep and stress by comparing an excessive G to a relaxing NG session.

Influence of Gaming on Sleep

The measurements showed that TST following G was significantly reduced compared to NG. Notably, the decrease in TST of about 39 minutes following nightly G is identical to the findings of the German eSport Study 2019 (Froböse et al., 2019). Taken together, our sleep duration data show evidence for Hypothesis 1. Hypothesis 2 (that sleep quality differs significantly between G and NG) could not be confirmed. However, Exelmans and van den Bulck (2015) demonstrated a negative effect of gaming on sleep quality, and Lemola et al. (2013) found that subjective sleep quality serves as a mediator for the relationship between sleep duration and well-being. Our results are in line with contrary findings in the sleep research context, demonstrating that sleep quality is not directly influenced by a short-term/moderate deviation of normal sleep duration (Ohayon et al., 2017), which might be apparent in this study because of the single session trial. In addition, when assessing sleep in laboratory and in non-

laboratory settings, a difference between quantitatively measured (e.g., TST) in contrast to subjectively rated data (e.g., sleep quality) is often reported (Crivello et al., 2019; Ibáñez et al., 2018). Accordingly, feelings of recovery and well-being (subjective sleep quality) after 5 hours of sleep could be higher than after 8 hours of sleep, although the objective number of TST might assume a reduced sleep quality. This could be why the difference in sleep duration in the present study might not substantially influence sleep quality. Further, if we assume that participants normally spend a large part of their leisure time playing digital games, using electronic devices, and social media, then it is that possible habituation effects occur. A day without gaming may not result in a significant change in sleep behavior and subjective sleep quality.

Based on the assessed parameter of TST, no conclusions can be drawn about whether participants had problems falling asleep or whether meaningful wake phases during the night following gaming arose. Bedtime and sleep stages would be essential variables here. In accordance with current literature (Ibáñez et al., 2019; Stone et al., 2020), the latter cannot be measured validly by smartwatches or fitness trackers; for this reason, we did not include them in the present study. To standardize G and NG conditions, we provided the same timeslots each evening and, because the study took place during participants' regular school/work time (no holidays or weekend), we assumed normal bedtime and waketime.

Influence of Gaming on Stress

As an additional health parameter, we assessed the individual stress level before and after G vs. NG. Whereas we found a significant difference between post G vs. NG, in the retention test the next morning there were no significant differences in the stress levels between G and NG. The participants' habituation to the competitive and stressful nature of esports could be a reason for the nonlasting effect of gaming on individuals' stress. Complementary results were found in the investigation by Schmidt et al. (2020), who determined the stress levels of gamers via measurement of cortisol concentration at different time points. On the one hand, cortisol as a stress indicator hormone was significantly increased during gaming; on the other hand, the cortisol concentration differed when winning or losing the digital game. Notably, the gamers' stress levels varied considerably between persons. These inconsistencies on the individual level could be explained by some unknown characteristics of the sample, such as gaming experience and whether the played games differed from the games they normally played. Taken together, these findings strengthen the hypothesis that gaming might have a negative effect on individuals' stress levels, although our results do not support this in total. Likewise, based on the present results, we can draw no conclusions about whether gaming has a negative impact on the perception of stress and physical exhaustion. When we compared our data to those of other studies, we noticed, beside the wide range of intraindividual perception of stress, also a plurality of stress assessment methods. There are different ways to operationalize stress as harmful, positive or negative, mental or physical. When conducting studies in esports, it could be assumed that primarily mental stress is prevalent. Whereas Poulus et al. (2020) used questionnaires, we assessed the participants' stress reaction to gaming via heart rate recording.

Nevertheless, our results are consistent with current literature revealing the effects of gaming on sleep behavior and stress (e.g., Altintas et al., 2019; Bonnar, Castine et al., 2019; Poulus et al., 2020). More precisely, besides the insufficient evidence regarding the effects of gaming on sleep quality, our findings serve as further proof regarding the influence of gaming on TST, and they identified at least the acute effects of esports on the objective stress level. Finally, because esports are becoming increasingly popular, especially among young people, gaming times are likely to increase in the future. Therefore, it is important to deal with the impact of gaming on individuals' health and well-being (Pereira et al., 2019; Yin et al., 2020). In accordance with the results of our study showing a particularly high stress level caused by

gaming, training programs focusing on suitable stress management and coping strategies, especially for young people, should be developed in the future (Smith et al., 2019).

Strengths and Limitations

While adding to the relatively young field of esports research, our study has some strengths that should be mentioned: First, to our knowledge, this is the first study to consider the triad of esports, sleep, and stress. Second, it is one of the few investigations to quantitatively examine the influence of gaming in an experimental intervention study. Third, the study was conducted in a real-world setting, which allows insights into the processes happening during esports. Therefore, our study has high external validity.

However, there are also some limitations to consider: First, we did not specify the inclusion criteria regarding game titles. Different games or sports simulations do not necessarily generate similar states of arousal/stress or excitement as first-person shooters (Reitman et al., 2020). To gain a deeper insight, authors should study the effects of different games separately in the future. Likewise, for replication and standardization reasons, the same study protocols should be applied to different esports players' skill levels. Second, the period and the setting of the investigation itself could be seen as limitations: With only a single session of G and NG each, various distortion possibilities or other noncontrollable side effects such as ambient noise or the presence of roommates might influence the results. In addition, it is questionable to what extent a single evening without excessive gaming effectively changes the individual sleep behavior of participants who regularly have > 200 minutes of gaming time per day. Third, we did not retrospectively control how participants spent their nongaming evening. More practical/controlled specifications concerning the G and NG conditions might be appropriate. Fourth, to avoid the risk of measurement failures or missing values, an alternative assessment tool that automatically and continuously measures heart rate variability or the individuals' stress level might be more reliable. In this sense, future studies should adapt the stress assessment as the operationalization of stress itself is variable: A differentiation between mental and physical stress might be reasonable. Further, more precise and holistic data would be on hand if questionnaires and the recording of heart rate variability were combined. Fifth, concerning the interpretation of the Garmin® stress scores, the lack of differentiation between positive and negative stress and the scoring (ranging from 1 to 100) itself is limited, i.e., the stress

scores might only partially indicate participants' actual stress level. The same challenge might occur regarding sleep assessment via the Garmin® smartwatch. Although fitness trackers seem to be an acceptable and reliable tool for assessing sleep and stress according to current research (Ibáñez et al., 2019), the data are not as precise as they would be when measuring sleep and stress parameters in a laboratory setting. Nevertheless, besides such difficulties in conducting, nonlaboratory/intervention studies might be more convincing regarding their practical relevance and implications. Because smartwatches are now able to assess a plurality of variables, especially in terms of sleep measures, future studies should extend the parameters studied. Beside the TST, for example, bedtime could be of special interest to answer whether gaming means just later bedtime or problems of falling asleep or meaningful awakenings during the night. Finally, we did not make any specifications concerning the computer or console screens, i.e., we did not consider that blue-light emission or the use of a blue-light filter might influence the results. As blue light seems to have a negative impact on sleep and concentration (Wahl et al., 2019), future studies should specify the use of blue-light emission (e.g., internal blue-light filter or blue-light glasses) and the distance to the screen because especially players of first-person shooters tend to sit very close to the screen.

Future Directions and Conclusion

Finally, because our research, like other studies, indicates a changed sleep behavior from nightly gaming, the effects of esports on sleep should be considered in more detail in the future. Besides theoretical and qualitative investigations, especially quantitative research and studies testing the effects of sleep interventions are required. For instance, Bonnar, Lee and colleagues (2019) formulated practical guidelines considering risk factors and possible sleep interventions to address the important role of sleep in esports. However, the identified effect of gaming on individuals' stress levels should be handled with caution because of the risk of chronically impairing the immune system (Palanichamy et al., 2020; Stojanovich & Marisavljevic, 2008). Along this line, Emara et al. (2020) recently formulated a three-point plan for health and training monitoring of professional esports players. However, such a healthy approach to gaming might not only be implemented in the professional esports context but also seems to be a promising approach in the educational context to sensitize young people regarding the potential risks of excessive gaming for health-related

factors and, consequently, to conduct suitable stress-reducing interventions.

In conclusion, while plenty of research has examined the relationship between sleep, stress, and physical sports, little is known about the influence of esports on sleep and stress. Although several psychophysiological demands in esports are similar to those found in traditional sports, the reciprocal impact of esports on health-related factors such as sleep and stress should be considered and investigated similarly. Following our results, excessive nightly gaming sessions seem to reduce sleep duration and increase feelings of stress. Future research should not only longitudinally examine the long-term effects of esports on health but also establish suitable sleep health interventions and stress coping strategies.

Reference

- Akçay, D., & Akçay, B. D. (2020). The effect of computer game playing habits of university students on their sleep states. *Perspectives in Psychiatric Care*, 56, 820–826. <https://doi.org/10.1111/ppc.12497>
- Altintas, E., Karaca, Y., Hullaert, T., & Tassi, P. (2019). Sleep quality and video game playing: Effect of intensity of video game playing and mental health. *Psychiatry Research*, 273, 487–492. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2019.01.030>
- Bányai, F., Griffiths, M. D., Király, O., & Demetrovics, Z. (2019). The psychology of esports: A systematic literature review. *Journal of Gambling Studies*, 35, 351–365. <https://doi.org/10.1007/s10899-018-9763-1>
- Biggs, A., Brough, P., & Drummond, S. (2017). Lazarus and Folkman's psychological stress and coping theory. In C. L. Cooper & J. C. Quick (Eds.), *The handbook of stress and health: A guide to research and practice* (pp. 351–364). Wiley Blackwell.
- Bonnar, D., Castine, B., Kakoschke, N., & Sharp, G. (2019). Sleep and performance in athletes: For the win! *Sleep Health*, 5, 647–650. <https://doi.org/10.1016/j.sleh.2019.06.007>
- Bonnar, D., Lee, S., Gradisar, M., & Suh, S. (2019). Risk factors and sleep intervention considerations in esports: A review and practical guide. *Sleep Medicine Research*, 10, 59–66. <https://doi.org/10.17241/SMR.2019.00479>
- Buysse, D. J., Reynolds, C. F., Monk, T. H., Berman, S. R., & Kupfer, D. J. (1989). The Pittsburgh Sleep Quality Index: A new instrument for psychiatric practice and research. *Psychiatry Research*, 28, 193–213. [https://doi.org/10.1016/0165-1781\(89\)90047-4](https://doi.org/10.1016/0165-1781(89)90047-4)
- Canale, N., Marino, C., Griffiths, M. D., Scacchi, L., Monaci, M. G., & Vieno, A. (2019). The association between problematic online gaming and perceived stress: The moderating effect of psychological resilience. *Journal of Behavioral Addictions*, 8, 174–180. <https://doi.org/10.1556/2006.8.2019.01>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Academic Press.
- Cranmer, E. E., Han, D.-I. D., van Gisbergen, M., & Jung, T. (2021). Esports matrix: Structuring the esports research agenda. *Computers in Human Behavior*, 117, 106671. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106671>
- Crivello, A., Barsocchi, P., Girolami, M., & Palumbo, F. (2019). The meaning of sleep quality: A survey of available technologies.

- IEEE Access*, 7, 167374–167390. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2953835>
- Emara, A. K., Ng, M. K., Cruickshank, J. A., Kampert, M. W., Piuze, N. S., Schaffer, J. L., & King, D. (2020). Gamer's health guide: Optimizing performance, recognizing hazards, and promoting wellness in esports. *Current Sports Medicine Reports*, 19, 537–545. <https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000787>
- eSport-Bund Deutschland e.V. (2018). Was ist eSport? [What is eSport?]. Retrieved from <https://esportbund.de/esport/was-ist-esport/>
- Exelmans, L., & van den Bulck, J. (2015). Sleep quality is negatively related to video gaming volume in adults. *Journal of Sleep Research*, 24, 189–196. <https://doi.org/10.1111/jsr.12255>
- Froböse, I., Rudolf, K., Wechsler, K., Bickmann, P., Tholl, C., & Grieben, C. (2020). eSport Studie 2020: Neue Erkenntnisse zu Gesundheit und Erholung [eSport Studie 2020: New findings on health and recovery]. Retrieved from <https://www.esportwissen.de/wp-content/uploads/2020/02/Ergebnisbeschreibung-2020.pdf>
- Froböse, I., Rudolf, K., Wechsler, K., Tholl, C., & Grieben, C. (2019). eSport Studie 2019: eSportler im Fokus der Wissenschaft [eSport Studie 2019: e-athletes in the focus of science]. Retrieved from <https://www.esportwissen.de/wp-content/uploads/2019/01/eSportwissen.de-eSport-Studie-2019.pdf>
- Grandner, M. A. (2017). Sleep, health, and society. *Sleep Medicine Clinics*, 12, 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.jsmc.2016.10.012>
- Hartmann, M., Pelzl, M. A., Kann, P. H., Koehler, U., Betz, M., Hildebrandt, O., & Cassel, W. (2019). The effects of prolonged single night session of videogaming on sleep and declarative memory. *PLoS One*, 14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224893>
- Hoffmann, R. M., Müller, T., Hajak, G., & Cassel, W. (1997). Abend-Morgenprotokolle in Schlafforschung und Schlafmedizin: Ein Standardinstrument für den deutschsprachigen Raum [Evening-morning protocols in sleep research and sleep medicine: A standard instrument for the German-speaking countries]. *Somnologie*, 1, 103–109.
- Ibáñez, V., Silva, J., & Cauli, O. (2018). A survey on sleep assessment methods. *PeerJ*, 6, e4849. <https://doi.org/10.7717/peerj.4849>
- Ibáñez, V., Silva, J., Navarro, E., & Cauli, O. (2019). Sleep assessment devices: Types, market analysis, and a critical view on accuracy and validation. *Expert Review of Medical Devices*, 16, 1041–1052. <https://doi.org/10.1080/17434440.2019.1693890>
- Kelly, S., & Leung, J. (2021). The new frontier of esports and gaming: A scoping meta-review of health impacts and research agenda. *Frontiers in Sports and Active Living*, 3, 640362. <https://doi.org/10.3389/fspor.2021.640362>
- Kirschen, G. W., Jones, J. J., & Hale, L. (2018). The impact of sleep duration on performance among competitive athletes: A systematic literature review. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 5, 503–512. <https://doi.org/10.1097/JSM.00000000000000622>
- Lazarus, R. S., & Folkman, S. (1984). *Stress, appraisal, and coping*. Springer.
- Lee, S., Bonnar, D., Roane, B., Gradisar, M., Dunican, I. C., Lastella, M., Maisey, G., & Suh, S. (2021). Sleep characteristics and mood of professional esports athletes: A multi-national study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18, 664. <https://doi.org/10.3390/ijerph18020664>
- Leis, O., & Lautenbach, F. (2020). Psychological and physiological stress in non-competitive and competitive esports settings: A systematic review. *Psychology of Sport and Exercise*, 51, 101738. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2020.101738>
- Leis, O., Raue, C., Dreiskämper, D., & Lautenbach, F. (2021). To be or not to be (e)sports? That is not the question! Why and how sport and exercise psychology could research esports. *German Journal of Exercise and Sport Research*, 51, 241–247. <https://doi.org/10.1007/s12662-021-00715-9>
- Lemola, S., Ledermann, T., & Friedman, E. M. (2013). Variability of sleep duration is related to subjective sleep quality and subjective well-being: An actigraphy study. *PLoS One*, 8, e71292. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0071292>
- Lu, S., Wei, F., & Li, G. (2021). The evolution of the concept of stress and the framework of the stress system. *Cell Stress*, 5, 76–85. <https://doi.org/10.15698/cst2021.06.250>
- Miskoff, J. A., Chaudhri, M., & Miskoff, B. (2019). Does playing video games before bedtime affect sleep? *Cureus*, 11, e4977. <https://doi.org/10.7759/cureus.4977>
- Montag, C., Schivinski, B., Sariyska, R., Kannen, C., Demetrovics, Z., & Pontes, H. M. (2019). Psychopathological symptoms and gaming motives in disordered gaming: A psychometric comparison between the WHO and APA diagnostic frameworks. *Journal of Clinical Medicine*, 8, 1691. <https://doi.org/10.3390/jcm8101691>
- Ohayon, M., Wickwire, E. M., Hirshkowitz, M., Albert, S. M., Avidan, A., Daly, F. J., Dauvilliers, Y., Ferri, R., Fung, C., Gozal, D., Hazen, N., Krystal, A., Lichstein, K., Mallampalli, M., Plazzi, G., Rawding, R., Scheer, F. A., Somers, V., & Vitiello, M. V. (2017). National Sleep Foundation's sleep quality recommendations: First report. *Sleep Health*, 3, 6–19. <https://doi.org/10.1016/j.sleh.2016.11.006>
- Palanichamy, T., Sharma, M. K., Sahu, M., & Kanchana, D. M. (2020). Influence of esports on stress: A systematic review. *Industrial Psychiatry Journal*, 29, 191–199. https://doi.org/10.4103/ipj.ipj_195_20
- Pedraza-Ramirez, I., Musculus, L., Raab, M., & Laborde, S. (2020). Setting the scientific stage for esports psychology: A systematic review. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 13, 319–352. <https://doi.org/10.1080/1750984X.2020.1723122>
- Peracchia, S., & Curcio, G. (2018). Exposure to video games: Effects on sleep and on post-sleep cognitive abilities. A systematic review of experimental evidences. *Sleep Science*, 11, 302–314. <https://doi.org/10.5935/1984-0063.20180046>
- Pereira, A. M., Brito, J., Figueiredo, P., & Verhagen, E. (2019). Virtual sports deserve real sports medical attention. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 5, e000606. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2019-000606>
- Pontes, H., Montag, C., & Schivinski, B. (2019). *Gaming disorder among gaming communities*. Retrieved from <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/NTYHR>
- Pontes, H. M., & Griffiths, M. D. (2015). Measuring DSM-5 internet gaming disorder: Development and validation of a short psychometric scale. *Computers in Human Behavior*, 45, 137–143. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.12.006>
- Pontes, H. M., Schivinski, B., Sindermann, C., Li, M., Becker, B., Zhou, M., & Montag, C. (2021). Measurement and conceptualization of gaming disorder according to the World Health Organization framework: The development of the Gaming Disorder Test. *International Journal of Mental Health and Addiction*, 19, 508–528. <https://doi.org/10.1007/s11469-019-00088-z>
- Poulus, D., Coulter, T. J., Trotter, M. G., & Polman, R. (2020). Stress and coping in esports and the influence of mental toughness. *Frontiers in Psychology*, 11, 628. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00628>
- Reitman, J. G., Anderson-Coto, M. J., Wu, M., Lee, J. S., & Steinkuehler, C. (2020). Esports research: A literature review. *Games and Culture*, 15, 32–50. <https://doi.org/10.1177/1555412019840892>
- Schmidt, S. C. E., Gnam, J.-P., Kopf, M., Rathgeber, T., & Woll, A. (2020). The influence of cortisol, flow, and anxiety on perfor-

- mance in e-sports: A field study. *BioMed Research International*, Article 9651245. <https://doi.org/10.1155/2020/9651245>
- Smith, M. J., Birch, P. D., & Bright, D. (2019). Identifying stressors and coping strategies of elite esports competitors. *International Journal of Gaming and Computer-Mediated Simulations*, 11, 22–39. <https://doi.org/10.4018/IJGMS.2019040102>
- Stojanovich, L., & Marisavljevic, D. (2008). Stress as a trigger of autoimmune disease. *Autoimmunity Reviews*, 7, 209–213. <https://doi.org/10.1016/j.autrev.2007.11.007>
- Stone, J. D., Rentz, L. E., Forsey, J., Ramadan, J., Markwald, R. R., Finomore, V. S., Galster, S. M., Rezaei, A., & Hagen, J. A. (2020). Evaluations of commercial sleep technologies for objective monitoring during routine sleeping conditions. *Nature and Science of Sleep*, 12, 821–842. <https://doi.org/10.2147/NSS.S270705>
- Tholl, C., Rudolf, K., Wechsler, K., Froböse, I., & Grieben, C. (2019). eSportler im Fokus der Sportwissenschaft: Erfassung einer neuen Risikozielgruppe [e-athletes in the focus of sports science: Identification of a new risk group]. *IMPULSE – Das Wissensmagazin der Deutschen Sporthochschule Köln*, 24, 12–19. https://issuu.com/sporthochschule-koeln/docs/impulse_01-2019_es
- Wagner, M., Engel, F., Klier, K., Klughardt, S., Wallner, F., & Wiczorek, A. (2021). Zur Reliabilität von Wearable Devices am Beispiel einer Premium Multisport-Smartwatch [On the reliability of wearable devices using the example of a premium multisport smartwatch]. *German Journal of Exercise and Sport Research*, 51, 49–62. <https://doi.org/10.1007/s12662-020-00682-7>
- Wahl, S., Engelhardt, M., Schaupp, P., Lappe, C., & Ivanov, I. V. (2019). The inner clock: Blue light sets the human rhythm. *Journal of Biophotonics*, 12, e201900102. <https://doi.org/10.1002/jbio.201900102>
- Wiesing, U., & Ehni, H.-J. (2014). Die Deklaration von Helsinki des Weltärztebundes – Ethische Grundsätze für die Forschung am Menschen [The Declaration of Helsinki of the World Medical Association – Ethical principles for research involving humans]. In C. Lenk, G. Duttge, & H. Fangerau (Eds.), *Handbuch Ethik und Recht der Forschung am Menschen* (pp. 517–524). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-35099-3_82
- Yin, K., Zi, Y., Zhuang, W., Gao, Y., Tong, Y., Song, L., & Liu, Y. (2020). Linking esports to health risks and benefits: Current knowledge and future research needs. *Journal of Sport and Health Science*, 9, 485–488. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.04.006>
- Zimbardo, P. G., & Gerrig, R. J., (2004). *Psychologie [Psychology]*. Pearson Studium.

Acknowledgments

The authors thank Jan Latta and David Wickel for their assistance in data collection. There was no external funding.

Conflict of Interest

The authors declare that there are no conflicts of interest.

Funding

Open Access publication enabled by the Universität der Bundeswehr München.

ORCID

Kristina Klier

 <https://orcid.org/0000-0002-6906-9933>

Kristina Klier

Institut für Sportwissenschaft
Universität der Bundeswehr München
Werner-Heisenberg-Weg 39
85577 Neubiberg
Germany
kristina.klier@unibw.de