



MARTIN-LUTHER-UNIVERSITÄT
HALLE-WITTENBERG

Exergaming

Untersuchung psychologischer und physiologischer Parameter bei einer akuten und einer mehrwöchigen Exergaming-Intervention im ExerCube

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades der Philosophie (Dr. phil.)

vorgelegt

der Philosophischen Fakultät II
[Philologien, Kommunikations- und Musikwissenschaften]
der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg,

von Frau Lisa Röglin

Datum der Verteidigung:

15. Januar 2024
in Halle | Saale

Gutachtende:

Prof. Dr. Oliver Stoll
Prof. Dr. Elke Knisel
Prof. Dr. Claudio Nigg

Inhaltsverzeichnis

Publikationen im Rahmen der Promotion	V
Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	VI
1. Einleitung	1
2. Theoretischer Hintergrund	4
2.1 Risikofaktor Bewegungsmangel	4
2.1.1 Gesundheitliche Folgen des Bewegungsmangels.....	4
2.1.2 Bewegungsmangel als Folge sitzender, bildschirmbasierter Freizeitaktivitäten	5
2.2 Exergaming: eine Kombination aus körperlicher Aktivität und digitalem Gaming	6
2.2.1 Was ist Exergaming?.....	7
2.2.2 Aktueller Forschungsüberblick zu ausgewählten physiologischen und psychologischen Effekten beim Exergaming	8
2.2.3 Bewegungsförderung mithilfe von Exergames?.....	13
3. Der ExerCube und das Fitnessspiel „Sphery Racer“	15
3.1 Interaktive Hardware	15
3.2 Bewegungstracker (Game-Controller)	16
3.3 Das virtuelle Game Szenario „Sphery Racer“	17
3.3.1 Funktionelle Ganzkörperbewegungen	17
3.3.2 Adaptives Spielkonzept	18
3.4 Forschungsstand zum ExerCube „Sphery Racer“	19
4. Untersuchung psychologischer und physiologischer Parameter bei einer akuten ExerCube-Intervention mit Erwachsenen	20
4.1 Zielsetzung und methodische Überlegungen zum Forschungsvorhaben.....	20
4.2 Studie 1a: Die Belastungsintensität beim Spielen des ExerCube „Sphery Racers“	22
4.2.1 Fragestellung	22
4.2.2 Methode.....	22
4.2.3 Ergebnisse.....	25
4.2.4 Zusammenfassung.....	26
4.2.5 Originalpublikation: The New Way to Exercise? Evaluating an Innovative Heart-rate-controlled Exergame	27
4.3 Studie 1b: ExerCube versus moderater Ausdauerlauf: Untersuchung von Bewegungsfreude und Flow-Erleben sowie physiologischen Reaktionen	38
4.3.1 Fragestellung	38
4.3.2 Methode.....	38
4.3.3 Ergebnisse.....	42

4.3.4	Zusammenfassung.....	42
4.3.5	Originalpublikation: Adaptive High-Intensity Exergaming: The More Enjoyable Alternative to Conventional Training Approaches Despite Working Harder	43
5.	Untersuchung psychologischer Parameter bei einer 12-wöchigen ExerCube-Intervention im Setting Grundschule	57
5.1	Zielsetzung und methodische Überlegungen zum Forschungsvorhaben	57
5.1.1	Die Bedeutung des Settings Schule für die Bewegungsförderung	59
5.1.2	Entwicklungspsychologische Einflüsse auf das Bewegungsverhalten und das Selbstkonzept der Zielgruppe.....	59
5.2	Studie 2a: Entwicklung der Bewegungsfreude während einer 12-wöchigen ExerCube-Intervention	61
5.2.1	Fragestellung	61
5.2.2	Methode.....	61
5.2.3	Ergebnisse.....	66
5.2.4	Zusammenfassung.....	67
5.2.5	Originalpublikation: Evaluating Changes in Perceived Enjoyment Throughout a 12-Week School-Based Exergaming Intervention.	68
5.3	Studie 2b: Auswirkungen einer 12-wöchigen ExerCube-Intervention auf das physische Selbstkonzept	86
5.3.1	Fragestellung	86
5.3.2	Methode.....	87
5.3.3	Ergebnisse.....	90
5.3.4	Zusammenfassung.....	91
5.3.5	Originalpublikation: A 3-Month School-Based Exergaming Intervention Increases Students' Physical Self-Concept: A Randomized Controlled Trial	92
6.	Studienübergreifende Diskussion der Forschungsergebnisse	114
7.	Zusammenfassung und Ausblick	126
8.	Literaturverzeichnis.....	128
	Danksagung.....	143

Anmerkung der Autorin zu gendergerechter Sprache:

In der gesamten Arbeit wurde einheitlich das Sternchen (*) verwendet, um Frauen und Männer bzw. Mädchen und Jungen sowie diverse Personen gleichermaßen anzusprechen.

Publikationen im Rahmen der Promotion

Die vorliegende kumulative Dissertation basiert auf den folgenden 4 englischsprachigen und im Peer-Review-Verfahren publizierten Artikeln:

Studie 1a:

Ketelhut, S., **Röglin, L.**, Kircher, E., Martin-Niedecken, A. L., Ketelhut, R.G., Hottenrott, K., & Ketelhut, K. (2022). The New Way to Exercise? Evaluating an Innovative Heart-rate-controlled Exergame. *International journal of sports medicine*, 43(1), 77–82. <https://doi.org/10.1055/a-1520-4742>

Studie 1b:

Röglin, L., Ketelhut, S., Ketelhut, K., Kircher, E., Ketelhut, R. G., Martin-Niedecken, A. L., Hottenrott, K., & Stoll, O. (2021). Adaptive High-Intensity Exergaming: The More Enjoyable Alternative to Conventional Training Approaches Despite Working Harder. *Games for health journal*, 10(6), 400–407. <https://doi.org/10.1089/g4h.2021.0014>

Studie 2a:

Röglin, L., Stoll, O., Ketelhut, K., Martin-Niedecken, A. L. & Ketelhut, S. (2023). Evaluating Changes in Perceived Enjoyment Throughout a 12-Week School-Based Exergaming Intervention. *Children*, 10(1), 144. <https://doi.org/10.3390/children10010144>

Studie 2b:

Röglin, L., Stoll, O., Ketelhut, K., Martin-Niedecken, A. L.; Ketelhut, S. (2024). A 3-Month School-Based Exergaming Intervention Increases Students' Physical Self-Concept: A Randomized Controlled Trial. *German Journal of Exercise and Sport Research*. <https://doi.org/10.1007/s12662-024-00954-6>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gruppierung von Exergames.....	8
Abbildung 2: Skizzen der ExerCube-Hardware aus verschiedenen Perspektiven	16
Abbildung 3: Ausschnitt aus dem ExerCube-Spiel „Sphery Racer“	17
Abbildung 4: Übersicht über die funktionellen Bewegungsaufgaben des ExerCube „Sphery Racers“	18
Abbildung 5: Proband mit Atemmaske im ExerCube und während eines Ausdauerlaufs.....	21
Abbildung 6: Das Studiendesign der Studie 1a	24
Abbildung 7: Das Studiendesign der Studie 1b.....	40
Abbildung 8: Installation des ExerCube in der Schule.....	58
Abbildung 9: Das Studiendesign der Studie 2a	63
Abbildung 10: Das Studiendesign der Studie 2b	88

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ausgewählte Daten der Mercator-Grundschule Berlin im Schuljahr 2020/21.....	58
---	-----------

1. Einleitung

Der Mangel an körperlicher Aktivität wird ebenso wie sedentäres Verhalten mit einer Vielzahl von schwerwiegenden körperlichen und psychischen Erkrankungen in Verbindung gebracht (Braig et al., 2018; Bull et al., 2020; Katzmarzyk et al., 2022; World Health Organization, 2018). Somit zählen beide zu den bedeutendsten gesundheitlichen Risikofaktoren der heutigen Gesellschaft (Pawlik, 2021). Die Tatsache, dass mehr als ein Viertel aller Erwachsener (Guthold et al., 2018) sowie mehr als 80 % aller Heranwachsender (Guthold et al., 2020) weltweit von Bewegungsmangel betroffen sind, unterstreicht die Notwendigkeit effektiver Bewegungsförderungsmaßnahmen für die öffentliche Gesundheit.

Als innovativer Ansatz, um verschiedenste Zielgruppen zu vermehrter körperlicher Aktivität zu motivieren, werden aktuell aktive Videospiele (sogenannte Exergames) diskutiert, die körperliche Bewegung (*Exercise*) und bildschirmbasiertes Gaming (*Games*) verknüpfen (Baranowski, 2017; Biddiss & Irwin, 2010; Daley, 2009; Gao, 2017; Gao et al., 2015; Lamboglia et al., 2013; Marshall & Linehan, 2020; Oh & Yang, Stephen, 2010). Aufgrund ihrer bewegungsfördernden Eigenschaften unterscheiden sich Exergames von traditionellen Computer- und Videospiele, die aus gesundheitswissenschaftlicher Perspektive oft kritisiert werden (Mentzoni et al., 2011; Pelletier et al., 2020; Vandewater et al., 2004). So werden Letztere in der Regel im Sitzen ausgeübt und fördern demnach sedentäres Verhalten, vielfach zulasten aktiver Freizeitaktivitäten und eines ausreichenden Umfangs an täglicher körperlicher Aktivität (Dahlgren et al., 2021; Salmon et al., 2005; Sandercock et al., 2012; Sinclair et al., 2007). Demgegenüber verfügen Exergames über das Potenzial, die ursprünglich ausschließlich sitzende Tätigkeit vor dem Bildschirm in eine aktive Freizeitbeschäftigung umzuwandeln und somit eine Brücke zwischen bildschirmbasierter und körperlicher Aktivität zu schlagen (Baranowski, 2017; Gao, 2017). Beim Spielen eines Exergames bewegt sich der/die Spielende in der Regel vor einem oder mehreren Bildschirmen (z. B. TV, Computer oder Smartphone) oder trägt eine Virtual-Reality (VR)-Brille. Dabei wird das virtuelle Spielgeschehen durch Teil- oder Ganzkörperbewegungen gesteuert, die mithilfe verschiedener Sensoren erfasst werden. Zudem können weitere Spielgeräte wie bspw. Controller oder Ergometer zur Bewegungsausführung eingesetzt werden. Je nach Anbieter, Soft- und Hardware sowie Spieldesign können Exergames somit zur Ansteuerung unterschiedlicher körperlicher und kognitiver Funktionen genutzt werden (Martin-Niedecken, 2021).

Dass Exergames zunehmend in den Fokus der Wissenschaft sowie von Pädagog*innen und Trainer*innen rücken, lässt sich insbesondere auf die enorme Popularität und Beliebtheit von Video- und Computerspielen zurückführen. Allein in Deutschland spielen laut aktueller Zahlen rund 59 % der Bevölkerung zwischen 6 und 69 Jahren (davon 48 % Frauen) mindestens gelegentlich klassische oder aktive Computer- und Videospiele auf dem Smartphone, der Konsole, dem Laptop oder dem Tablet (GfK, 2022). Weltweit betrifft dies über 3,2 Milliarden Menschen (Newzoo International B.V., 2022). Ein Großteil der deutschen Gamer*innen gibt einer Online-Umfrage des „Game – Verband der Deutschen

Games-Branche“ zufolge an, dass das Spielen das Wohlbefinden steigere (60 %) und für Entspannung (75 %) Sorge (YouGov, 2022). Darüber hinaus belegen Studien, dass „Enjoyment“¹ ein häufig genannter Grund ist, warum Menschen Video- oder Computerspiele spielen (Pagulayan et al., 2003; Tamborini et al., 2010).

Die sog. Gamifizierung² (= Verwendung von Game-Design-Elementen in nicht spielerischen Kontexten; Deterding et al., 2011) von körperlicher Aktivität durch Exergames könnte sich somit positiv auf das Bewegungserlebnis der Spielenden auswirken und Enjoyment sowie Bewegungsförderung miteinander verknüpfen (Gao, 2017; Gao & Huang, 2011). Auf diese Weise bieten Exergames als „Türöffner“ möglicherweise das Potenzial, eine Zielgruppe zu erreichen, die sonst nicht für traditionelle Bewegungsangebote begeistert werden kann, jedoch großen Spaß am Spielen von Computer- und Videospielen empfindet (Baranowski, 2017; Finco et al., 2015).

Tatsächlich weisen zahlreiche Studien und Übersichtsarbeiten darauf hin, dass Exergames motivierende und gesundheitsförderliche Effekte bei unterschiedliche Zielgruppen (unter diesen Heranwachsende, Übergewichtige, Ältere oder auch Patient*innen) erzielen können (Andrade et al., 2019; Gao et al., 2015; Joronen et al., 2017; Lamboglia et al., 2013; Lee et al., 2017; O’Loughlin et al., 2020). In einigen Studien konnten diesbezüglich vergleichbare oder zum Teil sogar günstigere Effekte gegenüber klassischen Sportarten (z. B. Joggen oder Tanzen) konstatiert werden (Gao et al., 2013, 2015; Graves et al., 2010; Vernadakis et al., 2014).

Dennoch wird aus sport- und gesundheitswissenschaftlicher Perspektive deutlich, dass nicht alle Exergames gleichermaßen einen erfolgreichen Ansatz für die Bewegungs- und Gesundheitsförderung bieten. Dies liegt vor allem daran, dass unter dem Begriff „Exergames“ verschiedenste Produkte zusammengefasst werden, die sich hinsichtlich ihres Designs und ihrer Funktionalität sowie ihres Anwendungsbereichs und ihrer Zielgruppe unterscheiden, was sich auch deutlich auf ihre Effektivität und Attraktivität auswirkt (Röglin et al., 2023; Zaczynski & Whitehead, 2014). Übersichtsarbeiten deuten darauf hin, dass viele auf dem Markt erhältliche Produkte zu geringe Belastungsintensitäten aufweisen, um relevante physiologische Anpassungen zu erzielen. Viele Exergames tragen somit nicht zur Erreichung der von der WHO empfohlenen Vorgaben für Intensität und Umfang täglicher körperlicher Aktivität bei (Bull et al., 2020; Marshall & Linehan, 2020; Peng et al., 2013). Hierbei ist jedoch zu

¹Der englische Begriff „Enjoyment“ bezeichnet ein psychologisches Konstrukt, das für viele verschiedene Bereiche des Lebens, darunter auch Bewegung und Sport, wesentlich ist, und je nach Blickwinkel unterschiedlich definiert werden kann (Kawabata & Mallett, 2022; Kimiecik & Harris, 1996). Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird „Enjoyment“ einheitlich anstelle der verschiedenen deutschen Übersetzungen wie Freude, Vergnügen oder Spaß genutzt. Im Zusammenhang mit körperlicher Aktivität wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit sowie in den durchgeführten Studien zudem einheitlich der Begriff „Bewegungsfreude“ verwendet. Bei der Definition des Begriffs „Bewegungsfreude“ wird auf die Arbeitsdefinition von Kimiecik & Harris (1996, S. 261) zurückgegriffen: „Enjoyment is an optimal psychological state (i. e., flow) that leads to pursuing an activity for its own sake (intrinsic motivation) and is associated with many positive feeling states.“

²Eine detaillierte Beschreibung des Phänomens „Gamifizierung“ in verschiedenen Kontexten liefern Deterding et al. (2011).

beachten, dass bisher nur ein kleiner Teil aller erhältlichen Exergames wissenschaftlich untersucht wurde (Gao, 2017).

Mit dem ExerCube und dem dazugehörigen Fitnessspiel „Sphery Racer“ wurde 2016 ein Exergame entwickelt, das sich mit seinem immersiven und adaptiven Spieldesign sowie seinem Ganzkörperbewegungskonzept zu Teilen deutlich von anderen Exergames unterscheidet. Auf diese Weise könnte der ExerCube sowohl aus psychologischer als auch physiologischer Perspektive ein vielversprechender digitaler Ansatz für die Bewegungs- und Gesundheitsförderung sein. Das Ziel der vorliegenden Arbeit bestand darin, den ExerCube „Sphery Racer“ im Rahmen von 2 Studien, die sich jeweils aus 2 Teilstudien zusammensetzen (1a und b; 2a und b) näher zu untersuchen. Im Vordergrund stand hierbei die übergreifende Fragestellung, ob das Exergame als ein effektives und gleichzeitig attraktives Tool für die Bewegungsförderung bewertet werden kann. Zu diesem Zweck wurden ausgewählte psychologische und physiologische Parameter während einer akuten (Studien 1a und b) und einer mehrwöchigen ExerCube-Intervention (Studien 2a und b) in unterschiedlichen Settings und bei verschiedenen Zielgruppen erhoben. Der Fokus der ersten Teilstudie (1a) lag dabei auf der Bewertung der Belastungsintensität einer ExerCube-Einheit bei erwachsenen Proband*innen im Rahmen einer Laboruntersuchung. In der zweiten Teilstudie (1b) wurde die ExerCube-Einheit darüber hinaus mit einem moderaten Ausdauertraining hinsichtlich des Flow-Erlebens, der Bewegungsfreude und der subjektiv empfundenen sowie objektiv gemessenen Belastungsintensität verglichen. Im Rahmen der zweiten Studie (2a und b) wurde untersucht, wie sich eine 12-wöchige ExerCube-Intervention im Setting Grundschule auf die Bewegungsfreude (2a) sowie das physische Selbstkonzept (PSK, 2b) von Fünft- und Sechstklässler*innen auswirkt.

Für die Beantwortung und Diskussion der zentralen Fragestellung erfolgt im Rahmen der vorliegenden Arbeit zunächst eine kurze Einführung in das Thema Bewegungsmangel als Folge unseres modernen, bildschirmbasierten Alltags (Kapitel 2). Im darauffolgenden Kapitel 3 werden Exergames als innovativer Ansatz für die Bewegungsförderung vorgestellt. Hierfür erfolgt zunächst eine Übersicht über aktuelle Exergaming-Produkte sowie ein Forschungsüberblick über ausgewählte psychologische und physiologische Effekte beim Exergaming. Der Theorieteil endet mit einem kurzen Fazit zu den Potenzialen und Herausforderungen unterschiedlicher Exergaming-Produkte, die im Rahmen der Bewegungsförderung berücksichtigt werden sollten. Aufbauend auf dem theoretischen Teil erfolgt in Kapitel 4 die Beschreibung des ExerCube „Sphery Racers“ als Grundlage für die durchgeführten Studien. In den Kapiteln 5 und 6 werden die Zielsetzung und Methodik der Forschungsvorhaben genauer vorgestellt und es erfolgt eine Beschreibung der einzelnen Teilstudien. Die jeweiligen Forschungsergebnisse werden anschließend in Kapitel 7 studienübergreifend diskutiert. Die Arbeit schließt mit einem Ausblick, der Empfehlungen für den Einsatz von Exergames – insbesondere des ExerCube – im Rahmen der Bewegungsförderung beinhaltet sowie bisher ungenutztes Exergaming-Potenzial aufzeigt.

2. Theoretischer Hintergrund

2.1 Risikofaktor Bewegungsmangel

2.1.1 Gesundheitliche Folgen des Bewegungsmangels

Der zunehmende Mangel an körperlicher Aktivität in allen Altersgruppen unserer Bevölkerung geht mit zahlreichen negativen gesundheitlichen Folgen einher, die unsere Gesellschaft vor immer größere Herausforderungen stellen (Guthold et al., 2018; Pawlik, 2021; World Health Organization, 2018). So weist die Weltgesundheitsorganisation (WHO; 2018) darauf hin, dass Bewegungsmangel ein Risikofaktor für viele nicht übertragbare Krankheiten wie Übergewicht, Bluthochdruck, Diabetes Mellitus oder auch diverse psychische Erkrankungen ist. Der Mangel an körperlicher Aktivität trägt somit zu den häufigsten Todesursachen auf unserer Welt bei (Pawlik, 2021).

Dennoch schafft es mehr als ein Viertel aller Erwachsenen weltweit nicht, die Empfehlung von mind. 150 Minuten moderater oder 75 Minuten intensiver körperlicher Aktivität pro Woche zu erfüllen (Guthold et al., 2018). Erschreckenderweise manifestiert sich der Bewegungsmangel bereits im Kindes- und Jugendalter. Laut aktuellen Zahlen der WHO sind 81 % aller schulpflichtiger Heranwachsender im Alter von 11 bis 17 Jahren von Bewegungsmangel betroffen (Guthold et al., 2020). Ein Großteil der Kinder weltweit ist demnach nicht in der Lage, mind. 60 Minuten pro Tag mit moderater bis hoher Intensität körperlich aktiv zu sein (Bull et al., 2020).

Das geringe Aktivitätsniveau ist besonders deshalb besorgniserregend, da Bewegung im Kindesalter als ein Grundbedürfnis gilt, dem eine entscheidende entwicklungspsychologische Rolle (der „Erforschertrieb“) zukommt (De Bock, 2012). So ist Bewegung insbesondere in den ersten 10 Lebensjahren ein wesentlicher Bestandteil des kindlichen Spiels und damit Voraussetzung wichtiger sozialer, psychologischer, kognitiver, motorischer und emotionaler Lern- und Entwicklungsprozesse (Burdette & Whitaker, 2005; Ginsburg et al., 2007). In der Literatur wird seit vielen Jahren auf den positiven Einfluss regelmäßiger körperlicher Aktivität auf die körperliche (z. B. Stoffwechsel, Körperzusammensetzung, oder Herz-Kreislauf-System; Andersen et al., 2006; Kimm et al., 2005) und geistige Gesundheit (z. B. Selbstkonzept, Angst und Depressionen) von Heranwachsenden hingewiesen (Biddle et al., 2000; Conzelmann, 2008). Die Forschung deutet zudem darauf hin, dass sich viele gesundheitliche Effekte von Bewegung im Kindesalter (darunter positive Auswirkungen auf das Herz-Kreislauf-System, die kardiorespiratorische und muskuläre Fitness sowie den Gewichtsstatus) bis ins Erwachsenenalter auswirken (Physical Activity Guidelines Advisory Committee, 2018; World Health Organization, 2010). Die Bewegungsförderung ist somit zentraler Bestandteil unserer Entwicklungsförderung sowie Persönlichkeitsbildung und demnach mehr als nur die Prävention von Übergewicht (De Bock, 2012). Je früher die Weichen für einen gesundheitsorientierten Lebensstil gestellt werden, desto nachhaltiger kann das Verhalten der Heranwachsenden und insbesondere auch ihre Einstellung zu

Bewegung und Sport geprägt werden (Physical Activity Guidelines Advisory Committee, 2018; World Health Organization, 2019).

2.1.2 Bewegungsmangel als Folge sitzender, bildschirmbasierter Freizeitaktivitäten

Die vorgängig beschriebenen schwerwiegenden Folgen körperlicher Inaktivität verdeutlichen die Notwendigkeit einer systemischen Integration körperlicher Aktivität in den Lebensalltag von Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen. Arbeit, Bildung (Schulen), Alltag und körperliche Aktivität sollten hierbei optimal aufeinander abgestimmt und miteinander verknüpft werden (Pawlik, 2021). Auf diese Weise könnten die individuell wahrgenommenen internen und externen Barrieren, die Kinder und Erwachsene daran hindern, körperlich aktiv zu sein oder es zu bleiben, reduziert werden (De Bock, 2012). Dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund der Tatsache, dass der Bewegungsmangel eine negative Begleiterscheinung unserer modernen Lebensweise und -gewohnheiten darstellt. So hat die zunehmende Digitalisierung von Arbeit und Freizeit das natürliche Bewegungsverhalten unserer Gesellschaft zulasten unserer Gesundheit grundlegend verändert (Bell et al., 2002; Monda et al., 2008; Park et al., 2020; Pawlik, 2021).

Eine zentrale Rolle spielt in diesem Zusammenhang sitzendes Verhalten³, das unabhängig von einem Mangel an körperlicher Aktivität mit einer Vielzahl von schwerwiegenden körperlichen und psychischen Erkrankungen in Verbindung gebracht wird (Biddle et al., 2000; Mang'eni Ojiambo, 2013; Park et al., 2020; World Health Organization, 2018, 2020). Dies gilt selbst bei Personen, die im empfohlenen Umfang körperlich aktiv sind, und dennoch lange Sitzen (Banzer & Füzéki, 2012; Ekelund et al., 2006). Besonders freizeitbasierte Bildschirmaktivitäten wie der Fernsehkonsum oder die Nutzung von Computern, Smartphones sowie Tablets stehen in der Kritik, da sie zu den Hauptursachen für gesundheitsschädliches sitzendes Verhalten sowohl im Kindes- als auch Erwachsenenalter gehören (Fennell et al., 2019; Hill et al., 2016; Sigmundova et al., 2011; Thomas et al., 2020). Gleichzeitig weisen Studien auf einen signifikanten Zusammenhang zwischen langen Bildschirmzeiten und geringer körperlicher Aktivität in allen Altersgruppen hin (De Araújo et al., 2018; Sandercock et al., 2012; Trott et al., 2022). Demnach wird angenommen, dass die sitzende Zeit am Bildschirm auf Kosten aktiver und gesundheitsförderlicher Freizeitbeschäftigungen verbracht wird (Dahlgren et al., 2021).

Vor allem während der Corona-Pandemie und der damit einhergehenden Kontaktbeschränkungen sowie Schul- und Vereinsschließungen haben sich die sitzenden, bildschirmbasierten Verhaltensweisen unserer Gesellschaft intensiviert (Helbach & Stahlmann, 2021; Musa et al., 2022; Trott et al., 2022), besonders bei Grundschulkindern (Trott et al., 2022). Aus einer aktuellen Studie aus Deutschland

³ Sitzendes oder sesshaftes Verhalten ist definiert als eine Verhaltensweise, die durch ein geringes Maß an körperlicher Aktivität und somit einen geringen Energieverbrauch gekennzeichnet ist (Tremblay et al., 2017).

(Datengrundlage: 2019/2020) geht in diesem Zusammenhang hervor, dass lediglich ein Drittel der untersuchten Fünft- bis Zehntklässler die empfohlenen Bildschirmzeiten der „American Academy of Pediatrics“ (AAP Council on communications and Media, 2013) von nicht mehr als 2 Stunden pro Tag einhalten konnten. Sitzende, bildschirmbasierte Aktivitäten können somit bereits ab dem präpubertären Alter und in der frühen Pubertät als erstzunehmende Bewegungs- und Gesundheitskonkurrenten bezeichnet werden (De Bock, 2012; Thomas et al., 2020; World Health Organization, 2020), die bis ins Erwachsenenalter bestehen bleiben können (Motamed-Gorji et al., 2019; Telama, 2009).

Wie eingangs erwähnt, scheint es somit wichtiger denn je, aktive Freizeitaktivitäten in den bewegungsarmen und digitalen Alltag unserer Gesellschaft zu integrieren (Pawlik, 2021). Hierbei könnte es hilfreich sein, digitale Interessen, Bedürfnisse und Gewohnheiten in die Bewegungsförderung mit einzubeziehen. So gehört neben Motivationsproblemen und Zeitmangel vor allem die fehlende Bewegungsfreude zu den häufigsten Gründen, warum Menschen inaktiv sind oder Bewegungsinterventionen frühzeitig abbrechen (Cerin et al., 2010; Chinn et al., 2006; Dishman et al., 1985; Reicherz & Schlicht, 2012). Vor allem ab einem Alter von 9 Jahren scheinen Kinder laut einer Studie von Chanal et al. (2019) aufgrund des fehlenden Enjoyments ihr Interesse an traditionellen Bewegungsangeboten zu verlieren.

Paradoxerweise könnten in diesem Zusammenhang aktive Video- und Computerspiele ein vielversprechender Ansatz sein, um Enjoyment mit körperlicher Aktivität zu verknüpfen. In der Literatur werden Exergames infolgedessen häufig als ein „zweischneidiges Schwert“ beschrieben (Gao, 2017; Nguyen et al., 2016).

2.2 Exergaming: eine Kombination aus körperlicher Aktivität und digitalem Gaming

Die Tatsache, dass sitzende, bildschirmbasierte Aktivitäten zu den größten Bewegungskonkurrenten in unserer Gesellschaft gehören, stellt gleichzeitig einen Ansatzpunkt für Interventionen dar. So zielen innovative Bewegungsförderungsmaßnahmen darauf ab, digitale Freizeitaktivitäten mit körperlicher Aktivität zu verbinden. Möglich wird dies durch den Einsatz aktiver Video- und Computerspiele, auch Exergames genannt, die im Vergleich zu sitzenden Video- und Computerspielen körperliche Aktivität in das Spiel integrieren. Statt die beliebten bildschirmbasierten Freizeitaktivitäten zu reduzieren oder ganz zu verbieten, könnten Exergames demnach als Brückentechnologie fungieren, um Kinder und Erwachsene im Rahmen gewohnter digitaler Freizeitroutinen zu Bewegung zu motivieren (Gao, 2017; Gao & Huang, 2011). Das Ziel dieses Kapitels besteht darin, das Phänomen „Exergaming“ genauer zu beschreiben und einen Forschungsüberblick über ausgewählte psychologische und physiologische Effekte dieser Spiele zu geben. Darüber hinaus sollen die Potenziale und Herausforderungen

unterschiedlicher Exergame-Produkte diskutiert werden, die im Rahmen der Bewegungsförderung von Relevanz sind.

2.2.1 Was ist Exergaming?

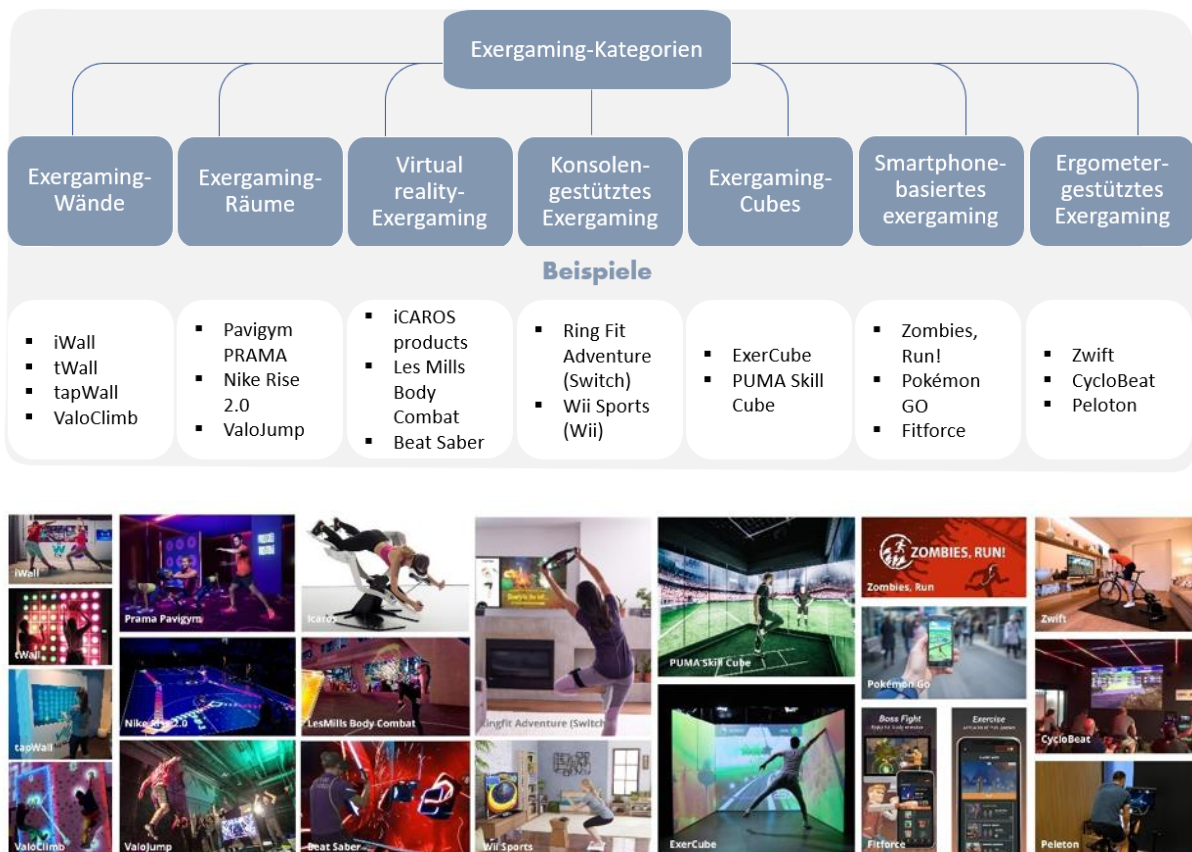
Unter dem Begriff Exergames werden aktuell verschiedenste Produkte zusammengefasst, die körperliche Aktivität und digitales Gaming verbinden (Oh & Yang, Stephen, 2010) und somit ein gamifiziertes Bewegungserlebnis innerhalb einer erweiterten Realität ermöglichen. Die Art und Weise, wie reale Bewegungen und virtuelles Gaming miteinander verknüpft werden, variiert von Produkt zu Produkt und hängt von eingesetzter Hard- und Software ab (Vaghetti et al., 2018). So können einige Exergames mithilfe von in der Hand gehaltenen Gaming-Konsolen und -Kontrollern gesteuert werden (z. B. die Wii-Fernbedienung für die „Wii Sports“-Exergames oder der Ring-Con für das Spiel „Ring Fit Adventure“ auf der Nintendo Switch), für andere Exergames wird lediglich ein Smartphone benötigt (z. B. „Pokémon GO“ oder „Zombies, Run!“). Wiederum andere Exergames nutzen VR-Brillen (z. B. „ICAROS Home“), Lauf- oder Fahrradergometer (z. B. „Zwift“) oder speziell angefertigte Exergame-Hardware, wie z. B. interaktive Wände (z. B. „iWall“ oder „ValoClimb“), sog. Cubes (würfelartig aufgebaute Exergaming-Spielsettings; z. B. „ExerCube“) oder Balanceboards (z. B. „ICAROS Cloud 360“). Zahlreiche weitere Exergames kombinieren verschiedene Exergaming- oder „Gamification“-Elemente miteinander (z. B. „Pavigym PRAMA“). Je nach Produkt entstehen dabei Bewegungserlebnisse in einer erweiterten (augmented reality, kurz AR), virtuellen (kurz VR) oder gemischten Realität (mixed-reality, kurz MR), welche die Spielenden entweder in eine komplett neue virtuelle Welt (VR-Erlebnis) eintauchen lassen oder die reale Umgebung der Spielenden mit zusätzlichen virtuellen Objekten anreichern (AR-Erlebnis). Bei MR-Exergames sind die reale und die virtuelle Welt so stark vermischt, dass eine reale Interaktion mit den virtuellen Objekten möglich ist (Speicher et al., 2019; Stamm et al., 2022).

Die Steuerung des virtuellen Spielszenarios erfolgt mithilfe von realen körperlichen Bewegungsaufgaben, die von verschiedenen Sensoren und Bewegungstrackern erfasst (z. B. Beschleunigungssensoren) und in das Spiel übertragen werden. Je nach Anbieter, Soft- und Hardware sowie Spieldesign entsteht auf diese Weise ein Spiel- und Bewegungserlebnis, das verschiedene körperliche (z. B. Gleichgewicht, Geschwindigkeit, Kraft, Ausdauer) und kognitive (z. B. Aufmerksamkeit, Gedächtnis, exekutive Funktionen) Herausforderungen beinhalten kann (Martin-Niedecken, 2021).

Im Vergleich zu den ersten Exergames, die in den späten 1980er-Jahren primär von Hersteller*innen der Gamesbranche entwickelt wurden, hat sich der heutige Exergaming-Markt sehr stark ausdifferenziert (Röglin et al., 2023). Dabei haben sich nicht nur die Technologie, sondern auch Anbietende, Einsatz- und Anwendungsbereiche sowie Zielsetzung und Zielgruppe stark verändert.

Zusätzlich ist die Anzahl der auf dem Markt erhältlichen Exergaming-Produkte und der dazugehörigen Spiele deutlich gestiegen. Einen Überblick über aktuelle Exergaming-Produkte geclustert nach der eingesetzten Hardware stellen Röglin et al. (2023) auf.

Abbildung 1: Gruppierung von Exergames mit ausgewählten Beispielen. Übersetzt und überarbeitet nach Röglin et al. (2023).



2.2.2 Aktueller Forschungsüberblick zu ausgewählten physiologischen und psychologischen Effekten beim Exergaming

Die wachsende Popularität von Exergames in den letzten 10 bis 15 Jahren hat zu einem zunehmenden wissenschaftlichen Interesse an den digitalen Bewegungsspielen und ihren physiologischen sowie psychologischen Effekten geführt. So untersuchen Wissenschaftler*innen verschiedener Disziplinen die Wirkungsweise von Exergaming-Interventionen auf unterschiedliche Gesundheits- und Leistungsparameter unter Berücksichtigung verschiedener Zielgruppen und Settings (Gao et al., 2017; Goble et al., 2014; Hung et al., 2014; Lau et al., 2016; Li et al., 2016; Prosperini et al., 2013; Ruiz et al., 2022; Staiano et al., 2018; Street et al., 2017; Sun, 2012; Taylor & Griffin, 2015; Vaghetti et al., 2018; Valeriani et al., 2021; Ye et al., 2019; Yen & Chiu, 2021).

Der aktuelle Stand der Forschung lässt erste Hinweise erkennen, dass einige Exergames das Potenzial aufweisen, eine unterhaltsame Form der körperlichen Aktivität zu ermöglichen, die sich gleichzeitig positiv auf die körperliche und geistige Gesundheit der Spielenden auswirken kann (Andrade et al., 2019; Gao et al., 2015; Joronen et al., 2017; Lamboglia et al., 2013; Lee et al., 2017; O’Loughlin et al., 2020; Street et al., 2017). Besonders bei der Untersuchung absoluter Exergaming-Effekte (im Vergleich zu relativen Effekten) ist es jedoch von Bedeutung, die Forschungsergebnisse entsprechend einzuordnen, um Fehlinterpretationen der Exergaming-Reaktionen zu vermeiden.

Zu den in der aktuellen Forschung am häufigsten untersuchten physiologischen Parametern zur Bestimmung der Effektivität von Exergames gehören vor allem die Herzfrequenz (HF), die Sauerstoffaufnahme (VO_2) und der Energieverbrauch. Auf der psychologischen Ebene wurden schwerpunktmäßig die Bewegungsfreude, die Motivation, das Flow-Erleben und die Selbstwirksamkeit untersucht. Ein Überblick über den aktuellen Stand der Forschung bezogen auf die genannten Parameter erfolgt in den nachfolgenden Abschnitten.

Belastungsintensität

Zu den bis dato am häufigsten durchgeführten Studien im Exergaming-Bereich gehören vor allem Untersuchungen zu der Belastungsintensität und dem Energieverbrauch während akuter oder längerfristiger Interventionen in unterschiedlichen Zielgruppen. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass zahlreiche Studien und Übersichtsarbeiten mit unterschiedlichen Exergames (unter diesen kommerziell erhältliche sowie speziell entwickelte Exergaming-Produkte) von einem signifikanten Anstieg der HF, der VO_2 , des Energieverbrauchs und des metabolischen Äquivalents (MET) beim Exergaming im Vergleich zu sitzendem Verhalten oder dem Spielen klassischer Videospiele berichten. Dies gilt sowohl bei Kindern als auch Erwachsenen (Dutta & Pereira, 2015; Gao et al., 2015; Graves et al., 2010; Kari, 2016; Lamboglia et al., 2013; Lanningham-Foster et al., 2006; Mellecker & McManus, 2008; Peng et al., 2011; Sween et al., 2014).

Aus einer systematischen Übersichtsarbeit mit insgesamt 28 Laborstudien geht hervor, dass beim Spielen von Exergames in der Regel nur leichte bis mittlere Belastungsintensitäten erreicht werden konnten (Peng et al., 2013). Lediglich in 2 der 28 Studien erzielten die untersuchten Exergames (darunter „Dance Dance Revolution“ („DDR“) und ein Exergame für das „GameBike“) hohe Belastungsintensitäten (Peng et al., 2013). Zu ähnlichen Ergebnissen gelangen Marshall und Linehan (2020) in ihrer aktuellen Übersichtsarbeit zu den Kurzzeiteffekten von Exergames mit insgesamt 243 Studien. Die Autoren weisen darauf hin, dass nicht alle der untersuchten Exergames eine ausreichend hohe Belastungsintensität aufweisen, um den von der WHO empfohlenen Richtlinien für die tägliche körperliche Aktivität gerecht zu werden (Bull et al., 2020). Nur sehr wenige Exergames schaffen es, eine Belastungsintensität zu erreichen, die über das Maß des Moderaten hinausgeht (Marshall & Linehan,

2020). Somit scheinen die meisten Exergames nicht ausreichend intensiv zu sein, um relevante gesundheits- oder leistungsfördernde Anpassungen zu bewirken. Sie stellen daher keine geeignete Alternative zu klassischen Bewegungsinterventionen dar (Biddiss & Irwin, 2010; Gao, 2017; Lyons et al., 2011; Marshall & Linehan, 2020; Street et al., 2017).

Die Ursachen für die unterschiedlichen Belastungsintensitäten können Studien zufolge u. a. auf das Design der Spiele sowie das Design der durchgeführten Studien zurückgeführt werden (Marshall & Linehan, 2020). Andererseits scheinen Faktoren wie die demografischen Merkmale und die Anthropometrie der Spieler*innen, die individuelle (korrekte) Ausführung der Bewegung, der gewählte Spielmodus sowie die Erfahrung im Exergaming, einen Einfluss auf die Belastungsintensität und folglich den Energieverbrauch während des Exergamings zu haben (Mackintosh et al., 2016; Mellecker & McManus, 2008; O'Loughlin et al., 2020; Peng et al., 2013; Sell et al., 2008). Marshall und Linehan (2020) argumentieren darüber hinaus, dass der Kontext (z. B. das Setting oder die Spielbedingungen), in dem das Exergame gespielt wird, Einfluss auf die Belastungsintensität eines Exergames nehmen kann. Dies zeigt sich laut der Autoren u. a. daran, dass die Intensitäten nicht nur zwischen verschiedenen Exergames, sondern ebenso innerhalb desselben Spiels, das in mehreren Untersuchungen analysiert wurde, variieren (Marshall & Linehan, 2020).

In Bezug auf das Design von Exergames konnten bisherige Studien zeigen, dass die beanspruchten Muskelgruppen (z. B. der Umfang der eingesetzten Muskelmasse) einen Einfluss auf die Belastungsintensität (HF und VO_2) und den Energieverbrauch haben können (Jordan et al., 2011; O'Loughlin et al., 2020; Peng et al., 2011). Eine Tendenz zeigt sich zudem dahingehend, dass Exergames, die Bewegungsformen wie Tanzen oder Boxen beinhalten, einen höheren Energieverbrauch erzielen (O'Loughlin et al., 2020). Darüber hinaus deuten Studien darauf hin, dass das Spielen von Exergames im Mehrspieler*innen-Modus zu einer signifikant höheren Intensität und einem höheren Energieverbrauch als das Spielen alleine führt (O'Donovan et al., 2012).

Enjoyment, Motivation und Flow-Erleben

Zu den zentralen psychologischen Effekten, die im Zusammenhang mit akuten oder längerfristigen Exergaming-Interventionen untersucht wurden, zählen insbesondere Effekte auf das empfundene Enjoyment beim Spielen der Spiele sowie auf verwandte psychologische Konstrukte wie das Flow-Erleben oder die Motivation. Die jeweils zugrunde liegenden psychologischen Theorien spielen dabei nicht nur aus sportpsychologischer Perspektive eine zentrale Rolle (Jackson & Csikszentmihalyi, 1999; Kimiecik & Harris, 1996; Stoll & Ufer, 2021; Wankel, 1993; Whitehead, 1993), sondern sind gleichfalls im Rahmen der Video- und Computerspielforschung von entscheidender Bedeutung (Mellecker et al., 2013; Sinclair et al., 2007; Sweetser & Wyeth, 2005).

In Bezug auf Bewegung und Sport belegen Studien, dass die Bewegungsfreude, die eng mit dem Konzept der intrinsischen Motivation verknüpft ist, von großer Bedeutung ist, um langfristig körperlich aktiv zu bleiben (Allender et al., 2006; Biddle, 2007; Crane & Temple, 2015; Dishman et al., 2005; Dunton & Vaughan, 2008; Lewis et al., 2016; McCarthy et al., 2008; Wankel, 1993; Williams et al., 2006). Beide psychologischen Konstrukte tragen demzufolge entscheidend dazu bei, die Teilnahme an Bewegung und Sport besser zu verstehen. Insbesondere die intrinsische Motivation, die auch als Eigenmotivation oder natürlicher Antrieb verstanden werden kann, gilt im Rahmen von Motivationstheorien (z. B. Selbstbestimmungstheorie) als Schlüsselkomponente und gleichzeitig Hauptquelle für Enjoyment und Vitalität (Csikszentmihalyi & Rathunde, 1993; Ryan, 1995; Ryan & Deci, 2000).

Im Kontext von Video- oder Exergaming wiederum ist Enjoyment ausschlaggebend für den Erfolg der jeweiligen Gaming-Produkte und stellt demnach eine zentrale Zielsetzung bei der Entwicklung von digitalen Spielen dar (Mellecker et al., 2013; Sinclair et al., 2009, 2007; Sweetser & Wyeth, 2005).

Als eine entscheidende Determinante von Enjoyment und intrinsischer Motivation gilt wiederum das Erleben von Flow, das nach der Theorie von Csikszentmihalyi als Zustand beschrieben wird, in dem eine völlige Fokussierung auf die jeweils ausgeführte Tätigkeit herrscht (Csikszentmihalyi, 1975). In Anlehnung an Csikszentmihalyis Flow-Theorie wurden im Gaming-Bereich die Modelle des „GameFlows“ (Sweetser & Wyeth, 2005) und des „Dual Flows“ (Sinclair et al., 2009) entwickelt.

Zusammenfassend berichten Übersichtsarbeiten zu den psychologischen Effekten von Exergames, dass Exergames (einschließlich kommerziell erhältlicher sowie speziell entwickelter Exergaming-Produkte) in verschiedenen Zielgruppen signifikant mehr Enjoyment bereiten können als sitzende, bildschirmbasierte Aktivitäten oder auch traditionelle Bewegungsangebote (z. B. Sportunterricht oder Joggen; Andrade et al., 2019; Joronen et al., 2017; Lee et al., 2017). Weiterhin belegen Studien, dass Exergames die intrinsische Motivation (Andrade et al., 2019; Lee et al., 2017) und das Flow-Erleben sowie die Trainingscompliance (Valenzuela et al., 2018) der Spielenden steigern können. In Bezug auf die Langzeiteffekte deuten einige Studien darauf hin, dass das Enjoyment (vor allem die Bewegungsfreude) und die intrinsische Motivation beim Exergaming über einen längeren Zeitraum aufrechterhalten oder sogar verstärkt werden können (Fu et al., 2019; Joronen et al., 2017; Lau et al., 2016; Macvean & Robertson, 2013; Staiano et al., 2017).

Dennoch scheinen nicht alle Exergames gleichermaßen in der Lage zu sein, kurz- oder längerfristige positive psychologische Effekte zu erzielen (Lee et al., 2017; Lyons et al., 2011). So deuten Studien darauf hin, dass das In-game-Design der Spiele, der Spieler*innen-Modus und auch die Spielintensität Einfluss auf das Empfinden von Enjoyment, Motivation und Flow sowie weitere psychologische Parameter ausüben können (Joronen et al., 2017; Lee et al., 2017; O’Loughlin et al., 2020). Darüber hinaus scheinen verschiedene demografische (z. B. Alter, Geschlecht) und anthropometrische

Parameter (z. B. BMI) sowie die Exergaming-Erfahrung der Spielenden die psychologischen Outcomes während des Spielens zu beeinflussen (Joronen et al., 2017; Lee et al., 2017; O’Loughlin et al., 2020).

Selbstwertgefühl, Selbstwirksamkeit und (physisches) Selbstkonzept⁴

Eine positive Bewertung des eigenen Körpers sowie eine positive Selbstwahrnehmung der eigenen kognitiven, motorischen, emotionalen und sozialen Fähigkeiten sind für das körperliche und psychische Wohlbefinden insbesondere im Kindes- und Jugendalter von entscheidender Bedeutung (Babic et al., 2014; Craven & Marsh, 2008; Harter, 1998; Rosenberg, 1985). Ausgehend von dem hierarchisch gegliederten Selbstkonzept-Modell nach Shavelson et al. (1976) sowie seiner Weiterentwicklung durch Marsh et al. (1994) werden Sport und Bewegung in diesem Zusammenhang als positive Einflussfaktoren auf das allgemeine Selbstkonzept (auch als globaler Selbstwert bezeichnet; Stiller & Alfermann, 2005) sowie insbesondere auf den Teilbereich des PSK betrachtet (Babic et al., 2014; Fernández-Bustos et al., 2019; Liu et al., 2015; Slutzky & Simpkins, 2009; Sonstroem, 1997). Letzteres umfasst nach Marsh et al. (1994) und ergänzt von Alfermann et al. (2003) alle selbstbezogenen Informationen über den eigenen Körper wie verschiedene körperliche Fähigkeiten (Kraft, Ausdauer, Schnelligkeit, Flexibilität, Koordination und die sportliche Kompetenz) sowie das physische Erscheinungsbild.

Den Einfluss von Sport und Bewegung auf das Selbstwertgefühl versuchten gleichfalls Sonstroem und Morgan (1989) in ihrem „Exercise and self-esteem-Model“, theoretisch zu bekräftigen. Die Autoren gehen davon aus, dass Sport und Bewegung zu einer höheren physischen Selbstwirksamkeit beitragen, die auf der nächsthöheren Ebene wiederum die wahrgenommene sportliche Kompetenz und die physische Akzeptanz beeinflusst. Auf oberster Ebene tragen beide zur Stärkung des generellen Selbstwertgefühls bei.

Im Rahmen der Exergaming-Forschung sind Studien zu den Auswirkungen von Exergaming-Interventionen auf das Selbstkonzept, das Selbstwertgefühl oder auch die Selbstwirksamkeit bislang überschaubar und liefern zudem sehr heterogene Befunde. So weisen Joronen et al. (2017) in ihrer Übersichtsarbeit darauf hin, dass einige Studien positive Effekte von Exergaming-Interventionen auf die Selbstwirksamkeit und das Selbstwertgefühl bei Kindern und jungen Erwachsenen aufzeigen, während in anderen Studien keine derartigen Effekte beobachtet werden konnten. Andrade et al. (2019) berichten in ihrer systematischen Übersichtsarbeit und Metaanalyse hingegen, dass bei Kindern und

⁴ Im Rahmen der Selbstkonzeptforschung wird eine Vielzahl von Begriffen rund um das „Selbstkonzept“ und das „physische Selbstkonzept“ sowie das „Selbstwertgefühl“ und die „Selbstwirksamkeit“ teilweise synonym verwendet, was sich auch auf die Messung des jeweiligen Konstrukts auswirken kann (Dreiskämper et al., 2015; Sonstroem & Morgan, 1989; Stiller & Alfermann, 2005). Auch die Übersetzungen der Begriffe vom Englischen ins Deutsche erschweren eine einheitliche Verwendung der Begriffe im deutschsprachigen Raum. Hinsichtlich des „Selbstkonzepts“ wird innerhalb der vorliegenden Arbeit auf die Definition von Mummendey (1995) zurückgegriffen. Der Begriff des „physischen Selbstkonzepts“ wird nach der Definition von Stiller et al. (2005) verwendet. Definitionen für das (physische) Selbstwertgefühl und die (physische) Selbstwirksamkeit liefern u. a. Sonstroem und Morgan (1989) sowie Sonstroem (1997).

Jugendlichen mit Übergewicht oder Adipositas ein insgesamt gesteigertes Selbstwertgefühl nach der Exergaming-Intervention sowie eine Verbesserung des Selbstwertgefühls und der -wirksamkeit der Spieler*innen im Vergleich zu den Kontrollgruppen zu verzeichnen ist. Die Gründe für die heterogene Befundlage könnten u. a. auf verschiedene Studiendesigns sowie unterschiedliche Interventionslängen, Messinstrumente, Zielgruppen und auch Exergames zurückgeführt werden. Dies wiederum deutet darauf hin, dass es einen dringenden Bedarf an weiterführender Forschung in diesem Bereich gibt. Insbesondere Studien zu den Auswirkungen von Exergaming-Interventionen auf das PSK und seine Subskalen könnten wertvolle Erkenntnisse dahingehend liefern, wie Exergaming das Selbstkonzept auf verschiedenen Ebenen beeinflusst.

2.2.3 Bewegungsförderung mithilfe von Exergames?

Der Forschungsüberblick weist darauf hin, dass die Vielfalt der Produkte auf dem Exergaming-Markt zahlreiche Potenziale, aber auch Herausforderungen für den Einsatz von Exergames im Rahmen der Bewegungsförderung birgt (Röglin et al., 2023). So deuten die Forschungsdaten darauf hin, dass das Exergaming-Design und das zugrunde liegende Bewegungskonzept Einfluss auf die Attraktivität und Effektivität des jeweiligen Exergames nehmen können. Zum anderen scheinen das Zusammenspiel und die Passgenauigkeit von Exergame, Spieler*in und Setting zentral für die Wirksamkeit von Exergaming-Interventionen zu sein (Marshall & Linehan, 2020).

Das Design und Konzept der Spiele werden dabei insbesondere durch die jeweiligen Entwickler*innen geprägt. Viele kommerziell erhältliche Exergaming-Produkte der Gamesbranche (z. B. Exergames aus der Kategorie „Konsolen-gestützte Exergames“, siehe Abbildung 1) scheinen bspw. grundlegende Trainingsprinzipien nicht zu berücksichtigen und/oder erfordern lediglich Teilkörperbewegungen oder den Einsatz kleinerer Muskelgruppen. Dies kann sich wie in Kapitel 2.2.2. angedeutet nicht nur negativ auf die Effektivität des Spiels, sondern auch auf die Bewegungsausführung (z. B. Schummeln) auswirken (Baranowski et al., 2014). Bei einigen Exergames der Gamesbranche wird sogar argumentiert, dass die körperliche Betätigung während des Spielens eher Zufallsprodukt ist und nicht die Intention verfolgt wird, Bewegung gezielt zu fördern (z. B. „Beat Saber“ oder „Pokémon GO“; Orland & Remo, 2008). Der Fokus vieler kommerziell erhältlicher Exergames liegt auf Entertainment und attraktivem Gamedesign (Zaczynski & Whitehead, 2014), das durch Bewegungselemente erweitert werden soll (= „Sportification“ von Games).

Exergames der Sport-, Gesundheits- oder Rehabbranche hingegen integrieren häufig gezielt wissenschaftlich fundierte Ansätze zur Gesundheits- und Bewegungsförderung (z. B. „ICAROS Cloud 360“, „Pavygym PRAMA“, „iWall“) oder kombinieren klassische Sportarten mit Gaming-Elementen (z. B. „Zombies, Run!“). Sie richten sich dabei u. a. gezielt an Sportler*innen und/oder Patient*innen, um

diesen einen alternativen Bewegungs- oder Trainingsansatz zu bieten. Oftmals mangelt es diesen Exergames jedoch an einer nutzerorientierten Gestaltung des virtuellen Spielszenarios, die auf die Bedürfnisse der Spielenden eingeht (Martin-Niedecken & Mekler, 2018).

Bei der Diskussion rund um die Effektivität und Attraktivität verschiedener Exergaming-Produkte ist es somit von Bedeutsamkeit, die unterschiedlichen Ausrichtungen der Spiele zu kennen und wissenschaftliche Erkenntnisse zu berücksichtigen sowie entsprechend einzuordnen. Dies gilt vor allem dann, wenn eine langfristige spaßorientierte Gesundheitsförderung und/oder Leistungssteigerung gewährleistet werden soll.

Zwar ist es aus gesundheitswissenschaftlicher Perspektive unstrittig, dass bereits ein geringes Maß an Bewegung besser ist als gar keine Bewegung (Matthews et al., 2015; Sothorn et al., 1999; World Health Organization, 2020), dennoch sollten die Wahl des Exergames und das Design der Exergaming-Interventionen bestmöglich an die Voraussetzungen der Zielgruppe und das Setting angepasst werden, um einen optimalen Exergaming-Nutzen zu erzielen (Marshall & Linehan, 2020; Sheehan et al., 2015). Erschwerend kommt hierbei jedoch hinzu, dass angesichts der rasanten Markt-Entwicklung in den letzten Jahren lediglich ein kleiner Teil der auf dem Markt erhältlichen Exergames untersucht wurde (Gao, 2017). Zusätzlich erschweren unterschiedliche Designs bisher durchgeführter Studien die Interpretation und Vergleichbarkeit der Ergebnisse (Gao, 2017; Marshall & Linehan, 2020). Verstärkt sollten zudem Exergames untersucht werden, die darauf ausgerichtet sind, höhere Belastungsintensitäten zu fördern, um das Zusammenspiel von physischer Belastung und Bewegungsfreude besser zu verstehen (Lee et al., 2017).

Das Ziel der vorliegenden Arbeit besteht daher darin, den ExerCube „Sphery Racer“ zu untersuchen, ein Exergame, das versucht, Erkenntnisse aus Sportwissenschaft und Game Design effektiv miteinander zu verknüpfen. Hinsichtlich seines Designs, Aufbaus und integrierten Bewegungskonzepts liefert der ExerCube sowohl aus physiologischer als auch psychologischer Perspektive tatsächlich erste vielversprechende Forschungsergebnisse.

3. Der ExerCube und das Fitnessspiel „Sphery Racer“

Im Rahmen der in der vorliegenden Arbeit durchgeführten Studien wurde der „ExerCube“ (Sphery AG; Au, Schweiz) mit seinem dazugehörigen Fitnessspiel „Sphery Racer“ untersucht. Hierbei handelt es sich um ein Exergame, das sich vor allem durch seinen würfelförmigen Aufbau (ExerCube-Hardware) und seine adaptive Spielsoftware von anderen Exergames unterscheidet.

Zusammengefasst lässt sich das Spielen im ExerCube „Sphery Racer“ wie folgt beschreiben: Der/die Spieler*in befindet sich in einem virtuellen Spielszenario (Kombination aus Hard- und Software) und interagiert mit dieser virtuellen Welt. Dabei muss er/sie „reale“ Ganzkörperbewegungen ausführen, um das Spiel zu steuern. Durch diese Kombination aus virtuellem Spielerlebnis und realem Bewegungsverhalten (MR-Fitnesserlebnis, siehe auch Kapitel 2.2.1) wird ein Bewegungserlebnis ermöglicht, das allein in der realen Welt nicht durchgeführt werden könnte.

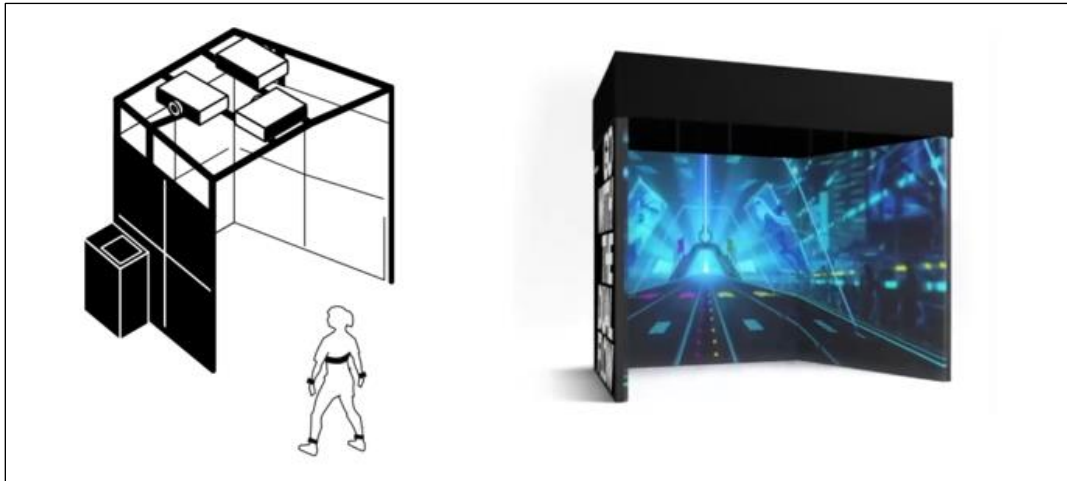
Entwickelt wurde der ExerCube 2016 im Rahmen eines Forschungsprojekts der Universität Zürich von einem interdisziplinären Team aus Sportwissenschaftler*innen und Game-Designer*innen sowie Expert*innen aus Spielforschung und Produktdesign. Der Entwicklungsprozess ist durch einen stark nutzer- und zugleich wissenschaftsorientierten Ansatz gekennzeichnet (Martin-Niedecken & Mekler, 2018), der sich an grundlegenden Trainingsprinzipien und aktuellen Designtrends auf dem Fitnessmarkt orientiert. Darüber hinaus wurden Erkenntnisse aus der HCI-Forschung (= Human-computer interaction) berücksichtigt. Ziel des Entwicklungsteams war es, ein Exergame zu entwickeln, dessen Hardware (inklusive Game-Controller) und audiovisuelle Spielsoftware (z. B. Story, Spielmechanik, Dynamik, Ästhetik) optimal mit dem menschlichen Bewegungsverhalten abgestimmt sind (Martin-Niedecken & Mekler, 2018). Im Laufe seines Entwicklungsprozesses wurde der ExerCube dafür mehrfach weiterentwickelt und optimiert. Eine detaillierte Beschreibung zur Entwicklung des ersten ExerCube-Prototyps liefern Martin-Niedecken und Mekler (2018). Die nachfolgende ExerCube-Beschreibung im Rahmen der vorliegenden Arbeit bezieht sich auf die in den durchgeführten Studien eingesetzte ExerCube „Sphery Racer“-Version.

3.1 Interaktive Hardware

Der ExerCube (Gesamtgröße $\sim 9\text{m}^2$) besteht aus drei (Video-)Wänden, die wie ein offenes Trapez angeordnet sind (siehe Abbildung 2). Auf diese Weise wird der/die Spieler*in von dem virtuellen Spielszenario umgeben, jedoch nicht vollständig von der Außenwelt abgeschlossen. Die (Video-)Wände dienen einerseits als Projektionsfläche für das virtuelle Spielszenario (Interface), das mithilfe von 3 an der Decke befestigten Beamern auf die Wände projiziert wird. Darüber hinaus werden die Wände zur Spielsteuerung genutzt (interaktive Hardware). So gehören u. a. Wandberührungen zu den Bewegungsaufgaben, die während des Spiels „Sphery Racer“ durchgeführt werden müssen (siehe

ebenfalls Kapitel 3.3.1). Die Wände wurden hierfür mit weichem und elastischem Material bespannt, sodass sie für Berührungen verschiedenster Art (z. B. Boxschläge) geeignet sind. Die ExerCube-Hardware unterstützt auf diese Weise die körperliche Interaktion mit dem Spielszenario und soll gleichzeitig ein immersives, spielerisches Erlebnis bieten (Martin-Niedecken et al., 2019).

Abbildung 2: Skizzen der ExerCube-Hardware aus verschiedenen Perspektiven. © Sphery AG



3.2 Bewegungstracker (Game-Controller)

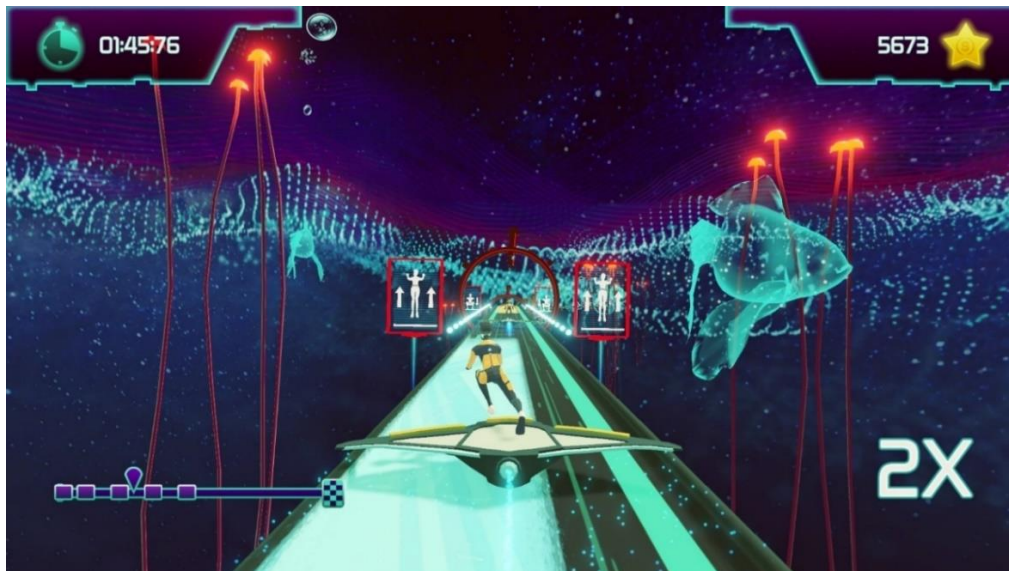
Um die Körperposition sowie die Bewegungen des/der Spieler*in zu erfassen, werden Bewegungstracker (HTC Vive System) eingesetzt, die jeweils an den Hand- und Fußgelenken der Spielenden befestigt werden. Mithilfe der am Rahmen des ExerCube angebrachten Infrarotkameras kann so genau bestimmt werden, wo sich die Spielenden im ExerCube befinden, und welche Bewegung von den Extremitäten ausgeführt wird. Dabei dienen die Bewegungstracker als Mediator zwischen der realen und der virtuellen Welt und übersetzen bzw. integrieren die Bewegungsperformanz des/der Spieler*in in das virtuelle Spielgeschehen. Diese Informationen sind entscheidend für den Verlauf des Spiels. Die Bewegungstracker fungieren somit als Game-Controller und steuern das Spiel. Während des Spiels erhält der/die Spielende zudem fortwährend audiovisuelles Feedback zu der ausgeführten Bewegung (z. B. mithilfe von Sound, Farbe und einem Punktesystem).

Um sicherzustellen, dass sich der ExerCube an die individuellen Voraussetzungen des/der Spieler*in (z. B. Körpergröße) anpasst, findet zu Beginn jedes Spiels eine individuelle Kalibrierung statt (Martin-Niedecken & Mekler, 2018).

3.3 Das virtuelle Game Szenario „Sphery Racer“

Der „Sphery Racer“ lässt die Spielenden in eine Science-Fiction-Unterwasserwelt „eintauchen“, die aus einer Art Rennstrecke bzw. einem Bewegungsparcour mit unterschiedlichen Bewegungsaufgaben besteht (siehe Abbildung 3). Der/die Spielende führt die vorgegebenen Bewegungen während des Spiels aus und steuert auf diese Weise einen Avatar durch die virtuelle Rennstrecke. Das Spiel wird dabei aus der Ich-Perspektive verfolgt. Um zu gewährleisten, dass die verschiedenen Bewegungsaufgaben korrekt ausgeführt werden, findet zu Beginn des Spiels ein Tutorial statt, in dem die Bewegungen vorgezeigt und anschließend nachgemacht werden müssen. Während des Spiels visualisieren zudem verschiedenfarbige Schilder, die sich rechts und links der Rennstrecke befinden, die Bewegungsaufgaben (Martin-Niedecken & Mekler, 2018).

Abbildung 3: Ausschnitt aus dem ExerCube-Spiel „Sphery Racer“. © Sphery AG








3.3.1 Funktionelle Ganzkörperbewegungen

Der Bewegungsparcour besteht aus verschiedenen Bewegungsaufgaben, die an ein klassisches funktionelles Training angelehnt sind (Martin-Niedecken & Mekler, 2018). In 5 unterschiedlichen und aufeinander aufbauenden Leveln müssen so u. a. Sprünge, Squats (Kniebeugen), Boxschläge, Ausfallschritte oder Burpees durchgeführt werden (siehe Abbildung 4). Darüber hinaus wird mit den ExerCube (Video)-Wänden interagiert, indem markierte Kreise bzw. Targets (Platzierung: oben, mittig oder unten) auf der rechten oder linken Wand mit der Hand oder Faust (Boxschlag) berührt werden müssen.

Die Ausgangsposition zwischen den verschiedenen Bewegungsaufgaben befindet sich immer in der Mitte des ExerCube. Von dort aus bewegt sich der/die Spielende mithilfe seitlicher oder vorwärts gerichteter Schritte zur nächsten Bewegungsaufgabe.

Abbildung 4: Übersicht über die funktionellen Bewegungsaufgaben des ExerCube „Sphery Racers“ (sortiert nach Leveln) bei einer 25- bis 28-minütigen Einheit (aktualisiert, überarbeitet und erweitert nach Martin-Niedecken et al. (2019)).

Level	Bewegungsaufgaben	Dauer
Level 1	Handberührung von markierten Flächen auf der rechten oder linken ExerCube-Wand (Platzierung: oben, mittig oder unten) 	2,5 Minuten + anschließende passive Ruhephase (ca. 30 Sekunden)
Level 2	Level 1 + seitliche Drehung zur Mitte der rechten und linken ExerCube-Wand mit einem Boxschlag in die Wand + Strecksprünge + Squats 	2,5 Minuten + anschließende passive Ruhephase (ca. 30 Sekunden)
Level 3	Level 2 + tiefer Ausfallschritt nach vorne links und vorne rechts 	5 Minuten + anschließende passive Ruhephase (ca. 30 Sekunden)
Level 4	Level 3 + Skipping (auf der Stelle sprinten) 	5 Minuten + anschließende passive Ruhephase (ca. 30 Sekunden)
Level 5	Level 4 + Burpees 	10 Minuten

3.3.2 Adaptives Spielkonzept

Um möglichst viele Punkte zu sammeln, müssen die Bewegungsaufgaben so präzise wie möglich und in einem vorgegebenen Zeitfenster ausgeführt werden. Auf diese Weise fordert der ExerCube die Spieler*innen nicht nur koordinativ und konditionell, sondern ebenfalls kognitiv (Martin-Niedecken & Schättin, 2020). Damit sich das Spiel an die individuellen Voraussetzungen der Spieler*innen anpassen kann, erfasst der „Sphery Racer“ die körperliche und kognitive Leistung der Spieler*innen. Hierbei gilt: Je mehr Bewegungsaufgaben korrekt ausgeführt werden und je besser die Reaktionszeit ist, desto

schneller wird das Spiel. Fehlerhafte oder zu spät ausgeführte Bewegungen hingegen führen zu einer Anpassung (Verlangsamung) der Spielgeschwindigkeit.

Die körperliche Beanspruchung des/der Spieler*in wird während der gesamten ExerCube-Einheit darüber hinaus mittels eines HF-Sensors (Polar H10 Electro Oy, Kempele, Finland) aufgezeichnet. Auf der Grundlage der HF-Messung sowie der Berechnung der individuellen HFmax nach der Formel von Nes et al. (2013) „ $HF_{max} = 211 - 0,7 \times age$ “ (Martin-Niedecken et al., 2019) kann die Belastungsintensität während des Spiels nach oben begrenzt werden. So wird die Spielgeschwindigkeit entsprechend angepasst, wenn die HF des/der Spieler*in eine zuvor festgelegte Schwelle überschreitet.

3.4 Forschungsstand zum ExerCube „Sphery Racer“

Erste Untersuchungen zu den Vorgängerversionen des im Rahmen der vorliegenden Arbeit eingesetzten ExerCube „Sphery Racers“ entstanden noch während seines Entwicklungsprozesses. Die Studien liefern Erkenntnisse dazu, dass eine akute Bewegungseinheit im ExerCube hinsichtlich des Flow-Erlebens, der Bewegungsfreude und der Motivation bei gesunden Erwachsenen vergleichbare Ergebnisse erzielen kann wie ein traditionelles Personaltraining mit gleichartigen Bewegungsaufgaben (Martin-Niedecken et al., 2019). In einer Folgestudie erzielte die ExerCube-Einheit im Vergleich zu einem traditionellen hochintensiven Intervalltraining (HIIT) sogar signifikant bessere Bewertungen für die 3 genannten psychologischen Outcomes (Martin-Niedecken et al., 2020). Gemessen an der durchschnittlichen HF (HFmean) wurde hingegen deutlich, dass die Belastungsintensität im ExerCube niedriger war als die des HIITs. Auch das subjektive Belastungsempfinden wurde während der ExerCube-Einheit als geringer bewertet (Martin-Niedecken et al., 2020).

Auf der Basis der genannten Forschungsergebnisse sowie zusätzlich durchgeführter Nutzer*innen-Interviews zu der Art und Qualität der ausgeführten Bewegungen, sozialen Faktoren sowie Feedback- und Audioerfahrungen erfolgte die Weiterentwicklung des ExerCube-Prototyps. Mitunter wurden dabei das Spieldesign (Mechanik sowie audiovisuelles Design) und die Spielgeschwindigkeit sowie die Gestaltung und Struktur der Spiellevel und Bewegungsaufgaben (Martin-Niedecken et al., 2019) angepasst. Des Weiteren erfolgte die Optimierung des adaptiven HF-Algorithmus (Martin-Niedecken et al., 2020).

Die optimierte ExerCube-Spielsoftware wurde für die im Rahmen der vorgelegten Dissertation durchgeführten Studien genutzt. Das Ziel bestand dabei darin, bisherige Forschungsergebnisse zu validieren sowie um weitere psychologische und physiologische Parameter unter Berücksichtigung verschiedener Zielgruppen, Settings und Interventionsdesigns zu ergänzen. Die beiden durchgeführten Studien (Teilstudie 1a und b sowie Teilstudie 2a und b) werden in den folgenden Kapiteln genauer beschrieben.

4. Untersuchung psychologischer und physiologischer Parameter bei einer akuten ExerCube-Intervention mit Erwachsenen

4.1 Zielsetzung und methodische Überlegungen zum Forschungsvorhaben

Obleich erste Ergebnisse zum ExerCube „Sphery Racer“ auf positive psychologische und physiologische Effekte hindeuten, fehlt es an weiterführenden Untersuchungen, um die Attraktivität und Effektivität des Exergames gezielter bewerten zu können. Insbesondere hinsichtlich der Belastungsintensität mangelt es in den bisherigen Studien an der Untersuchung und Einordnung relevanter physiologischer Parameter. Dies betrifft vor allem VO_2 , HF- oder Laktatwerte, die auf der Grundlage der individuellen Maximalwerte der Proband*innen bewertet werden sollten. Hinsichtlich psychologischer Parameter bedarf es zudem weiterführender Vergleichsstudien mit klassischen Trainingsprogrammen, vor allem im Ausdauerbereich, um den ExerCube als mögliches alternatives Tool für die Bewegungsförderung besser einordnen zu können. Dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund der Tatsache, dass viele Exergames laut aktueller Forschung bisher keine geeignete Alternative zu traditionellen Bewegungsangeboten darstellen (Biddiss & Irwin, 2010; Gao, 2017; Lyons et al., 2011; Marshall & Linehan, 2020; Street et al., 2017; siehe auch Kapitel 2.2.2).

Ziel der ersten Teilstudie der vorliegenden Arbeit war es somit einerseits, die Belastungsintensität der optimierten ExerCube-Spielsoftware unter Berücksichtigung der verschiedenen ExerCube-Spiellevel (siehe Kapitel 3.3.1) genauer zu untersuchen (Teilstudie 1a). Diesbezüglich wurden die HF, die VO_2 sowie die Laktatwerte der Proband*innen als objektive Parameter zur Quantifizierung der Belastungsintensität während einer 25- bis 28-minütigen ExerCube-Einheit (= längste Einheit im ExerCube) gemessen und mit den individuellen VO_2 max- und HFmax-Werten der Proband*innen in Relation gesetzt, die während eines standardisierten Stufentests ermittelt wurden. Da bisherige Studien drauf hindeuten, dass demografische und anthropometrische Faktoren Einfluss auf die Belastungsintensität während des Exergamings haben können (Mackintosh et al., 2016; Mellecker & McManus, 2008; O’Loughlin et al., 2020; Peng et al., 2013; Sell et al., 2008), wurde im Rahmen der Studie 1a ferner überprüft, ob das Geschlecht, das Gewicht und die VO_2 max der Proband*innen die Intensität der ExerCube-Einheit beeinflussen.

Im Rahmen der zweiten Teilstudie (1b) wurde eine 25- bis 28-minütige ExerCube-Einheit zudem mit einem klassischen Ausdauertraining hinsichtlich physiologischer (HF, VO_2 und Laktat) sowie psychologischer Effekte (Bewegungsfreude und Flow-Erleben) verglichen. Hierbei galt es, zu überprüfen, ob das adaptive Spielkonzept des ExerCube tatsächlich ein effektiveres und freudbetonteres Bewegungserlebnis ermöglicht und somit eine Alternative zum Ausdauertraining darstellt. Als Vergleichsbedingung wurde hierfür ein moderater Ausdauerlauf auf dem Laufband (h/p/cosmos, Pulsar 4.0, cosmos sports & medical GmbH, Nussdorf-Traunstein, Deutschland) gewählt,

der sich hinsichtlich der Belastungsnormative an den allgemeinen Empfehlungen des „American College of Sports Medicine“ (ACSM) orientierte (Garber et al., 2011). Bezüglich der Bewegungsfreude und des Flow-Erlebens wurden, wie in Kapitel 2.2.2 aufgeführt, 2 psychologische Konstrukte gewählt, die sowohl in der Video- und Exergaming-Forschung (Mellecker et al., 2013; Sinclair et al., 2009; Sweetser & Wyeth, 2005) als auch in der klassischen Sportpsychologie (Kimiecik & Harris, 1996; Wankel, 1993) von großer Bedeutung für die Motivations- und Verhaltensforschung sind. Zur Erfassung der beiden Konstrukte wurden 2 Messinstrumente gewählt (Physical Activity Enjoyment Scale (PACES) und Flow-Kurzfragebogen), die in beiden Forschungsbereichen bereits in zahlreichen Studien zum Einsatz kamen.

Abbildung 5: Proband mit Atemmaske im ExerCube und während eines Ausdauerlaufs © Lisa Röglin



4.2 Studie 1a: Die Belastungsintensität beim Spielen des ExerCube „Sphery Racers“

Bei den Kapiteln 4.2.1 bis 4.2.4 handelt es sich um eine deutschsprachige Zusammenfassung folgender Publikation:

Ketelhut, S., Röglin, L., Kircher, E., Martin-Niedecken, A. L., Ketelhut, R. G., Hottenrott, K., & Ketelhut, K. (2022). The New Way to Exercise? Evaluating an Innovative Heart-rate-controlled Exergame. *International Journal of Sports Medicine*, 43(1), 77–82. <https://doi.org/10.1055/a-1520-4742>

Die englischsprachige Originalpublikation befindet sich in Kapitel 4.2.5. Eine umfassende Diskussion der Forschungsergebnisse erfolgt studienübergreifend in Kapitel 6.

4.2.1 Fragestellung

Wie in Kapitel 2.2.2 beschrieben, sind viele der auf dem Markt erhältlichen Exergames nicht intensiv genug, um relevante psychologische Anpassungen zu erzielen (Marshall & Linehan, 2020; Peng et al., 2013).

Der ExerCube könnte aufgrund seines Bewegungskonzepts, durch das große Muskelgruppen angesprochen werden, ein vielversprechendes Exergame sein, um höhere Belastungsintensitäten zu erzielen. Inwiefern das Zusammenspiel von physischer und kognitiver Herausforderung des „Sphery Racers“ (= überarbeiteter Spielalgorithmus) allerdings tatsächlich ein intensives Bewegungserlebnis ermöglicht, wurde noch nicht hinreichend untersucht. Im Vordergrund der Studie stand demnach die Fragestellung, welche durchschnittlichen und maximalen Belastungsintensitäten während der 5 verschiedenen Spiellevel der 25- bis 28-minütigen ExerCube-Einheit erzielt werden können?

4.2.2 Methode

Proband*innen

Für die Studie wurden 28 gesunde Proband*innen im Alter von $24,86 \pm 3,83$ Jahren (13 Frauen; BMI: $23,22 \pm 2,32$ kg/m²) über E-Mail-Korrespondenz, soziale Medien und Mundpropaganda rekrutiert. Alle Teilnehmenden wurden über das Ziel der Studie, das Studiendesign sowie mögliche Risiken aufgeklärt und bestätigten ihre Teilnahme durch eine schriftliche Einverständniserklärung.

In die Studie einbezogen wurden weibliche und männliche Personen im Alter zwischen 18 und 45 Jahren, die regelmäßig körperlich aktiv sind (> 150 Minuten moderate bis intensive körperliche Aktivität pro Woche). Zu den Ausschlusskriterien gehörten neben diagnostizierten kardiovaskulären Erkrankungen auch orthopädische Verletzungen, welche die Bewegungsfähigkeit einschränken, sowie die Einnahme von Herz-Kreislauf-Medikamenten. An den Untersuchungstagen wurden die Proband*innen gebeten, 24 Stunden vor den jeweiligen Untersuchungsterminen intensive körperliche

Belastung zu vermeiden sowie mindestens 4 Stunden vor jeder Untersuchung auf koffeinhaltige oder alkoholische Getränke sowie Nikotin zu verzichten.

Die Studie wurde von der Ethikkommission der medizinische Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg (2019-177) genehmigt und nach internationalen Standards durchgeführt (Weltärztebund, 2013).

Setting

Um eine standardisierte Durchführung der Untersuchungen gewährleisten und externe Einflussfaktoren bestmöglich kontrollieren zu können, fand die Studie unter Laborbedingungen statt. Hierfür wurde der ExerCube im trainingswissenschaftlichen Labor (Vorbereitungsraum) der Martin-Luther-Universität Halle Wittenberg installiert. Alle Untersuchungen wurden unter denselben standardisierten Bedingungen (regulierte Raumtemperatur: $23,30^{\circ}\text{C} \pm 0,50^{\circ}\text{C}$) und von geschulten Studienmitarbeitenden durchgeführt.

Studienablauf

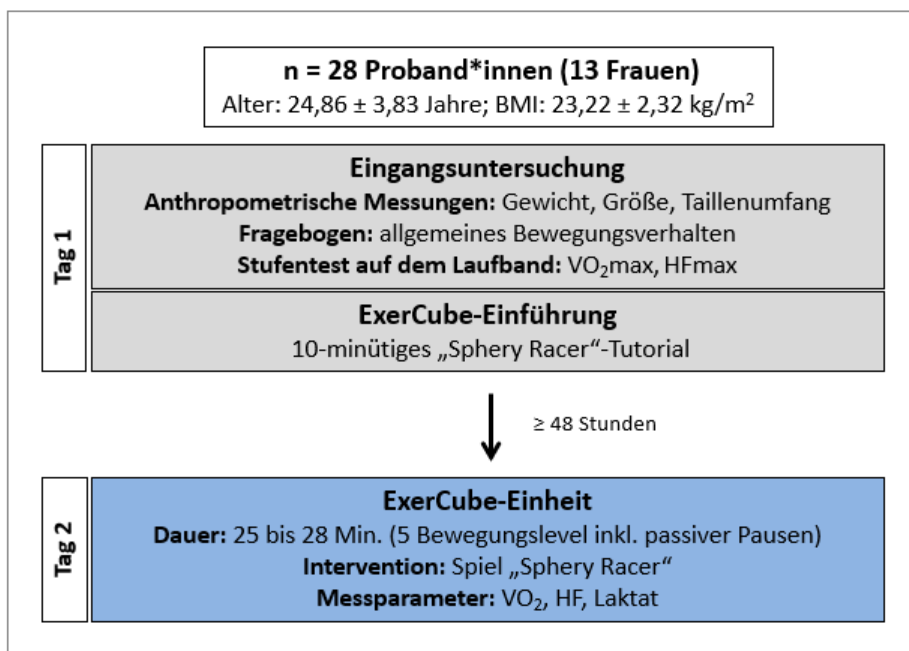
Die Proband*innen nahmen an insgesamt 2 Untersuchungsterminen teil, die an 2 unterschiedlichen Tagen (Mindestabstand: 48 Stunden), jedoch jeweils zur selben Tageszeit stattfanden. Während des ersten Untersuchungstags (Eingangsuntersuchung) wurden die Proband*innen mittels Fragebögen zu ihrem allgemeinen Bewegungsverhalten und ihrer Exergaming-Erfahrung befragt. Ferner wurden anthropometrische Messungen (Gewicht, Größe, Taillenumfang) mithilfe standardisierter Verfahren durchgeführt. Zur Bestimmung der individuellen VO_2max sowie HFmax absolvierten die Proband*innen im Anschluss einen standardisierten Stufentest auf dem Laufband (h/p/cosmos, Pulsar 4.0, cosmos sports & medical GmbH, Nussdorf-Traunstein, Deutschland) bis zur Ausbelastung. Als Anfangsgeschwindigkeit des Tests wurde entsprechend dem individuellen Leistungsniveau der Proband*innen eine Geschwindigkeit zwischen 7,5 km/h und 10,5 km/h gewählt. Die Stufenlänge betrug jeweils 3 Minuten, wobei die Geschwindigkeit nach jeder Stufe um 1,5 km/h gesteigert wurde. Zwischen den 3-minütigen Belastungsstufen fanden 1-minütige passive Pausen zur Entnahme von Laktatproben statt. Um sicherzustellen, dass alle Proband*innen eine gültige VO_2max erreichten, mussten mindestens 3 der folgenden Kriterien erfüllt sein:

1. Plateau der Sauerstoffaufnahme,
2. Respiratorischer Quotient $> 1,1$,
3. Erreichen der altersentsprechenden HFmax ,
4. Fehlender Anstieg der HF bei weiter steigender Belastung,
5. Subjektive Bewertung der wahrgenommenen Anstrengung von ≥ 17 auf der Borg-RPE-Skala (Borg, 1985, 2004; siehe auch Kapitel 4.3.2).

Am Ende der Eingangsuntersuchung absolvierten die Proband*innen ein 10-minütiges ExerCube-Tutorial, um sich mit dem „Sphery Racer“ vertraut zu machen.

Am zweiten Untersuchungstag führten die Proband*innen eine 25- bis 28-minütige ExerCube-Einheit durch (siehe Kapitel 3.3). Während des Spiels erfolgte eine kontinuierliche Messung der VO_2 und der HF der Proband*innen. Die HF-basierte Belastungsgrenze des ExerCube-Algorithmus wurde bei 100 % der HFmax festgelegt. Vor und direkt nach der ExerCube-Einheit wurden Laktatproben entnommen.

Abbildung 6: Das Studiendesign der Studie 1a



Abkürzungen: BMI = Body-Mass-Index; HF = Herzfrequenz; HFmax = maximale Herzfrequenz; VO_2 = Sauerstoffaufnahme; VO_{2max} = maximale Sauerstoffaufnahme.

Messwerte

Herzfrequenz und Laktat

Während des Stufentests und der ExerCube-Einheit wurde die HF der Proband*innen mit einem Brustgurt sowie einem HF-Sensor der Firma Polar (Polar H10 Electro OY, Kempele, Finnland) gemessen. Die Einordnung der während der ExerCube-Einheit ermittelten HF-Werte erfolgte anhand der beim Stufentest gemessenen HFmax-Werte (% von HFmax).

Für die Messung der Laktatkonzentration während beider Untersuchungen wurde Kapillarblut (10 μ l) mit einer Lanzette aus dem Ohrläppchen entnommen. Die Auswertung der Blutproben erfolgte mit dem „Super GL ambulance“ (Dr. Müller® Gerätebau GmbH, Freital, Deutschland). Die individuellen Laktat-Schwellen wurden aus den Laktat-Geschwindigkeitskurven unter Verwendung des Dickhuth-Modells abgeleitet (Dickhuth et al., 1991).

Sauerstoffaufnahme

Während des Stufentests und der ExerCube-Einheit erfolgte die kontinuierliche Aufzeichnung der Atemgase (Atemzug für Atemzug) zur Bestimmung der VO_2 der Proband*innen. Zu diesem Zweck wurde das mobile Spiroergometrie-Gerät MetaMax 3B (Cortex Biophysik GmbH, Leipzig, Deutschland) genutzt, welches die Bewegungsfähigkeit nicht einschränkte. Die Proband*innen trugen eine Maske (Hans Rudolph, USA) über Mund und Nase, an denen die Absaugstrecke und die Flusssensoren zur Messung des Atemluftvolumens und der O_2 - und CO_2 -Zusammensetzung angeschlossen waren. Die während der ExerCube-Einheit gemessenen VO_2 -Werte wurden mit den beim Stufentest ermittelten VO_{2max} -Werten in Relation gesetzt (% von VO_{2max}). Vor jeder Messung wurde das Spiroergometrie-Gerät entsprechend den Richtlinien des Herstellers kalibriert (Gas-, Umluft- und Volumenkalibration).

Statistische Analyse

Die Analyse der Daten wurde mit der Software IBM® SPSS Statistics für Windows, Version 27,0 (IBM Corp. Veröffentlicht 2020, Armonk, NY, USA) durchgeführt. Als statistisch signifikant wurde ein Signifikanzniveau von $p \leq 0,05$ festgelegt. Die Ergebnisse werden jeweils als Mittelwerte \pm Standardabweichung angegeben.

Um Veränderungen der Belastungsintensität zwischen den verschiedenen Spielleveln des ExerCube „Sphery Racers“ zu ermitteln, wurde zunächst eine Varianzanalyse (ANOVA) mit Messwiederholung durchgeführt. Zudem wurden Bonferroni-post-hoc-Tests durchgeführt, um paarweise Mittelwertunterschiede zu untersuchen. Darüber hinaus wurde mithilfe linearer Regressionen ermittelt, ob das Geschlecht, das Gewicht und die Ausdauerleistungsfähigkeit (VO_{2max}) der Proband*innen einen signifikanten Einfluss auf die Belastungsintensität während der ExerCube-Einheit hatten.

4.2.3 Ergebnisse

Alle Proband*innen absolvierten alle Eingangsuntersuchungen sowie die ExerCube-Einheit vollständig und ohne Zwischenfälle.

Während der ExerCube-Einheit erreichten die Proband*innen im Durchschnitt eine HFpeak von $187,43 \pm 9,22$ Schläge pro Minute (bpm), was $96,57 \pm 3,64$ % ihrer HFmax entsprach. Die durchschnittliche HFmean während der Exergaming-Einheit betrug $167,11 \pm 10,94$ bpm, was $86,07 \pm 4,33$ % der HFmax der Proband*innen entsprach. Die durchschnittliche VO_{2peak} während der ExerCube-Einheit lag bei $41,57 \pm 5,09$ ml/kg/min, was $84,75 \pm 7,52$ % der VO_{2max} der Proband*innen entsprach. Der VO_{2mean} -Wert der Proband*innen während der ExerCube-Einheit lag im Durchschnitt bei $32,39 \pm 4,04$ ml/kg/min, was $66,01 \pm 5,09$ % der VO_{2max} entsprach. Über die verschiedenen Spiellevel hinweg konnte ein signifikanter ($p < 0,001$) Zeiteffekt für die HFmean und die VO_{2mean} festgestellt werden. Die HFmean stieg während des Spiels allmählich an und erreichte ihre höchsten

Werte in Level 4 ($89,61 \pm 4,26$ % der HFmax). Die VO_2 mean stieg bis Level 4 an ($77,17 \pm 8,17$ % der VO_2 max) und zeigte dann in Level 5 einen deutlichen Abfall. Bis auf einen Probanden erreichten alle Proband*innen während der ExerCube-Einheit Laktatwerte, die über ihrer individuellen anaeroben Schwelle lagen. Die Regressionsanalyse ergab keine Auswirkungen von Geschlecht, Gewicht oder VO_2 max der Proband*innen auf die HFmean während der ExerCube-Einheit.

4.2.4 Zusammenfassung

Eine 25- bis 28-minütige Exergaming-Einheit mit dem ExerCube „Sphery Racer“ stellt für gesunde Erwachsene unabhängig von Geschlecht, Gewicht und individueller Ausdauerleistungsfähigkeit einen Belastungsreiz dar, der die Intensitätsempfehlungen des ACSM für die Entwicklung und Erhaltung der kardiorespiratorischen Fitness und Gesundheit nicht nur erfüllt, sondern deutlich übertrifft (Garber et al., 2011). Demnach integriert der ExerCube im Vergleich zu vielen anderen auf dem Markt erhältlichen Exergames ein gut durchdachtes Bewegungskonzept, das den Gamer*innen bei regelmäßiger Ausübung dabei helfen könnte, individuelle leistungs- und gesundheitsfördernde Effekte zu erzielen.

4.2.5 **Originalpublikation:** The New Way to Exercise? Evaluating an Innovative Heart-rate-controlled Exergame

Der Inhalt des Kapitels 4.2.5 wurde im Jahr 2021 als Originalartikel im *International Journal of Sports Medicine* des Thieme Verlags veröffentlicht. DOI: <https://doi.org/10.1055/a-1520-4742>. Basierend auf der Originalpublikation werden Tabellen, Abbildungen und Zitierungen in diesem Kapitel eigenständig nummeriert und bezeichnet. Es wurde zudem der jeweilige Zitier- und Formatierungsstil der Originalpublikation übernommen sowie die Abkürzungen.

© 2021. Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14, 70469 Stuttgart, Germany. Alle Rechte vorbehalten.

Publikationsverlauf:

Eingereicht: 13. Januar 2021

Angenommen: 17. Mai 2021

Artikel online veröffentlicht: 12. Juli 2021

Autor*innenbeitrag:

Ketelhut, S. = S. K.; Röglin, L. = L. R.; Kircher, E. = E. K.; Martin-Niedecken, A. L. = A. L. M.-N.; Ketelhut, R. = R. K.; Hottenrott, K. = K. H. & Ketelhut, K. = K. K.

Konzepterstellung: S. K. und K. K.; Methodik/Studiendesign: L. R., S. K., K. H. und K. K.; Betreuung/Supervision: K. K. und A. L. M.-N.; Administration: K. K.; Software (z. B. Programmierung und Softwareentwicklung): A. L. M.-N.; Ressourcen: K. K., K. H. und A. L. M.-N.; Untersuchungen/Forschung: S. K., L. R. und E. K.; Datenpflege: L. R.; Formale Analyse: S. K. und L. R.; Validierung: S. K., L. R. und E. K.; Visualisierung: S. K. und L. R.; Schreiben – Erstellung eines Originalentwurfs: S. K.; Schreiben sowie Überarbeiten und Korrigieren der Publikation: L. R., K. K., K. H., A. L. M.-N., E. K. und R. K.

Abstract

Exergames may offer novel opportunities to expand physical activity. Most games, however, only result in low to moderate-intensity activities that are too low to allow relevant physical adjustments. In the present study, the exercise intensity of a new, heart rate controlled, functional fitness game was assessed. 28 subjects (aged 24.8 ± 3.8 years; 46 % female; BMI 23.2 ± 2.3 kg/m²) were enrolled in this study. VO₂max and maximal heart rate (HRmax) were assessed during a maximal graded exercise test on a treadmill and compared with the oxygen consumption (VO₂) and heart rate (HR) during a game in the ExerCube. In the ExerCube, the subjects reached a peak HR of 187.43 ± 9.22 bpm, which corresponds to 96.57 ± 3.64 % of their HRmax. The mean HR throughout the game was 167.11 ± 10.94

bpm, corresponding to 86.07 ± 4.33 % of HRmax. VO_2 peak reached 41.57 ± 5.09 ml/kg/min during the game in the ExerCube, which corresponds to 84.75 ± 7.52 % of VO_2 max. The mean VO_2 consumption during the game reached 32.39 ± 4.04 ml/kg/min, which corresponds to 66.01 ± 5.09 % of VO_2 max. The ExerCube provides a form of vigorous physical exercise. Due to its playful, immersive, and motivating nature, the ExerCube seems to be a promising tool to facilitate physical activity.

Introduction

There is general agreement that regular physical activity (PA) leads to functional, morphological, and metabolic adaptations in various biological systems, thereby increasing overall physical performance and promoting good health. PA is therefore seen as a compulsory component of health and a healthy lifestyle and is recommended in the guidelines of various professional societies [1, 2].

In the last few decades, various cultural developments and technical achievements have fundamentally changed daily life and leisure behavior, radically reducing the PA level [3–5]. The resulting physical inactivity and sedentary lifestyle led to serious consequences for our health. Today, a large part of the population no longer fulfills the exercise recommendations of the World Health Organization (WHO) [6].

Combating this leading risk factor would reduce the risks for cardiovascular disease, diabetes, hypertension, some cancers and could prevent musculoskeletal disorders and mental illness [7]. Therefore, it is warranted to investigate effective strategies to increase PA and decrease sedentary behavior.

In this regard, exergames are often considered a promising approach. Exergames, also referred to as active video games, are a genre of serious games where the game mechanic, or method of gameplay, requires body movements to play the game [8]. By combining video games with their playful and therefore motivating nature and physical exercise, exergames appear to be a suitable and appealing tool to facilitate PA.

So far, most commercial exergames primarily target an appealing gaming experience but neglect major exercise principles, thus mitigating their efficacy. Even though studies have found a significant increase in energy expenditure when playing exergames compared to sedentary behavior or normal video games, most games require only low- to moderate-intensity activities [9–11]. It can be argued that some exercise is better than none and that low-intensity exercise promotes positive health outcomes in inactive populations [12, 13]. However, it is generally accepted that higher intensity exercise leads to greater adaptations and more pronounced health benefits [14, 15]. Therefore, it is often claimed that current exergames are too low in intensity to meet exercise recommendations and result in relevant physical adaptations [16, 17], especially in more active individuals. In addition, most exergames lack individual tailoring of the game and exercise intensity. In order to achieve optimal benefits and to ensure

long-term performance development, it is important to individually adapt the stimulus taking into account the prerequisites (age, gender, risk profile, etc.) and the performance progression of the person.

In the present study, the exercise intensity of a new, functional fitness exergame called the ExerCube was evaluated. The ExerCube facilitates an adaptive, individually tailored, whole-body gaming experience that may overcome many of the weaknesses of previous exergames. A previous study already compared the intensity of a prototypical exercise protocol in the ExerCube with a Tabata training session [18]. It was shown that heart rate (HR) values in the ExerCube reached 78.7 % of age-predicted maximal HR (HR_{max}). HR values, however, were classified only using a formula and not according to values attained during a standardized exercise test.

Therefore, the present study classified the physiological responses of a session in the ExerCube with respect to the maximum values attained during a standardized exercise test. In order to assess whether the game guarantees individual tailoring, the influence of body mass, gender, and endurance performance on exercise intensity was assessed.

Materials and Methods

Subjects

A total of 28 healthy subjects (aged 24.8 ± 3.8 years; body mass index (BMI) 23.2 ± 2.3 kg/m²; 46 % female) were enrolled in the study. Subjects were recruited via email correspondence through social media and word of mouth. Exclusion criteria included an underlying health condition, orthopedic injuries, or prescribed medications that could influence exercise responses.

All subjects were informed about the main goal, experimental procedures, and risks of the study, and informed consent was obtained. The experimental procedures of the study were approved by the institutional research committee (Medical Faculty of the Martin-Luther-University Halle-Wittenberg 2019-177) and carried out according to international standards [19].

Study design

Subjects were asked to report to the laboratory on two separate days in a rested and fasting state. They were further instructed to refrain from any vigorous PA 24 hours before each visit. Both visits were held at least 48 hours apart, with each visit occurring around the same time of day. All tests were performed in the same temperature-controlled laboratory ($23.3 \pm 0.5^\circ\text{C}$). Specially trained study staff conducted the tests under standardized conditions.

On the first day, baseline examinations and a graded exercise test (GXT) were conducted. On the second day, subjects performed an exercise session in the ExerCube (EX).

Baseline examination

Subjects completed baseline questionnaires assessing habitual PA and medical history. Furthermore, anthropometric measures (age, weight, height, waist circumference) were obtained. Subsequently, subjects completed a GXT on a treadmill (h/p/cosmos pulsar 4.0; h/p/cosmos sports & medical gmbh, Nussdorf-Traunstein, Germany) until voluntary exertion. The initial speed was set according to the individual training status ranging between 7.5 km/h or 10.5 km/h. Each step lasted 3 minutes interspersed with a 1-minute passive rest to draw lactate samples (10 μ l) from the earlobe. After each step, the speed was increased by 1.5 km/h until volitional exhaustion. To ensure that each participant attained valid maximal oxygen consumption (VO_{2max}), at least two of the following criteria had to be met: plateau in oxygen uptake with increasing exercise intensity, respiratory exchange ratio ratio > 1.1, achievement of age-predicted maximal heart rate.

ExerCube

The ExerCube is a physically immersive exergame setting [18, 20, 21]. When working out in the ExerCube, the player is surrounded by three cushioned walls that serve as a haptic interface. The game scenario is projected on all three walls of the cube, allowing an immersive game experience. During the game (Sphery Racer), the player navigates an avatar on a hoverboard along a virtual racing track and performs different whole-body movement tasks to overcome various obstacles. A motion capturing system continuously tracks the player's movements and body position. The player wears two HTC Vive trackers attached to the wrists and ankles. The motion-capturing system analyzes the timing and accuracy of movements throughout the game, guaranteeing correct execution of the different movement tasks. The game implements six exercise levels, which gradually guide the player through a 25-minute workout. Between each level, there are short resting phases of about 30 seconds. The game continuously adapts game difficulty and complexity to the player's fitness and cognitive skills. If the player makes too many mistakes or reaches a predetermined HR, the speed and complexity of the game decrease. If the player makes no mistakes, both parameters increase gradually. During the exercise session, ventilation, and peak HR (HR_{peak}) were assessed continuously. Before and after the exercise session, blood samples were taken from the earlobe to assess lactate concentration.

Heart rate and blood lactate

Heart rate was monitored throughout the GXT and the EX by the Polar heart rate monitor V800 (Polar Electro OY, Kempele, Finland) using a chest strap. Blood lactate concentration was assessed after each stage of the GXT and at the end of the EX by enzymatic amperometry (Super GL ambulance; Dr. Mueller Gerätebau, Freital, Germany). Small blood samples were drawn from the earlobe using a lancet. Collected data were processed utilizing the software WinLactat 3.1 (Mesics GmbH, Münster, Germany), and individual thresholds were derived from the lactate-velocity curve using the Dickhuth model [22].

Ventilation

Ventilation was recorded continuously (breath-by-breath) during the GXT and the EX. A portable indirect calorimetric gas-exchange analysis system MetaMax 3B (Cortex Biophysik GmbH, Leipzig, Germany) was applied, allowing unrestricted movement. The values were averaged over 30-second epochs. Prior to each testing session, a two-point calibration procedure was conducted according to the manufacturer's guidelines. Calibration of the oxygen and carbon dioxide sensors was performed with gases of known concentrations. Respiratory volume was calibrated using a 3-liter volume syringe. Before each test, ambient air measurements were conducted.

Statistics

All statistical analyses were performed using IBM SPSS Statistics v. 27.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA). Results are presented as means \pm standard deviation. Individual HRmax and VO₂max, measured during the GXT, were used to calculate the percentage of HRmax and VO₂max achieved during the exercise session. A repeated-measures ANOVA was conducted to detect changes in exercise intensity between the different levels in the ExerCube. Bonferroni post hoc analyses were performed to examine pairwise mean differences. Levene's test was used to check the homogeneity of variance. Linear regressions were used to determine whether body mass, sex, and endurance performance were significant predictors of exercise intensity during the session in the ExerCube. Statistical significance was set at $p \leq 0.05$.

Results

All subjects completed both sessions with no adverse events. Participant characteristics are displayed in Tab. 1.

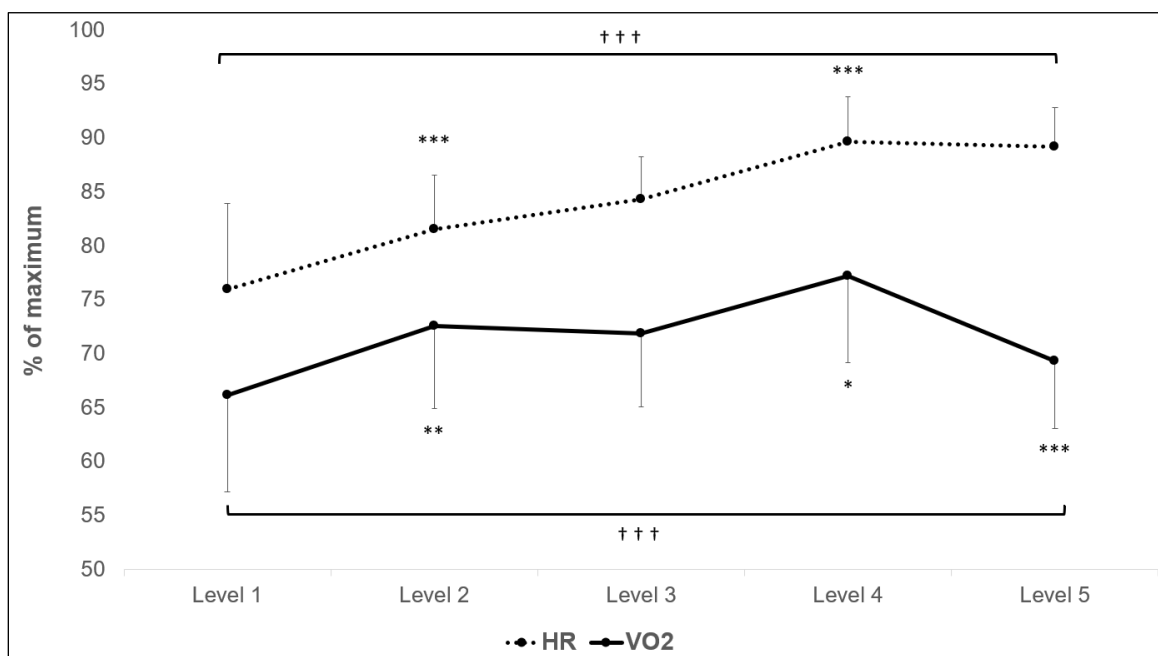
Tab. 1. Subject's characteristics

Items	Total (n = 28)	Female (n = 13)	Male (n = 15)
	M \pm SD	M \pm SD	M \pm SD
Age (yrs)	24.8 \pm 3.8	23.85 \pm 3.44	25.67 \pm 3.87
Height (cm)	170.9 \pm 9.6	165.2 \pm 8.1	177.73 \pm 6.16
Body mass (kg)	68.9 \pm 10.7	61.1 \pm 7.3	75.69 \pm 7.84
Body-Mass-Index (kg·m ⁻²)	23.2 \pm 2.3	22.34 \pm 1.78	23.97 \pm 2.39
Waist-to-height ratio	0.43 \pm 0.10	0.39 \pm 0.12	0.46 \pm 0.03
VO ₂ max	49.21 \pm 5.92	44.92 \pm 2.39	52.93 \pm 5.55
HRmax	194.14 \pm 7.69	194.00 \pm 6.90	194.27 \pm 8.6

Values are means \pm SD. VO₂max = maximal oxygen consumption during a graded exercise test; HRmax = maximal heart rate during a graded exercise test.

In the ExerCube, the participants reached an HR_{peak} of 187.43 ± 9.22 bpm, which corresponds to 96.57 ± 3.64 % of their individual HR_{max}. Throughout the 25-minute game, the mean HR was 167.11 ± 10.94 bpm, corresponding to 86.07 ± 4.33 % of HR_{max}. Peak oxygen consumption (VO_{2peak}) during the training in the ExerCube reached 41.57 ± 5.09 ml/kg/min, which is equivalent to 84.75 ± 7.52 % of VO_{2max}. The mean VO₂ consumption during the game reached 32.39 ± 4.04 ml/kg/min equaling 66.01 ± 5.67 % of VO_{2max}. Throughout the different game levels, a significant ($p < 0.001$) time effect for mean HR and mean VO₂ was revealed (Fig. 1).

Fig. 1. Percentage of maximal heart rate (HR) and oxygen consumption (VO₂) during the different game levels in the ExerCube * represents difference from previous level, * = $p < 0.05$, ** = $p < 0.01$, *** = $p < 0.001$; † represents changes over time, ††† = $p < 0.001$.



Mean HR and mean VO₂ significantly increased between levels 1 and 2 and between levels 3 and 4. The highest values were reached in level 4 (89.61 ± 4.26 % of HR_{max}; 77.17 ± 8.17 % of VO_{2max}). VO₂ showed a significant drop in level 5 (Fig. 1). All but one participant reached blood lactate levels that were higher than their anaerobic threshold.

The regression analysis revealed no effects of sex ($p = 0.482$), body mass ($p = 0.582$), and VO_{2max} ($p = 0.149$) on the mean HR during the exercise in the ExerCube (Tab. 2).

Tab. 2. Effects of body mass, sex, and physical fitness level on exercise intensity in the ExerCube

Variable	Unstandardized Coefficient	Standardized Coefficient	Std. Error
Constant	102.665		
Sex	2.380	.279	3.336
Body mass	-.066	-.164	.119
VO ₂ max	-.319	-.436	.214
R ²	.101		
Adjusted R ²	-.011		
F (df = 2;24)	.902		

VO₂max = maximal oxygen consumption during a graded exercise test.

Discussion

The present study evaluated the exercise intensity during a training session in the ExerCube.

According to the VO₂max values, both the female and male subjects were classified as well-trained (17 excellent, 3 superior, 5 good, 3 fair) [23].

Based on BMI, four subjects were classified as overweight (> 25). Based on waist-to-height ratio (WHtR), only two of the subjects were categorized as overweight (> 0.05).

With respect to mean HR, the exercise session in the ExerCube qualifies as a vigorous-intensity exercise [24]. It is important to note that the mean HR was calculated throughout the whole 25-minute exercise session, including the short breaks between the levels. When excluding the breaks, the mean HR was even higher and reached values of 89.6 %.

The mean HR in the present study is higher than the values previously seen in other studies evaluating the ExerCube [18] or other exergames. One of the most frequently examined consoles in the published literature is the Nintendo Wii. According to various studies, the mean HR reached during different Wii games range from 44–77 % of HRmax [10, 25–27].

Apart from the Nintendo Wii, other exergames did not meet exercise intensities comparable to the ExerCube. Viana et al. [28] assessed the game “Hollywood Workout” on the XBOX 360 Kinect. Subjects reached a mean HR of 71.4 % of HRmax. During the game “River Rush,” also played on the Xbox Kinect, the subjects achieved a mean HR of 60 % of age-predicted HRmax [29]. In a study evaluating “Dance Dance Revolution,” a mean HR of 70 % was achieved [30]. The highest HR values were reported by Monedero et al. [31], who documented a mean HR of 77.4 % of HRmax when playing various fitness-themed video games on the XBOX 360 Kinect. Similar values were measured by Berg & Moholdt [32] and Moholdt et al. [33].

Regarding oxygen consumption, subjects reached a VO_{2peak} equivalent to 84.8 % of VO_{2max} in the ExerCube. The mean VO_2 consumption during the game was 66.0 % of VO_{2max} . According to the American College of Sports Medicine (ACSM) guidelines, this VO_2 translates into a vigorous-intensity exercise [24]. Compared to previous studies, the VO_2 values in the ExerCube exceed the values determined during other exergames [26, 28, 31, 34]. The highest values in previous studies were reported by Berg & Moholdt [32] and Moholdt et al. [33]. During a biking exergame, they measured an average VO_2 of 61.7 % of VO_{2max} . There are several possible explanations for the exercise intensity in the ExerCube exceeding the intensities of other exergames. First, the ExerCube represents a whole-body functional workout that engages large muscle groups. Other exergames mainly require arm movements, thus engaging less muscle mass. In particular, lower-body engagement during exergaming seems to increase exercise intensity. This was nicely shown in a study by Monedero et al. [35]. After adjusting a game of “Wii Sports” and adding additional movement tasks, mainly engaging the lower limbs, the mean HR increased from 45.0 to 62.2 % [35]. It has been shown that exergames that simultaneously recruit the upper and lower limbs promote the greatest metabolic costs [36].

Second, the precise motion-capturing system of the ExerCube can explain the vigorous exercise intensity. The ExerCube uses an HTC Vive infrared motion tracking sensor that allows users to move freely while tracking both legs and arms. Thus, bodily movements are traced more precisely compared to other consoles that use a hand-held motion sensor. Tracking bodily movements based on the position of a hand-held device can result in inaccurate movement execution or cheating [37].

Furthermore, the sheer dimension of the game setup ($\sim 9m^2$) requires a lot of movement to reach the targets and perform the movement tasks.

Finally, the higher exercise intensity achieved during the session in the ExerCube might be attributed to the fact that the ExerCube monitors HR throughout the game and adjusts the game’s speed according to a predetermined threshold. In this way, the game can guarantee an adequate stimulus throughout the exercise session. Considering the regression analysis, neither body mass, sex, nor physical fitness level influenced the training intensity in the ExerCube. This is in contrast to previous studies that showed differences in exercise intensity between male and female [38] as well as in obese and non-obese subjects during exergaming [39].

Thus, it can be concluded that the ExerCube offers a perfectly tailored exercise program that triggers a similar stimulus for all individuals enrolled in this study. Since the target HR can be freely adjusted, it qualifies as a training tool for different target groups and settings. In addition, the HR-controlled game design guarantees a progressive training stimulus and can thus promote long-term performance development.

To date, the ExerCube is one of the very few exergames that enables a high-intensity training program. Since exercise at higher intensity leads to greater adaptations and more pronounced health benefits, it

is to be expected that regular training in the ExerCube will result in further physical adjustments, even in already active individuals.

The ExerCube seems to represent a well-thought-out exergame that integrates a sophisticated training concept and thus eliminates the weaknesses of many other exergames.

According to the present results, it can be assumed that the ExerCube is an innovative tool to achieve the recommended levels of PA and induce performance and health-enhancing effects.

However, as the ExerCube requires a relatively large space, it may not be practical for home-based training. It rather represents a training tool for gyms, schools, or rehabilitation centers.

Limitations

Certain limitations need to be considered when interpreting the results of the study. First, only young, healthy, and physically active individuals were enrolled. The results may not apply to older, less-active subjects or patients at risk. However, since the exercise intensity in the ExerCube is individually tailored and adjustable, it can be assumed that it also guarantees an adequate exercise stimulus for different target groups. Nevertheless, further studies including different populations are warranted.

In addition, the subjects had no experience in the ExerCube. The exercise intensity during the game may change with increasing experience.

Finally, we looked only at the effects of an acute bout of EX. Further research to investigate the long-term effects is warranted to determine whether these responses will persist. Additionally, it would be of interest to assess whether the ExerCube is not only an effective but also an enjoyable training stimulus.

Conclusion

Playing in the ExerCube provides a form of vigorous PA that not only meets but exceeds the intensity recommendations of the ACSM for developing and maintaining cardiorespiratory fitness and health. Due to its playful, immersive, and motivating nature, the ExerCube may be a promising tool to facilitate PA. The game setup of the ExerCube provides valuable information that video game designers should consider when developing physiologically challenging exergames.

References

- [1] Piercy KL, Troiano RP, Ballard RM et al. The physical activity guidelines for Americans. *JAMA* 2018; 320: 2020–2028.
- [2] World Health Organization. WHO Guidelines on Physical Activity and Sedentary Behaviour. Available at: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240015128>. Accessed: 18.12.2020.
- [3] Bell AC, Ge K, Popkin BM. The road to obesity or the path to prevention: Motorized transportation and obesity in China. *Obes Res* 2002; 10: 277–283.
- [4] Monda KL, Adair LS, Zhai F et al. Longitudinal relationships between occupational and domestic physical activity patterns and body weight in China. *Eur J Clin Nutr* 2008; 62: 1318–1325.

- [5] Clark BK, Sugiyama T, Healy GN et al. Validity and reliability of measures of television viewing time and other non-occupational sedentary behaviour of adults: A review. *Obes Rev* 2009; 10: 7–16.
- [6] Guthold R, Stevens GA, Riley LM et al. Worldwide trends in insufficient physical activity from 2001 to 2016: A pooled analysis of 358 population-based surveys with 1.9 million participants. *Lancet Glob Health* 2018; 6: e1077–e1086.
- [7] Lee IM, Shiroma EJ, Lobelo F et al. Effect of physical inactivity on major non-communicable diseases worldwide: An analysis of burden of disease and life expectancy. *Lancet* 2012; 380: 219–229.
- [8] Baranowski T. Exergaming: Hope for future physical activity? or blight on mankind? *J Sport Health Sci* 2017; 6: 44–46.
- [9] Peng W, Crouse JC, Lin JH. Using active video games for physical activity promotion: A systematic review of the current state of research. *Health Educ Behav* 2013; 40: 171–192.
- [10] Graves LEF, Ridgers ND, Williams K et al. The physiological cost and enjoyment of Wii fit in adolescents, young adults, and older adults. *J Phys Act Health* 2010; 7: 393–401.
- [11] Dutta N, Pereira MA. Effects of active video games on energy expenditure in adults: a systematic literature review. *J Phys Act Health* 2015; 12: 890–899.
- [12] Matthews CE, Moore SC, Sampson J et al. Mortality benefits for replacing sitting time with different physical activities. *Med Sci Sports Exerc* 2015; 47: 1833–1840.
- [13] Sparling PB, Howard BJ, Dunstan DW et al. Recommendations for physical activity in older adults. *BMJ* 2015; 350: h100.
- [14] Van De Laar RJ, Ferreira I, Van Mechelen W et al. Lifetime vigorous but not light-to-moderate habitual physical activity impacts favorably on carotid stiffness in young adults: The Amsterdam Growth and Health Longitudinal Study. *Hypertension* 2010; 55: 33–39.
- [15] Schnohr P, Marott JL, Jensen JS et al. Intensity versus duration of cycling, impact on all-cause and coronary heart disease mortality: The Copenhagen City Heart Study. *Eur J Prev Cardiol* 2012; 19: 73–80.
- [16] Lyons EJ, Tate DF, Ward DS et al. Energy expenditure and enjoyment during video game play: Differences by game type. *Med Sci Sports Exerc* 2011; 43: 1987–1993.
- [17] Biddiss E, Irwin J. Active video games to promote physical activity in children and youth: A systematic review. *Arch Pediatr Adolesc Med* 2010; 164: 664–672.
- [18] Martin-Niedecken AL, Mahrer A, Rogers K et al. “HIIT” the ExerCube: Comparing the effectiveness of functional high-intensity interval training in conventional vs. exergame-based training. *Front Comput Sci* 2020; 2: 33. doi:10.3389/fcomp.2020.00033.
- [19] Harriss DJ, Macsween A, Atkinson G. Ethical standards in sport and exercise science research: 2020 update. *Int J Sports Med* 2019; 40: 813–817.
- [20] Martin-Niedecken AL, Mekler ED. The ExerCube: Participatory design of an immersive fitness game environment. In: Göbel S, Garcia-Agundez A, Tregel T et al. (Eds). *Serious Games. JCSG. Lecture Notes in Computer Science*, Vol 11243. Springer Nature Switzerland; 2018. doi:10.1007/978-3-030-02762-9_28.
- [21] Martin-Niedecken AL, Segura EM, Rogers K et al. Towards socially immersive fitness games: an exploratory evaluation through embodied sketching. *CHI Play 2019 - Ext Abstr Annu Symp Comput Interact Play*. Published online 2019; 525–534. doi:10.1145/3341215.3356293.
- [22] Dickhuth H-H, Huonker M, Münzel T et al. Individual anaerobic threshold for evaluation of competitive athletes and patients with left ventricular dysfunction. In: Dickhuth HH, Huonker M, Münzel T et al. (Eds). *Advances in Ergometry*. Berlin Heidelberg: Springer; 1991: 173–179.
- [23] Gibson A, Wagner D, Heyward V. (Eds). *Advanced Fitness Assessment and Exercise Prescription*. 8th ed. Champaign: Human Kinetics; 2018.
- [24] Garber CE, Blissmer B, Deschenes MR et al. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 2011; 43: 1334–1359.
- [25] Bosch PR, Poloni J, Thornton A et al. The heart rate response to Nintendo Wii boxing in young adults. *Cardiopulm Phys Ther J* 2012; 23: 13–29.
- [26] Jordan M, Donne B, Fletcher D. Only lower limb controlled interactive computer gaming enables an effective increase in energy expenditure. *Eur J Appl Physiol* 2011; 111: 1465–1472.
- [27] Willems M, Bond TS. Comparison of physiological and metabolic responses to playing Nintendo Wii sports and brisk treadmill walking. *J Hum Kinet* 2009; 22: 43–49.
- [28] Viana RB, Vancini RL, Vieira CA et al. Profiling exercise intensity during the exergame Hollywood Workout on XBOX 360 Kinect®. *PeerJ* 2018; 2018: 1–16.
- [29] Tietjen AMJ, Devereux GR. Physical demands of exergaming in healthy young adults. *J Strength Cond Res* 2019; 33: 1978–1986.

- [30] Tan B, Aziz AR, Chua K, Teh KC. Aerobic demands of the dance simulation game. *Int J Sports Med* 2002; 23: 125–129.
- [31] Monedero J, Murphy EE, O’Gorman DJ. Energy expenditure and affect responses to different types of active video game and exercise. *PLoS One* 2017; 12: e0176213.
- [32] Berg J, Moholdt T. Game on: A cycling exergame can elicit moderate-to-vigorous intensity. A pilot study. *BMJ Open Sport Exerc Med* 2020;6: e000744.
- [33] Moholdt T, Weie S, Chorianopoulos K et al. Exergaming can be an innovative way of enjoyable high-intensity interval training. *BMJ Open Sport Exerc Med* 2017; 3: 3–8.
- [34] Sell K, Lillie T, Taylor J. Energy expenditure during physically interactive video game playing in male college students with different playing experience. *J Am Coll Health* 2008; 56: 505–512.
- [35] Monedero J, McDonnell AC, Keoghan M, O’Gorman DJ. Modified active videogame play results in moderate-intensity exercise. *Games Health J* 2014; 3: 234–240.
- [36] Graves LEF, Ridgers ND, Stratton G. The contribution of upper limb and total body movement to adolescents’ energy expenditure whilst playing Nintendo Wii. *Eur J Appl Physiol* 2008; 104: 617–623.
- [37] Baranowski T, Maddison R, Maloney A et al. Building a better mousetrap (exergame) to increase youth physical activity. *Games Health J* 2014; 3: 72–78.
- [38] Mackintosh KA, Standage M, Staiano AE et al. Investigating the physiological and psychosocial responses of single- and dual-player exergaming in young Adults. *Games Health J* 2016; 5: 375–381.
- [39] Bailey BW, McInnis K. Energy cost of exergaming: A comparison of the energy cost of 6 forms of exergaming. *Arch Pediatr Adolesc Med* 2011; 165: 597–602.

4.3 Studie 1b: ExerCube versus moderater Ausdauerlauf: Untersuchung von Bewegungsfreude und Flow-Erleben sowie physiologischen Reaktionen

Bei den Kapiteln 4.3.1 bis 4.3.4 handelt es sich um eine deutschsprachige Zusammenfassung folgender Publikation:

Röglin, L., Ketelhut, S., Ketelhut, K., Kircher, E., Ketelhut, R. G., Martin-Niedecken, A. L., Hottenrott, K., & Stoll, O. (2021). Adaptive High-Intensity Exergaming: The More Enjoyable Alternative to Conventional Training Approaches Despite Working Harder. *Games for health journal*, 10(6), 400–407. <https://doi.org/10.1089/g4h.2021.0014>

Die englischsprachige Originalpublikation befindet sich in Kapitel 4.3.5. Eine umfassende Diskussion der Forschungsergebnisse erfolgt studienübergreifend in Kapitel 6.

4.3.1 Fragestellung

Exergames können, wie bereits in Kapitel 2.2.2 beschrieben wurde, verschiedenen Zielgruppen ein attraktiveres Freizeiterlebnis als sitzende, bildschirmbasierte Aktivitäten oder auch traditionelle Bewegungsansätze bieten (z. B. Sportunterricht oder Joggen; Andrade et al., 2019; Joronen et al., 2017; Lee et al., 2017). Dies trifft vor allem für die Exergames zu, die leichte bis mittlere Belastungsintensitäten erreichen (Lee et al., 2017). In der aktuellen Literatur fehlen indes Erkenntnisse dahingehend, ob Exergames auch dann als attraktiver bewertet werden, wenn die Belastungsintensität während der Exergaming-Einheit höher ist als jene des Vergleichstrainings. Dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund der Tatsache, dass höhere Intensitäten im klassischen Sport mit einem Verlust an Bewegungsfreude einhergehen (Ekkekakis et al., 2011; Ekkekakis & Petruzzello, 1999) und die Trainingsmotivation sowie -teilnahme reduzieren können (Perri et al., 2002). Die Studie adressierte somit die Frage, inwiefern sich die Bewegungsfreude und das Flow-Erleben sowie das subjektive Belastungsempfinden erwachsener Proband*innen zwischen einer ExerCube-Einheit und einem moderaten Ausdauerlauf unterscheiden.

4.3.2 Methode

Proband*innen

An der Studie nahmen 28 gesunde Erwachsene im Alter von $24,86 \pm 3,83$ Jahren (13 Frauen; BMI: $23,22 \pm 2,32$ kg/m²) teil. Die Rekrutierung, Aufklärung und Einholung der Einverständniserklärung erfolgte analog zur Teilstudie 1a (siehe Kapitel 4.2.2). Die Einschluss- und Ausschlusskriterien zur Teilnahme an der Studie wurden ebenfalls identisch zur Teilstudie 1a (siehe Kapitel 4.2.2) definiert. An den jeweiligen Untersuchungstagen wurden die Proband*innen gebeten, 24 Stunden vor den jeweiligen

Untersuchungsterminen intensive körperliche Aktivität zu vermeiden und mindestens 4 Stunden vor jedem Untersuchungstag auf koffeinhaltige oder alkoholische Getränke sowie Nikotin zu verzichten. Die Studie wurde von der Ethikkommission der medizinische Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg (2019-177) genehmigt und nach internationalen Standards durchgeführt (Weltärztebund, 2013).

Setting

Alle Untersuchungen im Rahmen der Studie fanden im trainingswissenschaftlichen Vorbereitungsraum (ExerCube) und Labor (Dauerlauf) der Martin-Luther-Universität Halle Wittenberg statt. Dabei wurden die Untersuchungen unter denselben standardisierten Bedingungen (regulierte Raumtemperatur: $23,30^{\circ}\text{C} \pm 0,50^{\circ}\text{C}$) und von geschulten Studienmitarbeitenden durchgeführt.

Studiendesign und -ablauf

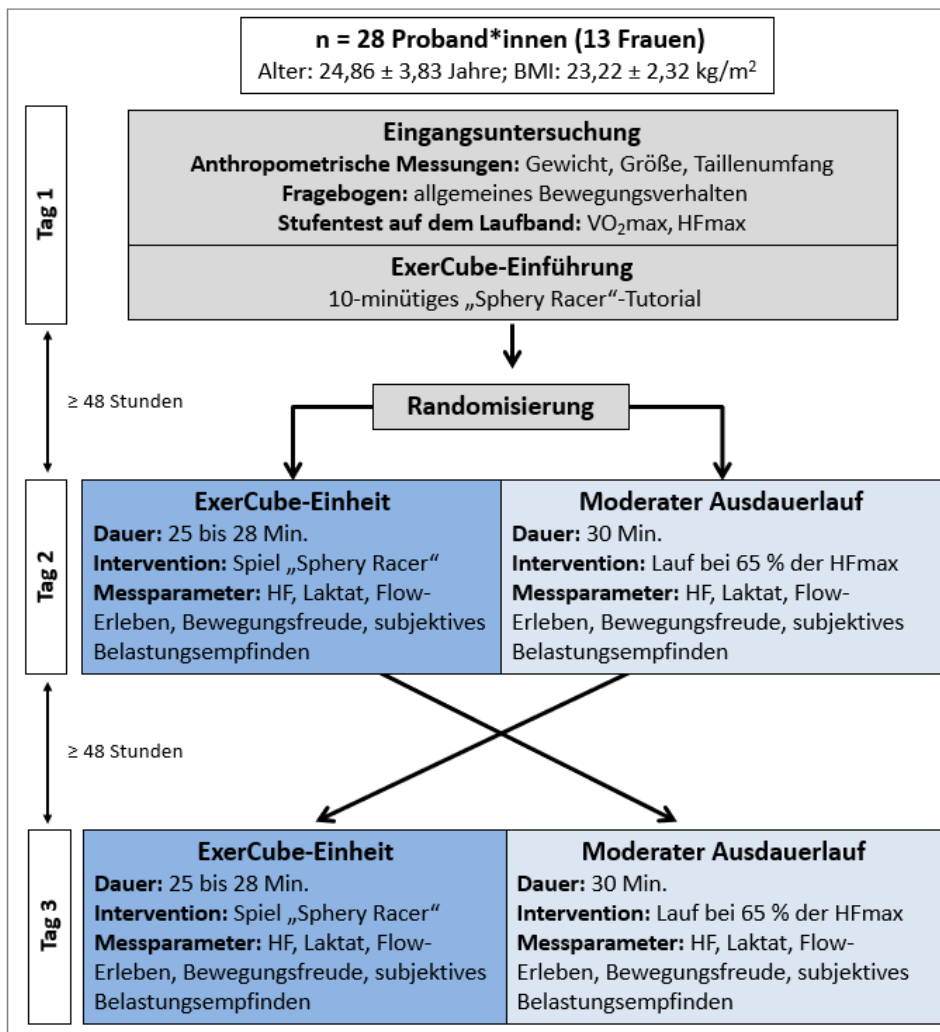
Die Studie wurde als randomisierte Cross-over-Studie durchgeführt. Die Proband*innen nahmen an insgesamt 3 Untersuchungsterminen teil. Diese fanden an 3 unterschiedlichen Tagen mit einem Mindestabstand von 48 Stunden sowie jeweils zur selben Tageszeit statt. Die Eingangsuntersuchung (Untersuchungstag 1) entsprach hierbei der Eingangsuntersuchung in Teilstudie 1a (siehe Kapitel 4.2.2). Die anschließenden Untersuchungstage 2 und 3 fanden in randomisierter Reihenfolge statt.

Während der ExerCube-Einheit (Untersuchungstag 2 oder 3) spielten die Proband*innen das Spiel „Sphery Racer“ über eine Dauer von 25 bis 28 Minuten (siehe Kapitel 3.3), während eine kontinuierliche Messung der HF erfolgte. Die HF-basierte Belastungsgrenze des ExerCube-Algorithmus wurde auf 100 % der HFmax festgelegt, um die Belastungsintensität nicht zu begrenzen. Während der 30-sekündigen passiven Pausen nach jedem „Sphery Racer“-Spiellevel (siehe Kapitel 3.3.1, Abbildung 3) wurde das individuelle subjektive Belastungsempfinden der Proband*innen abgefragt.

Während der Trainingseinheit auf dem Laufband (Untersuchungstag 1 oder 2) führten die Proband*innen einen 30-minütigen moderaten Ausdauerlauf (+ 5 Minuten Aufwärmung bei 5,5 bis 7 km/h) durch. Während des Laufs erfolgte die kontinuierliche Messung der HF der Proband*innen. Nach der Aufwärmphase wurde die Laufgeschwindigkeit entsprechend angepasst, sodass die Proband*innen mit einer HF von 65 % ihrer HFmax liefen. Analog zu der ExerCube-Einheit wurde während des Ausdauerlaufs das individuelle subjektive Belastungsempfinden der Proband*innen zu den 5 verschiedenen Zeitpunkten abgefragt.

Die Bestimmung der Bewegungsfreude und des Flow-Erlebens der Proband*innen erfolgte unmittelbar nach beiden Untersuchungseinheiten (ExerCube und Laufband). Ferner wurden vor und direkt nach der ExerCube- sowie Laufband-Einheit Laktatproben entnommen.

Abbildung 7: Das Studiendesign der Studie 1b



Abkürzungen: BMI = Body-Mass-Index; HF = Herzfrequenz; HFmax = maximale Herzfrequenz; VO₂ = Sauerstoffaufnahme.

Messwerte

Herzfrequenz und Laktat

Die Messung und entsprechende Einordnung der HF- sowie Blutlaktatwerte der Proband*innen während des Stufentests, der ExerCube-Einheit und des Ausdauerlaufs fanden analog zu Teilstudie 1a statt (siehe Kapitel 4.2.2).

Subjektives Belastungsempfinden

Das subjektive Beanspruchungsempfinden während der ExerCube-Einheit und des Ausdauerlaufs wurde mithilfe der RPE- (Rate of Perceived Exertion) bzw. Borg-Skala erfasst (Borg, 1985, 2004). Bei der Borg-Skala handelt es sich um eine numerische Skala inklusive Erklärungstexten, die von 6 bis 20 reicht

(6 = „überhaupt keine Anstrengung“ und 20 = „maximale Anstrengung“). Die Skala ist ein zuverlässiges und valides Instrument zur Einschätzung der Anstrengung beim Ausdauer- und Krafttraining (Borg, 2004). Für beide Einheiten (= jeweils 5 Messzeitpunkte) wurden jeweils RPE-Mittelwerte berechnet.

Bewegungsfreude

Die Bewegungsfreude der Proband*innen wurde unmittelbar nach der ExerCube-Einheit und dem Ausdauerlauf mithilfe einer deutschen Übersetzung des PACES evaluiert (Jekauc et al., 2013). Diese weist eine interne Konsistenz zwischen 0,92 und 0,93 auf (Jekauc et al., 2013).

Der Fragebogen enthält 16 bipolare Aussagen, mit deren Hilfe bewertet werden soll, wie sich die jeweilige körperliche Aktivität für die Proband*innen direkt zum Zeitpunkt der Ausführung anfühlte. Die Bewertung erfolgt mithilfe einer fünfstufigen Likert-Skala, wobei eine Gesamtpunktzahl von mindestens 16 bis maximal 80 Punkten erreicht werden kann. Für beide Untersuchungseinheiten wurde jeweils ein Mittelwert berechnet.

Der PACES gilt als valides Messinstrument, das sowohl häufig im Bereich des klassischen Sports als auch im Rahmen von Exergaming-Studien eingesetzt wird (Glen et al., 2017; Graves et al., 2010; Monedero et al., 2015).

Flow-Erleben

Das Flow-Erleben der Proband*innen wurde unmittelbar nach der ExerCube-Einheit und dem Ausdauerlauf mithilfe des Flow-Kurzfragebogens gemessen (Rheinberg et al., 2003). Der Fragebogen besteht insgesamt aus 13 Aussagen, mit deren Hilfe die durchgeführte körperliche Aktivität unter Verwendung einer siebenstufigen Likert-Skala bewertet werden sollen. Die ersten 10 Items des Fragebogens werden dabei auch als „allgemeiner Flow-Faktor“ (Cronbachs $\alpha = 0,90$) zusammengefasst. Die Items 11, 12 und 13 dienen darüber hinaus der Messung von Besorgnis und Ängstlichkeit (Besorgniskomponente; Cronbachs $\alpha = 0,80$ bis $0,90$).

Der Flow-Kurzfragebogen ist ein valides Messinstrument, das sowohl im Bereich des klassischen Sports als auch im Rahmen von Exergaming-Studien eingesetzt wird (Lee et al., 2018; Stoll & Lau, 2005).

Statistische Analyse

Die Analyse der Daten wurde mit der Software IBM® SPSS Statistics für Windows, Version 27,0 (IBM Corp. Veröffentlicht 2020, Armonk, NY, USA) durchgeführt. Als statistisch signifikant wurde ein Signifikanzniveau von $p \leq 0,05$ festgelegt. Die Ergebnisse wurden jeweils als Mittelwerte \pm Standardabweichung angegeben.

Die Normalverteilung der Daten wurde zunächst mithilfe des Kolmogorow-Smirnow-Tests ermittelt. Da alle Variablen normalverteilt waren, wurde eine ANCOVA durchgeführt, um die Zielparameter zwischen

der ExerCube-Einheit und dem moderaten Ausdauerlauf zu vergleichen. Das Geschlecht wurde als Kovariate berücksichtigt. Für die Effektstärke wurde Cohens f berechnet ($f > 0,1$: kleiner Effekt; $> 0,25$: mittlerer Effekt; $> 0,4$: großer Effekt; Cohen, 1988).

4.3.3 Ergebnisse

Alle Proband*innen absolvierten die Eingangsuntersuchungen sowie die ExerCube-Einheit und den Ausdauerlauf ohne Zwischenfälle.

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass die HFmean und HFpeak ($P < 0,001$) sowie die Bewegungsfreude ($p = 0,036$), das Flow-Erleben ($p = 0,042$) und das subjektive Belastungsempfinden ($p = 0,005$) während der ExerCube-Einheit signifikant höher lagen als während des moderaten Ausdauerlaufs. Für alle Parameter konnten dabei große Effektstärken ermittelt werden. Das Geschlecht hatte zudem keinen Einfluss auf die Unterschiede zwischen den beiden Untersuchungseinheiten (HFmean: $p = 0,610$; HFmax: $p = 0,122$; subjektives Belastungsempfinden: $p = 0,862$; Flow-Erleben: $p = 0,376$ und Bewegungsfreude: $p = 0,867$). Hinsichtlich der Belastungsintensität erreichten die Proband*innen während der Einheit im ExerCube eine HFmean, die $86,07 \pm 4,33$ % der individuellen HFmax entsprach. Die HFpeak während der ExerCube-Einheit entsprach im Durchschnitt $96,57 \pm 3,64$ % der HFmax. Während des Ausdauerlaufs erreichten die Proband*innen eine HFmean von $65,78 \pm 3,91$ % der HFmax. Die Laktatwerte aller Proband*innen überschritten während der ExerCube-Einheit die individuelle anaerobe Laktat-Schwelle. Die Laktatwerte während des Ausdauerlaufs hingegen blieben unterhalb der individuellen anaeroben Laktat-Schwelle.

4.3.4 Zusammenfassung

Trotz der höheren Belastungsintensität sorgt der ExerCube „Sphery Racer“ bei erwachsenen Proband*innen unabhängig vom Geschlecht für mehr Bewegungsfreude und ein höheres Flow-Erleben als ein moderater Ausdauerlauf. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass der ExerCube hinsichtlich Effektivität und Attraktivität eine vielversprechende Ergänzung zu klassischen Sportarten bieten könnte. Dies könnte insbesondere auf die immersive Spielatmosphäre sowie die adaptive Spielsoftware des ExerCube „Sphery Racers“ zurückgeführt werden. Weiterführende Untersuchungen sollten vornehmlich mit Zielgruppen durchgeführt werden, die sich für intensive klassische Bewegungsangebote schwer begeistern lassen, da der ExerCube möglicherweise genau für diese Zielgruppe ein adressatengerechtes Tool zur Bewegungsförderung darstellt.

4.3.5 **Originalpublikation:** Adaptive High-Intensity Exergaming: The More Enjoyable Alternative to Conventional Training Approaches Despite Working Harder

Der Inhalt des Kapitels 4.3.5 wurde im Jahr 2021 als Originalartikel im *Games for Health Journal* des Verlags Mary Ann Liebert publiziert. DOI: <https://doi.org/10.1089/g4h.2021.0014>. Basierend auf der Originalpublikation werden Tabellen, Abbildungen und Zitierungen in diesem Kapitel eigenständig nummeriert und bezeichnet. Es wurde zudem der jeweilige Zitier- und Formatierungsstil der Originalpublikation übernommen sowie die Abkürzungen.

© 2021. Mary Ann Liebert, Inc., publishers, 140 Huguenot Street, New Rochelle, NY 10801. Alle Rechte vorbehalten.

Publikationsverlauf:

Eingereicht: 12. Februar 2021

Angenommen: 10. August 2021

Artikel online veröffentlicht: 01. Dezember 2021

Autor*innenbeitrag:

Röglin, L. = L. R.; Ketelhut, S. = S. K.; Ketelhut, K. = K. K.; Kircher, E. = E. K.; Ketelhut, R. G. = R. K.; Martin-Niedecken, A. L. = A. L. M.-N.; Hottenrott, K. = K. H. & Stoll, O. = O. S.

Konzepterstellung: L. R., K. K. und S. K.; Methodik/Studiendesign: L. R., O. S., R. K., S. K. und K. K.; Betreuung/Supervision: O. S., K. H. und K. K.; Administration: K. K.; Software (z. B. Programmierung, Softwareentwicklung und technischer Support): A. L. M.-N.; Ressourcen: K. K., K. H. und A. L. M.-N.; Untersuchungen/Forschung: L. R. und E. K.; Datenpflege: L. R.; Formale Analyse: L. R. und O. S.; Validierung: L. R. und O. S.; Visualisierung: L. R.; Schreiben – Erstellung eines Originalentwurfs: L. R. und S. K.; Schreiben sowie Überarbeiten und Korrigieren der Publikation: L. R., O. S., K. K. und R. K.

Abstract

Objective: The purpose of this study was to assess psychological and physiological responses to an exergaming session in the ExerCube (EX) and compare them with the responses of a moderate endurance run (ER).

Materials and Methods: Twenty-eight healthy adults (13 women) aged 24.8 ± 3.8 years took part in this study. The first test day, participants performed a graded exercise test on a treadmill to determine maximal heart rate (HR) and lactate levels. The following test days 2 and 3, the participants completed an EX session and an ER on a treadmill in a randomized counterbalanced order. HR, rate of perceived

exertion (RPE), and lactate levels were assessed during both sessions. After the sessions, the participants completed the “Physical Activity Enjoyment Scale” and the “Flow Short Scale.”

Results: The analysis of variance revealed that enjoyment ($P = 0.036$), flow ($P = 0.042$), RPE ($P = 0.005$), as well as mean and peak HR ($P < 0.001$) during the EX session were significantly higher compared with the ER. Gender did not affect the differences between the two conditions for mean HR ($P = 0.61$), maximal HR ($P = 0.122$), RPE ($P = 0.862$), flow ($P = 0.376$) nor enjoyment ($P = 0.867$). During the EX session, the lactate levels of all participants exceeded the individual lactate threshold (LT). During the ER, lactate values remained below the LT.

Conclusion: The ExerCube presents both a physiological relevant exercise stimulus and a joyful gaming experience. Despite the higher exercise intensity achieved during the EX session, enjoyment was significantly higher compared with the ER. Therefore, the EX can be a promising and appealing tool to facilitate physical activity.

Introduction

Physical inactivity is a rising health challenge estimated to be responsible for a substantial worldwide economic burden of \$53.8 billion.¹ Despite the well-known positive effects of regular physical activity (PA) on health and well-being,² PA levels are widely regarded as insufficient to meet the recommendations.^{3,4} Although numerous population-based approaches have been designed to promote PA, most of them do not translate into long-term behavioral change.⁵ Individuals, who participate in an exercise program, often fall back into their old inactive habits after the program has ended⁶ or drop out of the attempted exercise routine early.⁷⁻⁹ Irrespective of the available time budget, lack of motivation and enjoyment often hinder sustained PA participation.¹⁰

Research shows that enjoyment is both a motivator to engage in PA and an outcome of PA participation.^{11,12} Further, enjoyment is reported as a key factor influencing the time that an individual allocates to an activity.^{12,13} Studies also show a correlation between acute affective responses to physical exercise and future exercise participation.^{14,15} Therefore, PA interventions that support a positive affective response are warranted to improve long-term adherence.

An innovative and playful training approach that combines physical exercise with entertaining electronic gameplay-mechanics are exergames.¹⁶ Unlike conventional video games, which are usually played sedentary with a mouse, keyboard, or gamepad, exergames are controlled by body movements incorporated into the gameplay by motion sensor technology.^{17,18}

With more than 3 billion people worldwide now playing video games,¹⁹ video game-based exercise can be a promising and attractive tool for promoting PA in various populations.²⁰

Previous studies have reported that exergames have the potential to increase PA levels^{21–23} and adherence.^{22,24,25}

In addition, it has been shown that exergaming can be more enjoyable than traditional training approaches^{26–28} or even sedentary video games.^{29,30}

With regard to physiological parameters, research shows that exergaming can lead to an increase in energy expenditure,^{29,31} heart rate (HR),³² and oxygen consumption^{33,34} compared with sedentary video games. However, the psychological and physiological effects vary considerably between different exergames.^{35,36}

According to literature, most exergames do not meet exercise intensities that are necessary to trigger relevant physiological adaptations.^{36–39} This might be attributed to the fact that most exergames lack properly designed training concepts due to missing interdisciplinary collaborations between game designers and sports scientists.^{16,40}

It is, therefore, questionable whether exergames can induce relevant long-term health benefits.

The ExerCube, an adaptive mixed-reality fitness game setting has been developed to provide both an attractive and effective exergame experience.⁴⁰ From both a physiological and gaming perspective, an earlier version of the ExerCube, which was still under development, has shown great promise when compared to traditional functional high-intensity interval training (HIIT).⁴¹ While physical exertion in the ExerCube condition was slightly lower than in the conventional functional HIIT condition, it already yielded significantly better results for flow, motivation and enjoyment.

To validate these findings and to assess whether the optimized final version of the ExerCube is an effective but pleasant training stimulus, the present study compared the enjoyment, HR, and rate of perceived exertion (RPE) of a full-body functional training in the ExerCube to a typical health-related aerobic exercise on a treadmill.

Since flow is a strong contributing factor for enjoyment in gaming,^{42,43} the study further compares the flow experience between the two exercise conditions.

Materials and Methods

Research setting and participants

Twenty-eight healthy recreational active adults (13 women) aged 24.8 – 3.9 years (body mass index [BMI]: 23.2 – 2.3 kg/m²) were recruited via an announcement at the Martin-Luther-University Halle-Wittenberg (MLU) to participate in the study.

Only subjects were recruited who had not reported any injuries before commencing the study and were free of medical conditions that contraindicated exercise. All measurements took place at the physical performance laboratory of the MLU.

The study was conducted in accordance with the Helsinki Declaration and approved by the Research Ethics Board of the medical faculty of the MLU (2019-177).

The ExerCube setting

The ExerCube by Sphery Ltd. (Fig. 1) consists of three videowalls, arranged like an open trapeze. The virtual game space is projected onto the walls, which serve as a haptic interface allowing the player to trigger in-game actions by touching and/or punching into the walls.⁴⁴

In this study, the participants played the game “Sphery Racer,” a single player exergame experience controlled by functional whole-body movements. The player navigates an avatar on a hoverboard along a virtual racing track by executing different movement tasks (Table 1).

The game challenges the player to perform the full-body movements as accurately as possible during a predetermined timeframe. Thus, the game is coordinatively, conditionally, and cognitively challenging.¹⁶ The player’s body position and movements are tracked via the HTC Vive tracking system, attached to both wrists and ankles. Further, the game’s difficulty and complexity are continuously adapted to the player’s physical and mental performance.

A more detailed description can be found in Martin-Niedecken et al.⁴⁰ and Martin-Niedecken and Mekler.⁴⁴

Procedures

The participants were invited to the laboratory on three consecutive occasions (test day 1: initial examination, test day 2, and 3: exercise interventions). Before participating, the subjects were informed about the aims and risks of the study and signed written informed consent. Further, participants were instructed to arrive in a fasting state and abstain from caffeinated or alcoholic beverages for at least four hours before each visit. They were further informed to refrain from intensive PA for at least 12 hours before each test day.

After the initial examination, the exercise interventions (sessions 2 and 3) were randomized. To rule out possible circadian influences, all visits took place at the same time of day. The same trained study staff member performed all measurements in the same temperature-controlled laboratory (23.5°C – 0.5°C) by using the same devices.

Initial examination

During the initial examination, anthropometric parameters (weight, height, body mass, and waist circumference) were determined by using standardized procedures. Further, participants were asked about their habitual PA, their experience with exergames, and their medical history by using questionnaires. Subsequently, participants completed a graded exercise test on a treadmill

(h/p/cosmos, Pulsar 4.0, Germany) till voluntary exertion to determine maximal HR (HR_{max}). The initial speed of the treadmill was set between 7.5 and 10.5 km/h according to the individual training status. Each step lasted 3 minutes, interspersed with a 1-minute passive rest to draw lactate samples. After each step, the speed was increased by 1.5 km/h until volitional exhaustion.

Finally, the participants completed a 10-minute ExerCube-tutorial to familiarize themselves with the game.

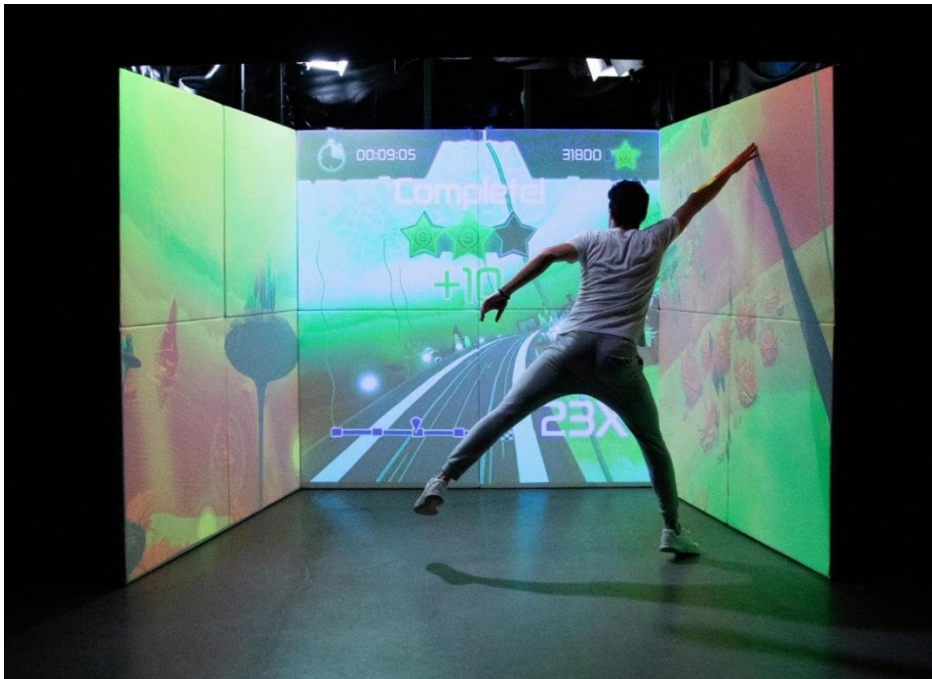


FIG. 1. The ExerCube (measuring ~9m²).

ExerCube session (EX)

The EX was conducted > 24 hours after the previous test day. During the EX, the participants played the “Sphery Racer” for about 28 minutes. During the game, HR was monitored continuously. In addition, the RPE value was queried after each game level. Immediately after finishing the game, the participants were asked to complete the “Physical Activity Enjoyment Scale” (PACES) and the “Flow Short Scale” (FSS). Lactate samples were drawn before and directly after the game.

Table 1. Movement Levels of the “Sphery Racer”

<i>Level</i>	<i>Movement description</i>	<i>Duration</i>
<i>Warm-up phase</i>		
Level 1	Lateral shuffle-step with extension or flexion of the body to the upper, middle, and lower sections of the side walls with a touch of the wall <i>+ passive rest period (≈30 seconds)</i>	2.5 min
Level 2	Level 1 + lateral rotation to the middle of the right and left wall with a punch into the wall + basic jump and squat <i>+ passive rest period (≈30 seconds)</i>	2.5 min
<i>High-intensity training</i>		
Level 3	Level 2 + deep lunge with knee bend to the front left and front right <i>+ passive rest period (≈30 seconds)</i>	5 min
Level 4	Level 3 + skippings <i>+ passive rest period (≈30 seconds)</i>	5 min
Level 5	Level 4 + burpee	10 min

Modified after Martin-Niedecken et al.⁴⁰

Moderate endurance exercise session

The moderate endurance exercise session took place >24 hours after the previous test day. During this session, a 30-minute endurance run (ER) (+ 5 minutes warm-up) was carried out on a treadmill (h/p/cosmos, Pulsar 4.0, Germany). After the warm-up, the speed was adjusted so that each participant exercised at their aerobic threshold. Throughout the exercise, the HR was continuously recorded, and speed was adjusted to attain an HR of & 65% of HRmax, thus representing a typical moderate-intensity exercise. During the ER, the RPE value was assessed at five different time intervals. Immediately after the exercise session, the participants were asked to complete the PACES and the FSS. Again, lactate samples were drawn before and directly after the ER.

Measures

PA enjoyment. A modified version of the PACES^{45,46} was applied to assess enjoyment. The modified questionnaire⁴⁷ contains 16 of the original 18 bipolar statements and is widely used in PA environments and exergaming. It has been evaluated as a reliable and valid measuring instrument (internal consistency between 0.92 and 0.93).⁴⁷

After receiving standardized instructions, the participants were asked to rate “how you feel at the moment about the PA you have been doing” by using a 5-point bipolar rating scale. The total score of the scale ranges from 16 to 80. A mean score was calculated for each session.

Flow. Flow was measured by using the FSS⁴⁸ as a valid instrument that has previously been used in sport science and recent exergaming studies. The scale consists of 13 items. The first 10 items capture all components of the flow experience and are summarized as “flow general factor” (Cronbachs $\alpha = 0.90$).⁴⁸ Each item is answered by using a 7-point Likert scale. A mean score of the flow general factor was calculated for each exercise session.

HR and blood lactate. HR was continuously recorded during the graded exercise test and throughout both exercise sessions by using an HR monitor and a chest strap (Polar Electro Oy, Kempele, Finland). Individual HRmax measured during the graded exercise test was used to calculate the percentage of HRmax reached during the training sessions. Mean HR (HRmean) was calculated for the EX and the ER. Blood lactate concentration was assessed with the enzymatic-amperometric method (Dr. Mueller, Super GL ambulance, Germany). Collected data were processed by utilizing the software WinLactat 3.1 (Mesics, Germany), and individual lactate thresholds (LT) were derived from the lactate-velocity curve by using the Dickhuth model.⁴⁹

Rate of perceived exertion. Borg’s RPE-Scale^{50,51} was applied to determine participants’ RPE during the exercise sessions. The numerical scale ranges from 6 to 20 and is supported by verbal descriptors (6 = “no exertion at all” and 20 = “maximum exertion”). The scale is a reliable and valid instrument for estimating exertion in endurance and strength training.⁵¹

Before the training sessions, participants received standardized instructions on the scale.⁵¹ During both sessions, participants were asked to state their RPE at five timepoints. A mean RPE was calculated for each session.

Data analysis

The IBM SPSS Statistics 27.0 (SPSS, Chicago, IL) was used to analyze the collected data. All results are presented as means \pm standard deviation and percent of maximal values.

Normal distribution was assessed by using the Kolmogorov-Smirnow test. As all variables were normally distributed, an analysis of variance was performed to compare the outcome measures during the EX and the ER. Gender was included as the covariate. For the effect size, Cohen’s f was calculated ($f > 0.1$: small effect; > 0.25 : medium effect; > 0.4 : large effect).⁵² The significance level adopted was $P < 0.05$.

Table 2. Subject's characteristics

<i>Item</i>	<i>Total (n = 28)</i>	<i>Female (n = 13)</i>	<i>Male (n = 15)</i>
Age (years)	24.8 ± 3.8	23.85 ± 3.44	25.67 ± 3.87
Height (cm)	170.9 ± 9.6	165.2 ± 8.1	177.73 ± 6.16
Body mass (kg)	68.9 ± 10.7	61.1 ± 7.3	75.69 ± 7.84
BMI (kg·m ⁻²)	23.2 ± 2.3	22.34 ± 1.78	23.97 ± 2.39
Waist-to-height ratio	0.43 ± 0.10	0.39 ± 0.12	0.46 ± 0.03
HFmax	194.14 ± 7.69	194.00 ± 6.90	194.27 ± 8.6

Data are mean ± SD values.

BMI, body mass index; HFmax, maximal heart rate; SD, standard deviation.

Results

All participants completed all three examination sessions. No adverse events occurred. The descriptive and anthropometric measures of the participants are displayed in Table 2. According to the BMI, four participants could be defined as overweight. For waist-to-height ratio, only two participants reported values within the overweight range.

The psychological and physiological responses are shown in Table 3. During the EX, participants achieved an HRmean of 86.07 – 4.33% of their individual HRmax. During the ER, HRmean was significantly lower ($P < 0.001$), reaching 65.78 – 3.91% of HRmax, respectively. Peak HR during the EX corresponded to 96.57 – 3.64% of HRmax and was significantly ($P < 0.001$) higher than during the ER (78.15 – 4.3%). The RPE values ($P = 0.005$), the perceived enjoyment ($P = 0.036$), and the flow total score ($P = 0.042$) were significantly higher during the EX compared with the ER. Large effect sizes could be identified for all outcomes (Table 3).

Gender showed no effect on differences between both conditions for HRmean ($P = 0.61$), HRmax ($P = 0.122$), RPE ($P = 0.862$), Flow ($P = 0.376$), nor PACES ($P = 0.867$).

During the EX, the lactate levels of all participants exceeded the LT. During the ER, lactate values remained below the LT.

Table 3. Physiological and psychological responses to the exercise session in the ExerCube and the endurance run

<i>Item</i>	<i>EX</i>	<i>ER</i>	<i>Cohen's f</i>
Enjoyment	70.50 ± 6.42*	53.43 ± 1.18	0.43
FLOW	5.71 ± 0.71*	4.92 ± 0.77	0.42
RPE	13.95 ± 1.35**	10.76 ± 1.81	0.60
HRmean	167.11 ± 10.94***	127.18 ± 8.11	1.15

Data are mean ± SD values.

*P < 0.05; **P < 0.01; ***P < 0.001.

EX = ExerCube session; ER = endurance run; RPE = rate of perceived exertion; HRmean = mean heart rate.

Discussion

This study aimed at evaluating the psychological and physiological responses to an exergaming session in the ExerCube and at comparing them with the responses of a typical moderate endurance exercise. Based on the present results, it can be summarized that the ExerCube facilitates both a physiologically relevant exercise stimulus and a joyful gaming experience.

The exercise intensity achieved in the ExerCube in this study was significantly higher than the exercise intensity reached during a regular moderate endurance exercise. Corresponding to HRmean, the exercise intensity in the ExerCube exceeds the intensity recommendations of the American College of Sports Medicine (ACSM) for developing and maintaining cardiorespiratory fitness and health.⁵³

The findings further demonstrate considerably higher exercise intensities compared with other game systems. Most commercially available exergames have been shown to trigger only light-to-moderate exercise intensity.^{29,54} Only very few exergames could achieve similar intensities.^{28,55}

Although even moderate-intensity exercise can induce physiological adaptations,⁵⁶ it is generally believed that higher intensities lead to greater adaptations and greater health benefits.⁵⁷

The high exercise intensity reached in the present study may result from the holistic game design of the ExerCube. In contrast to most exergames, which are mainly based on movements of individual body parts, the ExerCube provides whole-body functional training that engages muscle groups of the lower and upper body. Studies have shown that exergames that recruit higher amounts of muscle mass promote higher metabolic costs.³²

Further, the higher exercise intensity achieved during the EX compared with other exergame systems might be attributed to the fact that the ExerCube monitors the HR throughout the game. Whenever the HR falls below a predetermined HR, the speed of the game increases. Hence, the game can guarantee a constantly high stimulus throughout the exercise session.

In addition, the ExerCube uses a motion-capturing system that tracks both arms and legs. Thus, body movements are more accurately captured compared with most handheld motion capturing systems. Therefore, cheating is not possible.

According to the ACSM,⁵⁸ exercise intensity is the most important exercise variable to guarantee a cardiovascular training response. However, it is also known that a higher exercise intensity leads to a decrease in pleasure⁵⁹ and thus can reduce exercise adherence.⁶⁰ Affective responses to exercise have been shown to decline rapidly, as exercise intensity increases beyond the LT.⁶¹

Therefore, it is questionable whether the high exercise intensity in the ExerCube, which exceeds the LT, will be perceived as joyful.

The findings of the present study demonstrate that despite the much higher exercise intensity and greater RPE values, the perceived enjoyment was significantly higher during the EX than during the ER. The *f* values reveal a high magnitude of the differences between the conditions. This is of great relevance, as enjoyment is an important part of gameplay⁶² and a commonly stated reason why people are physically active.⁶³⁻⁶⁶ Thereafter, the results support the use of the ExerCube as an attractive tool for promoting PA.

Previous research has shown that exergaming leads to more positive affective responses^{25,67} and greater enjoyment than a conventional exercise of similar intensity.²⁷⁻³⁰ According to the present results, this is true even if the exercise intensity while exergaming is significantly higher compared with the traditional exercise. This is also reported in a study conducted by Glen et al.⁶⁸ and Moholdt et al.²⁸

The higher perceived enjoyment during the EX could be explained by the immersive and distracting experience provided by the audio-visual game-scenario. Warburton et al.⁶⁹ suggest that interactive video gaming creates an immersive atmosphere that distracts the participant from the physiological cues and enhances enjoyment.

In addition, the greater levels of enjoyment during the EX may be related to the fact that the experience of flow was significantly higher during the EX compared with the ER. Flow is considered a strong contributing factor for enjoyment in gaming.^{42,43,70}

According to the flow theory, the experience of flow is described as a state, in which people are fully absorbed in their task and forgetting space and time. In this state, maximum intrinsic motivation can be expected.^{71,72} The flow state is linked to an optimal match between a person's ability and the challenge.⁷² This is in line with "GameFlow" research in the context of video gaming⁴³ and exergaming.⁷³ Thus, an optimal and enjoyable exergame experience should be adjustable to the player's skills as this increases the flow experience. Therefore, the present results indicate that the ExerCube provides an optimal balance between the game-related challenge and the skills of the player, as well as between the intensity of the required movement input and the player's fitness level.

As gender showed no effect on the different outcomes, it can be assumed that the ExerCube adapts very well to the players' preconditions. This contrasts with previous research by Mackintosh et al.,⁷⁴ who reported differences in exercise intensity and psychological responses between male and female players while playing a Wii™ boxing-exergame.

Recent research shows that PA enjoyment is linked to higher levels of participation in PA.¹² Consequently, any exercise manipulation that supports enjoyment has the potential to influence future exercise behavior.¹¹ Therefore, the ExerCube could be a promising tool to promote long-term PA and thus induce health benefits.

Nevertheless, further studies are needed to investigate the long-term effects of regular ExerCube-training on enjoyment and adherence. Further, it should be evaluated whether regular ExerCube-training has effects on PA behavior and enjoyment in general.

Limitations

This study has some limitations that should be mentioned.

First, none of the participants had any experience with the ExerCube before this study. However, many of the subjects went jogging regularly. The results of the PACES and the FSS could, therefore, have been influenced by a novelty effect. Recent research found greater levels of enjoyment in inexperienced compared with experienced players.⁷⁵

Further, the target group of this study consisted of healthy active adults. It cannot be assumed that the results hold true for other target groups.

A third limitation was the comparison of the ExerCube-training with the treadmill jogging under laboratory conditions. The enjoyment and flow experience of treadmill running may differ from real-life conditions. In addition, it would be interesting to compare the ExerCube with different types of PA. However, treadmill jogging allowed an accurate HR monitoring and thus an accurate adjustment of the running speed.

Conclusion

The ExerCube is an innovative exergame that is more intensive but, at the same time, more enjoyable than conventional endurance training. Thus, exercising in the ExerCube can be a more affective and more attractive alternative to conventional health-related training programs. The ExerCube may provide an appealing tool for promoting PA in various settings, such as schools, universities, rehabilitation centers, or offices, where it addresses target groups that general PA interventions cannot reach.

Future research is needed to investigate the long-term effects of regular training in the ExerCube regarding physiological adaptations, enjoyment, adherence, flow experience, and PA behavior.

References

1. Ding D, Lawson KD, Kolbe-Alexander TL, et al. The economic burden of physical inactivity: A global analysis of major non-communicable diseases. *Lancet* 2016; 388:1311–1324.
2. Lee I, Shiroma EJ, Lobelo F, et al. Effect of physical inactivity on major non-communicable diseases worldwide: An analysis of burden of disease and life expectancy. *Lancet* 2012; 380:219–229.
3. Guthold, R, Stevens GA, Riley LM, Bull FC. Worldwide trends in insufficient physical activity from 2001 to 2016: A pooled analysis of 358 population-based surveys with 1.9 million participants. *Lancet Glob Health* 2018; 6:e1077–e1086.
4. Guthold, R, Stevens GA, Riley LM, Bull FC. Global trends in insufficient physical activity among adolescents: A pooled analysis of 298 population-based surveys with 1.6 million participants. *Lancet Child Adolesc Health* 2020; 4:23–35.
5. Rothman AJ. Toward a theory-based analysis of behavioral maintenance. *Health Psychol* 2000; 19:64–69.
6. Rhodes RE, Martin AD, Taunton JE, et al. Factors associated with exercise adherence among older adults. An individual perspective. *Sports Med* 1999; 28:397–411.
7. Dishman RK. Exercise adherence research: Future directions. *Am J Health Promot* 1988; 3:52–56.
8. Dishman RK, Buckworth J. Increasing physical activity: A quantitative synthesis. *Med Sci Sports and Exerc* 1996; 28:706–719.
9. Annesi JJ. Effects of music, television, and a combination entertainment system on distraction, exercise adherence, and physical output in adults. *Can J Behav Sci* 2001; 33:193–202.
10. Dishman RK, Sallis JF, Orenstein DR. The determinants of physical activity and exercise. *Public Health Rep* 1985; 100:158–171.
11. Lewis BA, Williams DM, Frayeh A, Marcus BH. Self-efficacy versus perceived enjoyment as predictors of physical activity behaviour. *Psychol Health* 2016; 31:456–469.
12. Dishman RK, Motl RW, Saunders R, et al. Enjoyment mediates effects of a school-based physical-activity intervention. *Med Sci Sports Exerc* 2005; 37:478–487.
13. Kolt GS, Driver RP, Giles LC. Why older Australians participate in exercise and sport. *J Aging Phys Act* 2004; 12:185–198.
14. Williams DM, Dunsinger S, Ciccolo JT, et al. Acute affective response to a moderate intensity exercise stimulus predicts physical activity participation 6 and 12 months later. *Psychol Sport Exerc* 2008; 9:231–245.
15. Williams DM, Dunsinger S, Jennings EG, Marcus BH. Does affective valence during and immediately following a 10-min walk predict concurrent and future physical activity? *Ann Behav Med* 2012; 44:43–51.
16. Martin-Niedecken AL, Schättin A. Let the Body'n'Brain Games Begin: Toward innovative training approaches in eSports athletes. *Front Psychol* 2020; 11:138.
17. Staiano AE, Calvert SL. Wii tennis play for low-income African American adolescents' energy expenditure. *Cyberpsychology (Brno)* 2011; 5:4.
18. Oh Y, Yang S. Defining exergames and exergaming. In: *Proceedings of the Meaningful Play 2010*. East Lansing, MI: Michigan State University; 2010:1–17.
19. DFC Intelligence. Global Video Game Consumer Segmentation report. 2020. <https://www.dfciint.com/product/video-game-consumer-segmentation-2/> (accessed January 2021).
20. Kari T. Can exergaming promote physical fitness and physical activity: A systematic review of systematic reviews. *Int J Gaming Comput Mediat Simul* 2017; 6:59–77.
21. Yu TC, Chiang CH, Wu PT, et al. Effects of exergames on physical fitness in middle-aged and older adults in Taiwan. *Int J Environ Res Public Health* 2020; 17:2565.
22. Staiano AE, Beyl RA, Guan W, et al. Home-based exergaming among children with overweight and obesity: A randomized clinical trial. *Pediatr Obes* 2018; 13:724–733.
23. Bock, BC, Dunsiger S, Ciccolo JT, et al. Exercise videogames improve physical activity participation and indices of health risk in the Wii heart fitness trial: A randomized clinical trial. *Am J Prev Med* 2019; 56:501–511.
24. Oesch P, Kool J, Fernandez-Luque L, et al. Exergames versus self-regulated exercises with instruction leaflets to improve adherence during geriatric rehabilitation: A randomized controlled trial. *BMC Geriatr* 2017; 17:77.
25. Bock BC, Palitsky R, Dunsigera SI, et al. Exercise video games are associated with more positive affective response, which predicts physical activity adherence. *Psychol Sport Exerc* 2021; 52:101802.
26. Chan G, Arya A, Orji R, Zhao Z. Motivational strategies and approaches for single and multi-player exergames: A social perspective. *PeerJ Comput Sci* 2019; 5:e230.
27. Lee S, Kim W, Park T, Peng W. The psychological effects of playing exergames: A systematic review. *Cyberpsychol Behav Soc Netw* 2017; 20:513–532.

28. Moholdt T, Weie S, Chorianopoulos K, et al. Exergaming can be an innovative way of enjoyable high-intensity interval training. *BMJ Open Sport Exerc Med* 2017; 3:e000258.
29. Graves LEF, Ridgers ND, Williams K, et al. The physiological cost and enjoyment of Wii Fit in adolescents, young adults, and older adults. *J Phys Act Health* 2010; 7:393–401.
30. Penko AL, Barkley JE. Motivation and physiologic responses of playing a physically interactive video game relative to a sedentary alternative in children. *Ann Behav Med* 2010; 39:162–169.
31. Mellecker RR, McManus AM. Energy expenditure and cardiovascular responses to seated and active gaming in children. *Arch Pediatr Adolesc Med* 2008; 162:886–891.
32. Graves L, Stratton G, Ridgers ND, Cable NT. Energy expenditure in adolescents playing new generation computer games. *Br J Sports Med* 2008; 42:592–594.
33. Barkley JE, Penko A. Physiologic responses, perceived exertion, and hedonics of playing a physical interactive video game relative to a sedentary alternative and treadmill walking in adults. *J Exerc Physiol* 2009; 12:12–22.
34. Siegmund LA, Naylor JB, Santo AS, Barkley JE. The effect of a peer on VO₂ and game choice in 6–10 year old children. *Front Physiol* 2014; 5:202.
35. Lyons EJ, Tate DF, Ward DS, et al. Energy expenditure and enjoyment during video game play: Differences by game type. *Med Sci Sports Exerc* 2011; 43:1987–1993.
36. Marshall J, Linehan C. Are Exer-games exercise? A scoping review of the short term effects of exertion games. *IEEE Trans Games* 2020; 13:160–169.
37. Biddiss E, Irwin J. Active video games to promote physical activity in children and youth: A systematic review. *Arch Pediatr Adolesc Med* 2010; 164:664–672.
38. Nani S, Matsouka O, Antoniou P. Can ten weeks intervention with exergames contribute to better subjective vitality and physical health? *Sport Sci Health* 2019; 15:43–47.
39. Maddison R, Foley L, Ni Mhurchu C, et al. Effects of active video games on body composition: A randomized controlled trial. *Am J Clin Nutr* 2011; 94:156–163.
40. Martin-Niedecken AL, Rogers K, Turmo Vidal L, et al. Exercube vs. personal trainer: evaluating a holistic, immersive, and adaptive fitness game setup. In: *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. Glasgow, UK; 2019:1–15.
41. Martin-Niedecken AL, Mahrer A, Rogers K, de Bruin ED, Schättin A. “HIIT” the ExerCube: Comparing the effectiveness of functional high-intensity interval training in conventional vs. exergame-based training. *Front Comput Sci* 2020; 2:33.
42. Klimmt C. Dimensions and determinants of the enjoyment of playing digital games: A three-level model. In: Copier M, Raessens J, eds. *Level Up: Digitalgames Research Conference*. Utrecht University, NE; 2003:246–257.
43. Sweetser P, Wyeth P. GameFlow: A model for evaluating player enjoyment in games. *Comput Entertain* 2005; 3:3.
44. Martin-Niedecken AL, Mekler ED. The ExerCube: Participatory design of an immersive fitness game environment. In: *Joint International Conference on Serious Games*. Darmstadt, DE; 2018:263–275.
45. Kendzierski D, DeCarlo KJ. Physical activity enjoyment scale: Two validation studies. *J Sports Exerc Psychol* 1991; 13:50–64.
46. Motl RW, Dishman RK, Saunders R, et al. Measuring enjoyment of physical activity in adolescent girls. *Am J Prev Med* 2001; 21:110–117.
47. Jekauc D, Voelkle M, Wagner MO, et al. Reliability, validity, and measurement invariance of the German version of the physical activity enjoyment scale. *J Pediatr Psychol* 2012; 38:104–115.
48. Rheinberg F, Vollmeyer R, Engeser S. Die Erfassung des Flow-Erlebens [The Assessment of Flow Experience]. In: Steinsmeier-Pelster J, Rheinberg F, eds. *Diagnostik von Motivation und Selbstkonzept [Diagnosis of Motivation and Self-Concept]*. Göttingen, DE: Hogrefe; 2003:261–279.
49. Dickhut HH, Huonker M, Münzel T, et al. Individual anaerobic threshold for evaluation of competitive athletics and patients with left ventricular dysfunctions. In: Bachl N, Graham TE, Löllgen H, eds. *Advances in Ergometry*. Berlin, Heidelberg, DE: Springer; 1991:173–179.
50. Borg G. *An Introduction to Borg’s RPE-Scale*. Ithaca, NY: Movement Publications; 1985.
51. Borg G. Anstrengungsempfinden und körperliche Aktivität [Effort perception and physical activity]. *Dtsch Arztebl* 2004; 101:1016–1021.
52. Cohen J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates; 1988.
53. Garber CE, Blissmer B, Deschenes MR, et al. American College of Sports Medicine. American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining

- cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: Guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc* 2011; 43:1334–1359.
54. Willems MET, Bond TS. Comparison of physiological and metabolic responses to playing nintendo wii sports and brisk treadmill walking. *J Hum Kinet* 2009; 22:43–49.
 55. Monedero J, Lyons EJ, O’Gorman DJ. Interactive video game cycling leads to higher energy expenditure and is more enjoyable than conventional exercise in adults. *PLoS One* 2015; 10:e0118470.
 56. Matthews CE, Moore SC, Sampson J, et al. Mortality benefits for replacing sitting time with different physical activities. *Med Sci Sports Exerc* 2015; 47:1833–1840.
 57. Schnohr P, Marott JL, Jensen JS, Jensen GB. Intensity versus duration of cycling, impact on all-cause and coronary heart disease mortality: The Copenhagen City Heart Study. *Eur J Prev Cardiol* 2012; 19:73–80.
 58. American College of Sports Medicine. *ACSM’s Guidelines for Exercise Testing and Prescription* (7th ed.). Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins; 2006.
 59. Ekkekakis P, Petruzzello SJ. Acute aerobic exercise and affect: Current status, problems and prospects regarding dose-response. *Sports Med* 1999; 28:337–374.
 60. Perri MG, Anton SD, Durning PE, et al. Adherence to exercise prescriptions: Effects of prescribing moderate versus higher levels of intensity and frequency. *Health Psychol* 2002; 21:452–458.
 61. Ekkekakis P, Parfitt G, Petruzzello SJ. The pleasure and displeasure people feel when they exercise at different intensities: Decennial update and progress towards a tripartite rationale for exercise intensity prescription. *Sports Med* 2011; 41:641–671.
 62. Tamborini R, Bowman ND, Eden A, et al. Defining media enjoyment as the satisfaction of intrinsic needs. *J Commun* 2010; 60:758–777.
 63. Williams DM, Papandonatos GD, Napolitano MA, et al. Perceived enjoyment moderates the efficacy of an individually tailored physical activity intervention. *J Sport Exerc Psychol* 2006; 28:300–309.
 64. Csikszentmihalyi M. *Das Flow-Erlebnis*. Stuttgart, DE: Klett-Cotta; 2000.
 65. Csikszentmihalyi M, Jackson SA. *Flow im Sport. Der Schlüssel zur optimalen Erfahrung und Leistung* [Flow in sports: The keys to optimal experiences and performances]. München, DE: BLV; 2000.
 66. Dunton GF, Vaughan E. Anticipated affective consequences of physical activity adoption and maintenance. *Health Psychol* 2008; 27:703–710.
 67. Legrand FD, Joly PM, Bertucci WM, et al. Interactive-virtual reality (IVR) exercise: An examination of in-task and pre-to-post exercise affective changes. *J Appl Sport Psychol* 2011; 23:65–75.
 68. Glen K, Eston R, Loetscher T, Parfitt G. Exergaming: Feels good despite working harder. *PLoS One* 2017; 12:e0186526.
 69. Warburton DE, Bredin SS, Horita LT, et al. The health benefits of interactive video game exercise. *Appl Physiol Nutr Metab* 2007; 32:655–663.
 70. Mellecker R, Lyons EJ, Baranowski T. Disentangling fun and enjoyment in exergames using an expanded design, play, experience framework: A narrative review. *Games Health J* 2013; 2:142–149.
 71. Csikszentmihalyi M. *Beyond Boredom an Anxiety*. San Francisco, CA: Jossey-Bass; 1975.
 72. Nakamura J, Csikszentmihalyi M. The concept of flow. In: Snyder CR, Lopez SJ, eds. *Handbook of Positive Psychology*. Oxford, UK: Oxford University Press; 2002:89–105.
 73. Sinclair, J., Hingston, P., Masek, M.: Considerations for the design of exergames. In: *Proceedings of the 5th International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques in Australia and Southeast Asia*. New York, NY: Association for Computing Machinery; 2007:289–295.
 74. Mackintosh KA, Standage M, Staiano AE, et al. Investigating the physiological and psychosocial responses of single- and dual-player exergaming in young adults. *Games Health J* 2016; 5:375–381.
 75. Soltani P, Figueiredo P, Vilas-Boas JP. Does exergaming drive future physical activity and sport intentions? *J Health Psychol* 2020; Epub ahead of print. PMID: 32114831.

5. Untersuchung psychologischer Parameter bei einer 12-wöchigen ExerCube-Intervention im Setting Grundschule

5.1 Zielsetzung und methodische Überlegungen zum Forschungsvorhaben

Aufbauend auf den Untersuchungen der ersten Studien (1a und b) sollte das zweite Forschungsprojekt zum ExerCube mit Proband*innen umgesetzt werden, die besonders stark vom Bewegungsmangel und dessen gesundheitlichen Folgen betroffen sind, Grundschulkindern. Wie in Kapitel 2.1 adressiert, hat sich das Bewegungsverhalten von Grundschulkindern in den letzten Jahrzehnten und insbesondere während der Covid-19-Pandemie drastisch reduziert (Helbach & Stahlmann, 2021; Musa et al., 2022; Trott et al., 2022). Laut einer Forsa-Umfrage mit beteiligten Forscher*innen der deutschen Adipositas Gesellschaft und des Else Kröner-Fresenius-Zentrums für Ernährungsmedizin mit 1.004 Eltern im Frühjahr 2022 hat die mangelnde Bewegung während der Covid-19-Pandemie u. a. dazu geführt, dass jedes 6. Kind zunahm (Deutsche Adipositas Gesellschaft & Else Kröner-Fresenius-Zentrum, 2022). Besonders stark ist der Zuwachs bei den 10- bis 12-Jährigen und bei Kindern aus einkommensschwachen Familien.

Da sich aus verschiedenen entwicklungspsychologischen Gründen eine deutliche Abnahme der körperlichen Aktivität bei Kindern rund um das 8. bis 10. Lebensjahr konstatieren lässt, kommt Ansätzen zur Bewegungsförderung und deren Evaluation in dieser Entwicklungsstufe besondere Bedeutung zu (De Bock et al., 2012; siehe auch Kapitel 5.1.2). Das Ziel des Forschungsvorhabens bestand dementsprechend darin, eine dreimonatige ExerCube-Intervention in das Setting Grundschule zu implementieren und die Wirksamkeit der Intervention erstmals bei Schüler*innen zu evaluieren. Hierbei sollte zum einen untersucht werden, ob die Intervention den Fünft- und Sechstklässler*innen über einen längeren Zeitraum hinweg Bewegungsfreude bereitet (Teilstudie 2a). Andererseits sollten die Auswirkungen der ExerCube-Intervention auf das PSK der Grundschulkinde evaluiert werden (Teilstudie 2b). Da bisherige Studien darauf hindeuten, dass demografische und anthropometrische Faktoren Einfluss auf die psychologischen Reaktionen während des Exergamings haben können (Joronen et al., 2017; Lee et al., 2017; O’Loughlin et al., 2020), wurde in beiden Teilstudien für die Kovariaten Geschlecht, BMI, WHtR, wöchentliches Aktivitätsniveau, allgemeines Interesse am Sport und VO₂max kontrolliert.

Die Attraktivität und Wirksamkeit des ExerCube „Sphery Racers“ wurde im Rahmen des Forschungsprojekts somit erstmals in einer Altersgruppe untersucht, bei der freudbetonte Bewegungsmaßnahmen von besonderer Bedeutung sind, um das Interesse der Kinder an Bewegung und Sport zu fördern und möglichst langfristig aufrechtzuerhalten (Chanal et al., 2019).

Die Studie erfolgte in der Mercator-Grundschule⁵ in Berlin-Lichterfelde (= offene Ganztagschule; ausgewählte Schuldaten siehe Tabelle 1).

Abbildung 8: Installation des ExerCube in der Schule © Sphery AG; Frank Brünner



Tabelle 1: Ausgewählte Daten der Mercator-Grundschule Berlin im Schuljahr 2020/21

	Weiblich	Männlich	Gesamt
Schüler*innenschaft	154	153	307
Jahrgangsstufe 01	32	28	60
Jahrgangsstufe 02	18	17	35
Jahrgangsstufe 03	22	25	47
Jahrgangsstufe 04	20	30	50
Jahrgangsstufe 05	30	36	66
Jahrgangsstufe 06	32	17	49
Staatsangehörigkeit			
Europa (ohne Deutschland)	54	53	107
Afrika	9	6	15
Asien	42	33	75
Personal der Schule			
Erzieher*innen	9	1	10
Lehrkräfte	23	9	32

⁵ <https://www.mercator-gs.de/buildingsite/>

5.1.1 Die Bedeutung des Settings Schule für die Bewegungsförderung

Für die Intervention wurde das Setting Schule gewählt, das sich in der Forschung als Erfolg versprechender Ansatzpunkt für die Bewegungsförderung von Kindern und Jugendlichen erwiesen hat (Kriemler et al., 2011; Rütten & Pfeifer, 2016). So verbringen die meisten Kinder und Jugendliche einen großen Teil des Tages in der Schule (ca. 90 % der Kinder in Deutschland besuchen die Schule; Cale & Harris, 2006; De Bock, 2012). Zudem lassen sich schulbasierte Interventionen leicht an lokale Bedürfnisse und Ressourcen anpassen (De Bock, 2012). Als Erfolg versprechend werden in der Literatur dabei vor allem diejenigen schulbezogenen Interventionen bewertet, die sich aus verschiedenen Maßnahmen der Bewegungsförderung zusammensetzen (= Mehrkomponentenansätze; Crutzen, 2010; Kriemler et al., 2011; Langford et al., 2014; Quitério, 2013; Rütten & Pfeifer, 2016; Van Sluijs et al., 2008). Wirksame Einzelmaßnahmen stellen dabei u. a. die Optimierung des Sportunterrichts sowie die Integration von Bewegungspausen in den Schulalltag (= aktive Unterbrechungen zwischen und während der Unterrichtseinheiten) dar (Barr-Anderson et al., 2011; Heath et al., 2012; Quitério, 2013; Salmon et al., 2007). Letztere Maßnahme wurde im Rahmen der vorliegenden Studie gewählt, um die ExerCube-Einheiten ergänzend zu dem bestehenden Bewegungsangebot der Schule anbieten zu können.

Aktuelle Studien deuten bereits darauf hin, dass Exergames ein wirksamer Ansatz sein können, um den Schulsportunterricht oder traditionelle schulische Bewegungsprogramme zu erweitern (Andrade et al., 2020; Gao et al., 2017; Kooiman et al., 2016; Lwin & Malik, 2014; Quinn, 2013; Ye et al., 2018). In der Forschung fehlt es jedoch an Langzeitstudien zu der Attraktivität und Effektivität schulischer Exergaming-Interventionen, insbesondere mit körperlich anspruchsvolleren Exergames.

5.1.2 Entwicklungspsychologische Einflüsse auf das Bewegungsverhalten und das Selbstkonzept der Zielgruppe

Bei der Untersuchung von Bewegungsförderungsmaßnahmen im Kindes- und Jugendalter sollte berücksichtigt werden, dass es sich um eine in der Entwicklung befindliche Zielgruppe handelt. So sind die Art, die Häufigkeit, die Intensität und die Determinanten von Bewegung im Kindes- und Jugendalter alters- und teilweise auch geschlechtsabhängig (De Bock, 2012; Payne & Isaac, 2016). Auch das Selbstkonzept ist entwicklungsfähig und verändert sich in unterschiedlichen Phasen des Lebens (Harter, 2012; Mummendey, 2006). Besonders der Übergang von der Kindheit zur Jugend und zum jungen Erwachsenenalter ist für die Ausdifferenzierung der Selbstkonzeptdimensionen von zentraler Bedeutung (Harter, 2012). Bewegungsinterventionen sollten daher an Alter und Entwicklung der Kinder angepasst werden, um biologischen und kognitiven Veränderungsprozessen gerecht zu werden.

Hinsichtlich des Bewegungsverhaltens von Kindern und Jugendlichen zeigen Studien, dass vor allem Bewegungsformen wie wildes Spielen, Raufen oder formales Spielen in Gruppen den Bewegungstrieb

der Grundschulzeit bestimmen (De Bock, 2012; Payne & Isaac, 2016). Mit etwa 7 Jahren erreichen die Kinder dabei den Höhepunkt ihrer Bewegungsintensität und -häufigkeit (De Bock, 2012) und die Geschlechtsunterschiede im Bewegungsverhalten kristallisieren sich deutlicher heraus. Jungen bewegen sich bereits im Kleinkindalter mehr als Mädchen und weisen zudem ein anderes Bewegungsmuster auf (= mehr Bewegung mit mittlerer und hoher Intensität; De Bock, 2012; Trost et al., 2002). Die deutliche Abnahme des Aktivitätsniveaus ab dem 8. Lebensjahr, welche das gesamte späte Kindesalter prägt (Brodersen et al., 2007; Payne & Isaac, 2016), lässt sich dabei einerseits auf ein geringeres Grundbedürfnis nach Bewegung zurückführen (De Bock, 2012). Andererseits können kulturbedingte Umgebungseinflüsse und daraus resultierende bewegungsabträgliche Interessen (siehe Kapitel 2.1.2) von Relevanz sein (De Bock, 2012; Thomas et al., 2020; Trott et al., 2022). Wie wichtig frühpräventive Bewegungsmaßnahmen somit besonders in dieser Altersspanne sind, um die noch nicht fest verankerten Verhaltensmuster positiv zu beeinflussen, zeigt sich anhand von Studien, die darauf hindeuten, dass sich das Bewegungsverhalten von Jugendlichen mit einer gewissen Stabilität bis ins Erwachsenenalter fortsetzt (Motamed-Gorji et al., 2019; Telama, 2009).

Hinsichtlich der Entwicklung des Selbst finden im mittleren bis späten Kindes- und frühen Jugendalter ebenfalls mehr oder weniger gravierende kognitive Veränderungsprozesse statt, die Studien zufolge einerseits zu einer genaueren und differenzierteren, gleichzeitig aber auch zu einer (vorübergehend) instabilen oder negativeren Selbsteinschätzung im Vergleich zum Kleinkindalter führen können (Burrmann, 2004; Harter, 2006, 2012; Jacobs et al., 2002; Mummendey, 2006; Trzesniewski et al., 2003). Insbesondere zwischen dem 8. und 11. Lebensjahr werden die Fortschritte in der Selbstkonzeptualisierung hinsichtlich Hierarchisierung und Differenzierung immer deutlicher (Gerlach, 2008; Harter, 2012; Mummendey, 2006). Dies lässt sich vor allem auf die tiefgreifenden biologischen Veränderungen – verbunden mit einer kognitiven, emotionalen und sozialen Neuorientierung in dieser Altersspanne – zurückführen (Bracken & Lamprecht, 2003). Es gelingt den Kindern bspw. erstmals, eine Gesamtbewertung der eigenen Person (globales Selbstwertgefühl vs. domänenspezifische Einschätzung des Selbst) vorzunehmen und auszudrücken (Harter, 2006, 2012) sowie soziale Vergleichsprozesse und gegensätzliche Eigenschaften in die Selbstbewertung einzubeziehen (Harter, 2012; Mummendey, 2006). Darüber hinaus gewinnt die Verinnerlichung der Meinungen, Normen und Bewertungen anderer bezüglich der eigenen Person immer mehr an Bedeutung (Harter, 2012; Mummendey, 2006).

Hinsichtlich des Einflusses von Sport und Bewegung auf die Entwicklung des Selbst betonen Dreiskämper et al. (2015) die Notwendigkeit, die Wirkmechanismen des PSK bereits frühzeitig zu analysieren, um gezielt Interventionsprogramme entwickeln zu können. Die Evaluation des PSK in bisherigen Studien erfolgte dabei vor allem auf der Basis motorischer Fähigkeiten (Ahnert & Schneider, 2007; Asendorpf & Teubel, 2009; Conzelmann, 2008; Dreiskämper et al., 2015; Gerlach & Brettschneider, 2008).

5.2 Studie 2a: Entwicklung der Bewegungsfreude während einer 12-wöchigen ExerCube-Intervention

Bei den Kapiteln 5.2.1 bis 5.2.4 handelt es sich um eine deutschsprachige Zusammenfassung folgender Publikation:

Röglin, L., Stoll, O., Ketelhut, K., Martin-Niedecken, A. L.; Ketelhut, S. (2023). Evaluating Changes in Perceived Enjoyment Throughout a 12-Week School-Based Exergaming Intervention. *Children*, 10(1), 144. <https://doi.org/10.3390/children10010144>

Die englischsprachige Originalpublikation befindet sich in Kapitel 5.2.5. Eine umfassende Diskussion der Forschungsergebnisse erfolgt studienübergreifend in Kapitel 6.

5.2.1 Fragestellung

Aufgrund der großen Beliebtheit bildschirmbasierter Freizeitaktivitäten im Kindes- und Jugendalter werden Exergames zunehmend in das Setting Schule integriert, um die Schüler*innen mithilfe digitaler Tools zu mehr Bewegung zu motivieren. Aktuelle Studien weisen dabei darauf hin, dass einige Exergames den Schulsportunterricht oder schulische Bewegungsprogramme sinnvoll ergänzen und die Freude an der Bewegung der Kinder fördern können (Fu et al., 2018; Lau et al., 2016; Sun, 2013). Doch nicht alle Exergames eignen sich gleichermaßen für den Einsatz in der Schule (Kooiman et al., 2016; siehe auch Kapitel 2.2.3). Darüber hinaus mangelt es an Schulstudien zur Attraktivität von vermeintlich effektiven Exergames, die eine entsprechend hohe Belastungsintensität gewährleisten. Im Vordergrund der Studie stand somit die Fragestellung, ob der ExerCube „Sphery Racer“ mit seinem intensiven Bewegungskonzept ein geeignetes Tool für Grundschulen darstellt, um die Bewegungsfreude von Fünft- und Sechstklässler*innen beim Exergamen über einen dreimonatigen Interventionszeitraum aufrechtzuerhalten.

5.2.2 Methode

Proband*innen und Setting

An der Studie nahmen 30 Fünft- und Sechstklässler*innen ($10,48 \pm 0,75$ Jahre; 50 % Mädchen) der Mercator-Grundschule in Berlin teil. Eine zuvor durchgeführte Poweranalyse (G*Power, Version 3.1.; Heinrich-Heine-Universität, Düsseldorf, Deutschland) zur Abschätzung der Stichprobengröße ergab, dass 15 Teilnehmende ausreichend statistische Power (0,8) liefern würden, um Unterschiede nachweisen zu können. Diesbezüglich wurde von einer großen Effektstärke von 0,4 (Cohens f) und einem Alpha-Level von 0,05 ausgegangen.

Die Schulleitung, alle Lehrenden und die Erziehungsberechtigten der Schüler*innen wurden vorab umfassend über die Zielsetzung, das Studiendesign sowie die durchgeführten Messungen und Risiken informiert. Der 12-wöchige Interventionszeitraum wurde in Absprache mit der Schulleitung festgelegt. Zur Teilnahme an der Studie waren Schüler*innen der 5. und 6. Klasse berechtigt, die eine schriftliche Einverständniserklärung ihrer Erziehungsberechtigten vorlegen konnten. Exkludiert wurden Schüler*innen mit gesundheitlichen Problemen, die eine uneingeschränkte Teilnahme an der ExerCube-Intervention verhinderten.

Alle Untersuchungen (Eingangsuntersuchungen, Intervention und Ausgangsuntersuchungen) fanden in den Räumlichkeiten der Schule statt und wurden von geschultem Studienpersonal mithilfe standardisierter Verfahren durchgeführt. Der ExerCube wurde in einem Mehrzweckraum der Schule installiert, der sich in der Nähe der Klassenräume der teilnehmenden Schüler*innen befand.

Die Studie wurde von der Forschungskommission des Medical Centers Berlin (2020-09-RK1) genehmigt und nach internationalen Standards durchgeführt (Weltärztebund, 2013).

Studiendesign und -ablauf

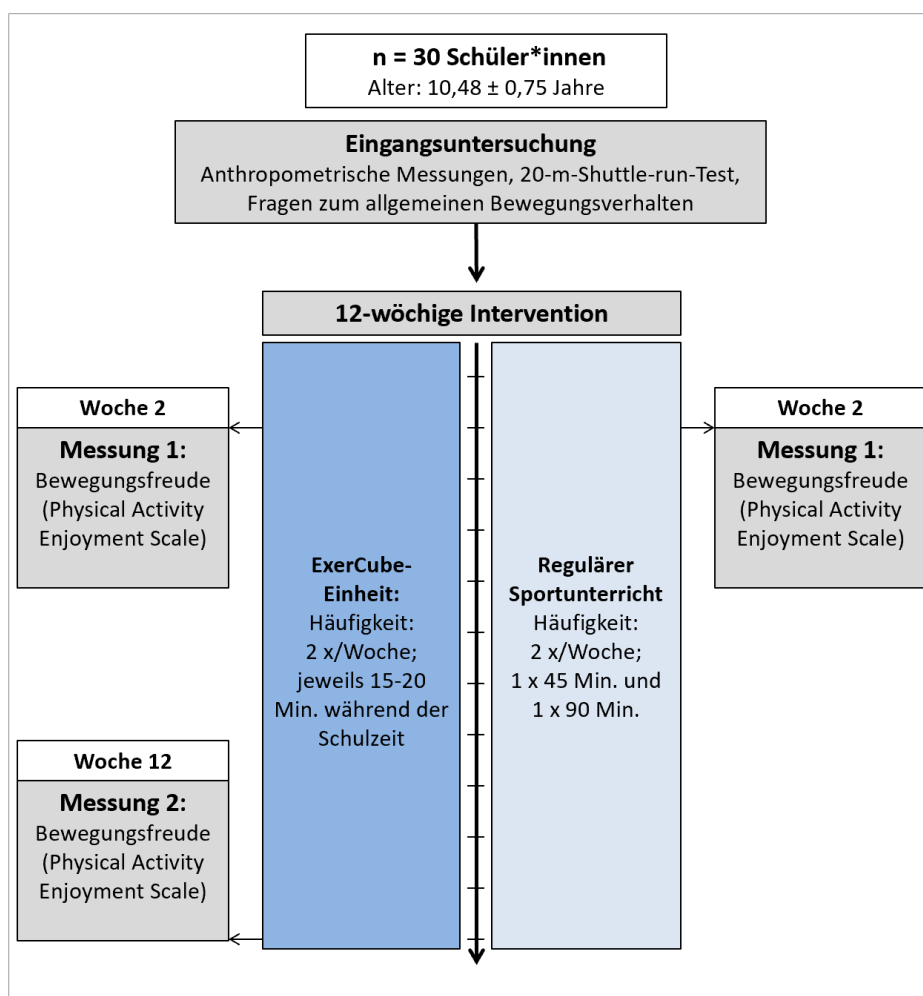
Das Studiendesign bestand aus einer Eingangsuntersuchung und einer anschließenden dreimonatigen Interventionsphase. Zunächst wurden während der Eingangsuntersuchung standardisierte anthropometrische Messungen (Gewicht, Größe, Taillenumfang) sowie ein 20-m-Shuttle-Run-Test (Léger et al., 1988) zur Abschätzung der $VO_2\text{max}$ der Schüler*innen durchgeführt. Darüber hinaus wurden das körperliche Aktivitätsniveau und das Sportinteresse der Schüler*innen mithilfe ausgewählter Fragen des Motorik-Modul-Aktivitätsfragebogens (MoMo-AFB; Bös et al., 2009) erfasst. Im Rahmen des anschließenden 12-wöchigen Interventionszeitraums nahmen die Schüler*innen zweimal pro Woche an 15- bis 20-minütigen ExerCube-Einheiten (siehe Kapitel 3.3) teil, die während der Schulzeit und zusätzlich zum regulären Sportunterricht (eine Einheit = 90 Minuten und eine Einheit = 45 Minuten) stattfanden. Auf diese Weise konnte gewährleistet werden, dass die Intervention nicht auf Kosten der zur Verfügung stehenden Bewegungszeit der Schüler*innen durchgeführt wird. Um einen reibungslosen Studienablauf sowie eine regelmäßige Teilnahme sicherstellen zu können, wurden gemeinsam mit der Schulleitung und den jeweiligen Klassenlehrer*innen Stundenpläne für alle teilnehmenden Schüler*innen erstellt. Eine Teilnahme an den ExerCube-Einheiten war während des gesamten Interventionszeitraums jedoch nicht verpflichtend.

Während des Interventionszeitraums wurde die Bewegungsfreude mithilfe der deutschen Version des PACES-Fragebogens in der 2. und 12. Interventionswoche gemessen. Zusätzlich wurden die Schüler*innen in der 2. Interventionswoche gebeten, den PACES nach einer zufällig gewählten Sportstunde (= 45 Minuten) auszufüllen. Inhaltlich war die ausgewählte Sportstunde an dem Lehrplan

der Schule angelehnt und bestand aus verschiedenen frei wählbaren Sportarten sowie Bewegungsspielen (keine Exergames).

Nach der Interventionsphase wurden die Lehrer*innen und das Studienpersonal in kurzen, strukturierten Interviews um Feedback gebeten.

Abbildung 9: Das Studiendesign der Studie 2a



Messwerte

Anthropometrie

Das Körpergewicht wurde auf 0,1 kg genau bestimmt, während die Schüler*innen leichte Sportkleidung trugen. Die Körpergröße wurde ohne Schuhe auf 0,5 cm genau ermittelt. Der Taillenumfang wurde im Stehen auf Höhe des Bauchnabels auf 0,5 cm genau gemessen. Alle Messungen wurden mit standardisierten Messgeräten durchgeführt. Die Berechnung des BMI (= Körpergewicht in Kilogramm/Körpergröße in Metern²) und der WHtR (= Taillenumfang in Zentimetern/Körpergröße in Zentimetern) für alle Schüler*innen erfolgte anschließend auf der Basis der Messwerte.

Bewegungsfreude

Die Bewegungsfreude der Schüler*innen wurde unmittelbar nach der ExerCube-Einheit und der Schulsportstunde mithilfe der deutschen Übersetzung des PACES (Jekauc et al., 2013) erfasst. Eine Beschreibung des Fragebogens erfolgte bereits in Kapitel 4.3.2. Laut Paxton et al. (2008) eignet sich der Fragebogen auch für Untersuchungen mit Kindern.

Zur Bestimmung der Bewegungsfreude während der ExerCube-Einheit und der Schulsportstunde wurde nach der Fragebogenerhebung jeweils ein PACES-Mittelwert berechnet.

Körperliches Aktivitätsniveau und allgemeines Sportinteresse

2 Fragen der deutschen Version des MoMo-AFB für Schüler*innen (Bös et al., 2009) wurden ausgewählt, um das wöchentliche körperliche Aktivitätsniveau sowie das allgemeine Interesse der Schüler*innen am Sport zu erfassen. Die Schüler*innen wurden gebeten, auf einer fünfstufigen bipolaren Likert-Skala zu bewerten, „wie sehr sie sich für Sport interessieren“ (= Abschnitt: allgemeine körperliche Aktivität, Frage 5). Zusätzlich wurde die Anzahl der Tage (0 bis 7) abgefragt, an denen die Schüler*innen in einer typischen Woche mehr als 60 Minuten körperlich aktiv waren (= Abschnitt: allgemeine körperliche Aktivität, Frage 4).

*Feedback von Lehrer*innen und Studienpersonal*

Nach der Interventionsphase fanden kurze, strukturierte Interviews (ca. 3 bis 5 Minuten) mit dem Studienpersonal und den jeweiligen Klassenlehrer*innen statt. Die Interviews umfassten 3 Fragen, mit deren Hilfe das Interesse, das Engagement und die Motivation der Schüler*innen während der ExerCube-Intervention bewertet wurden.

Herzfrequenz

Während der ExerCube-Einheiten wurde die HF der Schüler*innen mit einem Brustgurt sowie einem HF-Sensor der Firma Polar (Polar H10 Electro OY, Kempele, Finnland) gemessen. Die individuelle HFmean der Schüler*innen wurde bestimmt, in dem die jeweiligen HFmean-Werte aller ExerCube-Einheiten während der 12-wöchigen Intervention summiert und wiederum durch die Anzahl der Einheiten geteilt wurden.

Eine entsprechende Einordnung der HF-Werte erfolgte anhand der individuellen HFmax-Werte (% von HFmax) der Schüler*innen, die mittels der Formel ($HF_{max} = 208 - 0,7 \times \text{Alter}$) von Tanaka et al. (2001), bestimmt wurden.

Ausdauerleistungsfähigkeit

Die aerobe Ausdauer der Schüler*innen wurde mithilfe eines 20-m-Shuttle-Run-Test ermittelt, der eine zuverlässige und standardisierte Methode zur Abschätzung der $VO_2\text{max}$ bei Kindern bietet (Léger et al., 1988). Im Rahmen des Tests wurden die Schüler*innen gebeten, zwischen 2 parallel verlaufenden Linien im Abstand von 20 Metern hin und her zu laufen. Dabei wurde die Laufgeschwindigkeit durch die Intervalle zwischen Signaltönen vorgegeben und stetig erhöht (Startgeschwindigkeit = 8,5 km/h). Eine jeweilige Pendelstrecke galt als vollständig absolviert, wenn die Schüler*innen bei Erklingen des Tonsignals mit mindestens einem Fuß die jeweilige Linie berührten. Für eine ordnungsgemäße Durchführung des 20-m-Shuttle-Run-Tests wurden die Schüler*innen angewiesen, so lange wie möglich zu laufen und so viele Pendelstrecken wie möglich zu absolvieren. Der Test galt als beendet, sobald es einem/einer Schüler*in nicht gelang, die entsprechenden Linien dreimal hintereinander in der vorgegebenen Zeit zu erreichen – oder wenn sie aufgrund von Ermüdung selbstständig aufgaben. Zur Bestimmung der aeroben Fitness der Schüler*innen wurden für jeden/jede Schüler*in die Anzahl der vollständig absolvierten Pendelstrecken sowie die maximal erreichte Laufgeschwindigkeit während des Shuttle-Run-Tests notiert. Mithilfe der Laufgeschwindigkeit und des Alters wurde nach der Formel von Leger et al. (1988) die geschätzte $VO_2\text{max}$ wie folgt berechnet:

$$\begin{aligned} VO_2\text{max} = & 31,025 + 3,238 \times \text{maximale Laufgeschwindigkeit} \\ & - 3,248 \times \text{Alter} + 0,1536 \\ & \times \text{maximale Laufgeschwindigkeit} \times \text{Alter} \end{aligned}$$

Statistische Analyse

Die statistische Analyse der Daten erfolgte mit der Software IBM® SPSS Statistics für Windows, Version 27,0 (IBM Corp. Veröffentlicht 2020, Armonk, NY, USA). Es wurde ein Signifikanzniveau von $p \leq 0,05$ als statistisch signifikant festgelegt. Alle Ergebnisse wurden jeweils als Mittelwerte \pm Standardabweichung angegeben. Zur Festlegung der Effektstärke wurde Cohens f berechnet ($f > 0,1$: kleiner Effekt; $> 0,25$: mittlerer Effekt; $> 0,4$: großer Effekt; Cohen, 1988).

Um die Beziehung zwischen der abhängigen Variable Bewegungsfreude während einer ExerCube-Einheit zu Beginn der Intervention und den unabhängigen Variablen Geschlecht, BMI, WHtR, wöchentliches Aktivitätsniveau, allgemeines Interesse am Sport und $VO_2\text{max}$ zu analysieren, wurde zunächst eine Regressionsanalyse durchgeführt. Zur Untersuchung der Unterschiede in der Bewegungsfreude zu Beginn und zum Ende der ExerCube-Intervention (Woche 2 und 12) sowie der Unterschiede in der Bewegungsfreude zwischen einer ExerCube-Einheit und einer Schulsportstunde in der zweiten Interventionswoche zu ermitteln, wurde jeweils eine ANOVA mit Messwiederholung durchgeführt. Zusätzlich wurden Kovarianzanalysen (ANCOVAs) mit Messwiederholungen durchgeführt,

um für den Einfluss der Kovariaten Geschlecht, BMI, WHtR, wöchentliches Aktivitätsniveau, allgemeines Interesse am Sport und VO₂max zu kontrollieren.

Die Normalverteilung der Daten wurde im Vorfeld mithilfe des Kolmogorov-Smirnov-Tests überprüft. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass einige Variablen nicht normalverteilt waren (WHtR und allgemeines Interesse am Sport). Da jedoch mehrere Studien die Robustheit der ANOVA gegenüber Verletzungen der Normalverteilungsannahme belegen (Blanca et al., 2017; Schmider et al., 2010), wurden die voranstehend genannten Analysen durchgeführt. Zusätzlich wurde ein nicht-parametrischer Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test durchgeführt, welcher die Ergebnisse bestätigte.

5.2.3 Ergebnisse

Alle Schüler*innen absolvierten die Eingangsuntersuchungen. Die Teilnahmequote an der ExerCube-Intervention betrug 97 %. Während des gesamten Interventionszeitraums traten keine unerwünschten Ereignisse auf. Da 3 Schüler*innen in der 2. Interventionswoche nicht an der Fragebogenerhebung teilnehmen konnten, wurden diese von der Datenanalyse ausgeschlossen.

Gemäß der BMI-Perzentile nach Coners et al. (1996) wurden 9 Schüler*innen (3 Mädchen) als adipös (BMI-Perzentile ≥ 95) und 2 Mädchen als übergewichtig (BMI percentiles > 85) eingestuft. Entsprechend des Taille-zu-Größe-Verhältnisses ließen sich 8 Schüler*innen (2 Mädchen) als übergewichtig einordnen (Grenzwert: 0.5; Ashwell et al., 2012).

Die Regressionsanalyse zeigte, dass es keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Bewegungsfreude der Schüler*innen im ExerCube und dem Geschlecht ($p = 0,763$), BMI ($p = 0,113$), WHtR ($p = 0,231$), wöchentlichen Aktivitätsniveau ($p = 0,967$), allgemeinen Interesse am Sport ($p = 0,188$) und der VO₂max ($p = 0,885$) zu Beginn der Intervention gab. Die Ergebnisse der ANOVA und der ANCOVA verdeutlichten, dass sich die Bewegungsfreude ($p = 0,164$) im Laufe des 12-wöchigen Interventionszeitraums nicht signifikant veränderte. Die leichten Veränderungen im Zeitverlauf wurden signifikant vom BMI ($p = 0,027$), dem WHtR ($p = 0,007$) und dem wöchentlichen Aktivitätsniveau ($p = 0,016$) beeinflusst.

Im Vergleich zur untersuchten Sportstunde war die Bewegungsfreude während der ExerCube-Einheit signifikant höher ($p < 0,001$). Keine der Kovariaten zeigte einen signifikanten Einfluss.

Während der ExerCube-Einheiten wurde eine durchschnittliche HFmean von $87,17 \pm 1,92$ % der individuellen HFmax der Schüler*innen erreicht.

In den Feedbackgesprächen berichteten alle Lehrer*innen sowie das Studienpersonal über ein hohes Maß an Interesse, Motivation und Engagement der meisten Schüler*innen während der gesamten ExerCube-Interventionsphase. 3 von 4 Lehrer*innen erwähnten zudem, dass selbst Schüler*innen, die normalerweise nicht motiviert waren, am Sportunterricht teilzunehmen, großes Interesse an den ExerCube-Einheiten zeigten.

5.2.4 Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der ExerCube ein vielversprechender und adressatengerechter Ansatz zur Bewegungsförderung im Setting Schule sein kann, der den Schüler*innen zum einen über einen längeren Zeitraum hinweg Bewegungsfreude bereitet und zum anderen eine hohe Belastungsintensität gewährleistet. Dies könnte insbesondere auf die adaptive Spielsoftware des ExerCube „Sphery Racers“ zurückgeführt werden. Der ExerCube eignet sich somit als spielerische Ergänzung oder sogar Alternative zu traditionellen Bewegungsansätzen, um einen aktiven Schulalltag und somit einen gesunden Lebensstil zu fördern.

5.2.5 **Originalpublikation:** Evaluating Changes in Perceived Enjoyment Throughout a 12-Week School-Based Exergaming Intervention.

Der Inhalt des Kapitels 5.2.5 wurde im Jahr 2023 als Open-Access-Originalartikel im Journal *Children* des Verlags MDPI publiziert. DOI: <https://doi.org/10.3390/children10010144>. Basierend auf der Originalpublikation werden Tabellen, Abbildungen und Zitierungen in diesem Kapitel eigenständig nummeriert und bezeichnet. Es wurde zudem der jeweilige Zitier- und Formatierungsstil der Originalpublikation übernommen sowie die Abkürzungen.

© 2021. MDPI AG, St. Alban-Anlage 66, 4052 Basel, Switzerland. Alle Rechte vorbehalten.

Publikationsverlauf:

Eingereicht: 22. Dezember 2022

Angenommen: 09. Januar 2023

Artikel online veröffentlicht: 11. Januar 2023

Autor*innenbeitrag:

Röglin, L. = L. R.; Stoll, O. = O. S.; Ketelhut, K. = K. K.; Martin-Niedecken, A. L. = A. L. M.-N. & Ketelhut, S. = S. K.

Konzepterstellung: L. R., S. K., O. S. und K. K.; Methodik/Studiendesign: L. R., O. S. und S. K.; Betreuung/Supervision: K. K. und A. L. M.-N.; Administration: K. K. und O. S.; Software (z. B. Programmierung, Softwareentwicklung und technischer Support): A. L. M.-N.; Ressourcen: K. K. und A. L. M.-N.; Untersuchungen/Forschung: L. R., K. K. und S. K.; Datenpflege: L. R.; Formale Analyse: L. R. und O. S.; Validierung: L. R. und S. K.; Visualisierung: L. R. und S. K.; Schreiben – Erstellung eines Originalentwurfs: L. R.; Schreiben sowie Überarbeiten und Korrigieren der Publikation: O. S., S. K. und K. K.

Abstract

This study assessed whether a high-intensity exergame represents an enjoyable training tool for children in the elementary school setting. Furthermore, it evaluated whether gender, body mass index (BMI), waist-to-height ratio (WHtR), fitness level, weekly physical activity level, and general interest in sports moderate perceived enjoyment during the 12-week intervention. Thirty fifth- and sixth-grade students (10.5 ± 0.7 years; 50% girls) participated in this study. During baseline assessments, anthropometric measurements and a shuttle run test were conducted. Throughout the intervention period, the students participated in 15-20-min exergaming sessions (ES) in the ExerCube twice a week during school hours.

Enjoyment was assessed after an ES in weeks 2 and 12. Additionally, enjoyment was evaluated after a physical education (PE) class in week 2. The results reveal no significant changes in enjoyment ($p = 0.164$) over time. The modest changes over time were significantly affected by BMI ($p = 0.027$), WHtR ($p = 0.007$), and weekly activity level ($p = 0.016$). Compared to the PE class, enjoyment was significantly higher during the ES ($p < 0.001$). None of the covariates showed a significant effect. Mean HR during the ES reached $87.1 \pm 1.9\%$ of students' individual maximum HR. In conclusion, the ExerCube provides a promising tool for schools to promote enjoyable moderate-to-vigorous physical activity.

Introduction

It is widely accepted that a sufficient amount of physical activity (PA) is a component of a healthy lifestyle in children [1]. Several systematic reviews have consistently demonstrated the fundamental benefits of regular PA for body composition, physical fitness, and cardiovascular risk profile in children and adolescents [2,3]. Despite the knowledge of the positive effects of PA, physical inactivity among children and adolescents is a major public health concern [4]. Thus, preventive, and sustainable interventions to promote PA among children and adolescents are urgently required. In this regard, schools are often considered to play a pivotal role in developing positive PA habits and implementing PA and health programs [5,6] as students spend most of their day at school [7]. Furthermore, school-based PA interventions can easily adapt to local needs and resources, which is crucial for the successful implementation of intervention programs [5]. Apart from an appropriate setting, perceived enjoyment during PA is considered a key factor contributing to PA participation and maintenance in childhood [8]. Studies show that enjoyment is the most commonly reported intrinsic motivator for children to engage in PA [9,10]. Research suggests that PA is perceived as more enjoyable when children are encouraged to experiment with a variety of novel activities or with varying familiar exercises [11,12]. In this sense, schools should incorporate PA programs that satisfy the need for novelty and stimulate enjoyment. An innovative and motivating approach to promote PA and increase enjoyment, especially in children and adolescents reluctant to engage in PA, can be exergames [13,14]. Exergames combine physical exercise with entertaining video gameplay [15] and are therefore considered an important bridge between players' enjoyment and PA promotion [13,14]. Because of their exercise-promoting features, exergames differ from conventional video games, which are often criticized from a health-science perspective due to their sedentary nature [16–18]. Previous studies were able to show that playing exergames increases energy expenditure compared to sedentary behaviors [19–23]. Energy expenditure during exergaming may even be higher than during different forms of PA [24,25]. From a psychological point of view, exergames have been shown to be more enjoyable than traditional exercises, watching television, or playing video games, even in over-weight children [26,27]. Research further indicates that exergaming may provoke positive mood states in students [28]. Due to their popularity among youth [29],

researchers and pedagogics suggest exergames as a tool to engage students within their own digital culture and promote a healthy and active lifestyle, especially among those who have become less interested in conventional PA approaches [8,30–32]. Exergames may provide new and innovative opportunities for the PE curriculum and/or lunchtime, recesses, or after-school-programs [8].

A previous study by Lwin and Malik [33] showed that exergaming incorporated into PE classes combined with health messages has a higher potential to enhance PA-related attitudes and behaviors than regular PE classes, especially in elementary school children. Research further suggests that school-based exergaming interventions can be beneficial in developing children's musculoskeletal fitness, improving their cardiorespiratory endurance, and enhancing activity time [23,34–36]. According to the literature, however, there are substantial differences between exergames currently available on the market [37]. Most exergames only induce light to moderate PA and, thus, do not attain intensity levels required to induce relevant physiological adaptations [38–41]. Especially, those exergames that are designed for entertainment and/or do not consider general training principles may not attain activity levels high enough to induce health benefits [42,43]. Thus, most exergames may provide joyful, active breaks but should not be recommended to replace PE or school-based PA programs. Furthermore, little is known about the long-term attractiveness of school-based exergaming interventions, especially concerning more physically demanding exergames. It is questionable whether exergames are able to provide enjoyable exercise approaches in the school setting over time or whether enjoyment fades as soon as the exergaming intervention becomes a routine. The present study assessed a mixed-reality exercise setting, the ExerCube [44], which provides both an attractive and effective exergame experience for different target groups [45,46]. According to earlier studies in adults, the ExerCube provides a high-intensity exercise stimulus [47] yielding higher scores for flow, motivation, and enjoyment compared to other exercise protocols regardless of gender and individual performance level [45]. Based on these results, the present study was conducted to assess whether this exergame also provides a physiologically relevant but enjoyable exercise experience for children during a school-based intervention. This study aimed to determine whether perceived enjoyment while exercising regularly in the ExerCube changes over time and whether gender, body mass index (BMI), waist-to-height ratio (WHtR), and maximal oxygen consumption ($VO_2\text{max}$) as well as weekly activity level and general interest in sports moderate the possible changes. To provide a better understanding of the assessed ExerCube enjoyment scores, the study further compared the students' perceived enjoyment during an exercise session in the ExerCube with that during a regular PE class.

Materials and Methods

Research Setting and Participants

Thirty fifth- and sixth-grade students (10.5 ± 0.7 years; 15 girls) from an inner-city elementary school in Berlin (Germany) participated in this study. According to an a priori power analysis (G*power, version 3.1.; Heinrich Heine University, Düsseldorf, Germany), a sample size of 15 participants would provide sufficient power (0.8) to detect differences. A large effect size of 0.4 (Cohen's f) and an alpha level of 0.05 were assumed. The school's principal, teachers, and parents were provided with detailed study information. Written parental consent was obtained before participation in the study. Only students who provided a written informed parental consent form were eligible to participate. Students with health conditions that did not allow unrestricted PA engagement were excluded. During the intervention period, the students participated in the regular PE classes twice a week (in total, 135 min), taught by a certified full-time PE teacher and held in the school's gym. The exergaming sessions (ES) took place in the ExerCube, which was set up by Sphery Ltd. (Au, Switzerland) in a room located close to the students' classrooms (multi-purpose room). The study was conducted in accordance with the Helsinki Declaration and approved by the Research Ethics Board of the Medical Center Berlin (2020-09-RK1).

Procedure

The study design consisted of a baseline examination followed by an intervention period lasting three months. During the baseline examination, anthropometric measurements, including body mass, height, and waist circumference, were assessed to calculate the BMI (= body mass (kg)/height (m)²) [48] and WHtR (= waist circumference (cm)/height(cm)) [49]. Habitual PA and sports interest were assessed using selected items of a validated questionnaire (Motorik-Modul-Physical-Activity-Questionnaire for children and adolescents (MoMo-PAQ) [50]. Furthermore, the students completed a 20 m shuttle run test to estimate $VO_2\max$ [51]. Trained study staff conducted all measurements under the same conditions on the school's premises. Throughout the three-month intervention period, the students completed two ES per week, with each session lasting about 15-20 min. The ES were held during school time but outside PE classes to guarantee that the intervention would not be conducted at the expense of the students' available exercise time. Together with the respective class teachers, timetables for each student were developed, supporting regular and consistent participation and a smooth process. However, students still had the option to withdraw from the intervention. Trained study staff supervised the students during the ES. Throughout the intervention period, perceived enjoyment during the ES was assessed twice (week two and week 12) using the "Physical Activity Enjoyment Scale" (PACES). Additionally, the same group of students were asked to complete the PACES at the end of a randomly selected PE class in the second week. The PE class consisted of various free-choice sports and movement games (no exergames as they are generally not part of the school's PE curriculum), which are part of

the typical content of the curriculum. There were no graded physical performance tests in this lesson. The order in which the students completed the questionnaires (after the ES and the PE class) was randomized and counterbalanced. After the intervention period, we asked the teachers and study staff for feedback using short, structured interviews.

The Exergame Setting

The ExerCube by Sphery Ltd. (Au, Switzerland) (Figure 1) is an exergame setting shaped as an open cube-like trapeze measuring 9m². The three walls of the ExerCube project the virtual game scenario and provide an interface for generating in-game actions [44]. In contrast to many other exergames, which are played in front of a screen using a controller, the ExerCube allows the players to fully immerse themselves in and interact with the virtual game scenario through whole-body movements.

Figure 1. Student playing “Sphery Racer” in the ExerCube by Sphery Ltd. (Au, Switzerland) © Anna Lisa Martin-Niedecken.



In the present study, the students played the single-player game experience “Sphery Racer,” consisting of a science-fiction inspired virtual racing track. The player’s task is to navigate an avatar on a hoverboard through five game levels. The avatar is controlled by different movement tasks such as jumps, punches, or squats. To score points, the movement tasks must be performed as precisely as possible within a restricted time. Thus, the game challenges the player not only coordinatively but also

conditionally and cognitively [11]. Throughout the game, the game's challenge is continuously tailored to the physical and mental performance of the player.

The player's movements are tracked and incorporated into the game via the HTC Vive tracking system, consisting of two wrist-worn and two ankle-worn trackers. Calibration at the beginning of each exergaming session ensures that the game is optimally adjusted to the player's body size. HR is continuously recorded during the game utilizing an HR monitor (Polar Electro Oy, Kempele, Finland). More details about the ExerCube are provided by Martin-Niedecken et al. [44,52].

Measures

Anthropometry: Body mass was determined to the nearest 0.1 kg while the students wore light sports clothes. Height was obtained without shoes to the nearest 0.5 cm. Waist circumference was assessed to the nearest 0.5 cm at the umbilical line while the students were standing [53]. All measurements were conducted using standardized measuring equipment. BMI and WHtR were calculated for each student.

Enjoyment: A modified version of the PACES [54] consisting of 16 bipolar statements was used to measure perceived enjoyment during the ES and PE class. On a five-point bipolar scale, the students rated how they felt about the exercise they had just performed. The total score of the questionnaire ranged between 16 and 80, with higher scores indicating higher enjoyment. A mean score was calculated for each session. Before answering the questionnaire, the students received standardized instructions and were asked to complete it as truthfully as possible. The PACES has been widely used in PA and exergaming environments and is appropriate for children [55]. Furthermore, it has been validated as a reliable and valid measuring instrument, with good internal consistency between 0.92 and 0.93 [54].

Self-Reported Habitual Physical Activity and Interest in Sports: Two items of the German version of the MoMo-PAQ [50] for students were selected to assess self-reported weekly PA and students' general interest in sports. The students were asked to rate "how interested are you in sports?" using a five-point bipolar rating scale from "not interested" to "very interested" (MoMo-PAQ, section: general PA, item five). Additionally, the students were asked to state the number of days (0–7) they were physically active for more than 60 min in a typical week (MoMo-PAQ, section: general PA, item four).

Teacher and Study Staff Feedback: After the intervention period, short, structured interviews were conducted with the study staff and the respective class teachers. The interviews consisted of three questions assessing their perception of students' interest, engagement, and motivation during the ES. The interviews lasted 3–5 min.

Aerobic Fitness: The level of aerobic fitness was assessed using the multistage 20 m shuttle run test. The shuttle run test is a reliable and standard method to predict VO₂max both in children and adults [51]. The students were required to run back and forth between two lines, set 20 m apart while keeping a predetermined pace. The pace was set with audio signals emitted at specific frequencies.

The first stage started at 8.5 km/h and was increased each minute/stage by 0.5 km/h. The students were instructed to keep running as long as possible, completing as many shuttles and stages as possible. The test was over when the student was not able to reach the appropriate lines in the allotted time two consecutive times or when they gave up due to fatigue.

In order to predict aerobic fitness, the number of fully completed shuttles and stages, as well as the maximal shuttle running speed, were recorded for each student. Shuttle running speed and age were used to predict VO₂max according to the model developed by Leger et al. [51]:

$$\begin{aligned} \text{VO}_2\text{max} = & 31.025 + 3.238 \times \text{maximal shuttle run speed} \\ & - 3.248 \times \text{age} + 0.1536 \\ & \times \text{maximal shuttle run speed} \times \text{age} \end{aligned}$$

Heart Rate: HR was continuously recorded during the ES using a HR monitor (Polar Electro Oy, Kempele, Finland). Mean HR (HR_{mean}) was calculated for each student by summing up HR_{mean} of all ES. To determine the percentage of HR_{max} achieved during the ES, individual HR_{max} was estimated using the formula (HR_{max} = 208 – 0.7 × age) of Tanaka et al. [56].

Data Analysis

IBM SPSS Statistics for Windows, Version 27.0 (IBM Corp. Released 2020, Armonk, NY, USA) was used to analyze the collected data. The significance level adopted was $p < 0.05$. All results are presented as means ± standard deviation.

A regression analysis was conducted to analyze the relationship between the dependent variable “perceived enjoyment” and the independent variables gender, BMI, WHtR, weekly activity level, general interest in sports, and VO₂max during an ES at the beginning of the intervention.

Repeated measures ANOVAs were performed to examine differences in perceived enjoyment over time and differences in perceived enjoyment between the ES and the PE class. Additionally, repeated measures ANCOVAs using gender, BMI, WHtR, weekly activity level, general interest in sports, and VO₂max as covariates were conducted.

Because the sample of this study was rather small, normal distribution was assessed in advance using the Kolmogorov–Smirnov test. The findings suggest that normal distribution was violated for a subset of variables/factor combinations. However, as several studies demonstrate the robustness of ANOVA

against violations of the normal distribution assumption [57,58], we felt it safe to run the reported analyses to examine possible interactions. Nevertheless, to further corroborate the robustness of the effects, we additionally ran the analyses with a non-parametric Wilcoxon signed-rank test. These analyses reconfirmed the results.

To determine effect size, Cohen's f (f) was calculated ($f > 0.1$: small effect; > 0.25 : medium effect; > 0.4 : large effect) [59].

Results

All students completed the initial examination. The session attendance rate for the ES was 97%. Three students were unable to take part in the survey in the second week of the intervention and were therefore excluded from the analysis. No adverse events occurred throughout the intervention period. The students' descriptive and anthropometric measures are shown in Table 1.

Table 1. Subject's characteristics.

Item	Total (n = 27)	Female (n = 14)	Male (n = 13)
Height (cm)	148.4 ± 9.2	150.1 ± 10.9	146.5 ± 6.4
Body mass (kg)	46.2 ± 12.8	46.0 ± 14.5	46.5 ± 10.6
Waist circumference (cm)	67.6 ± 10.1	64.8 ± 8.5	70.8 ± 10.8
BMI (kg·m ⁻²)	20.7 ± 4.2	20.0 ± 4.3	21.5 ± 3.9
WHtR	0.45 ± 0.06	0.43 ± 0.04	0.48 ± 0.06
VO ₂ max (mL/kg/min)	44.70 ± 3.5	44.70 ± 3.5	44.74 ± 3.4
Physical activity level (days/week with over 60 min)	3.6 ± 2.2	3.1 ± 2.1	4.2 ± 2.2
General interest in sports (1 = no interest; 5 = very interested)	4.1 ± 0.9	4.0 ± 1.1	4.3 ± 0.8

Data are mean ± SD values. Abbreviations: BMI = Body mass index; VO₂max = Maximal oxygen consumption; WHtR = Waist-to-height ratio.

According to the age- and sex-specific BMI percentiles from Coners et al. [48], nine students (three girls) could be defined as obese (BMI percentiles ≥ 95), and two students (two girls) could be defined as overweight (BMI percentiles > 85). For the WHtR, eight students (two girls) reported values within the overweight range (WHtR cutoff of 0.5 [49]).

The regression analysis revealed no significant relationship between perceived enjoyment and gender ($p = 0.763$), BMI ($p = 0.113$), WHtR ($p = 0.231$), weekly activity level ($p = 0.967$), general interest in sports ($p = 0.188$), and $VO_2\max$ ($p = 0.885$) during an ES (Table 2).

Table 2. Effects of gender, BMI, WHtR, weekly activity level, general interest in sports, and $VO_2\max$ on perceived enjoyment during the exergaming session.

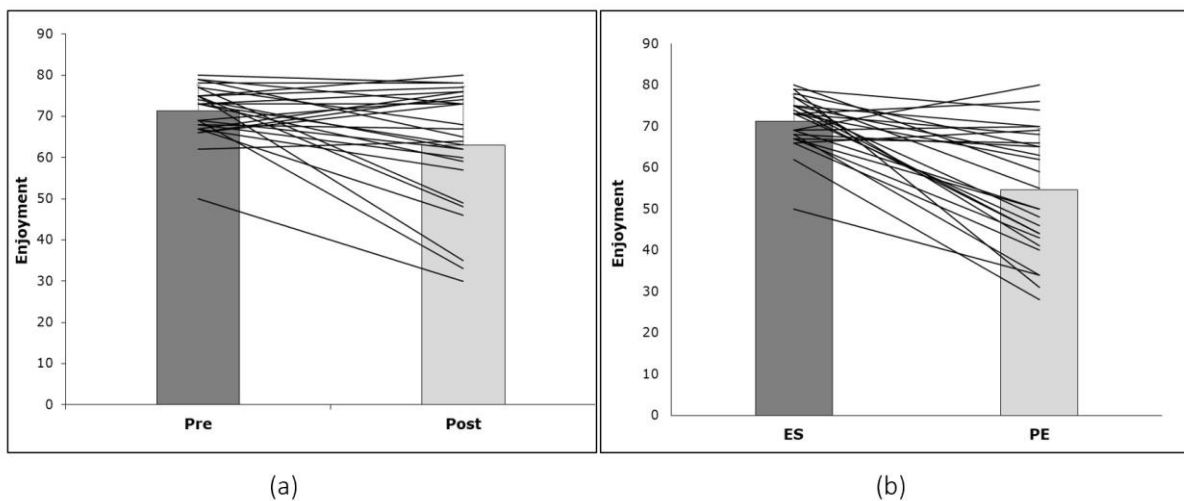
Variable	Unstandardized Coefficient	Standardized Coefficient	Std. Error
Constant	61.445		
Gender	0.881	0.070	2.876
BMI ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)	-0.066	-0.164	0.119
WHtR	54.133	0.534	43.837
Physical activity level (days/week with over 60 min)	-0.024	-0.008	0.573
General interest in sports (1 = no interest; 5 = very interested)	2.026	0.313	1.487
$VO_2\max$ ($\text{mL}/\text{kg}/\text{min}$)	-0.077	-0.040	0.527
R^2	0.315		
Adjusted R^2	0.110		
F (df = 6;20)	1.535		

Abbreviations: BMI = Body mass index; $VO_2\max$ = Maximal oxygen consumption; WHtR = Waist-to-height ratio.

The differences in perceived enjoyment over time and between an ES and a PE class are shown in Figure 2a, b. The mean PACES score during the ES in week two was significantly higher than during the PE class in the same week (71.3 ± 6.3 versus 54.6 ± 14.7 ; $p < 0.001$; $f = 0.705$). None of the analyzed covariates (gender ($p = 0.94$, $f = 0.000$), BMI ($p = 0.152$, $f = 0.100$), WHtR ($p = 0.461$, $f = 0.027$), weekly activity level ($p = 0.957$, $f = 0.000$), general interest in sports ($p = 0.684$, $f = 0.008$), and $VO_2\max$ ($p = 0.389$, $f = 0.037$)) showed a significant effect on the differences. Furthermore, the analysis revealed no significant

differences in perceived enjoyment ($p = 0.164$) after two and 12 weeks of intervention. The mean PACES score changed from 71.3 ± 6.3 in week two to 62.4 ± 14.2 in week 12. A small effect size ($f = 0.073$) could be identified for the differences over time. According to the ANCOVA, the differences in perceived enjoyment between weeks two and 12 were significantly affected by BMI ($p = 0.027$, $f = 0.227$), WHtR ($p = 0.007$, $f = 0.326$) and weekly activity level ($p = 0.016$, $f = 0.265$). Gender ($p = 0.986$, $f = 0.000$), general interest in sports ($p = 0.825$, $f = 0.002$), and $VO_2\text{max}$ ($p = 0.109$, $f = 0.124$) showed no significant effect on the differences in perceived enjoyment over time.

Figure 2. (a) Perceived enjoyment during an exergaming session in weeks two and 12; (b) Perceived enjoyment during an exergaming session and a PE class in week two. In both figures, the bars show the mean Physical Activity Enjoyment Scale (PACES)-scores. The lines represent individual changes.



During the ES, the students reached an average HRmean of 174.9 ± 3.9 bpm corresponding to $87.1 \pm 1.9\%$ of their individual HRmax.

In the feedback interviews, the teachers and study staff consistently reported high levels of interest, motivation, and engagement of most students throughout the ES. Three of the four teachers mentioned that even students who were usually unmotivated to participate in PE were highly interested in the ES.

Discussion

The purpose of this study was to assess the perceived enjoyment throughout a 12-week school-based exergaming intervention in elementary school children. Additionally, the study determined whether gender, BMI, WHtR, weekly activity level, general interest in sports, and $VO_2\text{max}$ influenced perceived enjoyment over time. Furthermore, perceived enjoyment between an ES and a normal PE class was compared while considering the aforementioned covariates. Based on the present results, the ES represent an enjoyable and vigorous exercise both for boys and girls irrespective of their physical fitness

level. Thus, this exergame may present an innovative and engaging tool to promote PA throughout the school day.

Notably, the mean ExerCube enjoyment score did not significantly decrease throughout the 12-week intervention period, although the exercise intensity was relatively high, reaching $87.1 \pm 1.9\%$ of HRmax. This corresponds to vigorous intensity PA according to the guidelines for exercise testing and prescription of the American College of Sports Medicine [60]. Interestingly, when we looked at the individual results (Figure 2a), we were able to detect both increases and decreases in perceived enjoyment over time. Even when considering the students' characteristics (e.g., gender, BMI, WHtR), no clear pattern can be identified. Thus, we cannot make any assumptions about possible reasons for these differences. Despite this, the ExerCube presents a tool to implement joyful, high-intensity PA and keeps most students engaged over a long period of time. The findings are relevant as a decrease in PA can be observed especially at a prepubertal age and in early puberty, which is attributed to a lack of perceived PA enjoyment [61].

The results are in accordance with previous research by Sun [62], who reported high levels of perceived enjoyment during a four-week school-based exergaming intervention in elementary school children using eight different exergames (e.g., Nintendo Wii, Dance Dance Revolution, or XrBoards). However, the exercise did not reach a moderate to vigorous intensity in this study. Fu et al. [49] could even show a significant increase in students' perceived enjoyment during a 12-week classroom-based exergaming intervention. Unfortunately, the authors did not report the exercise intensities of the applied exergames. Lau et al. [63] could also observe an increase in enjoyment throughout a 12-week after-school-hour exergaming intervention in 8-11-year-old children compared to a control group. However, the differences did not achieve statistical significance. Additionally, this study did not examine the intensity of the 60 min exergaming intervention.

Because studies suggest that enjoyment is associated with higher PA engagement [64], enjoyable exergames could possibly influence future PA behavior. Furthermore, enjoyment has been identified as an underlying factor in children and adolescents for maintaining their engagement in both PA and PE [65,66,67]. However, there is still a necessity to further address the influence of regular school-based exergaming on PA behavior and general PA enjoyment.

The sustained enjoyment level throughout the exergaming intervention can be explained by the innovative setup and game design. The ExerCube provides an immersive experience, allowing the players to interact with the audio-visual gaming scenario through whole-body movements. According to Warburton et al. [68], such an immersive experience diverts the players' attention from the physiological cues and increases enjoyment. Therefore, exergaming may not be primarily experienced as exercise, but as a form of entertainment [69]. The interactive character of exergames may further

distract from negative thoughts about PA [70,71]. Therefore, exergames could help to motivate particularly those students who are unwilling to engage in more conventional PA approaches.

A further explanation for the sustained experience of enjoyment throughout the exergaming intervention could be related to its digital environment and state-of-the-art technology. Because young people devote considerable amounts of their leisure time to screen-based activities [72], the integration of exergames into the children's school routine may present an enjoyable and culture-appropriate contrast to the primarily analog curriculum. Working with, rather than against, preferred digital leisure routines at school can be a promising approach to promote PA in children. This is supported by the finding that the ES was significantly more enjoyable than the PE class with none of the covariates (gender, BMI, WHtR, weekly activity level, general interest in sports and VO₂max) showing a strong effect. Only two students rated the PE class as more enjoyable than the ES (Figure 2b).

The findings are in accordance with a previous study by Vernadakis et al. [26], who reported no significant differences between normal-weight and overweight children in their enjoyment of exergames, traditional physical activities, and sedentary video games. In this study, the exergame was the most enjoyable activity, in both normal weight and overweight children.

The appeal of the exergaming intervention in the present study is further supported by the fact that there were no dropouts.

High adherence levels were also shown by Sheehan et al. [73] during a six-week school-based exergaming program. In this qualitative study, the teachers reported that students' enthusiasm for the intervention was high, resulting in sustained engagement. Furthermore, the teachers reported that the students felt proud to have an exergaming opportunity in their school.

According to feedback interviews, the teachers of the present study also reported high levels of interest during the exergaming intervention, even among students, who were usually unmotivated to participate in PE. Low dropout rates were also observed by Finco et al. [74], who further discovered an increasing interest of students in learning more about different sports and a healthy lifestyle during a school-based exergaming intervention.

Interestingly, Madsen and colleagues [75] found children to have higher dropout rates when exergaming at home compared to exergaming interventions at school. This underlines that an appropriate setting and intervention design are of great relevance for successfully implementing PA interventions in children. Simply owning an exergame is not enough to promote PA and provide a public health benefit in children [76].

Another explanation for the sustained enjoyment is the ability of the ExerCube to adjust the game's challenge according to the player's physical and cognitive performance. This guarantees an optimal balance between the game-related challenge and their skills, as well as between the movement tasks and the player's fitness. Consequently, the challenge is neither too easy nor too difficult, allowing them

to experience success. This is of relevance as previous research has shown that perceived physical competence is associated with intrinsic motivation [77] and enjoyment in PA [72] and PE [78,79]. An adaptive game design, gamification, and gratification can help to evoke perceived physical competence. According to Csikszentmihalyi's flow theory, this perceived balance between challenge and skills is a precondition for the experience of flow, which is described as the feeling of being completely focused on a particular activity [80]. Referring to "GameFlow" research in the context of video gaming [81] and exergaming [82], the flow experience is regarded as an important determinant of enjoyment in gaming [81,83,84]. The ExerCube already yielded significantly higher flow scores in adults than traditional training approaches, as shown in recent studies by Röglin et al. [45] and Martin-Niedecken and Schättin [85].

In the present study, the regression analysis revealed no relationship between perceived enjoyment and gender, BMI, WHtR, weekly activity level, general interest in sports, and VO₂max during the ES. Therefore, it can be expected that the ExerCube adapts to the students' preconditions and represents an attractive exercise for different target groups. Regarding gender, the findings contrast a study by Sun [62], who reported that boys rated the exergaming experience as more enjoyable than girls. This is in accordance with research in video gaming, suggesting that video games are less attractive to girls compared to boys [86,87]. The fact that gender had no effect on perceived enjoyment during the ES is an important finding as girls are less physically active than boys [88,89]. Furthermore, girls are more reluctant to perform PA at higher intensities [90], and generally score lower on enjoyment in PE class [78]. The ExerCube is an exercise tool that seems to reach boys and girls alike and thus can help tackle gender disparities. Furthermore, neither general interest in sports nor VO₂max moderated the minor differences in perceived enjoyment over time. The findings underline the appeal of the exergame experience for students regardless of their gender, individual fitness level, and passion for sports. In contrast, BMI, WHtR, and weekly activity level significantly affected the modest differences in perceived enjoyment over time. Thus, further research should address how exergames can be tailored and constantly developed to guarantee persistent engagement in different target groups. Similarly to normal video games, exergames could also benefit from including regular updates or expansions to the game to continuously provide new opportunities for exploration.

Furthermore, previous research shows that cooperative and competitive exergaming conditions result in greater enjoyment and higher motivation compared to single-player conditions [91]. Thus, further research should address if the cooperative and competitive game modes may be an approach to sustain perceived enjoyment even longer.

However, an interesting feature of the single-player mode is the fact that it adheres to social distancing and hygiene measures. This could be particularly applicable in times of pandemics (e.g., COVID-19). Exercise interventions in the ExerCube can be maintained even if it is not allowed to perform group

exercises or PE classes. This is of relevance, as research revealed a substantial decrease in PA during the COVID-19 pandemic, which may negatively impact children's and adolescents' physical and mental health [92,93].

Limitations

The following limitations must be discussed when interpreting the results of the study. First, the students had no experience with the ExerCube before this study. All students, however, participated regularly in the PE classes. Thus, the ES could have benefited from a novelty effect. Recent research discovered that inexperienced players achieve higher levels of enjoyment than experienced players [94]. However, at least during the 12-week intervention period, perceived enjoyment did not decrease significantly.

Second, only one random PE class was chosen as a comparison condition. It is to be expected that perceived enjoyment may have been affected by the lessons' content and the respective exercise intensity, and thus could vary between sessions. However, the students' exercise intensity during PE class was not assessed. Furthermore, differences in the duration of the two exercise conditions could have affected perceived enjoyment.

Third, individual HRmax of the students was calculated using the formula of Tanaka et al. [56]. This calculation only presents a rough estimation of the actual HRmax and is not specific for the study's sample.

Another limitation to discuss is the duration of the intervention period. Due to holidays and other school-related conditions, the intervention took place throughout a 12-week period. Therefore, it is not clear if the results hold true for longer intervention periods. Furthermore, it has not been investigated whether the ES affected general PA enjoyment and future PA behavior.

Lastly, the target group of this study consisted of fifth- and sixth-grade students. It cannot be assumed that the results also apply to other grades. Furthermore, the sample size of this study was rather small, and the study design does not include a control group.

Conclusions

The ExerCube provides a promising tool for elementary schools to promote enjoyable PA among boys and girls with different preconditions during the school day. Therefore, this exergame can be applied as an appropriate alternative or supplement to traditional exercise approaches to promote active routines at school and, thus, healthy lifestyle behaviors among children. Future studies are required to assess the effects of different exergaming intervention designs on perceived enjoyment among different target groups. Furthermore, it should be evaluated whether and to what extent regular school-based exergaming sessions affect PA behavior and PA enjoyment in general.

References

1. Bull, F.C.; Al-Ansari, S.S.; Biddle, S.; Borodulin, K.; Buman, M.P.; Cardon, G.; Carty, C.; Chaput, J.P.; Chastin, S.; Chou, R.; et al. World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour. *Br. J. Sports Med.* 2020, 54, 1451–1462.
2. Dobbins, M.; De Corby, K.; Robeson, P.; Husson, H.; Tirilis, D. School-based physical activity programs for promoting physical activity and fitness in children and adolescents aged 6 to 18. *Cochrane Database Syst. Rev.* 2009, 1, CD007651.
3. Janssen, I.; LeBlanc, A.G. Systematic review of the health benefits of physical activity and fitness in school-aged children and youth. *Int. J. Behav. Nutr. Phys. Act.* 2010, 7, 40.
4. Guthold, R.; Stevens, G.A.; Riley, L.M.; Bull, F.C. Global trends in insufficient physical activity among adolescents. A pooled analysis of 298 population-based surveys with 1.6 million participants. *Lancet Child Adolesc. Health* 2020, 4, 23–35
5. De Bock, F. Promotion of physical activity in childhood and adolescence (Bewegungsförderung im Kindes- und Jugendalter). In *Handbook on Physical Activity Promotion and Health (Handbuch Bewegungsförderung und Gesundheit)*; Verlag Hans Huber AG: Bern, Switzerland, 2012.
6. Ravens-Sieberer, U.; Thomas, C. Health Behavior in School-Aged Children; Results of the HBSC Youth Health Study 2002 in Collaboration with the WHO (Gesundheitsverhalten von Schülern in Berlin. Ergebnisse der HBSC-Jugendgesundheitsstudie 2002 im Auftrag der WHO); Robert Koch-Institut: Berlin, Germany, 2003; ISBN 3896060767.
7. Cale, L.; Harris, J. School-based physical activity interventions: Effectiveness, trends, issues, implications and recommendations for practice. *Sport Educ. Soc.* 2006, 11, 401–420.
8. Vagheti, C.A.O.; Monteiro-Junior, R.S.; Finco, M.D.; Reategui, E.; Da Costa Botelho, S.S. Exergames experience in physical education: A review. *Phys. Cult. Sport. Stud. Res.* 2018, 78, 23–32.
9. Crane, J.; Temple, V. A systematic review of dropout from organized sport among children and youth. *Eur. Phys. Educ. Rev.* 2015, 21, 114–131.
10. Yan, J.H.; McCullagh, P. Cultural Influence on Youth's Motivation of Participation in Physical Activity. *J. Sport Behav.* 2004, 27, 378–390.
11. Lakicevic, N.; Gentile, A.; Mehrabi, S.; Cassar, S.; Parker, K.; Roklicer, R.; Bianco, A.; Drid, P. Make Fitness Fun: Could Novelty Be the Key Determinant for Physical Activity Adherence. *Front. Psychol.* 2020, 11, 1–5.
12. Allender, S.; Cowburn, G.; Foster, C. Understanding participation in sport and physical activity among children and adults: A review of qualitative studies. *Health Educ. Res.* 2006, 21, 826–835.
13. Gao, Z. Fight fire with fire? Promoting physical activity and health through active video games. *J. Sport Health Sci.* 2017, 6, 1–3.
14. Baranowski, T. Exergaming: Hope for future physical activity? or blight on mankind? *J. Sport Health Sci.* 2017, 6, 44–46.
15. Oh, Y.; Yang, S. Defining exergames and exergaming. In *Proceedings of the Meaningful Play Conference 2010*, East Lansing, MI, USA, 21–23 October 2010.
16. Huard Pelletier, V.; Lessard, A.; Piché, F.; Tétreau, C.; Descarreaux, M. Video games and their associations with physical health: A scoping review. *BMJ Open Sport Exerc. Med.* 2020, 6, 1–10.
17. Mentzoni, R.A.; Brunborg, G.S.; Molde, H.; Myrseth, H.; Skouerøe, K.J.M.; Hetland, J.; Pallesen, S. Problematic video game use: Estimated prevalence and associations with mental and physical health. *Cyberpsychol. Behav. Soc. Netw.* 2011, 14, 591–596.
18. Vandewater, E.A.; Shim, M.S.; Caplovitz, A.G. Linking obesity and activity level with children's television and video game use. *J. Adolesc.* 2004, 27, 71–85.
19. O'Loughlin, E.K.; Dutczak, H.; Kakinami, L.; Consalvo, M.; McGrath, J.J.; Barnett, T.A. Exergaming in Youth and Young Adults: A Narrative Overview. *Games Health J.* 2020, 9, 314–338.
20. Lanningham-Foster, L.; Foster, R.C.; McCrady, S.K.; Jensen, T.B.; Mitre, N.; Levine, J.A. Activity-Promoting Video Games and Increased Energy Expenditure. *J. Pediatr.* 2009, 154, 819–823.
21. Mellecker, R.R.; McManus, A.M. Energy expenditure and cardiovascular responses to seated and active gaming in children. *Arch. Pediatr. Adolesc. Med.* 2008, 162, 886–891.
22. Peng, W.; Lin, J.H.; Crouse, J. Is playing exergames really exercising? A meta-analysis of energy expenditure in active video games. *Cyberpsychol. Behav. Soc. Netw.* 2011, 14, 681–688.
23. Ye, S.; Lee, J.; Stodden, D.; Gao, Z. Impact of Exergaming on Children's Motor Skill Competence and Health-Related Fitness: A Quasi-Experimental Study. *J. Clin. Med.* 2018, 7, 261.
24. Maddison, R.; Mhurchu, C.N.; Jull, A.; Prapavessis, H.; Rodgers, A. Energy Expended Playing Video Console Games: An Opportunity to Increase Children's Physical Activity Ralph. *Pediatr. Exerc. Sci.* 2007, 19, 334–343.

25. Graf, D.L.; Pratt, L.V.; Hester, C.N.; Short, K.R. Playing active video games increases energy expenditure in children. *Pediatrics* 2009, 124, 534–540.
26. Vernadakis, N.; Zetou, E.; Derri, V.; Bebetos, E.; Filippou, F. The Differences between Less Fit and Overweight Children on Enjoyment of Exergames, Other Physical Activity and Sedentary Behaviours. *Procedia Soc. Behav. Sci.* 2014, 152, 802–807.
27. Gao, Z.; Zhang, T.; Stodden, D. Children’s physical activity levels and psychological correlates in interactive dance versus aerobic dance. *J. Sport Health Sci.* 2013, 2, 146–151.
28. Huang, H.C.; Wong, M.K.; Yang, Y.H.; Chiu, H.Y.; Teng, C.I. Impact of Playing Exergames on Mood States: A Randomized Controlled Trial. *Cyberpsychol. Behav. Soc. Netw.* 2017, 20, 246–250.
29. O’Loughlin, E.K.; Dugas, E.N.; Sabiston, C.M.; O’Loughlin, J.L. Prevalence and correlates of exergaming in youth. *Pediatrics* 2012, 130, 806–814.
30. Townsend, J.; Gurvitch, R. Integrating technology into physical education: Enhancing multiple intelligences. *Teach. Elem. Phys. Educ.* 2002, 13, 35–38.
31. Hansen, L.; Sanders, S. Interactive Gaming: Changing the Face of Fitness. *Florida Alliance Health Phys. Educ. Recreat. Danc. Sport J.* 2008, 46, 38–41
32. Baranowski, T.; Buday, R.; Thompson, D.I.; Baranowski, J. Playing for Real. Video Games and Stories for Health-Related Behavior Change. *Am. J. Prev. Med.* 2008, 34, 74–82.e10.
33. Lwin, M.O.; Malik, S. Can exergames impart health messages? Game play, framing, and drivers of physical activity among children. *J. Health Commun.* 2014, 19, 136–151.
34. Ye, S.; Pope, Z.C.; Lee, J.E.; Gao, Z. Effects of school-based exergaming on urban children’s physical activity and cardiorespiratory fitness: A quasi-experimental study. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2019, 16, 4080.
35. Gao, Z.; Pope, Z.; Lee, J.E.; Stodden, D.; Roncesvalles, N.; Pasco, D.; Huang, C.C.; Feng, D. Impact of exergaming on young children’s school day energy expenditure and moderate-to-vigorous physical activity levels. *J. Sport Health Sci.* 2017, 6, 11–16.
36. Gao, Z.; Hannan, P.; Xiang, P.; Stodden, D.F.; Valdez, V.E. Video game-based exercise, Latino children’s physical health, and academic achievement. *Am. J. Prev. Med.* 2013, 44, S240–S246.
37. Röglin, L.; Martin-Niedecken, A.L.; Ketelhut, S. Exercising Digitally: A Multi-Perspective Analysis of Exergames for Physical Activity and Health Promotion. In *Creating Digitally: Shifting Boundaries: Arts and Technologies—Contemporary Applications and Concepts*; Brooks, A.L., Ed.; Springer: Cham, Germany, 2023; in press.
38. Daley, A.J. Can exergaming contribute to improving physical activity levels and health outcomes in children? *Pediatrics* 2009, 124, 763–771.
39. Biddiss, E.; Irwin, J. Active video games to promote physical activity in children and youth: A systematic review. *Arch. Pediatr. Adolesc. Med.* 2010, 164, 664–672.
40. Nani, S.; Matsouka, O.; Antoniou, P. Can ten weeks intervention with exergames contribute to better subjective vitality and physical health. *Sport Sci. Health* 2019, 15, 43–47.
41. Marshall, J.; Linehan, C. Are Exer-Games Exercise? A Scoping Review of the Short Term Effects of Exertion Games. *IEEE Trans. Games* 2020, 14, 160–169.
42. Zaczynski, M.; Whitehead, A. Establishing Design Guidelines in Interactive Exercise Gaming: Preliminary Data from Two Posing Studies. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems 2014, Toronto, ON, Canada, 26 April–1 May 2014*; Association for Computing Machinery: New York, NY, USA, 2014; pp. 1875–1884.
43. Kari, T. Can exergaming promote physical fitness and physical activity?: A systematic review of systematic reviews. *Int. J. Gaming Comput. Simul.* 2014, 6, 59–77.
44. Martin-Niedecken, A.L.; Mekler, E.D. The ExerCube: Participatory Design of an Immersive Fitness Game Environment. In *Serious Games; JCSG 2018. Lecture Notes in Computer Science*; Göbel, S., Garcia-Agundez, A., Tregel, T., Ma, M., Hauge, J.B., Oliveira, M., Marsh, T., Caserman, P., Eds.; Springer: Cham, Switzerland, 2018; Volume 11243, pp. 263–275.
45. Röglin, L.; Ketelhut, S.; Ketelhut, K.; Kircher, E.; Ketelhut, R.G.; Martin-Niedecken, A.L.; Hottenrott, K.; Stoll, O. Adaptive High-Intensity Exergaming: The More Enjoyable Alternative to Conventional Training Approaches Despite Working Harder. *Games Health J.* 2021, 10, 400–407.
46. Martin-Niedecken, A.L.; Mahrer, A.; Rogers, K.; de Bruin, E.D.; Schättin, A. “HIIT” the ExerCube: Comparing the Effectiveness of Functional High-Intensity Interval Training in Conventional vs. Exergame-Based Training. *Front. Comput. Sci.* 2020, 2, 33.
47. Ketelhut, S.; Röglin, L.; Kircher, E.; Martin-Niedecken, A.L.; Ketelhut, R.; Hottenrott, K.; Ketelhut, K. The New Way to Exercise? Evaluating an Innovative Heart-rate-controlled Exergame. *Int. J. Sports Med.* 2022, 43, 77–82.
48. Coners, H.; Himmelmann, W.; Hebebrand, J.; Hesker, H.; Remschmidt, H.; Schäfer, H. Percentile curves for body mass index for weight assessment in children and adolescents aged ten years and older (Perzentilkurven

für den Body-Mass-Index zur Gewichtsbeurteilung bei Kindern und Jugendlichen ab einem Alter von zehn Jahren). *Kinderarzt* 1996, 27, 1002–1007.

49. Ashwell, M.; Gunn, P.; Gibson, S. Waist-to-height ratio is a better screening tool than waist circumference and BMI for adult cardiometabolic risk factors: Systematic review and meta-analysis. *Obes. Rev.* 2012, 13, 275–286.
50. Bös, K.; Worth, A.; Opper, E.; Oberger, J.; Wagner, M.; Jekauc, D.; Woll, A. Motoric Ability and Activity in Children and Adolescents—Results of the MoMo Study (Motorische Fähigkeit und Aktivität von Kindern und Jugendlichen—Ergebnisse der MoMo-Studie). *Diabetes Aktuell* 2009, 7, 367–371.
51. Léger, L.A.; Mercier, D.; Gadoury, C.; Lambert, J. The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness. *J. Sports Sci.* 1988, 6, 93–101.
52. Martin-Niedecken, A.L.; Segura, E.M.; Rogers, K.; Niedecken, S.; Vidal, L.T. Towards socially immersive fitness games: An exploratory evaluation through embodied sketching. In *Proceedings of the CHI Play 2019—Extended Abstracts of the Annual Symposium Computer-Human Interaction in Play, Barcelona, Spain, 22–25 October 2019*; pp. 525–534.
53. World Health Organization. *Waist Circumference and Waist-Hip Ratio: Report of a WHO Expert Consultation*; World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2011.
54. Jekauc, D.; Voelkle, M.; Wagner, M.O.; Mewes, N.; Woll, A. Reliability, validity, and measurement invariance of the german version of the physical activity enjoyment scale. *J. Pediatr. Psychol.* 2013, 38, 104–115.
55. Paxton, R.J.; Nigg, C.; Motl, R.W.; Yamashita, M.; Chung, R.; Battista, J.; Chang, J.A. Physical activity enjoyment scale short form—does it fit for children? *Res. Q. Exerc. Sport* 2008, 79, 423–427.
56. Tanaka, H.; Monahan, K.D.; Seals, D.R. Age-predicted maximal heart rate revisited. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2001, 37, 153–156.
57. Schmider, E.; Ziegler, M.; Danay, E.; Beyer, L.; Bühner, M. Is It Really Robust?: Reinvestigating the robustness of ANOVA against violations of the normal distribution assumption. *Methodology* 2010, 6, 147–151.
58. Blanca, M.J.; Alarcón, R.; Arnau, J.; Bono, R.; Bendayan, R. Non-normal data: Is ANOVA still a valid option. *María. Psicothema* 2017, 29, 552–557.
59. Cohen, J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*; Lawrence Erlbaum Associates: Hillsdale, NJ, USA, 1988.
60. Pescatello, L.S.; Riebe, D.; Arena, R. *ACSM’s Guidelines for Exercise Testing and Prescription*; Lippincott Williams & Wilkins: Baltimore, MD, USA, 2014.
61. Chanal, J.; Cheval, B.; Courvoisier, D.S.; Paumier, D. Developmental relations between motivation types and physical activity in elementary school children. *Psychol. Sport Exerc.* 2019, 43, 233–242.
62. Sun, H. Impact of exergames on physical activity and motivation in elementary school students: A follow-up study. *J. Sport Health Sci.* 2013, 2, 138–145.
63. Lau, P.W.C.; Wang, J.J.; Maddison, R. A Randomized-Controlled Trial of School-Based Active Videogame Intervention on Chinese Children’s Aerobic Fitness, Physical Activity Level, and Psychological Correlates. *Games Health J.* 2016, 5, 1–8.
64. Dishman, R.K.; Motl, R.W.; Saunders, R.; Felton, G.; Ward, D.S.; Dowda, M.; Pate, R.R. Enjoyment mediates effects of a school-based physical-activity intervention. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2005, 37, 478–487.
65. Prochaska, J.J.; Sallis, J.F.; Slymen, D.J.; McKenzie, T.L. A longitudinal study of children’s enjoyment of physical education. *Pediatr. Exerc. Sci.* 2003, 15, 170–178.
66. Sallis, J.F.; Prochaska, J.J.; Taylor, W.C. A review of correlates of physical activity of children and adolescents. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2000, 32, 963–975.
67. Wallhead, T.L.; Ntoumanis, N. Effects of a Sport Education Intervention on Students’ Motivational Responses in Physical Education. *J. Teach. Phys. Educ.* 2004, 23, 4–18.
68. Warburton, D.E.R.; Bredin, S.S.D.; Horita, L.T.L.; Zbogar, D.; Scott, J.M.; Esch, B.T.A.; Rhodes, R.E. The health benefits of interactive video game exercise. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 2007, 32, 655–663.
69. Klein, M.J.; Simmers, C.S. Exergaming. Virtual inspiration, real perspiration. *Young Consum.* 2009, 10, 35–45.
70. Molina, K.I.; Ricci, N.A.; De Moraes, S.A.; Perracini, M.R. Virtual reality using games for improving physical functioning in older adults: A systematic review. *J. Neuroeng. Rehabil.* 2014, 11, 156.
71. Street, T.D.; Lacey, S.J.; Langdon, R.R. Gaming Your Way to Health: A Systematic Review of Exergaming Programs to Increase Health and Exercise Behaviors in Adults. *Games Health J.* 2017, 6, 136–146.
72. Biddle, S.J.H.; Gorely, T.; Marshall, S.J.; Murdey, I.; Cameron, N. Physical activity and sedentary behaviours in youth: Issues and controversies. *J. R. Soc. Promot. Health* 2004, 124, 29–33.
73. Sheehan, D.; Katz, L.; Kooiman, B. Exergaming and physical education: A qualitative examination from the teachers’ perspective. *J. Case Stud. Educ.* 2015, 4, 1–14.
74. Finco, M.D.; Reategui, E.; Zaro, M.A.; Sheehan, D.D.; Katz, L. Exergaming as an alternative for students unmotivated to participate in regular physical education classes. *Int. J. Game Based Learn.* 2015, 5, 1–10.

75. Madsen, K.A.; Yen, S.; Wlasiuk, L.; Newman, T.B.; Lustig, R. Feasibility of a Dance Videogame to Promote Weight Loss Among Overweight Children and Adolescents. *Arch. Pediatr. Adolesc. Med.* 2007, 161, 105–107.
76. Baranowski, T.; Abdelsamad, D.; Baranowski, J.; O'Connor, T.M.; Thompson, D.; Barnett, A.; Cerin, E.; Chen, T.A. Impact of an active video game on healthy children's physical activity. *Pediatrics* 2012, 129, e636–e642.
77. Ryan, R.M.; Deci, E.L. Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *Am. Psychol.* 2000, 55, 68–78.
78. Carroll, B.; Loumidis, J. Children's Perceived Competence and Enjoyment in Physical Education and Physical Activity Outside School. *Eur. Phys. Educ. Rev.* 2001, 7, 24–43.
79. Fairclough, S. Physical Activity, Perceived Competence and Enjoyment During High School Physical Education. *Eur. J. Phys. Educ.* 2003, 8, 5–18.
80. Csikszentmihalyi, M. *Beyond Boredom and Anxiety*; Jossey-Bass: San Francisco, CA, USA, 1975.
81. Sweetser, P.; Wyeth, P. GameFlow. A model for evaluating player enjoyment in games. *Comput. Entertain.* 2005, 3, 3.
82. Sinclair, J.; Hingston, P.; Masek, M. Considerations for the design of exergames. In *Proceedings of the 5th International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques in Australia and Southeast Asia*, Perth, Australia, 1–4 December 2007; Association for Computing Machinery: New York, NY, USA, 2007; pp. 289–295.
83. Klimmt, C. Dimensions and determinants of the enjoyment of playing digital games: A three-level model. In *Level Up. Digital Games Research Conference, Proceedings of the International Digital Games Research Conference*, Utrecht, The Netherlands, 4–6 November 2003; Copier, M., Raessens, J., Eds.; Utrecht University, Faculty of the Arts: Utrecht, The Netherlands, 2003; pp. 246–257.
84. Mellecker, R.; Lyons, E.J.; Baranowski, T. Disentangling Fun and Enjoyment in Exergames Using an Expanded Design, Play, Experience Framework: A Narrative Review. *Games Health J.* 2013, 2, 142–149.
85. Martin-Niedecken, A.L.; Schättin, A. Let the Body'n'Brain Games Begin: Toward Innovative Training Approaches in eSports Athletes. *Front. Psychol.* 2020, 11, 1–9.
86. Quaiser-Pohl, C.; Geiser, C.; Lehmann, W. The relationship between computer-game preference, gender, and mental-rotation ability. *Pers. Individ. Dif.* 2006, 40, 609–619.
87. Terlecki, M.S.; Newcombe, N.S. How important is the digital divide? the relation of computer and videogame usage to gender differences in mental rotation ability. *Sex Roles* 2005, 53, 433–441.
88. Hallal, P.C.; Andersen, L.B.; Bull, F.C.; Guthold, R.; Haskell, W.; Ekelund, U.; Alkandari, J.R.; Bauman, A.E.; Blair, S.N.; Brownson, R.C.; et al. Global physical activity levels: Surveillance progress, pitfalls, and prospects. *Lancet* 2012, 380, 247–257.
89. Pearce, M.S.; Basterfield, L.; Mann, K.D.; Parkinson, K.N.; Adamson, A.J.; Reilly, J.J. Early predictors of objectively measured physical activity and sedentary behaviour in 8-10 year old children: The gateshead millennium study. *PLoS ONE* 2012, 7, e137975.
90. Trost, S.G.; Pate, R.R.; Sallis, J.F.; Freedson, P.S.; Taylor, W.C.; Dowda, M.; Sirard, J. Age and gender differences in objectively measured physical activity in youth. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2002, 34, 350–355.
91. Peng, W.; Crouse, J. Playing in parallel: The effects of multiplayer modes in active video game on motivation and physical exertion. *Cyberpsychol. Behav. Soc. Netw.* 2013, 16, 423–427.
92. Xiang, M.; Zhang, Z.; Kuwahara, K. Impact of COVID-19 pandemic on children and adolescents' lifestyle behavior larger than expected. *Prog. Cardiovasc. Dis.* 2020, 63, 531–532.
93. Puccinelli, P.J.; da Costa, T.S.; Seffrin, A.; de Lira, C.A.B.; Vancini, R.L.; Nikolaidis, P.T.; Knechtle, B.; Rosemann, T.; Hill, L.; Andrade, M.S. Correction to: Reduced level of physical activity during COVID-19 pandemic is associated with depression and anxiety levels: An internet-based survey. *BMC Public Health* 2021, 21, 613.
94. Soltani, P.; Figueiredo, P.; Vilas-Boas, J.P. Does exergaming drive future physical activity and sport intentions? *J. Health Psychol.* 2021, 26, 2173–2185.

5.3 Studie 2b: Auswirkungen einer 12-wöchigen ExerCube-Intervention auf das physische Selbstkonzept

Bei den Kapiteln 5.3.1 bis 5.3.4 handelt es sich um eine deutschsprachige Zusammenfassung folgender Publikation:

Röglin, L., Stoll, O., Ketelhut, K., Martin-Niedecken, A. L.; Ketelhut, S. (2024). A 3-Month School-Based Exergaming Intervention Increases Students' Physical Self-Concept: A Randomized Controlled Trial. *German Journal of Exercise and Sport Research*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12662-024-00954-6>

Die englischsprachige Originalpublikation befindet sich in Kapitel 5.3.5. Eine umfassende Diskussion der Forschungsergebnisse erfolgt studienübergreifend in Kapitel 6.

5.3.1 Fragestellung

Wie in Kapitel 2.2.2 bereits angedeutet, weisen einige Studien darauf hin, dass Exergames das Selbstwertgefühl und die -wirksamkeit von Kindern positiv beeinflussen können. Dies konnte ebenfalls im Zusammenhang mit schulbasierten Exergaming-Interventionen aufgezeigt werden (Andrade et al., 2019, 2020; Joronen et al., 2017). Insgesamt liefert die Selbstkonzeptforschung im Kontext von Exergames jedoch inkonsistente Ergebnisse. Dies kann u. a. auf den Einsatz unterschiedlicher Exergaming-Produkte und Messinstrumente sowie auf entwicklungspsychologische Einflüsse (siehe Kapitel 5.1.2) zurückgeführt werden (Joronen et al., 2017). Darüber hinaus fehlen Untersuchungen zum Teilbereich des PSK im Exergaming. Diese könnten vor allem deshalb bedeutsam sein, da Studien davon ausgehen, dass der Einfluss von körperlicher Aktivität auf das Selbstwertgefühl durch das PSK vermittelt wird (Babic et al., 2014; Dishman et al., 2006; Slutzky & Simpkins, 2009; Sonstroem, 1997; Zamorano-García et al., 2021; Zsakai et al., 2015). Die verschiedenen Subskalen des PSK könnten somit detailliertere Informationen über den Zusammenhang von körperlicher Aktivität und dem allgemeinen Selbstkonzept liefern.

Im Vordergrund dieser Studie stand die Fragestellung, ob eine dreimonatige ExerCube-Intervention im Setting Grundschule das PSK der Schüler*innen positiv beeinflussen kann und ob das Geschlecht, der BMI, der WHtR, das körperliche Aktivitätsniveau und das allgemeine Interesse am Sport mögliche Veränderungen moderieren?

5.3.2 Methode

Studienproband*innen und Setting

Für die Studie wurden 58 Schüler*innen ($10,43 \pm 0,69$ Jahre; 27 Mädchen) der 5. und 6. Klasse der Mercator-Grundschule in Berlin rekrutiert. Eine zuvor durchgeführte Poweranalyse (G*Power, Version 3.1.; Heinrich-Heine-Universität, Düsseldorf, Deutschland) zur Abschätzung der Stichprobengröße konnte ermitteln, dass 34 Teilnehmende ausreichend statistische Power (0,8) liefern würden, um Unterschiede nachweisen zu können. Hierbei wurde von einer mittleren Effektstärke von 0,25 (Cohens f) und einem Alpha-Level von 0,05 ausgegangen.

Die Information und Kommunikation mit der Schulleitung, allen Lehrenden und den Erziehungsberechtigten der Schüler*innen fand analog zur Teilstudie 2a statt (siehe Kapitel 5.2.2). Die Einschluss- und Ausschlusskriterien der Schüler*innen wurden ebenfalls identisch zur Teilstudie 2a definiert. Alle Untersuchungen fanden analog zur Teilstudie 2a in denselben Räumlichkeiten der Schule statt und wurden von geschultem Studienpersonal durchgeführt (siehe Kapitel 5.2.2).

Die Studie wurde von der Forschungskommission des Medical Centers Berlin (2020-09-RK1) genehmigt und nach internationalen Standards durchgeführt (Weltärztebund, 2013).

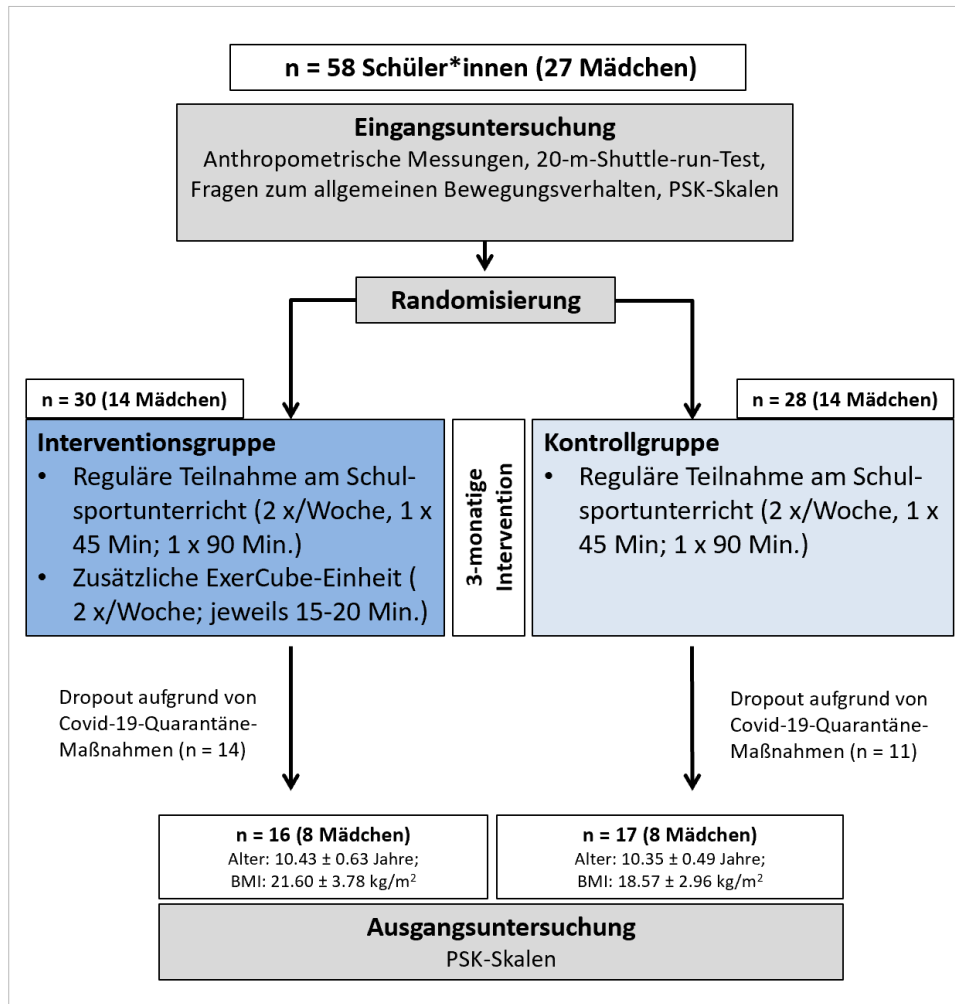
Studiendesign und -ablauf

Die Studie wurde als zweiarmiges Parallelgruppendesign durchgeführt, das aus einer Eingangsuntersuchung, einer anschließenden dreimonatigen Interventionsphase sowie einer Ausgangsuntersuchung bestand. Die während der Eingangsuntersuchung durchgeführten anthropometrischen Messungen und Fragebogenerhebungen zum Aktivitätsniveau sowie der 20-m-Shuttle-Run-Test wurden analog zu der Eingangsuntersuchung in Teilstudie 2a durchgeführt (siehe Kapitel 5.2.2). Im Rahmen der Eingangsuntersuchung dieser Teilstudie wurden die Schüler*innen darüber hinaus gebeten, die PSK-Skalen (Stiller et al., 2004) für Kinder und Jugendliche auszufüllen. Nach der Eingangsuntersuchung erfolgte die Randomisierung der Schüler*innen in eine Interventionsgruppe (INT; n = 30) und eine Kontrollgruppe (CON = 28).

Während des darauffolgenden Interventionszeitraums besuchten alle Schüler*innen der INT und CON zweimal pro Woche den regulären Sportunterricht (einmal 90 Minuten und einmal 45 Minuten). Die Schüler*innen der INT nahmen zusätzlich zweimal wöchentlich an 15- bis 20-minütigen Exergaming-Einheiten im ExerCube teil (siehe Kapitel 3.3), die analog zur Teilstudie 2a während der Schulzeit durchgeführt wurden. Um einen reibungslosen Studienablauf sowie die regelmäßige Teilnahme sicherstellen zu können, wurden gemeinsam mit der Schulleitung und den jeweiligen Klassenlehrer*innen Stundenpläne für alle teilnehmenden Schüler*innen der INT erstellt. Eine Teilnahme an den ExerCube-Einheiten war während des gesamten Interventionszeitraums jedoch nicht verpflichtend.

Nach Beendigung des Interventionszeitraums wurden alle Schüler*innen der INT und CON im Rahmen der Ausgangsuntersuchung erneut gebeten, die PSK-Skalen auszufüllen.

Abbildung 10: Das Studiendesign der Studie 2b



Abkürzungen: BMI = Body-Mass-Index; PSK = Physisches Selbstkonzept.

Messwerte

Anthropometrie

Die anthropometrischen Messungen während der Eingangsuntersuchung fanden analog zur Teilstudie 2a statt (siehe Kapitel 5.2.2).

Körperliches Aktivitätsniveau und allgemeines Sportinteresse

Für die Erfassung des wöchentlichen körperlichen Aktivitätsniveaus sowie des allgemeinen Interesses am Sport wurden ausgewählte Fragen des MoMo-AFB (Bös et al., 2009) genutzt (siehe Teilstudie 2a; Kapitel 5.2.2).

Physisches Selbstkonzept

Zur Messung des PSK der Schüler*innen vor und nach dem Interventionszeitraum wurden die PSK-Skalen von Stiller et al. (2004) für Kinder und Jugendliche eingesetzt. Die PSK-Skalen bestehen aus insgesamt 46 Items (= PSK gesamt), die in 8 Subskalen untergliedert sind. 7 dieser Subskalen messen die körperlichen Fähigkeiten „Kraft“ (= 6 Items), „Ausdauer“ (= 6 Items), „Schnelligkeit“ (= 6 Items), „Flexibilität“ (= 6 Items), „Koordination“ (= 6 Items) und „sportliche Kompetenz“ (= 6 Items), und eine Subskala misst das „körperliche Erscheinungsbild“ (= 10 Items). Für beide Messzeitpunkte wurde jeweils ein Mittelwert für das „PSK gesamt“ sowie für alle 7 Subskalen berechnet.

Die PSK-Skalen basieren auf einer Vorläuferversion des „Physical Self Description Questionnaire“ (PSDQ; Marsh & Redmayne, 1994), dem „Fragebogen zum Körperbild“ (KSB; Alfermann & Stoll, 2000) sowie weiteren von Stiller et al. (2004) entwickelten Items. Die PSK-Skalen wurden als zuverlässiges Messinstrument mit guter interner Konsistenz für verschiedene Stichproben im Kontext von klassischen Sport- und Bewegungsinterventionen validiert (Stiller et al., 2004).

Herzfrequenz

Die Messung und entsprechende Einordnung der HF-Werte der Schüler*innen während der ExerCube-Einheiten erfolgte analog zu Teilstudie 2a (siehe Kapitel 5.2.2).

Ausdauerleistungsfähigkeit

Die aerobe Fitness der Schüler*innen wurde, wie in Teilstudie 2a, mithilfe des 20-m-Shuttle-Run-Tests (Léger et al., 1988) ermittelt. Die Durchführung des Pendellauftests sowie die Berechnung der geschätzten VO₂max-Werte der Schüler*innen wird in Kapitel 5.2.2 beschrieben.

Statistische Analyse

Die statistische Analyse der Daten erfolgte mit der Software IBM® SPSS Statistics für Windows, Version 27,0 (IBM Corp. Veröffentlicht 2020, Armonk, NY, USA). Festgelegt wurde ein Signifikanzniveau von $p \leq 0,05$. Alle Ergebnisse wurden jeweils als Mittelwerte \pm Standardabweichung angegeben. Zur jeweiligen Bestimmung der Effektstärke wurde Cohens f berechnet ($f > 0,1$: kleiner Effekt; $> 0,25$: mittlerer Effekt; $> 0,4$: großer Effekt; Cohen, 1988).

Zunächst wurde ein t-Test für unabhängige Stichproben durchgeführt, um die Schüler*innen der INT und der CON hinsichtlich der Zielp Parameter zu Studienbeginn zu vergleichen. Die Interaktionseffekte von Gruppe und Zeit (Gruppe x Zeit) wurden mithilfe eines allgemeinen linearen Modells mit wiederholten Messungen getestet. Geschlecht, BMI, WHtR, wöchentliches Aktivitätsniveau, Interesse am Sport und VO₂max wurden hierbei als Kovariaten einbezogen.

Um gruppeninterne Unterschiede des PSK der Schüler*innen vor und nach der Intervention zu bestimmen, wurden ANOVAs durchgeführt.

Die Normalverteilung der Daten wurde im Vorfeld mithilfe des Kolmogorov-Smirnov-Tests überprüft. Der Test ergab, dass die Normalverteilung bei 2 Variablen verletzt wurde (PSK-Subskalen „Kraft“ und „PSK gesamt“). Aufgrund der Robustheit der ANOVA gegenüber Verletzungen der Normalverteilungsannahme (siehe Kapitel 5.2.3) wurden die voranstehend genannten Analysen dennoch durchgeführt und zusätzlich mit einem nichtparametrischen Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test validiert.

5.3.3 Ergebnisse

Alle Schüler*innen absolvierten die Eingangsuntersuchungen. Die Teilnahmequote an der ExerCube-Intervention lag bei 97 %. Während des gesamten Interventionszeitraums traten keine unerwünschten Ereignisse auf. Aufgrund von COVID-19-Quarantänemaßnahmen konnten 14 Schüler*innen der INT und 11 Schüler*innen der CON nicht an der Ausgangsuntersuchung teilnehmen und wurden von der Datenanalyse exkludiert.

Der t-Test ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen der INT und der CON für die Parameter Körpergröße, Taillenumfang, WHtR, VO₂max, körperliches Aktivitätsniveau und allgemeines Interesse am Sport zu Studienbeginn. Signifikante Unterschiede wurden hingegen für das Körpergewicht und den BMI festgestellt.

Es ließen sich signifikante Interaktionseffekte (Gruppe x Zeit) für „PSK gesamt“ ($p = 0,015$; $f = 0,47$) und die Subskalen „Flexibilität“ ($p = 0,017$; $f = 0,45$), „Koordination“ ($p = 0,045$; $f = 0,38$), „Kraft“ ($p < 0,001$; $f = 0,80$) und „Geschwindigkeit“ ($p = 0,029$; $f = 0,41$) feststellen. Für alle anderen Subskalen ließen sich keine signifikanten Interaktionseffekte feststellen („körperliches Erscheinungsbild“: $p = 0,129$, $f = 0,28$; „Ausdauer“: $p = 0,466$, $f = 0,13$ und „Sportkompetenz“: $p = 0,088$, $f = 0,31$). Keine der Kovariaten moderierte die Interaktionseffekte.

Innerhalb der INT zeigten sich signifikante Veränderungen für das „PSK gesamt“ ($p = 0,042$; $f = 0,58$) sowie die Subskalen „Kraft“ ($p < 0,001$; $f = 1,11$) und „Sportkompetenz“ ($p = 0,046$; $f = 0,56$) mit jeweils großen Effektstärken. Eine Borderline-Signifikanz ($p = 0,051$) mit einer großen Effektstärke ($f = 0,55$) wurde für die Subskala „Flexibilität“ festgestellt. Keine signifikanten Veränderungen konnten hingegen bei den Subskalen „Koordination“ ($p = 0,081$; $f = 0,48$), „Schnelligkeit“ ($p = 0,097$; $f = 0,46$), „körperliches Erscheinungsbild“ ($p = 0,082$; $f = 0,48$) und „Ausdauer“ ($p = 0,501$; $f = 0,18$) identifiziert werden. In der

CON zeigten sich keine signifikanten Veränderungen im PSK von prä zu post („PSK gesamt“: $p = 0,237$, $f = 0,31$; „Flexibilität“: $p = 0,198$, $f = 0,34$; „Kraft“: $p = 0,102$, $f = 0,43$; „Sportliche Kompetenz“: $p = 0,927$, $f = 0,03$; „Koordination“: $p = 0,312$, $f = 0,26$; „Schnelligkeit“: $p = 0,169$, $f = 0,36$; „körperliches Erscheinungsbild“: $p = 0,906$, $f = 0,03$ und „Ausdauer“: $p = 0,819$, $f = 0,05$).

Während der ExerCube-Einheiten erreichten die Schüler*innen der INT eine durchschnittliche HFmean von $86,76 \pm 1,96$ % ihrer individuellen HFmax.

5.3.4 Zusammenfassung

Die Ergebnisse der Studie deuten darauf hin, dass der ExerCube ein vielversprechender Ansatz für das Setting Schule ist, um das PSK von Fünft- und Sechstklässler*innen positiv zu beeinflussen. Dies könnte u. a. auf das adaptive Spieldesign des ExerCube zurückgeführt werden, das den Spielenden mithilfe von audiovisuellem Feedback Erfolgserlebnisse ermöglicht. Der Einsatz von adressatengerechten Exergames als zusätzlicher Bewegungsansatz in der Schule könnte demzufolge das eigene Kompetenzerleben steigern und die Wahrnehmung der körperlichen Fähigkeiten der Schüler*innen verbessern. Dies wiederum könnte sich positiv auf das allgemeine physische und psychische Wohlbefinden der Kinder sowie die körperliche, soziale und akademische Leistung auswirken (Babic et al., 2014). Weitere Studien unter Berücksichtigung verschiedener moderierender Einflussfaktoren sind jedoch nötig, um den Zusammenhang von PSK und gesundheitsbezogenem Verhalten besser zu verstehen.

5.3.5 **Originalpublikation:** A 3-Month School-Based Exergaming Intervention Increases Students' Physical Self-Concept: A Randomized Controlled Trial

Der Inhalt des Kapitels 5.3.5 wurde am 18. April 2024 als Originalartikel im *German Journal of Exercise and Sport Research* des Springer Nature Verlags publiziert. DOI: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12662-024-00954-6>. Basierend auf der eingereichten Version werden Tabellen, Abbildungen und Zitierungen in diesem Kapitel eigenständig nummeriert und bezeichnet. Zudem wurde der jeweilige Zitier- und Formatierungsstil der eingereichten Originalpublikation übernommen sowie die Abkürzungen.

© 2024. Reproduced with permission from Springer Nature, Geneststraße 5, 10829 Berlin, Germany.

Publikationsverlauf:

Eingereicht: 01. Juli 2023

Angenommen: 21. März 2024

Artikel online veröffentlicht: 18. April 2024

Autor*innenbeitrag:

Röglin, L. = L. R.; Stoll, O. = O. S.; Ketelhut, S. = S. K.; Martin-Niedecken, A. L. = A. L. M.-N. & Ketelhut, K. = K. K.

Konzepterstellung: L. R., S. K., K. K. und O. S.; Methodik/Studiendesign: L. R., S. K., O. S. und K. K.; Betreuung/Supervision: K. K. und A. L. M.-N.; Administration: K. K. und O. S.; Software (z. B. Programmierung, Softwareentwicklung und technischer Support): A. L. M.-N.; Ressourcen: K. K. und A. L. M.-N.; Untersuchungen/Forschung: L. R., K. K. und S. K.; Datenpflege: L. R.; Formale Analyse: L. R. und O. S.; Validierung: L. R., S. K. und K. K.; Visualisierung: L. R. und A. L. M.-N.; Schreiben – Erstellung eines Originalentwurfs: L. R.; Schreiben sowie Überarbeiten und Korrigieren der Publikation: L. R., S. K., O. S., A. L. M.-N. und K. K.

Abstract:

Background

Exergames are often regarded as innovative tools to promote physical activity. This study assesses whether a 3-month school-based exergaming intervention affects students' physical self-concept (PSC) and whether "gender," "body mass index (BMI)," "waist-to-height ratio (WtHR)," "weekly activity level," "VO₂max," and "interest in sports" moderate possible changes.

Methods

58 fifth- and six-grade students (27 girls) were randomized into an intervention group (INT; $n = 30$) and a control group (CON). All students completed baseline assessments (anthropometric measurements and a shuttle run test). Throughout an intervention period, the INT attended 15-20-minute exergaming sessions twice a week during school hours. Before and after the intervention, PSC was assessed in both INT and CON using the "PSC scales" including the subscales "strength," "endurance," "speed," "flexibility," "coordination," "sports competence," and "physical appearance."

To determine time x group interactions, a repeated measures general linear model was performed including "gender," "BMI," "WHtR," "weekly activity level," "interest in sports," and "VO₂max" as covariates. ANOVAs were performed to determine within-group effects.

Results

The analyses revealed significant time x group interaction effects for "PSC total" ($p = .015$) and the subscales "flexibility" ($p = .017$), "coordination" ($p = .045$), "strength" ($p < .001$), and "speed" ($p = .029$). None of the covariates moderated time x group interactions. Significant within-group effects from pre to post have been found for "PSC total" ($p = .042$), "strength" ($p < .001$), and "sports competence" ($p = .046$), and borderline significance for "flexibility" ($p = .051$) for the INT. For the CON, no significant differences were assessed.

Conclusion

School-based exergaming seems to be promising for improving students' PSC and therefore, positively affect their well-being.

Key words:

elementary school, exergaming intervention, physical self-concept, physical activity, long-term psychological effects

INTRODUCTION

A positive self-perception and a positive perception of one's abilities are essential for children's and adolescents' physical and psychological well-being (Craven & Marsh, 2008). In particular, the physical self-concept (PSC) represents a central component of self-definition in younger age (Harter, 1998). According to Alfermann, Stiller, and Würth (2003), the PSC (also referred to as global PSC; Fox, 1997; Marsh, 1994) integrates self-related information about one's own body. It includes subjective perceptions of the physical abilities strength, endurance, speed, flexibility, coordination, sports competence, on the one hand, and physical appearance on the other.

Overall, the PSC represents a sub domain of the multidimensional and hierarchically organized theoretical construct of self-concept, which is based on the model of Shavelson, Hubner, and Stanton (1976). According to Craven and Marsh (2008), self-esteem (also referred to as general self-concept or the global component of self-concept) is at the top of Shavelson et al.'s (1976) hierarchy, followed by a non-academic (including the PSC as well as the emotional and social self-concept) and an academic subdomain (e.g., Math).

Numerous studies highlighted the importance of the PSC for shaping self-esteem in adolescents (Fernández-Bustos et al., 2019; Harter, 1999; Schmidt et al., 2015). Furthermore, Dishman et al. (2006) indicate that a lower PSC can be related to a higher prevalence of depression and general psychological distress in this age group, as negative beliefs about the self play a critical causal role in the etiology of depression (Orth et al., 2013). Moreover, a bidirectional association between PSC and weight status has been reported (Zsakai et al., 2015; Martin-Ginis et al., 2005). This can be explained by the fact that weight status is linked to body satisfaction and body image, which, in turn, determine the configuration of self-concept, particularly during adolescence (Fenton et al., 2010). Furthermore, a bidirectional relationship between physical activity (PA) and PSC in children and adolescents has been suggested by various scholars (Babic et al., 2014; Slutzky & Simpkins, 2009; Sonstroem, 1997; Zamorano-García et al., 2021). On one hand, a higher PSC is linked to increased self-efficacy, a heightened perception of competence, and enhanced body satisfaction, which are considered important determining factors in being physically active (Sánchez-Miguel et al., 2020). On the other hand, engaging in PA appears to elevate self-efficacy, enhance perceptions of sports competence and physical acceptance, consequently contributing to an overall boost in PSC (Murgui et al., 2016; Noordstar et al., 2016).

Therefore, promoting an active lifestyle can help children and adolescents develop a positive physical self-perception, thus providing psychological and physiological benefits (Biddle et al., 2019; Brown et al., 2013; Poitras et al., 2016). Unfortunately, a large percentage of children and adolescents don't meet current recommendations of at least one hour of moderate-to-vigorous intensity PA per day (Guthold et al., 2020). Hence, developing effective and attractive PA interventions that help establish a positive PSC during childhood and early adolescence is important.

Especially, schools play a crucial role in PA promotion (De Bock, 2012; Kriemler et al., 2011) and developing children's self-concept (Liu et al., 2015; Zamorano-García et al., 2021). This might be attributed to the fact that children and adolescents spend a considerable part of their waking hours in school (Cale & Harris, 2006). Additionally, school-based interventions can easily adapt to local needs and resources, which is considered an essential prerequisite for implementing successful programs (De Bock, 2012).

However, previous research assessing children's PA levels and patterns in the school setting suggests that the structured environment might constrain activity levels during the school day (Mallam

et al., 2003; Mota et al., 2005). Since enjoyment is a key factor for PA engagement in children (Crane & Temple, 2015; Yan & McCullagh, 2004), schools should provide curricular and non-curricular PA interventions that satisfy children's needs for enjoyment. In this context, novel activities or varying familiar exercises have been reported to increase enjoyment (Allender et al., 2006; Lakicevic et al., 2020).

As state-to-the-art technology appeals to young people and most children and adolescents spend a considerable amount of their leisure time with screen-based activities (Trott et al., 2022), exergames could be a promising approach to promoting active lifestyles within the students' own digital culture. Exergaming is broadly defined as the combination of physical exercise and entertaining video game play (Oh & Yang, 2010) and has been reported to have numerous psychological and physiological benefits compared to sedentary behaviors (Gao et al., 2015; Lanningham-Foster et al., 2009; Mellecker & McManus, 2008; Ye et al., 2018) and even different forms of PA (Graf et al., 2009; Maddison et al., 2007; Peng et al., 2011). School-based research further indicates that exergames can be beneficial in enhancing children's PA beliefs and behaviors (Lwin & Malik, 2014), as well as increasing their activity time (Quinn, 2013) and moderate-to-vigorous PA (Ye et al., 2018).

Regarding children's self-esteem and self-efficacy, a few studies suggest that exergames may positively influence children's self-perceptions of competence and ability (Andrade et al., 2019, 2020; Gao, Hannan, et al., 2013). However, according to a review by Joronen et al. (2017) research in this field is contradictory with two of the four studies included found no intervention effect in self-efficacy, while the other two studies did. Furthermore, as far as we are aware, no study has yet examined the impact of an exergaming intervention on PSC and its various subscales, either in school or out-of-school settings. The PSC, however, can provide more detailed information about the relation between PA and self-esteem, as PSC has been shown to mediate this relation (Babic et al., 2014; Dishman et al., 2006). Furthermore, self-esteem is a more stable construct and reported to be less impacted by PA compared to PSC (Sonstroem & Morgan, 1989).

This study aims to address this research gap by assessing whether a 3-month school-based PA intervention, utilizing an innovative exergame, is capable of modulating students' PSC and its subscales "strength," "endurance," "speed," "flexibility," "coordination," "sports competence," and "physical appearance" in comparison to a non-treatment control group (CON). Furthermore, as previous studies have identified several factors such as sex, age, body mass index, and fitness status that moderate the association between PSC and PA (Babic et al., 2014; Molina-García et al., 2019), the study assessed whether "gender," "body mass index" ("BMI" = body mass (kg)/height (m)²), "waist-to-height ratio" ("WHtR" = waist circumference (cm)/height (cm)), "physical activity level," and "general interest in sports" moderate the PSC-changes over time. The exergame selected for this study is the exergame setting called ExerCube, which includes the moderate-to-high-intensity functional training exergame

scenario “Sphery Racer.” Previous studies indicate that the ExerCube provides an attractive and effective training experience for children, adolescents, and adults (Ketelhut et al., 2022a; Martin-Niedecken et al., 2020, 2019; Röglin et al., 2021).

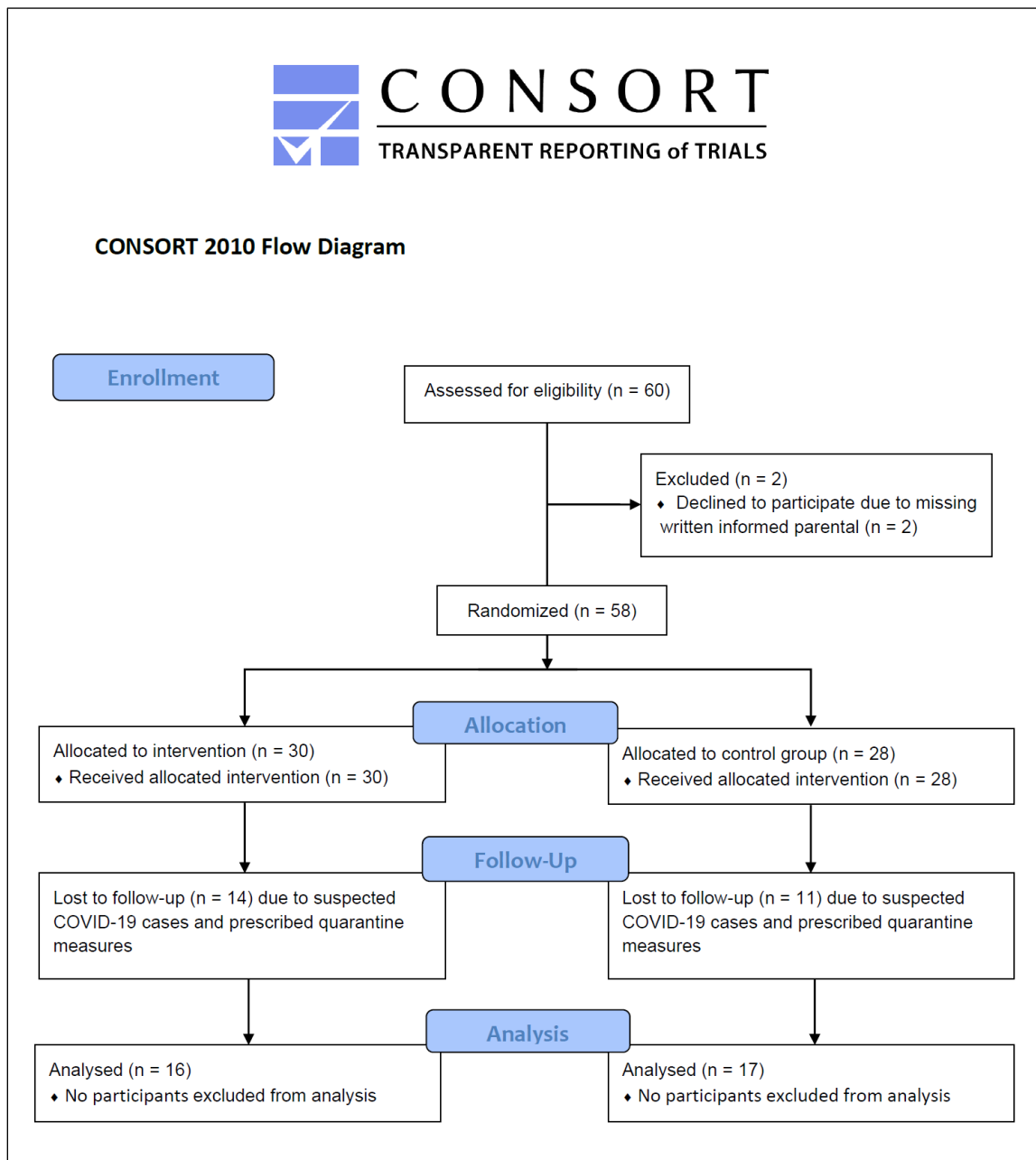
METHODS

Participants

Fifty-eight fifth- and six-grade students (10.4 ± 0.7 years; 27 girls) from an elementary school in Berlin (Germany) participated in this study. An a priori power analysis utilizing G*power (Version 3.1.; Heinrich Heine Universität, Düsseldorf, Germany) indicated that a sample size of 34 participants would provide sufficient power (0.8) to observe differences, assuming a medium effect size of 0.25 (Cohen’s f) and an alpha level of 0.05.

The school’s principal, teachers, and parents were informed about the procedure, and objectives of the study. Written student and parental consent were obtained prior to participation in the study. Only students who provided written parental consent were eligible to participate. Students with health conditions that restricted PA participation were excluded (Fig. 1).

Fig. 1 A CONSORT statement of participant flow



Instrumentation

Anthropometry. All measurements were conducted using standardized equipment. Standing height was assessed barefoot to the nearest 0.5 cm. Body mass was determined to the nearest 0.1 kg while the students wore light sports clothes. Waist circumference was measured to the nearest 0.5 cm at the umbilical line while the students were standing. WHtR and BMI were calculated for each student.

General Interest in Sports and Self-Reported Habitual Physical Activity. Students' general interest in sports and self-reported weekly PA were assessed using selected items of the "Motorik-Modul-

Physical-Activity-Questionnaire” for children and adolescents (MoMo-PAQ; Woll et al., 2011), which has been validated as a reliable and valid measuring instrument for physical activity (Jekauc et al., 2013). The students were asked to indicate the number of days they were physically active for more than 60 minutes in a typical week (0-7). Furthermore, they were asked to rank “*how interested are you in sports?*” using a 5-point bipolar rating scale ranging from “not interested” to “very interested.”

Physical Self-Concept. The “Physical Self-Concept scales” (“PSC scales”) for children, adolescents, and young adults (Stiller et al., 2004) were applied to assess the students’ PSC before and after the intervention period. The PSC scales consist of 46 items (PSC total) categorized into eight subscales. Seven subscales measure the physical abilities “strength” (six items), “endurance” (six items), “speed” (six items), “flexibility” (six items), “coordination” (six items), and “sports competence” (six items), and one subscale measures “physical appearance” (10 items). A mean score was calculated for “PSC total” and each subscale. The “PSC scales” are based on a preliminary version of the “Physical Self-Description Questionnaire” (PSDQ; Marsh & Redmayne, 1994) and the “Questionnaire of body image” (KSB; Alfermann & Stoll, 2000). The “PSC scales” have been validated as a reliable and valid measuring instrument with good internal consistency for different samples in sports and exercise (Stiller et al., 2004). All students of this study received standardized instructions on the “PSC scales” and were asked to complete the questionnaire as diligently and truthfully as possible.

Heart Rate. During the 15-20-minute exergaming sessions, HR was tracked using an HR monitor and a chest strap (Polar Electro Oy, Kempele, Finland). For each student, mean HR (HR_{mean}) was calculated by adding up the HR_{mean} values of each exergaming session throughout the intervention period. Exercise intensity is reported as percentage of HR_{max} calculated using the formula (HR_{max} = 208 – 0.7 * age) of Tanaka et al. (2001).

Aerobic Fitness. The multistage 20-m shuttle run test was utilized to evaluate the level of aerobic fitness. This test is considered a reliable and standard method for predicting VO₂max in both children and adults (Léger et al., 1988). During the test, students were required to run back and forth between two lines placed 20 m apart while maintaining a predetermined pace. This pace was set by audio signals emitted at specific frequencies.

The first stage of the test commenced at 8.5 km/h and was increased by 0.5 km/h per minute/stage. The students were instructed to keep running for as long as possible, completing as many shuttles and stages as they could. The test was finished when the student failed to reach the designated lines within the allotted time twice consecutively or when they decided to stop due to exhaustion.

To predict aerobic fitness, the number of fully completed shuttles and stages, as well as the maximum shuttle running speed, were recorded for each student. The VO₂max was calculated using the formula developed by Leger et al. (1988):

$$\begin{aligned} \text{VO}_2\text{max} = & 31.025 + 3.238 \times \text{maximal shuttle run speed} \\ & - 3.248 \times \text{age} + 0.1536 \\ & \times \text{maximal shuttle run speed} \times \text{age} \end{aligned}$$

The Exergame Setting

The ExerCube (Fig. 2) is a mixed reality cube-based exergame setting enabling the players to exercise within a merging of the real and digital worlds. The virtual game scenario is projected on three padded walls surrounding the player like an open trapeze.

Fig. 2 Student playing in the ExerCube by Sphery Ltd and performing different whole-body movement tasks

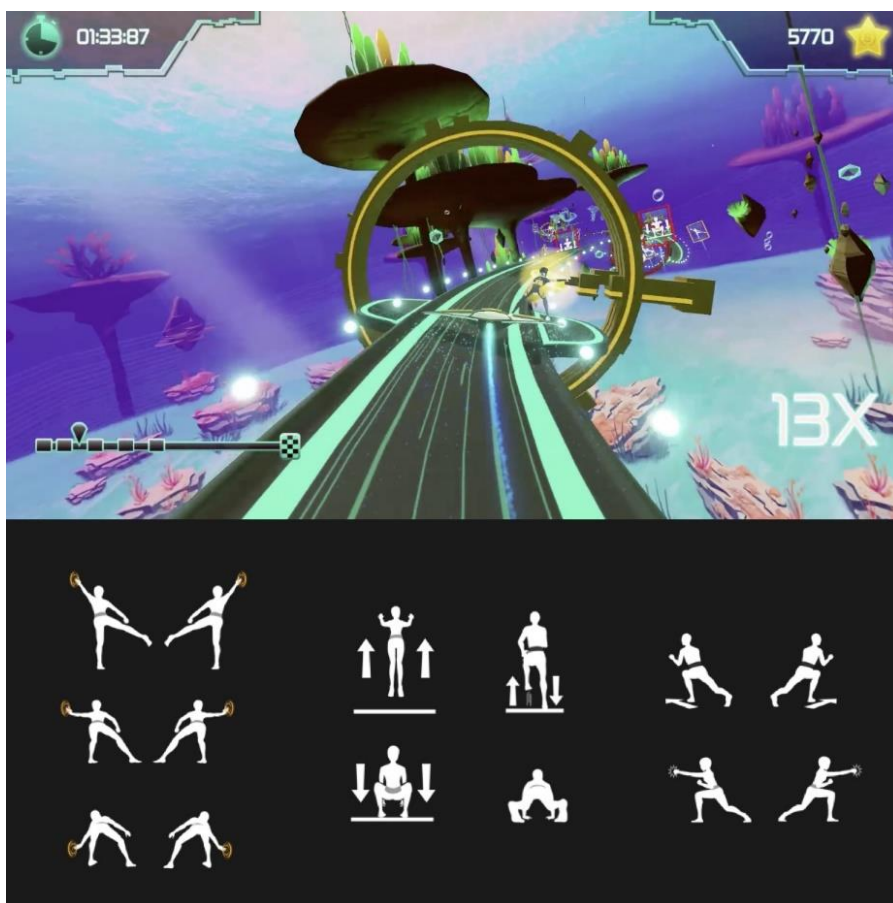


The players interact with the game by performing different functional whole-body movement tasks (e.g. jumps, squats, or lunges) and/or touching or punching into the walls (Fig. 3). The player's body position and movements are tracked throughout the game using a motion tracking system (HTC Vive tracker, HTC Europe Co. Ltd., Berkshire, UK).

During the intervention period, the students played the single-player experience “Sphery Racer.” The objective of the game is to navigate an avatar on a hoverboard through a virtual underwater racetrack. The player's full-body movements control the avatar and must be performed as accurately as possible to achieve the highest possible score. In addition, the timing influences the game play and score. Thus, the ExerCube challenges players on different levels (conditional, coordinative, and cognitive) based on the dual-flow training algorithm developed by Sphery Ltd. (Martin-Niedecken et al.,

2019). Furthermore, the game adapts to the player's abilities: The better the player's physical and cognitive performance, the more difficult and complex the game. The HR is continuously recorded throughout the game using an HR monitor and a chest strap (Polar Electro Oy, Kempele, Finland). Calibration at the beginning of each exergaming session guarantees an optimal player-exergame-adaptation, thus minimizing the possibility of cheating. Detailed information on the user-centered development of the ExerCube can be found in Martin-Niedecken et al. (2019).

Fig. 3 The exergame experience “Sphery Racer” and the different whole-body movement tasks



Procedure

The study was conducted as a two-arm parallel randomized controlled trial consisting of a baseline examination, an intervention period lasting three months, and a follow up examination. Baseline and follow up measurements, and all interventions took place on the school premises.

During the baseline examination, anthropometric measurements, including body mass, height, and waist circumference were determined to calculate the BMI and WHtR. Furthermore, the students' PSC was assessed using the "PSC scales" (Stiller et al., 2004). Additionally, selected items of the *MoMo-PAQ* (Woll et al., 2011) were used to assess students' general interest in sports and habitual PA. Finally,

the students completed a 20-m shuttle run test to estimate individual $VO_2\text{max}$. All measurements were performed by trained study staff members under the same conditions.

After the baseline examination, eligible students were randomized into an intervention group (INT; $n = 30$) and a control group ($n = 28$), stratified by sex. Throughout the 3-month intervention period, both the INT and the CON participated in regular PE classes twice a week (in total: 135 minutes), which were taught by a certified full-time PE teacher. During the intervention period, the INT further completed two 15-20-minute exergaming sessions in the ExerCube per week. The exergaming sessions were obligatory and conducted during school time but outside PE classes. Timetables were developed together with the respective class teachers for each student of the INT to guarantee regular participation. After the intervention period, both the INT and the CON completed the “PSC scales” (Stiller et al., 2004) again to evaluate PSC differences from pre to post.

Data Analysis

Statistical analyses were performed using IBM SPSS Statistics for Windows, Version 27.0 (IBM Corp. Released 2020, Armonk, NY, USA). The significance level was set at $p < .05$. All results are presented as means \pm standard deviation.

An independent t-test was conducted to compare the INT and CON at baseline. ANOVAs were performed to determine within-group effects. Time \times group interactions were tested with a repeated measures general linear model. “Gender,” “BMI,” “WHtR,” “weekly activity level,” “interest in sports,” and “ $VO_2\text{max}$ ” were included as covariates. Normal distribution was assessed using the Kolmogorov-Smirnow-Test revealing that normal distribution was violated for two variables. However, several studies confirm the robustness of ANOVA against violations of the normal distribution assumption (Blanca et al., 2017; Schmider et al., 2010). Therefore, we performed the reported analyses and further validated the effects' robustness with a non-parametric Wilcoxon signed-rank test. The latter supported the results. Effect sizes were calculated using Cohen's f (Cohen's $f > 0.1 =$ small effect; $> 0.25 =$ medium effect; $> 0.4 =$ large effect; Cohen, 1988).

RESULTS

All 58 students of the INT and CON completed the baseline examination. The exergaming session attendance rate for the INT was 97%. No adverse events occurred during the intervention period. Due to covid-19 quarantine measures, 14 students of the INT and 11 of the CON could not take part in the post assessments, and were therefore excluded from the analysis. The descriptive and anthropometric baseline measures are displayed in Table 1. The independent t-test revealed no significant differences between the INT and the CON for “height,” “waist circumference,” “WHtR,” “ $VO_2\text{max}$,” “physical activity level,” and “general interest in sports” at baseline. Significant differences

were reported for “body mass” and “BMI.” There were no significant ($ps > .05$) differences in anthropometric parameters between students who dropped out due to covid-19 quarantine measures and students included in the final analysis.

According to the age- and sex-specific BMI percentiles from Coners et al. (1996), six students (two girls) of the INT could be classified as obese (≥ 95 percentile), and two students (one girl) could be classified as overweight (≥ 85 percentile). Within the CON, three boys could be classified as obese (≥ 95 percentile), and two students (one girl) could be classified as overweight (≥ 85 percentile). For WHtR, nine students (three girls) of the INT reported values within the overweight range (WHtR cutoff of 0.5). Within the CON, six students (two girls) reported values above the WHtR cutoff.

The within-group effects determining changes of the students’ PSC over time are shown in Table 2. For the INT, significant changes in “PSC total” ($p = .042$, $f = 0.58$), “strength” ($p < .001$, $f = 1.11$), and “sports competence” ($p = .046$, $f = 0.56$) with large effect sizes could be detected. Borderline significance of $p = .051$ with a large effect size ($f = 0.55$) has been found for the subscale “flexibility.”

On the contrary, there were no significant changes in “coordination” ($p = .081$, $f = 0.48$), “speed” ($p = .097$, $f = 0.46$), “physical appearance” ($p = .082$, $f = 0.48$), and “endurance” ($p = .501$, $f = 0.18$). For the CON, no significant differences from PSC pre to PSC post were found for “PSC total” ($p = .237$, $f = 0.31$) and each PSC subscale “flexibility” ($p = .198$, $f = 0.34$), “strength” ($p = .102$, $f = 0.43$), “sports competence” ($p = .927$, $f = 0.03$), “coordination” ($p = .312$, $f = 0.26$), “speed” ($p = .169$, $f = 0.36$), “physical appearance” ($p = .906$, $f = 0.03$), and “endurance” ($p = .819$, $f = 0.05$).

The time x group interactions are presented in Table 2. The repeated measures general linear model revealed significant effects for “PSC total” ($p = .015$, $f = 0.47$) and the PSC subscales “flexibility” ($p = .017$, $f = 0.45$), “coordination” ($p = .045$, $f = 0.38$), “strength” ($p < .001$, $f = 0.80$), and “speed” ($p = .029$, $f = 0.41$) with medium to large effect sizes. No significant time x group interactions were found for the PSC subscales “physical appearance” ($p = .129$, $f = 0.28$), “endurance” ($p = .466$, $f = 0.13$), and “sports competence” ($p = .088$, $f = 0.31$). None of the covariates showed a significant effect. During the exergaming sessions, the students reached an average HRmean of $86.8 \pm 1.9\%$ of their individual maximum HR.

Table 1. Students' characteristics at baseline

Items	Total (n = 33)	INT (n = 16)	CON (n = 17)	<i>p</i> -Value
	M ± SD	M ± SD	M ± SD	
Boys/Girls (n)	17/16	8/8	9/8	
Age (years)	10.4 ± 0.5	10.4 ± 0.6	10.4 ± 0.5	
Height (cm)	3.8 ± 1.1	149.5 ± 8.5	145.9 ± 5.5	.072
Body mass (kg)	44.3 ± 11.2	48.9 ± 12.0	39.9 ± 8.4	.021
Waist circumference (cm)	66.2 ± 9.0	69.4 ± 9.2	63.2 ± 7.7	.052
BMI (kg·m ²)	20.0 ± 3.7	21.6 ± 3.8	18.6 ± 2.9	.018
WHtR	0.44 ± 0.05	0.46 ± 0.05	0.43 ± 0.04	.097
VO ₂ max (ml/kg/min)	43.7 ± 3.2	43.2 ± 3.1	44.1 ± 3.3	.456
Physical activity level (days/week with over 60 min)	2.9 ± 2.3	3.5 ± 2.5	2.4 ± 2.0	.200
General interest in sports (1 = no interest; 5 = very interested)	3.8 ± 1.1	4.0 ± 1.1	3.7 ± 1.0	.455

Values are means (M) ± standard deviations (SD).

Abbreviations: BMI = Body mass index; CON = control group; INT = intervention group; VO₂max = maximal oxygen consumption; WHtR = Waist-to-height ratio. *P*-values represent differences between INT and CON.

Table 2. Effects of the exergaming intervention on students' physical self-concept

Outcome	INT		CON		<i>p</i> -values	η^2
	pre	post	pre	post		
PSC total	137.9 ± 15.9	153.9 ± 20.1*	137.8 ± 18.3	133.2 ± 19.5	.015	.178
Strength	17.3 ± 2.7	21.1 ± 2.6***	17.6 ± 3.0	16.3 ± 3.2	< .001	.388
Endurance	16.1 ± 3.6	17.3 ± 4.3	15.5 ± 3.3	15.4 ± 4.5	.466	.017
Speed	18.6 ± 2.3	20.3 ± 3.9	18.6 ± 3.4	17.5 ± 3.3	.029	.145
Flexibility	18.9 ± 2.9	21.3 ± 2.6	19.5 ± 2.9	18.3 ± 3.6	.017	.169
Coordination	18.3 ± 2.8	20.2 ± 3.4	17.9 ± 2.5	17.0 ± 2.9	.045	.124
Sports competence	18.1 ± 3.1	20.1 ± 2.7*	17.4 ± 3.5	17.4 ± 3.9	.088	.091
Physical appearance	30.6 ± 6.3	33.6 ± 5.8	31.3 ± 4.8	31.4 ± 4.9	.129	.073

Values are means (M) ± standard deviations (SD).

Abbreviations: CON = control group; INT = intervention group; PSC = physical self-concept; η^2 = partial eta square.

* $p < .05$; ** $p < .01$; *** $p < .001$ represent changes from pre to post for intervention group and control group. *P*-values represent time x group interaction effects.

DISCUSSION

The purpose of this study was to assess changes in PSC and its subscales “strength,” “endurance,” “speed,” “flexibility,” “coordination,” “sports competence,” and “physical appearance” throughout a 12-week school-based exergaming intervention in fifth-to-six-grade students compared to a non-treatment CON. Additionally, the study determined whether “gender,” “BMI,” “WHtR,” “physical activity level,” and “general interest in sports” moderate these changes. The results provide initial evidence that a moderate-to-vigorous intensity exergaming intervention provides schools with a promising approach to increasing students' PSC. Notably, “gender,” “BMI,” “WHtR,” “physical activity level,” and “general interest in sports” did not affect changes in PSC.

Even though literature supports the positive effects of PA interventions on children's PSC (Ekeland et al., 2004; Lindwall & Lindgren, 2005), no previous study has assessed whether school-based exergaming interventions can induce similar effects. However, preliminary research has evaluated the effects of exergaming interventions on self-efficacy and self-esteem. Gao et al. (2013) found a significantly higher self-efficacy in children participating in a 9-month dance-based (Dance Dance revolution) exergaming intervention (3 x 30 minutes/week) compared to a control group participating in regular aerobic dance lessons. In this study, self-efficacy was measured using 6 items of the "Guide for Constructing Self-efficacy Scales." Staiano et al. (2013) reported positive effects on self-efficacy after 20 weeks of regular exergaming during school day or after school among overweight adolescents. The daily exergaming intervention in this study lasted 30-60 minutes, utilizing a console-based fitness video game (Wii Active). The "Exercise Confidence Survey" was applied to assess self-efficacy. Andrade et al. (2020) further found that three dance exergaming sessions performed on the Kinect® XBOX (Just Dance 2015) incorporated into PE class impact elementary school girls' self-esteem. Self-esteem was measured using the Rosenberg Self-Esteem Scale. On the contrary, Azevedo et al. (2014) reported no significant difference in self-efficacy between an school-based exergaming intervention with dance mats vs. a control group in a 12-month follow-up among 11-13-year-old students. In this study, self-efficacy was measured using the "Children's Physical Activity Self-Efficacy Survey." No significant change in self-esteem throughout a 20-week exergame intervention (Wii Active, 30-60 minutes/day) among overweight adolescents has been reported by Staiano et al. (2013) using the Rosenberg Self-Esteem Scale. The inconsistent results may be associated with considerable differences in study design. Apart from discrepancies in outcomes, intervention duration, measuring instruments, and enrolled participants, there were differences in the respective exergames applied. Based on the aforementioned studies, no tendencies can be identified as to which study design and which exergames achieve possible positive effects. The exergames investigated so far include only dance exergames and Wii Active fitness games. Both showed significant as well as non-significant results in terms of self-esteem and self-efficacy. The same applies to the length of the intervention, the demographics of the study participants, and the choice of measurement tools. Additionally, most of the studies did not examine the exercise intensity of the applied exergame.

We would argue that the positive effects in the present study can be attributed to the innovative game setup of the exergame employed. The ExerCube allows an individually tailored exercise experience as it adapts the game's difficulty and complexity to the player's physical and cognitive performance. Thus, the game enables the player to experience success. According to Joronen et al. (2017) this is an important factor as the experience of success while exergaming may strengthen the individual's sense of self-efficacy.

Furthermore, achievements in the game are reinforced by in-game feedback using sound, visuals, and a scoreboard. The adaptive game design and gratification may therefore have contributed to increasing the perception of one's abilities and thus improved the PSC. According to previous research, higher self-efficacy and improved perceptions of sports competence are relevant moderators of PSC (Noordstar, et al., 2016). This might be especially relevant for children with motor deficits. Inadequate motor performance can often impede successful participation in regular PE classes and other sports (Carroll & Loumidis, 2001), possibly decreasing PSC. In this concern, well-designed exergames can help children experience positive feedback from successful achievement. However, there is still a necessity to further address the relationship between adaptive, playful, and feedback-driven PA and PSC.

Furthermore, the exercise intensity attained during the exercise in the ExerCube could have been a reason for the positive results in the present study. Based on the HR recordings, the ExerCube triggered a medium-to-vigorous training intensity. According to Garn et al. (2020), especially moderate-to-vigorous PA is a predictor for changes in PSC in adolescents.

A study by Dishman et al. (2006) suggests that PA interventions should include aspects that emphasize "strength" and "coordination" as well as "general physical activity," as these PSC-subscales might have the most significant effect on global PSC and self-esteem. The specific movement tasks such as jumps, squats, burpees, and punches performed during the game coupled with the positive reinforcement may have increased the perception of the mentioned abilities and thus represents a strength of the ExerCube. This is supported by the significant time x group effects in the PSC subscales "coordination" and "strength." Furthermore, it has been shown that PA intervention primarily improves PSC when physical fitness is also enhanced (Schneider et al., 2008). A previous study demonstrated that a regular exergaming intervention using the ExerCube led to an improvement in physical fitness in children, which could also be a contributing factor to the positive modulation of the PSC (Ketelhut et al., 2022b).

Interestingly, none of the covariates moderated the time x group interaction effects. These findings reveal that the exergaming intervention is equally effective for boys and girls with different preconditions. The fact that gender did not affect the PSC throughout the exergaming sessions is a notable finding. Previous research found sex to be a moderator of the association between PA and PSC, with girls showing fewer associations (Babic et al., 2014). Furthermore, research shows that adolescent girls report a lower PSC than boys (Ketelhut et al., 2019).

Improving students' PSC is relevant as it is a central part of children's and adolescents' self-definition (Harter, 1998), which constitutes psychosocial well-being (Trzesniewski et al., 2003). Furthermore, the PSC is reported to play an essential role in children's and adolescents' physical and psychological health (Babic et al., 2014; Dishman et al., 2006). Research shows that self-concept is protective against depression and obesity (Park, 2003) as well as maladaptive behaviors (Kirkcaldy et al.,

2002; Nelson & Gordon-Larsen, 2006). Accordingly, enhancing PSC is an important developmental goal, especially in the critical transition period from childhood to adolescence and young adulthood (Harter, 1999).

Moreover, the finding that school-based exergaming interventions may positively influence students' PSC is relevant as a positive PSC could impact general PA behavior. Research shows that global PSC is an effect and a cause of exercise (Babic et al., 2014; Marsh et al., 2006). Marsh et al. (2006) assumed that a positive global PSC stimulates PA. Therefore, school-based exergaming programs might even encourage other types of PA (Dos Santos et al., 2016). Morales-Sánchez et al. (2021) reported that a better PSC had been linked to greater enjoyment and satisfaction and less boredom in PE classes. Thus, PSC enhancing exergaming interventions may affect overall school-based PA experience and general PA behavior. This is relevant for a considerable number of children, as in-school PA constitutes the foremost opportunity to be physically active (Bailey, 2006).

Limitations

Some limitations must be considered when interpreting the study's results. The first limitation is the duration of the intervention period, lasting only 12 weeks due to holidays and other school-related conditions. As self-development is a lifelong process that is undergoing serious changes especially in adolescence (Harter, 1999), it is questionable if such a short exercise intervention can modulate persistent changes in PSC. Even though Rostad and Long (1996) suggested that PA interventions lasting eight weeks can induce psychological benefits, follow-up studies are needed to examine the long-term effects of exergaming interventions on students' PSC and future health-related behavior. Furthermore, it is not clear whether the results of the study also apply to other grades.

A second limitation relates to the generalizability of the results. As all students were recruited from one school, it cannot be assumed that the findings hold true for other schools considering different school cultures or policies. Furthermore, research suggests that socioeconomic status may affect adolescents' PSC (Vollmer et al., 2021). Therefore, information on socioeconomic status, ethnic profile, academic performance should be considered when investigating PSC changes in future studies.

A third limitation is the fact that the exergame intervention was supervised by members of the study staff. Even though the study staff members were instructed to only supervise the intervention, it is not clear how their presence may have affected the students' self-perception.

Fourth, the formula developed by Tanaka et al. (2001) was used to calculate the individual HR_{max} of each student. However, it should be noted that this calculation provides only a rough estimation of the actual HR_{max} and is not specific to the study's sample.

Last, as the study was conducted during the Covid-19-pandemic in 2020, the distancing measures (e.g. leisure time and PA restrictions) could have impacted the students' PSC. However, in both INT and CON, PE classes took place throughout the whole intervention period, except for the last week.

CONCLUSION

The results of this study provide first evidence that a school-based moderate-to-high intensity exergaming intervention presents a promising approach to improve students' PSC, which is crucial for children's and adolescents' physical and psychological well-being. Using exergames as a complementary PA approach in the school setting could therefore enhance the perception of students' physical abilities, which in turn may facilitate physical, social, and academic outcomes. However, future studies are needed to confirm the influence of exergames on students' PSC in different age and target groups. Moreover, considering various moderating factors that impact children's and adolescents' PSC may help to better understand PSC and its links to health-related behavior and well-being.

Implications for Schools

The study results support the implementation of exergaming in school settings as an innovative approach to engage children in PA and positively modulate PSC. By using gamification and state-of-the-art technology, exergames may provide an exciting complement to analog PA programs. Especially, the combination of supportive feedback, customized game challenge, and rewards during exergaming might allow children to experience success and enjoyment while being physically active, thus supporting the PSC and promoting PA. Consequently, exergames may particularly address target groups that are unmotivated to participate in traditional PA interventions or PE classes (Finco et al., 2015). This is especially relevant in elementary schools, as Chanal et al. (2019) reported that most children lose motivation towards leisure-time PA at age nine.

However, exergames should not replace the PE curriculum. Instead, innovative PA approaches should be implemented into various daily routines such as lunchtime, recess, and after-school programs to expand school-based PA opportunities (Vaghetti et al., 2018). Timetables developed together with school's principals, teachers, and parents may promote regular participation.

REFERENCES

- Alfermann, D., Stiller, J., & Würth, S. (2003). Das physische Selbstkonzept bei sportlich aktiven Jugendlichen in Abhängigkeit von sportlicher Leistungsentwicklung und Geschlecht. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 35(3), 135–143. <https://doi.org/10.1026//0049-8637.35.3.135>
- Alfermann, D., & Stoll, O. (2000). Effects of Physical Exercise on Self-Concept and Well-Being. *International Journal of Sport Psychology*, 31(1), 47–65.
- Allender, S., Cowburn, G., & Foster, C. (2006). Understanding participation in sport and physical activity among

- children and adults: A review of qualitative studies. *Health Education Research*, 21(6), 826–835. <https://doi.org/10.1093/her/cyl063>
- Andrade, A., Correia, C. K., & Coimbra, D. R. (2019). The Psychological Effects of Exergames for Children and Adolescents with Obesity: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 22(11), 724–735. <https://doi.org/10.1089/cyber.2019.0341>
- Andrade, A., Mayron da Cruz, W., Correia, C. K., Goya Santos, A. L., & Bevilacqua, G. G. (2020). Effect of practice exergames on the mood states and self-esteem of elementary school boys and girls during physical education classes: A cluster-randomized controlled natural experiment. *PLoS ONE*, 15(6), 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232392>
- Azevedo, L. B., Burges Watson, D., Haighton, C., & Adams, J. (2014). The effect of dance mat exergaming systems on physical activity and health - Related outcomes in secondary schools: Results from a natural experiment. *BMC Public Health*, 14(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-14-951>
- Babic, M. J., Morgan, P. J., Plotnikoff, R. C., Lonsdale, C., White, R. L., & Lubans, D. R. (2014). Physical Activity and Physical Self-Concept in Youth: Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 44(11), 1589–1601. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0229-z>
- Bailey, R. (2006). Physical education and sport in schools: A review of benefits and outcomes. *Journal of School Health*, 76(8), 397–401. <https://doi.org/10.1111/j.1746-1561.2006.00132.x>
- Biddle, S. J. H., Ciaccioni, S., Thomas, G., & Vergeer, I. (2019). Physical activity and mental health in children and adolescents: An updated review of reviews and an analysis of causality. *Psychology of Sport and Exercise*, 42, 146–155. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2018.08.011>
- Blanca, M. J., Alarcón, R., Arnau, J., Bono, R., & Bendayan, R. (2017). Non-normal data: Is ANOVA still a valid option? *Psicothema*, 29(4), 552–557. <https://doi.org/10.7334/psicothema2016.383>
- Brown, H. E., Pearson, N., Braithwaite, R. E., Brown, W. J., & Biddle, S. J. H. (2013). Physical activity interventions and depression in children and adolescents: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 43(3), 195–206. <https://doi.org/10.1007/s40279-012-0015-8>
- Cale, L., & Harris, J. (2006). School-based physical activity interventions: Effectiveness, trends, issues, implications and recommendations for practice. *Sport, Education and Society*, 11(4), 401–420. <https://doi.org/10.1080/13573320600924890>
- Carroll, B., & Loumidis, J. (2001). Children's Perceived Competence and Enjoyment in Physical Education and Physical Activity Outside School. *European Physical Education Review*, 7(1), 24–43. <https://doi.org/10.1177/1356336X010071005>
- Chanal, J., Cheval, B., Courvoisier, D. S., & Paumier, D. (2019). Developmental relations between motivation types and physical activity in elementary school children. *Psychology of Sport and Exercise*, 43, 233–242. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2019.03.006>
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Lawrence Erlbaum Associates.
- Coners, H., Himmelmann, W., Hebebrand, J., Hesker, H., Remschmidt, H., & Schäfer, H. (1996). Percentile curves for body mass index for weight assessment in children and adolescents aged ten years and older (Perzentilkurven für den Body-Mass-Index zur Gewichtsbeurteilung bei Kindern und Jugendlichen ab einem Alter von zehn Jahren). *Kinderarzt*, 27, 1002–1007.
- Crane, J., & Temple, V. (2015). A systematic review of dropout from organized sport among children and youth. *European Physical Education Review*, 21(1), 114–131. <https://doi.org/10.1177/1356336X14555294>
- Craven, R. G., & Marsh, H. W. (2008). The centrality of the self-concept construct for psychological wellbeing and unlocking human potential: Implications for child and educational psychologists. *Educational and Child Psychology*, 25(2), 104–118.
- De Bock, F. (2012). Promotion of physical activity in childhood and adolescence (Bewegungsförderung im Kindes- und Jugendalter). In G. Geuter & A. Holleder (Eds.), *Handbook on Physical Activity Promotion and Health (Handbuch Bewegungsförderung und Gesundheit)*. Verlag Hans Huber.
- Dishman, R. K., Hales, D. P., Pfeiffer, K. A., Felton, G. A., Saunders, R., Ward, D. S., Dowda, M., & Pate, R. R. (2006). Physical self-concept and self-esteem mediate cross-sectional relations of physical activity and sport participation with depression symptoms among adolescent girls. *Health Psychology*, 25(3), 396–407. <https://doi.org/10.1037/0278-6133.25.3.396>
- Dos Santos, H., Bredehoff, M. D., Gonzalez, F. M., & Montgomery, S. (2016). Exercise Video Games and Exercise Self-Efficacy in Children. *Global Pediatric Health*, 3, 2333794X16644139. <https://doi.org/10.1177/2333794x16644139>
- Ekeland, E., Heian, F., Hagen, K. B., Abbott, J. M., & Nordheim, L. (2004). Exercise to improve self-esteem in children and young people. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 1. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD003683.pub2>
- Fenton, C., Brooks, F., Spencer, N. H., and Morgan, A. (2010). Sustaining a positive body image in adolescence: an

- assets-based analysis. *Health & Social Care in the Community*, 18, 189–198. doi: 10.1111/j.1365-2524.2009.00888.x
- Fernández-Bustos, J. G., Infantes-Paniagua, Á., Cuevas, R., & Contreras, O. R. (2019). Effect of physical activity on self-concept: Theoretical model on the mediation of body image and physical self-concept in adolescents. *Frontiers in Psychology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01537>
- Finco, M. D., Reategui, E., Zaro, M. A., Sheehan, D. D., & Katz, L. (2015). Exergaming as an alternative for students unmotivated to participate in regular physical education classes. *International Journal of Game-Based Learning*, 5(3), 1–10. <https://doi.org/10.4018/IJGBL.2015070101>
- Fox, K. R. (1997). *The physical self: from motivation to well-being*. Human Kinetics.
- Gao, Z., Chen, S., Pasco, D., & Pope, Z. (2015). A meta-analysis of active video games on health outcomes among children and adolescents. *Obesity Reviews*, 16(9), 783–794. <https://doi.org/10.1111/obr.12287>
- Gao, Z., Hannan, P., Xiang, P., Stodden, D. F., & Valdez, V. E. (2013). Video game-based exercise, Latino children's physical health, and academic achievement. *American Journal of Preventive Medicine*, 44(3), 240–246. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2012.11.023>
- Gao, Z., Zhang, T., & Stodden, D. (2013). Children's physical activity levels and psychological correlates in interactive dance versus aerobic dance. *Journal of Sport and Health Science*, 2(3), 146–151. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2013.01.005>
- Garn, A. C., Morin, A. J. S., White, R. L., Owen, K. B., Donley, W., & Lonsdale, C. (2020). Moderate-to-vigorous physical activity as a predictor of changes in physical self-concept in adolescents. *Health Psychology*, 39(3), 190–198. <https://doi.org/10.1037/hea0000815>
- Graf, D. L., Pratt, L. V., Hester, C. N., & Short, K. R. (2009). Playing active video games increases energy expenditure in children. *Pediatrics*, 124(2), 534–540. <https://doi.org/10.1542/peds.2008-2851>
- Guthold, R., Stevens, G. A., Riley, L. M., & Bull, F. C. (2020). Global trends in insufficient physical activity among adolescents: a pooled analysis of 298 population-based surveys with 1.6 million participants. *The Lancet Child and Adolescent Health*, 4(1), 23–35. [https://doi.org/10.1016/S2352-4642\(19\)30323-2](https://doi.org/10.1016/S2352-4642(19)30323-2)
- Harter, S. (1998). The development of self-representations. In W. Damon & N. Eisenberg (Eds.), *Handbook of child psychology: Social, emotional, and personality development* (pp. 553–617). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1026//0942-5403.8.3.189>
- Harter, S. (1999). *The construction of the self. A developmental perspective*. The Guilford Press.
- Jekauc, D., Wagner, M. O., Kahlert, D., & Woll, A. (2013). Reliabilität und Validität des Momo-Aktivitätsfragebogens für Jugendliche (Momo-Afb). *Diagnostica*, 59(2), 100–111. <https://doi.org/10.1026/0012-1924/a000083>
- Joronen, K., Aikasalo, A., & Suvitie, A. (2017). Nonphysical effects of exergames on child and adolescent well-being: a comprehensive systematic review. *Scandinavian Journal of Caring Sciences*, 31(3), 449–461. <https://doi.org/10.1111/scs.12393>
- Ketelhut, S., Ketelhut, R. G., Kircher, E., Röglin, L., Hottenrott, K., Martin-Niedecken, A. L., & Ketelhut, K. (2022a). Gaming Instead of Training? Exergaming Induces High-Intensity Exercise Stimulus and Reduces Cardiovascular Reactivity to Cold Pressor Test. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, 9, 1–10. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2022.798149>
- Ketelhut, S., Röglin, L., Martin-Niedecken, A. L., Nigg, C. R., & Ketelhut, K. (2022b). Integrating regular exergaming sessions in the exercube into a school setting increases physical fitness in elementary school children: A randomized controlled trial. *Journal of clinical medicine*, 11(6), 1570. <https://doi.org/10.3390/jcm11061570>
- Ketelhut, S., Wehlan, E., & Ketelhut, K. (2019). Geschlechtsspezifische Unterschiede im physischen Selbstkonzept bei Schülerinnen und Schülern. *Sportunterricht*, 68(8), 345–350. <https://doi.org/10.30426/SU-2019-08-2>
- Kirkcaldy, B. D., Shephard, R. J., & Siefen, R. G. (2002). The relationship between physical activity and self-image and problem behaviour among adolescents. *Social Psychiatry and Psychiatric Epidemiology*, 37(11), 544–550. <https://doi.org/10.1007/s00127-002-0554-7>
- Kriemler, S., Meyer, U., Martin, E., Van Sluijs, E. M. F., Andersen, L. B., & Martin, B. W. (2011). Effect of school-based interventions on physical activity and fitness in children and adolescents: A review of reviews and systematic update. *British Journal of Sports Medicine*, 45(11), 923–930. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090186>
- Lakicevic, N., Gentile, A., Mehrabi, S., Cassar, S., Parker, K., Roklicer, R., Bianco, A., & Drid, P. (2020). Make Fitness Fun: Could Novelty Be the Key Determinant for Physical Activity Adherence? *Frontiers in Psychology*, 11, 1–5. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.577522>
- Lanningham-Foster, L., Foster, R. C., McCrady, S. K., Jensen, T. B., Mitre, N., & Levine, J. A. (2009). Activity-Promoting Video Games and Increased Energy Expenditure. *Journal of Pediatrics*, 154(6), 819–823. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2009.01.009>
- Léger, L. A., Mercier, D., Gadoury, C., & Lambert, J. (1988). The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness. *Journal of Sports Sciences*, 6(2), 93–101. <https://doi.org/10.1080/02640418808729800>

- Lindwall, M., & Lindgren, E. C. (2005). The effects of a 6-month exercise intervention programme on physical self-perceptions and social physique anxiety in non-physically active adolescent Swedish girls. *Psychology of Sport and Exercise*, 6(6), 643–658. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2005.03.003>
- Liu, M., Wu, L., & Ming, Q. (2015). How does physical activity intervention improve self-esteem and self-concept in children and adolescents? Evidence from a meta-analysis. *PLoS ONE*, 10(8), 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0134804>
- Lwin, M. O., & Malik, S. (2014). Can exergames impart health messages? Game play, framing, and drivers of physical activity among children. *Journal of Health Communication*, 19(2), 136–151. <https://doi.org/10.1080/10810730.2013.798372>
- Maddison, R., Mhurchu, C. N., Jull, A., Prapavessis, H., & Rodgers, A. (2007). Energy Expended Playing Video Console Games: An Opportunity to Increase Children’s Physical Activity? *Pediatric Exercise Science*, 19(3), 334–343. <https://doi.org/10.1123/pes.19.3.334>
- Mallam, K. M., Metcalf, B. S., Kirkby, J., Voss, L. D., Wilkin, T. J., Coupland, C., Hippisley-cox, J., Kendrick, D., Groom, L., & Cross, E. (2003). Contribution of timetabled physical education to total physical activity in primary school children: cross sectional study. *BMJ*, 327(September 2003), 592–593.
- Marsh, H. W. (1994). The Importance of Being Important: Theoretical Models of Relations between Specific and Global Components of Physical Self-Concept. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 16(3), 306–325. <https://doi.org/10.1123/jsep.16.3.306>
- Marsh, H. W., Papaioannou, A., & Theodorakis, Y. (2006). Causal ordering of physical self-concept and exercise behavior: Reciprocal effects model and the influence of physical education teachers. *Health Psychology*, 25(3), 316–328. <https://doi.org/10.1037/0278-6133.25.3.316>
- Marsh, H. W., & Redmayne, R. S. (1994). A Multidimensional Physical Self-Concept and Its Relations to Multiple Components of Physical Fitness. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 16(1), 43–55. <https://doi.org/10.1123/jsep.16.1.43>
- Martin-Ginis, K. A., Eng, J. J., Arbour, K. P., Hartman, J. W., and Phillips, S. M. (2005). Mind over muscle?: sex differences in the relationship between body image change and subjective and objective physical changes following a 12-week strength-training program. *Body Image*, 2, 363–372. doi: 10.1016/j.bodyim.2005.08.003
- Martin-Niedecken, A. L., Mahrer, A., Rogers, K., de Bruin, E. D., & Schättin, A. (2020). “HIIT” the ExerCube: Comparing the Effectiveness of Functional High-Intensity Interval Training in Conventional vs. Exergame-Based Training. *Frontiers in Computer Science*, 2(10). <https://doi.org/10.3389/fcomp.2020.00033>
- Martin-Niedecken, A. L., Rogers, K., Vidal, L. T., Mekler, E. D., & Segura, E. M. (2019). Exercube vs. Personal trainer: Evaluating a holistic, immersive, and adaptive fitness game setup. *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1–15. <https://doi.org/10.1145/3290605.3300318>
- Mellecker, R. R., & McManus, A. M. (2008). Energy expenditure and cardiovascular responses to seated and active gaming in children. *Archives of Pediatrics and Adolescent Medicine*, 162(9), 886–891. <https://doi.org/10.1001/archpedi.162.9.886>
- Molina-García J, Castillo I, Queralta A, Álvarez O. (2019). Precursors of body dissatisfaction and its implication for psychological well-being in young adults. *Universitas Psychologica*, 18(2), 1–11. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.upsy18-2.pbdi>
- Morales-Sánchez, V., Hernández-Martos, J., Reigal, R. E., Morillo-Baro, J. P., Caballero-Cerbán, M., & Hernández-Mendo, A. (2021). Physical self-concept and motor self-efficacy are related to satisfaction/enjoyment and boredom in physical education classes. *Sustainability*, 13(16). <https://doi.org/10.3390/su13168829>
- Mota, J., Silva, P., Santos, M. P., Ribeiro, J. C., Oliveira, J., & Duarte, J. A. (2005). Physical activity and school recess time: Differences between the sexes and the relationship between children’s playground physical activity and habitual physical activity. *Journal of Sports Sciences*, 23(3), 269–275. <https://doi.org/10.1080/02640410410001730124>
- Murgui, S., García, C., and García, A. (2016). Efecto de la práctica deportiva en la relación entre las habilidades motoras, el autoconcepto físico y el autoconcepto multidimensional [Effect of sport practice on the relationship between motor skills, physical self-concept, and multidimensional self-concept]. *Revista de Psicología del Deporte (Journal of Sport Psychology)*, 25, 19–25.
- Nelson, M. C., & Gordon-Larsen, P. (2006). Physical activity and sedentary behavior patterns are associated with selected adolescent health risk behaviors. *Pediatrics*, 117(4), 1281–1290. <https://doi.org/10.1542/peds.2005-1692>
- Noordstar, J. J., van der Net, J., Jak, S., Helders, P. J., and Jongmans, M. J. (2016). Global self-esteem, perceived athletic competence, and physical activity in children: a longitudinal cohort study. *Psychology of Sport and Exercise*, 22, 83–90. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2015.06.009>
- Oh, Y., & Yang, S. (2010). Defining exergames and exergaming. *Proceedings of Meaningful Play Conference 2010*,

- Orth, U., & Robins, R. W. (2013). Understanding the link between low self-esteem and depression. *Current directions in psychological science*, 22(6), 455-460. <https://doi.org/10.1177/0963721413492763>
- Park, J. (2003). Adolescent self-concept and health into adulthood. *Health Reports*, 14, 41–52.
- Peng, W., Lin, J. H., & Crouse, J. (2011). Is playing exergames really exercising? A meta-analysis of energy expenditure in active video games. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 14(11), 681–688. <https://doi.org/10.1089/cyber.2010.0578>
- Poitras, V. J., Gray, C. E., Borghese, M. M., Chaput, J. P., Janssen, I., Katzmarzyk, P. T., Pate, R. R., Conner Gorber, S., Kho, M. E., Sampson, M., & Tremblay, M. S. (2016). Systematic review of the relationships between sleep duration and health indicators in school-aged children and youth. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, 41(6), S266–S282. <https://doi.org/10.1139/apnm-2015-0627>
- Quinn, M. (2013). Introduction of Active Video Gaming Into the Middle School Curriculum as a School-Based Childhood Obesity Intervention. *Journal of Pediatric Health Care*, 27(1), 3–12. <https://doi.org/10.1016/j.pedhc.2011.03.011>
- Röglin, L., Ketelhut, S., Ketelhut, K., Kircher, E., Ketelhut, R. G., Martin-Niedecken, A. L., Hottenrott, K., & Stoll, O. (2021). Adaptive High-Intensity Exergaming: The More Enjoyable Alternative to Conventional Training Approaches Despite Working Harder. *Games for Health Journal*, 10(6), 400–407. <https://doi.org/10.1089/g4h.2021.0014>
- Rostad, F., & Long, B. C. (1996). Exercise as a coping strategy for stress: a review. *International Journal of Sport Psychology*, 27(2), 197–222.
- Sánchez-Miguel, P. A., León-Guereño, P., Tapia-Serrano, M. A., Hortigüela-Alcalá, D., & López-Gajardo, M. A. (2020). The mediating role of the self-concept between the relationship of the body satisfaction and the intention to be physically active in primary school students. *Frontiers in public health*, 8:113. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00113>
- Schmider, E., Ziegler, M., Danay, E., Beyer, L., & Bühner, M. (2010). Is It Really Robust?: Reinvestigating the robustness of ANOVA against violations of the normal distribution assumption. *Methodology*, 6(4), 147–151. <https://doi.org/10.1027/1614-2241/a000016>
- Schmidt, M., Blum, M., Valkanover, S., & Conzelmann, A. (2015). Motor ability and self-esteem: The mediating role of physical self-concept and perceived social acceptance. *Psychology of Sport and Exercise*, 17, 15–23. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2014.11.006>
- Schneider, M., Dunton, G. F., & Cooper, D. M. (2008). Physical activity and physical self-concept among sedentary adolescent females; an intervention study. *Psychology of Sport and Exercise*, 9, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2007.01.003>
- Shavelson, R. J., Hubner, J. J., & Stanton, G. C. (1976). Self-Concept: Validation of Construct Interpretations. *Review of Educational Research*, 46(3), 407–441. <https://doi.org/10.3102/00346543046003407>
- Slutzky, C. B., & Simpkins, S. D. (2009). The link between children's sport participation and self-esteem: Exploring the mediating role of sport self-concept. *Psychology of Sport and Exercise*, 10(3), 381–389. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2008.09.006>
- Sonstroem, R. J. (1997). The physical self-system: A mediator of exercise and self-esteem. In R. K. Fox (Eds.), *The physical self: From motivation to well-being*. Human Kinetics.
- Sonstroem, R. J., & Morgan, W. P. (1989). Exercise and self-esteem: rationale and model. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 21(3).
- Staiano, A. E., Abraham, A. A., & Calvert, S. L. (2013). Adolescent Exergame Play for Weight Loss and Psychosocial Improvement: A Controlled Physical Activity Intervention. *Obesity*, 21(3), 598–601. <https://doi.org/10.1038/oby.2012.143>
- Stiller, J., Würth, S., & Alfermann, D. (2004). Die Messung des physischen Selbstkonzepts (PSK). *Zeitschrift für Differentielle und Diagnostische Psychologie*, 25(4), 239–257. <https://doi.org/10.1024/0170-1789.25.4.239>
- Tanaka, H., Monahan, K. D., & Seals, D. R. (2001). Age-predicted maximal heart rate revisited. *Journal of the American College of Cardiology*, 37(1), 153–156. [https://doi.org/10.1016/S0735-1097\(00\)01054-8](https://doi.org/10.1016/S0735-1097(00)01054-8)
- Trott, M., Driscoll, R., Irlado, E., & Pardhan, S. (2022). Changes and correlates of screen time in adults and children during the COVID-19 pandemic: A systematic review and meta-analysis. *EclinicalMedicine*, 48(101452). <https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2022.101452>
- Trzesniewski, K. H., Donnellan, M. B., & Robins, R. W. (2003). Stability of Self-Esteem Across the Life Span. *Journal of Personality and Social Psychology*, 84(1), 205–220. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.84.1.205>
- Vaghetti, C. A. O., Monteiro-Junior, R. S., Finco, M. D., Reategui, E., & Da Costa Botelho, S. S. (2018). Exergames experience in physical education: A review. *Physical Culture and Sport, Studies and Research*, 78(1), 23–32. <https://doi.org/10.2478/pcssr-2018-0010>
- Vollmer, J., Lohmann, J., & Giess-Stüber, P. (2021). Socioeconomic status and global physical self-concept of

- adolescents: a multilevel structural equation modeling approach. *German Journal of Exercise and Sport Research*, 51(2), 160–169. <https://doi.org/10.1007/s12662-020-00701-7>
- Woll, A., Kurth, B. M., Opper, E., Worth, A., & Bös, K. (2011). The “Motorik-Modul” (MoMo): Physical fitness and physical activity in German children and adolescents. *European Journal of Pediatrics*, 170(9), 1129–1142. <https://doi.org/10.1007/s00431-010-1391-4>
- Yan, J. H., & McCullagh, P. (2004). Cultural Influence on Youth’s Motivation of Participation in Physical Activity. *Journal of Sport Behavior*, 27(4), 378–390.
- Ye, S., Lee, J., Stodden, D., & Gao, Z. (2018). Impact of Exergaming on Children’s Motor Skill Competence and Health-Related Fitness: A Quasi-Experimental Study. *Journal of Clinical Medicine*, 7(9), 261. <https://doi.org/10.3390/jcm7090261>
- Zamorano-García, D., Infantes-Paniagua, Á., Cuevas-Campos, R., & Fernández-Bustos, J. G. (2021). Impact of Physical Activity-based Interventions on Children and Adolescents’ Physical Self-concept: A Meta-analysis. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 94(1), 1–14. <https://doi.org/10.1080/02701367.2021.1927945>
- Zsakai, A., Karkus, Z., Utczas, K., & Bodzsar, E. B. (2015). Body Structure and Physical Self-Concept in Early Adolescence. *Journal of Early Adolescence*, 37(3), 316–338. <https://doi.org/10.1177/0272431615602757>

6. Studienübergreifende Diskussion der Forschungsergebnisse

Das Ziel der im Rahmen der vorliegenden Dissertation durchgeführten Studien (1a und b sowie 2a und b) bestand darin, die Effektivität und Attraktivität des ExerCube „Sphery Racers“ zu untersuchen, um bewerten zu können, ob das Exergame ein geeignetes Tool für die Bewegungsförderung darstellt.

Hierfür wurden zum einen psychologische (Bewegungsfreude, Flow-Erleben und RPE) und physiologische Reaktionen (HF, Laktat, VO_2) auf akute ExerCube-Einheiten bei Erwachsenen (Studie 1a und b) untersucht. Zum anderen wurde eine Untersuchung psychologischer Reaktionen (Bewegungsfreude und PSK) während einer mehrwöchigen ExerCube-Intervention in der Grundschule (Studie 2a und b) durchgeführt. In allen Studien wurde der Einfluss verschiedener Kovariaten – darunter Geschlecht, BMI oder VO_{2max} – analysiert.

Zusammenfassend deuten die Forschungsergebnisse darauf hin, dass der ExerCube „Sphery Racer“ nicht nur einen intensiven Belastungsreiz hervorruft, sondern darüber hinaus die Bewegungsfreude und das Flow-Erleben der Proband*innen im Vergleich zu einem Dauerlauf positiv beeinflussen kann. Ferner zeigten sich positive Langzeiteffekte der ExerCube-Intervention hinsichtlich der Bewegungsfreude und des PSK von Schüler*innen.

Die einzelnen Forschungsergebnisse der jeweiligen Studien werden nachfolgend übergreifend diskutiert. Darüber hinaus werden die Limitationen der Studien aufgezeigt.

Belastungsintensität

Es konnte gezeigt werden, dass das Spielen des ExerCube „Sphery Racers“ nach den Vorgaben des ACSM (Pescatello et al., 2014) eine intensive Belastung darstellt. In den ersten beiden Teilstudien (1a und b) zeigte sich bspw., dass die erwachsenen Proband*innen eine HFmean von $86,07 \pm 4,33$ % ihrer individuellen HFmax erreichten. Eine ähnlich hohe HFmean konnte ebenfalls während der ExerCube-Intervention in der Grundschule (Studien 2a und b) konstatiert werden (Studie 2a: $87,17 \pm 1,92$ % und Studie 2b: $86,76 \pm 1,96$ % der individuellen HFmax der Schüler*innen).

Die hohe Belastungsintensität ließ sich durch die VO_{2mean} -Werte bestätigen. So erreichten die Proband*innen während der ExerCube-Einheit in der Teilstudie 1a eine VO_{2mean} von $66,01 \pm 5,09$ % ihrer individuellen VO_{2max} .

Laut dem ACSM ist die Belastungsintensität die wichtigste Variable, um kardiovaskuläre Trainingseffekte zu gewährleisten (Pescatello et al., 2014). Zwar zeigen Studien, dass auch ein Training mit moderater Intensität physiologische Anpassungen bewirken kann (Matthews et al., 2015; Sothorn et al., 1999), jedoch führen höhere Intensitäten zu stärkeren Anpassungen und mehr gesundheitlichen Vorteilen (Schnohr et al., 2012). Die Belastungsintensitäten, die während des Spielens des ExerCube „Sphery Racers“ erzielt werden konnten, liegen dabei sogar über den Intensitätsempfehlungen des ACSM für die

Entwicklung und Aufrechterhaltung der kardiorespiratorischen Fitness und Gesundheit (Garber et al., 2011).

Im Vergleich zu den HF-Werten, die in bisherigen Exergaming-Studien ermittelt werden konnten, lässt sich feststellen, dass die während der ExerCube-Einheiten ermittelten HF-Werte deutlich höher lagen. So berichten aktuelle Studien zu der am häufigsten untersuchten Exergaming-Konsole „Nintendo Wii“ mit unterschiedlichen Zielgruppen bspw. von durchschnittlichen HF-Werten zwischen 44 % und 77 % der maximalen HF der Spielenden bei verschiedenen Wii-Spielen (Bosch et al., 2012; Graves et al., 2010; Jordan et al., 2011; Willems & Bond, 2009). Auch Studien mit der Exergaming-Konsole XBOX 360 Kinect konnten ähnliche HF-Werte feststellen. In einer Studie von Viana et al. (2018) erreichten erwachsene Proband*innen bspw. eine mittlere HF von 71 % ihrer HFmax bei dem XBOX 360 Kinect-Spiel „Hollywood Workout“. Bei dem XBOX 360 Kinect-Spiel „River Rush“ konnten Tietjen und Devereux (2019) eine durchschnittliche HF von 60 % der HFmax bei erwachsenen Proband*innen nachweisen. Die höchsten HF-Werte, die während des Spielens verschiedener Fitness-Videospiele auf der XBOX 360 Kinect erreicht werden konnten, wurden von Monedero et al. (2017) bei jungen Erwachsenen gemessen. Die Spieler*innen in der Studie erzielten eine mittlere HF von 77 % ihrer HFmax. Von ähnlich hohen HF-Werten berichten auch Berg und Moholdt (2020), Moholdt et al. (2017) und Berg et al. (2022) in ihren Studien mit dem Fahrradergometer-Exergame „Pedal Tanks“ bei erwachsenen Proband*innen.

Ein weiteres intensives Exergame scheint das Tanzspiel „DDR“ zu sein, das auf verschiedenen Konsolen (z. B. Sony Playstation oder XBOX 360) oder dem Laptop mithilfe einer Tanzmatte gespielt wird. Studien zufolge können beim Spielen des Exergames mittlere HF von 70 % bis 82 % der HFmax erreicht werden (Tan et al., 2002). Die höchsten HF-Werte wurden dabei von Noah et al. (2011) bei erwachsenen Spieler*innen gemessen.

In Bezug auf die durchschnittliche VO_2 zeigen sich ebenfalls höhere Werte beim ExerCube „Sphery Racer“ (Studie 1a) als bei anderen Exergames (Jordan et al., 2011; Sell et al., 2008; Viana et al., 2018; Willems & Bond, 2009). Die höchsten durchschnittlichen VO_2 -Werte (62 % der VO_{2max}) wurden dabei in Studien von Berg und Moholdt (2020) und Moholdt et al. (2017) mit dem Fahrradergometer-Exergame „Pedal Tanks“ bei erwachsenen Proband*innen berichtet.

Hinsichtlich der Belastungsintensität beim ExerCube „Sphery Racer“ konnte im Rahmen der Teilstudie 1a dieser Arbeit darüber hinaus gezeigt werden, dass weder das Gewicht noch das Geschlecht oder die körperliche Fitness der Proband*innen die HF- oder VO_2 -Werte während der ExerCube-Einheit beeinflussten. Damit weichen die Ergebnisse von einer aktuellen Exergaming-Studie von Berg et al. (2022) ab, die ebenfalls ein Exergame mit einer mittleren bis hohen Belastungsintensität untersuchten. Die Autor*innen berichten, dass Frauen beim Spielen des Fahrradergometer-Exergame „Playpuls“ im Durchschnitt eine höhere relative Intensität erreichten als Männer. Mackintosh et al. (2016) und O’Loughlin et al. (2020) weisen darüber hinaus auf Unterschiede im Energieverbrauch zwischen

Männern und Frauen sowie zwischen fettleibigen und nicht fettleibigen Spieler*innen bei verschiedenen Exergames hin.

Es lässt sich resümieren, dass der ExerCube „Sphery Racer“ bislang zu einem der wenigen Exergames gehört, die ein Bewegungskonzept beinhalten, das ein intensives und individualisiertes Bewegungserlebnis gewährleistet. Regelmäßige Einheiten im ExerCube können den Spieler*innen somit dabei helfen, das von der WHO empfohlene tägliche Aktivitätsniveau zu erreichen (Bull et al., 2020) sowie individuelle leistungs- und gesundheitsfördernde Effekte zu erzielen (Garber et al., 2011).

Als Ursache für die hohen Belastungsintensitäten beim Spielen des ExerCube „Sphery Racers“ könnten dabei einerseits der Aufbau sowie andererseits das Spieldesign des ExerCube herangezogen werden. Hinsichtlich des Spieldesigns erfordert der ExerCube im Gegensatz zu vielen anderen Exergames, die hauptsächlich auf Bewegungen einzelner Körperteile basieren (siehe auch Kapitel 2.2.3), funktionelle Ganzkörperbewegungen, bei denen gleichermaßen Muskelgruppen des Unter- und Oberkörpers beansprucht werden. Studien zeigen, dass Exergames, bei denen mehr Muskelmasse beansprucht wird, höhere Belastungsintensitäten und einen höheren Energieverbrauch erzielen können (Jordan et al., 2011; O’Loughlin et al., 2020; Peng et al., 2011).

Des Weiteren erfordert die Größe des ExerCube ($\sim 9\text{m}^2$) Bewegungen mit großem Bewegungsumfang, um die Targets zu erreichen und Punkte zu sammeln (interaktive Hardware, siehe Kapitel 3.1). Darüber hinaus verwendet der ExerCube Bewegungstracker, die sowohl die Arm- als auch die Beinbewegungen der Spieler*innen erfassen (siehe auch Kapitel 3.2). Auf diese Weise werden die Körperbewegungen genauer verfolgt als bei Konsolen, die Tracker verwenden, die an den Handgelenken befestigt sind. Das präzisere Tracking kann dazu verhelfen, dass die Bewegungen exakter ausgeführt werden und Schummeln erschwert wird (Baranowski et al., 2014). Mit seinem Ganzkörperbewegungskonzept, seiner interaktiven Hardware und seinem Trackingsystem scheint der ExerCube somit ein gut durchdachtes Exergame zu sein, das die Schwachstellen vieler anderer Exergames beseitigt.

Bewegungsfreude und Flow-Erleben:

Trotz der beschriebenen hohen Belastungsintensitäten, die beim Spielen des ExerCube „Sphery Racers“ erreicht werden, konnte in Studie 1b gezeigt werden, dass das Exergame erwachsenen Proband*innen mehr Bewegungsfreude bereitete und ein höheres Flow-Erleben ermöglichte als ein moderater Ausdauerlauf. Darüber hinaus zeigt die Studie 2a, dass im Verlauf einer 12-wöchigen ExerCube-Intervention im Setting Grundschule die Bewegungsfreude der Schüler*innen trotz der hohen Belastungsintensitäten konstant blieb.

Dass Exergaming-Interventionen im Vergleich zu traditionellen Bewegungsangeboten (z. B. Sportunterricht, Laufen, Joggen oder Tanzen) in verschiedenen Zielgruppen signifikant mehr Bewegungsfreude bereiten können, ist im Rahmen verschiedener Übersichtsarbeiten und Studien

bereits umfassend belegt (Andrade et al., 2019; Gao et al., 2013; Graves et al., 2010; Joronen et al., 2017; Lee et al., 2017; Vernadakis et al., 2014). Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit (Studie 1b) weisen jedoch erstmals darauf hin, dass auch dann mehr Bewegungsfreude erzielt werden kann, wenn die objektive (HF) und subjektive (RPE-Wert) Belastungsintensität beim Exergaming deutlich höher liegt als die der Vergleichsbedingung. Dies ist vor allem deshalb von Bedeutung, da Untersuchungen darauf hindeuten, dass sich höhere Belastungsintensitäten in der Regel zulasten der Bewegungsfreude auswirken (Ekkekakis & Petruzzello, 1999; Saanijoki et al., 2015) und die Trainingsadhärenz reduzieren können (Perri et al., 2002). Die positiven affektiven Reaktionen auf ein Training scheinen dabei besonders dann schnell abzunehmen, wenn die Belastungsintensität über die Laktatschwelle hinaus ansteigt (Ekkekakis et al., 2011). Dies konnte im Rahmen der Studie 1b jedoch nicht bestätigt werden, in der bei allen Proband*innen die individuelle Laktatschwelle während der ExerCube-Einheit überschritten wurde.

Die Ergebnisse stehen im Einklang mit einer Studie von Glen et al. (2017), in der höhere Enjoyment-Scores bei einem Fahrrad-Exergame im Vergleich zu einem klassischen Training auf dem Fahrradergometer festgestellt werden konnten. Ähnliche Resultate zeigte eine Studie von Moholdt et al. (2017), in welcher das Fahrradergometer-Exergame „Pedal Tanks“ mit einem Spaziergang im Freien verglichen wurde. Auch Lee et al. (2017) berichteten in ihrer Übersichtsarbeit von einem möglichen Zusammenhang zwischen einem höheren Energieverbrauch beim Exergaming und positiven psychologischen Effekten, darunter Enjoyment, Motivation und Flow. Da die Belastungsintensitäten in den untersuchten Studien jedoch auf leichte bis moderate Intensitäten beschränkt waren, können die Autor*innen keine Schlussfolgerungen für höhere Belastungsintensitäten ziehen.

Hinsichtlich der Langzeiteffekte der 12-wöchigen ExerCube-Intervention im Setting Grundschule, kongruieren die Ergebnisse dieser Arbeit mit Exergaming-Studien von Sun (2013), Fu et al. (2018) und Lau et al. (2016). So stellte Sun (2013) keine Veränderung der Bewegungsfreude während einer vierwöchigen Exergaming-Intervention im Setting Grundschule mit 8 verschiedenen Exergames (darunter „Nintendo Wii“, „DDR“ oder „XrBoards“) fest. Die Intervention in dieser Studie erreichte jedoch lediglich leichte Belastungsintensitäten. Somit ist fraglich, inwiefern sich die Ergebnisse der Studie reproduzieren lassen, wenn Exergames mit hohen Intensitäten eingesetzt werden.

Fu et al. (2018) konnten während einer 12-wöchigen Exergaming-Intervention in der Vorschule sogar einen signifikanten Anstieg der Bewegungsfreude der Schüler*innen nachweisen. Die Autor*innen untersuchten jedoch nicht die Intensitäten der eingesetzten Exergames (darunter „GoNoodles“, „Adventure to Fitness“, and „Cosmic Kids Yoga“). Lau et al. (2016) stellten während einer 12-wöchigen Exergaming-Intervention nach der Schule bei 8-bis 11-jährigen Kindern im Vergleich zu einer Kontrollgruppe ebenfalls einen Anstieg der Bewegungsfreude fest. Allerdings erreichten die Ergebnisse keine

statistische Signifikanz und auch in dieser Studie wurde die Intensität der Exergaming-Intervention nicht untersucht.

Zur Erklärung, warum die Einheiten im ExerCube trotz ihrer hohen Belastungsintensitäten sowohl bei Kindern als auch Erwachsenen für positive psychologische Reaktionen sorgen, könnte u. a. der innovative Aufbau des ExerCube dienen. So bietet der ExerCube eine immersive Bewegungserfahrung, die es den Spielenden ermöglicht, direkt mit dem audiovisuellen Spielszenario zu interagieren. Laut Warburton et al. (2007) verfügt eine solche immersive Spielatmosphäre dabei über das Potenzial, von den physiologischen Herausforderungen des jeweiligen Spiels abzulenken. In diesem Zusammenhang könnte angenommen werden, dass Exergames nicht primär als Sport, sondern als eine Form der Unterhaltung wahrgenommen werden (Klein & Simmers, 2009). Molina et al. (2014) und Street et al. (2017) argumentieren darüber hinaus, dass der interaktive Charakter von Exergames von negativen Emotionen im Zusammenhang mit körperlicher Aktivität oder Sport ablenken kann. Exergames besitzen somit womöglich das Potenzial, insbesondere diejenigen Kinder und Erwachsenen zu körperlicher Aktivität zu motivieren, die mit traditionellen Bewegungsansätzen nicht erreicht werden können. Dies konnte auch in einer Studie von Finco et al. (2015) beobachtet werden, in der Schüler*innen, die normalerweise nicht motiviert waren, am Sportunterricht teilzunehmen, eine positive Einstellung gegenüber der Exergaming-Intervention zeigten.

Da Kinder und Jugendliche einen immer größeren Teil ihrer Freizeit mit bildschirmbasierten Aktivitäten verbringen (Biddle et al., 2004; Trott et al., 2022; siehe auch Kapitel 2.1.2) könnte angenommen werden, dass die Integration von Exergames in den Schulalltag einen unterhaltsamen und zielgruppengerechten Kontrast zum primär analogen Schulunterricht bietet. Diese Annahme wird durch die Ergebnisse der vorliegenden Studien gestützt, die zeigen konnten, dass die ExerCube-Einheiten den Schüler*innen mehr Bewegungsfreude bereiteten als der Sportunterricht, wobei keine der Kovariaten (Geschlecht, BMI, WHtR, wöchentliches Aktivitätsniveau, allgemeines Interesse am Sport und VO₂max) einen Einfluss zeigten. Mithilfe von Exergames könnten Schulen ihren Schüler*innen somit alternative freudbetonte Bewegungserlebnisse ermöglichen. Interessanterweise stellten Madsen et al. (2007) fest, dass die Dropout-Raten bei schulbasierten Exergaming-Interventionen deutlich niedriger waren als bei Exergaming-Interventionen zu Hause. Auch im Rahmen der in der vorliegenden Arbeit durchgeführten Schulstudie wurden keine Dropouts im Laufe der Exergaming-Intervention festgestellt. Dies deutet darauf hin, dass die Schule ein geeignetes Setting für die erfolgreiche Umsetzung von Exergame-basierten Bewegungsinterventionen im Kindesalter darstellt.

Als weitere Ursache für die positiven psychologischen Effekte während der ExerCube-Einheiten könnte das adaptive Spieldesign des ExerCube „Sphery Racers“ genannt werden, das sich an die körperliche und kognitive Leistungsfähigkeit der Spielenden anpasst. Auf diese Weise wird versucht, ein optimales Gleichgewicht zwischen der spielerischen Herausforderung und den eigenen kognitiven Fähigkeiten

sowie zwischen den Bewegungsaufgaben und der individuellen körperlichen Leistungsfähigkeit zu gewährleisten.

Nach der Flow-Theorie von Csikszentmihalyi (1975) gilt ein solches Gleichgewicht zwischen der Herausforderung und den eignen Fähigkeiten bei der Ausübung einer Tätigkeit als eine Voraussetzung für das Erleben von Flow, das als das Gefühl beschrieben wird, vollkommen auf eine bestimmte Tätigkeit konzentriert zu sein und Raum und Zeit zu vergessen. In diesem Zustand ist eine maximale intrinsische Motivation zu erwarten, die wiederum als Schlüsselkomponente für Enjoyment gilt (siehe auch Kapitel 2.2.2; Csikszentmihalyi & Rathunde, 1993; Ryan, 1995; Ryan & Deci, 2000). Auch im Rahmen der „GameFlow“-Forschung wird das Flow-Erlebnis als wichtige Determinante von Enjoyment angesehen und gilt als entscheidende Komponente für die Entwicklung erfolgreicher Exergames (Klimmt, 2003; Sinclair et al., 2007; Sweetser & Wyeth, 2005). Speziell für Exergames haben Sinclair et al. (2009, 2007) dabei in Anlehnung an die Flow-Theorie von Csikszentmihalyi (1975) das Modell des „Dual Flows“ entwickelt, das sowohl die psychologische Komponente der Attraktivität als auch die physiologische Komponente der Effektivität eines Exergames berücksichtigt. Die wichtigste Voraussetzung des „Dual Flows“-Modells ist somit das Gleichgewicht zwischen spielerischer Fähigkeit und Herausforderung sowie körperlicher Fitness und Belastungsintensität des Exergames. Diese Balance versucht der Algorithmus des ExerCube „Sphery Racers“ ebenso herzustellen. Da im Rahmen der vorliegenden Arbeit (Studie 1b) sowie in früheren Studien gezeigt werden konnte, dass der ExerCube „Sphery Racer“ bei Erwachsenen signifikant höhere Flow-Werte erzielen kann als traditionelle Trainingsansätze (Martin-Niedecken et al., 2020), könnte davon ausgegangen werden, dass der ExerCube „Sphery Racer“ individuelle Erfolgserlebnisse ermöglicht. Audiovisuell unterstützt wird das Spielerlebnis durch in das Spiel integrierte Feedback-Mechanismen. Zu diesen gehören ein adaptives Sounddesign, die Visualisierung der erreichten Level durch Punktestände sowie auditives Feedback durch den Spiel-Avatar zur Bewegungsausführung und zum -timing. Laut Lyons (2015) scheinen solche Feedback- und Belohnungsmechanismen wiederum einen Einfluss auf das Enjoyment und das Spielverhalten der Spieler*innen zu haben.

Auch im Rahmen der Selbstbestimmungstheorie (SDT) nach Ryan und Deci (2000) stellt das Grundbedürfnis nach Kompetenz eine Schlüsselkomponente zur Vorhersage der Motivation für ein bestimmtes Verhalten dar. Das Bedürfnis nach Kompetenzerleben ist dabei verknüpft mit der Suche nach der idealen Herausforderung und dem Erleben von individueller Wirksamkeit und persönlicher Entwicklung. Nach Whitehead (1993) werden als Belohnung für Verhaltensweisen, die zur Erreichung der angeborenen Bedürfnisse nach Kompetenz und Selbstbestimmung beitragen, Gefühle von Kompetenz, Unabhängigkeit und Enjoyment wahrgenommen, die wiederum die intrinsische Motivation aufrechterhalten oder verstärken. Weiterführende Studien aus motivationspsychologischer Perspektive könnten dabei helfen, die Wirkungsweise der ExerCube-Spielsoftware noch besser zu verstehen.

Die in der vorliegenden Arbeit untersuchten Kovariaten (Geschlecht, BMI, WHtR, wöchentliches Aktivitätsniveau, allgemeines Interesse am Sport und VO₂max) deuten ebenfalls darauf hin, dass sich der ExerCube „Sphery Racer“ optimal an die individuellen Voraussetzungen und Bedürfnisse der Spielenden anpasst. So geht aus Studie 1b einerseits hervor, dass das Geschlecht der erwachsenen Proband*innen hinsichtlich Bewegungsfreude und Flow-Erleben keinen signifikanten Einfluss auf die festgestellten Unterschiede zwischen der ExerCube-Einheit und dem Dauerlauf hatte. In der Studie 2a konnte darüber hinaus ermittelt werden, dass das Geschlecht der Kinder keinen signifikanten Einfluss auf die Bewertung der Bewegungsfreude während der 12-wöchigen Schul-Intervention zeigte.

Die Ergebnisse stehen im Einklang mit einer Studie von Soltani et al. (2020), in der gleichfalls keine Geschlechterunterschiede in Bezug auf die Bewegungsfreude beim Exergaming festgestellt werden konnten. Studien von Sun (2013) und Berg et al. (2022) weisen hingegen darauf hin, dass weibliche Personen beim Spielen von Exergames weniger Bewegungsfreude empfanden als männliche. Ähnliche Ergebnisse gehen aus Forschungsarbeiten aus dem klassischen Videospielebereich hervor (Quaiser-Pohl et al., 2006; Terlecki & Newcombe, 2005).

Dass Exergames dazu in der Lage sind, Mädchen und Jungen gleichermaßen zu moderater bis intensiver körperlicher Aktivität zu motivieren, ist von Bedeutung, da Mädchen in der Regel ein geringeres körperliches Aktivitätsniveau im hohen Intensitätsbereich aufweisen (Troost et al., 2002) und im Allgemeinen weniger Enjoyment am Sportunterricht empfinden (Carroll & Loumidis, 2001).

Neben dem Einfluss des Geschlechts wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit (Studie 2a) untersucht, inwiefern die Kovariaten BMI, WHtR, wöchentliches Aktivitätsniveau, allgemeines Interesse am Sport und VO₂max die Bewegungsfreude im ExerCube moderierten. In diesem Kontext konnte belegt werden, dass weder das allgemeine Interesse am Sport noch die VO₂max einen signifikanten Einfluss auf die Bewegungsfreude zeigten. Hingegen wurde ein Einfluss der Kovariaten BMI, WHtR und wöchentliches Aktivitätsniveau der Schüler*innen festgestellt. Anthropometrische Einflüsse auf die Bewegungsfreude konnten dabei ebenso in einer aktuellen Übersichtsarbeit von O’Loughlin et al. (2020) beobachtet werden. Die Autor*innen weisen darauf hin, dass übergewichtige und fettleibige Personen mehr Bewegungsfreude beim Exergaming empfinden als normalgewichtige Personen.

Auf der Grundlage der Forschungsergebnisse lässt sich abschließend festhalten, dass der ExerCube ein freudbetontes Exergame für verschiedene Zielgruppen zu sein scheint, das die Bewegungsfreude auch noch nach einem längeren Interventionszeitraum aufrechterhalten kann. Ungeachtet der Mittelwertvergleiche lässt sich auf individueller Ebene jedoch erkennen, dass bei einzelnen Schüler*innen die Bewegungsfreude im Laufe der Zeit abgenommen hat (Schulstudie 2a). Somit wäre es dennoch ratsam, die Exergaming-Intervention individuell anzupassen, um alle Schüler*innen langfristig zu erreichen. Ähnlich wie klassische Videospiele könnten dabei auch Exergames von regelmäßigen Aktualisierungen oder Erweiterungen der Spielsoftware profitieren, um die Spielenden

regelmäßig vor neue motorische und kognitive Herausforderungen zu stellen sowie neue audiovisuelle Reize zu setzen. Auch unterschiedliche Spielmodi (z. B. Mehrspielermodi: kooperativ und kompetitiv) könnten berücksichtigt werden, um die Bewegungsfreude der Exergamer*innen noch länger aufrechtzuerhalten (Peng & Crouse, 2013). So weisen Übersichtsarbeiten darauf hin, dass die soziale Interaktion während des Exergamings im Mehrspielermodus einen positiven Einfluss auf verschiedene psychologische Parameter haben kann (Andrade et al., 2019; Joronen et al., 2017; Lee et al., 2017). Vor allem kooperative Spiele scheinen laut Joronen et al. (2017) mehr Enjoyment zu bereiten und ein langanhaltendes Spielerlebnis zu fördern. Diese Tendenz wird ebenfalls bei übergewichtigen und fettleibigen Kindern und Heranwachsenden deutlich (Andrade et al., 2019).

Trotz der vielversprechenden Forschungsergebnisse sind weiterführende Exergaming-Studien notwendig, um ein besseres Verständnis dafür zu erlangen, welche Spielmechanismen und externen Einflussfaktoren (z. B. Setting, Übungsleiter*innen, Feedback) für eine langanhaltende Bewegungsfreude sorgen und wie das Spielerlebnis in Kombination mit den physischen Bewegungsaufgaben individuell noch besser an die jeweiligen Voraussetzungen und Bedürfnisse der Spielenden angepasst werden kann.

Physisches Selbstkonzept

Im Rahmen der Schulstudien (2a und b) konnte nicht nur gezeigt werden, dass die 12-wöchige Exergaming-Intervention über einen längeren Zeitraum hinweg Bewegungsfreude bereitete, sondern es wurde darüber hinaus ein positiver Einfluss der Intervention auf das PSK der Fünft- und Sechstklässler*innen festgestellt. Im Detail zeigen die Ergebnisse der Studie 2b, dass sich der PSK-Gesamtwert der INT sowie die PSK-Subskalen „Flexibilität“, „Koordination“, „Kraft“ und „Geschwindigkeit“ im Vergleich zur CON nach der Intervention signifikant verbessert haben. Keine der untersuchten Kovariaten (Geschlecht, BMI, WHtR, wöchentliches Aktivitätsniveau, allgemeines Interesse am Sport und VO₂max) moderierte dabei die Interaktionseffekte.

Während die positiven Effekte klassischer Bewegungsinterventionen auf das PSK von Kindern und Heranwachsenden in den letzten Jahrzehnten bereits gut untersucht wurden (Conzelmann, 2008; Ekeland et al., 2004; Whitehead & Corbin, 1997), fehlt es in der aktuellen Exergaming-Forschung an vergleichbaren Studien zum PSK und seinen Subskalen. Eine überschaubare Anzahl schulbasierter Forschungsarbeiten hat sich bisher primär auf die Auswirkungen von Exergaming-Interventionen auf die Selbstwirksamkeit und das Selbstwertgefühl von Kindern fokussiert. So stellten bspw. Gao et al. (2013) im Rahmen einer neunmonatigen tanzbasierten Exergaming-Intervention (Exergame = „DDR“; dreimal 30 Minuten/Woche) mit Viertklässler*innen fest, dass bei der INT signifikant höhere Selbstwirksamkeitswerte erzielt werden konnten als bei der CON, die an regulären Aerobic-Tanzstunden teilnahm. Die Exergaming-Intervention sowie die Kontrollbedingung wurden dabei in den

Sportunterricht integriert. Staiano et al. (2013) beobachteten bei übergewichtigen Jugendlichen (15 bis 19 Jahre) während einer 20-wöchigen Exergaming-Intervention (30-60 Minuten/Tag) mit dem konsolenbasierten Fitness-Videospiel „Wii Active“, das während der Mittagspause oder Nachmittagsbetreuung gespielt wurde, ebenfalls positive Auswirkungen auf die Selbstwirksamkeit. Hinsichtlich des Selbstwertgefühls konnten Andrade et al. (2020) in einer aktuellen Studie belegen, dass 3 einzelne in den Sportunterricht integrierte Exergaming-Einheiten mit einer Dauer von 40 Minuten („Just Dance 2015“ auf der Kinect® XBOX-Konsole) das Selbstwertgefühl von Grundschüler*innen (7 bis 11 Jahre) positiv beeinflussen können.

Im Gegensatz zu den genannten Ergebnissen stellten Azevedo et al. (2014) nach einer 12-monatigen Exergaming-Intervention mit Tanzmatten keine signifikanten Unterschiede in der Selbstwirksamkeit zwischen der Exergaming-Gruppe und der CON bei 11- bis 13-jährigen Schüler*innen fest. In der Studie von Staiano et al. (2013) zeigten sich ebenfalls keine signifikanten Veränderungen des Selbstwertgefühls während der 20-wöchigen „Wii-Active“-Intervention.

Wie in Kapitel 2.2.2 angedeutet, könnte die heterogene Befundlage auf Unterschiede im Studiendesign (z. B. Interventionsdauer, Messinstrumente, Exergames oder Zielgruppen) zurückgeführt werden.

Die positiven Interventionseffekte im Rahmen der vorliegenden Arbeit könnten wiederum mit dem adaptiven Spieldesign des ExerCube „Sphery Racers“ sowie mit den in das Spiel integrierten Feedback-Mechanismen erklärt werden. Laut Joronen et al. (2017) können Erfolgserlebnisse beim Exergaming dafür sorgen, dass die Wahrnehmung der eigenen Fähigkeiten verbessert und demnach das Selbstwirksamkeitsgefühl der Spielenden gestärkt wird. Aus motivationspsychologischer Perspektive stellen das Grundbedürfnis nach Kompetenz und das damit verknüpfte Erleben von individueller Wirksamkeit zentrale Bestandteile der SDT nach Ryan und Deci (2000) dar. Das Kompetenzbedürfnis impliziert dabei, dass Menschen den Wunsch haben, effektiv mit ihrem Umfeld zu interagieren, und bestimmte erwünschte Resultate zu erzielen (Ryan & Deci, 2000).

Exergames mit integriertem Feedback könnten Kindern durch individuelle positive Rückmeldungen zu Erfolgserlebnissen verhelfen und so das PSK der Kinder steigern. Insbesondere für Kinder mit motorischen Defiziten, deren Teilnahme am regulären Sportunterricht sowie an klassischen Sportarten häufig nicht von Erfolgserlebnissen geprägt ist, kann dies von Bedeutung sein (Carroll & Loumidis, 2001). Weiterführende Untersuchungen zu der Beziehung zwischen adaptiver und feedbackgesteuerter körperlicher Aktivität und dem PSK sind in diesem Zusammenhang allerdings unabdingbar, um optimale Bewegungsinterventionen gestalten zu können.

Eine weitere Erklärung für die positiven Veränderungen des PSK im Laufe der ExerCube-Intervention könnte auf die mittlere bis hohe Belastungsintensität der ExerCube-Einheit zurückgeführt werden. Laut Garn et al. (2020) gilt speziell eine hohe Belastungsintensität als ein Prädiktor für Veränderungen des PSK bei Jugendlichen. Dishman et al. (2006) empfehlen darüber hinaus, dass Bewegungsinterventionen

besonders Übungen und Maßnahmen beinhalten sollten, welche die „Kraft“ und „Koordination“ sowie die „allgemeine körperliche Aktivität“ der Teilnehmenden fördern, da diese PSK-Skalen die stärksten Auswirkungen auf das allgemeine PSK und das Selbstwertgefühl zu haben scheinen.

Die signifikanten Interaktionseffekte von Gruppe und Zeit für die PSK-Subskalen „Koordination“ und „Kraft“ sowie „Flexibilität“ und „Geschwindigkeit“ in der vorliegenden Arbeit könnten in diesem Zusammenhang darauf hindeuten, dass die verschiedenen Bewegungsaufgaben im ExerCube (siehe Kapitel 3.3.1) eine geeignete Auswahl darstellen, um positive Effekte im Hinblick auf die allgemeine Selbstwahrnehmung zu erzielen.

Die Tatsache, dass die untersuchten Kovariaten (Geschlecht, BMI, WHtR, wöchentliches Aktivitätsniveau, allgemeines Interesse am Sport und $VO_2\text{max}$) keinen Einfluss auf die Interaktionseffekte ausübten, deutet zudem darauf hin, dass die ExerCube-Intervention für alle untersuchten Schüler*innen trotz ihrer unterschiedlichen Voraussetzungen gleichermaßen wirksam war. Insbesondere im Hinblick auf das Geschlecht sind die Ergebnisse von Bedeutung, da frühere Forschungsergebnisse darauf hindeuten, dass das Geschlecht den Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und dem PSK moderiert. Bei Mädchen scheint hierbei ein geringerer Zusammenhang als bei Jungen vorzuliegen (Babic et al., 2014). Insgesamt deuten Studien zudem darauf hin, dass heranwachsende Mädchen einen niedrigeren PSK-Wert aufweisen als Jungen (Ketelhut et al., 2019).

Zusammenfassend lässt sich schlussfolgern, dass der ExerCube ein vielversprechendes Tool zur Bewegungsförderung im Setting Schule darstellt, das in der Lage ist, bei Fünft- und Sechstklässler*innen relevante Subskalen des PSK positiv zu beeinflussen. Aufgrund der großen Relevanz des PSK für die Selbstdefinition von Kindern und Jugendlichen (Harter, 1998; siehe auch Kapitel 5.1.2), könnte sich die ExerCube-Intervention somit positiv auf das allgemeine physische und psychische Wohlbefinden sowie die körperliche, soziale und akademische Leistung der Schüler*innen auswirken (Babic et al., 2014; Dishman et al., 2006). Marsh et al. (2006) weisen zudem darauf hin, dass ein positives PSK das allgemeine körperliche Aktivitätsverhalten von Schüler*innen günstig beeinflussen kann. So gilt ein positives PSK sowohl als Folge körperlicher Aktivität als auch als Ursache für körperliche Aktivität (Babic et al., 2014; Marsh et al., 2006). Dies wird besonders damit begründet, dass ein positives PSK mit mehr Enjoyment und Zufriedenheit sowie weniger Langeweile im Sportunterricht einhergehen kann (Morales-Sánchez et al., 2021). Da für einen Großteil der Heranwachsenden der Sportunterricht die wichtigste und zum Teil einzige Bewegungsmaßnahme im Alltag darstellt (Bailey, 2006), sind Maßnahmen zur Förderung der Teilnahme am Sportunterricht und der Zufriedenheit während des Unterrichts von zentraler Bedeutung. Exergaming-Interventionen könnten sich in diesem Zusammenhang positiv auf die Partizipation an klassischen schulbasierten Bewegungsangeboten auswirken (Dos Santos et al., 2016). Weiterführende Studien unter Berücksichtigung verschiedener

moderierender Einflussfaktoren sind allerdings notwendig, um den Zusammenhang zwischen dem PSK und gesundheitsbezogenem Verhalten und Wohlbefinden noch besser zu verstehen.

Limitationen:

Bei der Interpretation der Studienergebnisse sollten einige Einschränkungen berücksichtigt werden, die nachfolgend studienübergreifend diskutiert werden.

Eine erste Limitation bezieht sich auf die Vorerfahrung mit dem ExerCube „Sphery Racer“. Sämtliche Proband*innen der Studien 1a und b sowie 2a und b spielten das Exergame in den jeweiligen Untersuchungen das erste Mal und verfügten demzufolge über keinerlei Vorkenntnisse. Da Studien darauf hinweisen, dass unerfahrene Spieler*innen mehr Enjoyment beim Spielen von Exergames empfinden als erfahrene (Soltani et al., 2020), könnte argumentiert werden, dass die wahrgenommene Bewegungsfreude und das Flow-Erleben bei der Exergaming-Einheit von einem Novitätseffekt beeinflusst wurden. Dies betrifft speziell den Vergleich zwischen der ExerCube-Einheit und dem Dauerlauf (Studie 1b) sowie der ExerCube-Einheit und der Schulsportstunde (Studie 2a). Die Befundlage zum Einfluss der Spielerfahrung auf die Bewegungsfreude ist jedoch nicht eindeutig (O’Loughlin et al., 2020). Des Weiteren zeigen die Ergebnisse der Studie 2a, dass die Bewegungsfreude im Laufe der 12-wöchigen ExerCube-Intervention trotz einkehrender Routine nicht signifikant abnahm.

Zusätzlich zum Novitätseffekt könnte sich in der Studie 1b die Laborbedingung auf das Erleben von Bewegungsfreude und Flow ausgewirkt haben. So kann angenommen werden, dass das Joggen unter natürlichen Bedingungen positivere affektive Reaktionen auslöst als ein Dauerlauf auf dem Laufband. Weiterführende Studien unter Berücksichtigung verschiedener realer Vergleichsbedingungen wären notwendig, um die Ergebnisse zum ExerCube „Sphery Racer“ besser einordnen zu können. Das Joggen auf dem Laufband ermöglichte allerdings eine Standardisierung der Umgebungsbedingung und ein genaues Tracking der HF. Auf diese Weise wurde eine zielgerichtete Anpassung der Laufgeschwindigkeit möglich, die für das Studiendesign der vorliegenden Arbeit von Bedeutung war.

In Bezug auf die Vergleichsbedingung „Schulsportstunde“ ist zudem anzumerken, dass lediglich eine zufällig gewählte Sportstunde für die Erfassung der Bewegungsfreude ausgewählt wurde. Es könnte angenommen werden, dass die Bewegungsfreude sowohl durch den Inhalt als auch durch die Belastungsintensität des Unterrichts beeinflusst wurde und somit zwischen den Unterrichtseinheiten variieren könnte. Im Gegensatz zum Unterrichtsinhalt wurde die Belastungsintensität der Schüler*innen während des Sportunterrichts jedoch nicht erfasst. Ferner könnte sich die unterschiedliche Dauer der beiden Bedingungen (ExerCube-Einheit versus Schulsportstunde) auf die jeweils wahrgenommene Bewegungsfreude ausgewirkt haben.

Eine weitere studienübergreifende Limitation betrifft die Übertragbarkeit der Forschungsergebnisse auf andere Zielgruppen und Settings. An den Studien 1a und b nahmen ausschließlich gesunde Erwachsene

im Alter von $24,86 \pm 3,83$ Jahren teil. Da Studien und Übersichtsarbeiten darauf hindeuten, dass die Demografie und Anthropometrie der Spieler*innen Einfluss auf die Belastungsintensität und Bewegungsfreude während des Exergamings haben kann, kann nicht davon ausgegangen werden, dass die Ergebnisse der Arbeit ebenfalls auf andere Zielgruppen übertragbar sind. Dies betrifft vornehmlich ältere Personen und Risikopatient*innen. So zeigt sich in der Literatur eine Tendenz dahingehend, dass Spieler*innen unter 30 Jahren in der Regel einen höheren Energieverbrauch erzielen und mehr Enjoyment beim Exergaming empfinden als ältere (O'Loughlin et al., 2020; Peng et al., 2013). Da das Spielerlebnis des ExerCube „Sphery Racers“ jedoch adaptiv ist und die Kovariaten in den jeweiligen Studien kaum bis keinen Einfluss auf die Belastungsintensität und Bewegungsfreude zeigten, könnte davon ausgegangen werden, dass der ExerCube auch für unterschiedliche Individuen und Altersgruppen einen adäquaten Bewegungsansatz bietet.

In den Schulstudien 2a und b wurden sämtliche Proband*innen aus 2 Klassenstufen einer Schule rekrutiert. Auch hier kann nicht davon ausgegangen werden, dass die Ergebnisse für andere Schulen mit anderen Kulturen und Strukturen sowie für andere Klassenstufen zutreffen. Zudem wurden im Rahmen der beiden Studien keine sozioökonomischen Daten der Schüler*inne erfasst. Insbesondere in Bezug auf das PSK weisen Forschungsergebnisse jedoch darauf hin, dass sich der Sozialstatus auf das PSK von Jugendlichen auswirken kann (Gerlach, 2008; Vollmer et al., 2021). In Folgestudien sollte das soziale Umfeld der Heranwachsenden somit Berücksichtigung finden.

Wie in Kapitel 2.2.2 bereits angedeutet, weisen Studien ebenfalls darauf hin, dass externe Einflussfaktoren (z. B. die Anweisungen von Betreuer*innen) einen Einfluss auf die Effektivität der Exergaming-Intervention haben können. Die durchgeführten ExerCube-Einheiten im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden auch vom Studienpersonal betreut. Obwohl die Mitarbeitenden angewiesen waren, die Intervention lediglich zu beaufsichtigen, wurde nicht untersucht, wie sich ihre Anwesenheit auf das Spielerlebnis insgesamt sowie die Belastungsintensität und Bewegungsfreude der Schüler*innen ausgewirkt haben könnte. Zukünftige Studien sollten mögliche Moderatoren von Exergaming-Interventionen demzufolge noch stärker berücksichtigen.

Für die Studien 2a und b lässt sich nicht ausschließen, dass auch die Covid-19-Massnahmen (z. B. Freizeit- und Sport-Einschränkungen) die Bewertung des PSK und der Bewegungsfreude der Schüler*innen beeinflusst haben. Der Sportunterricht fand jedoch mit Ausnahme der letzten Woche während des gesamten Interventionszeitraums statt. Somit gab es keine Einschränkungen beim schulischen Bewegungsangebot während der Intervention.

Eine letzte Limitation bezieht sich auf die Interventionsdauer der verschiedenen Studien. Während in den Studien 1a und b akute Effekte gemessen wurden, die keinen Aufschluss über die physiologischen und psychologischen Langzeiteffekte des ExerCube „Sphery Racers“ ermöglichen, wurde in den Studien 2a und b ein 12-wöchiger Interventionszeitraum gewählt, der an die Schulferien und andere schulische

Gegebenheiten angepasst wurde. Besonders hinsichtlich des PSK ist jedoch zu hinterfragen, ob die 12-wöchige Dauer der Exergaming-Intervention ausreicht, um anhaltende Veränderungen im PSK zu modulieren. So ist, wie in Kapitel 5.1.2 beschrieben, die Selbstentwicklung ein lebenslanger Prozess, der besonders in der Adoleszenz von kognitiven Veränderungsprozessen beeinflusst wird (Burrmann, 2004; Harter, 2012; Mummendey, 2006; Trzesniewski et al., 2003). Zwar weisen Rostad und Long (1996) darauf hin, dass bereits achtwöchige Bewegungsinterventionen positive psychologische Effekte bewirken können, Folgestudien sind allerdings notwendig, um die langfristigen Auswirkungen von Exergaming-Interventionen auf das PSK der Schüler*innen und ihr Gesundheitsverhalten zu validieren. Im Hinblick auf die Bewegungsfreude sollte in zukünftigen Langzeitstudien zudem untersucht werden, inwiefern Exergaming-Interventionen die allgemeine Bewegungsfreude sowie das Sportverhalten beeinflussen können.

7. Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der ExerCube „Sphery Racer“ bislang zu einem der wenigen Exergames gehört, die ein adressatengerechtes Bewegungskonzept beinhalten, das nicht nur ein intensives, sondern gleichzeitig freudbetontes Bewegungserlebnis ermöglicht. Anzunehmen ist, dass regelmäßiges Spielen im ExerCube dabei helfen kann, individuelle leistungs- und gesundheitsfördernde Effekte zu erzielen. Auf der Grundlage der Forschungsergebnisse kann der ExerCube „Sphery Racer“ somit für den Einsatz im Rahmen der Bewegungsförderung empfohlen werden.

Vor allem unterschiedliche Settings wie Schulen, Rehaeinrichtungen und Fitnessstudios oder auch das betriebliche Gesundheitsmanagement könnten von innovativen, freudbetonten Bewegungsalternativen profitieren, um verschiedene Zielgruppen zu körperlicher Aktivität zu motivieren.

Im Hinblick auf frühpräventive Maßnahmen sollten dabei insbesondere Schulen vermitteln, dass Sport und Bewegung vielfältig sein können, um auf die unterschiedlichen Bedürfnisse der Schüler*innen eingehen zu können. Mit einem abwechslungsreichen Bewegungsangebot – bestehend aus klassischen Bewegungsmöglichkeiten und Exergames – könnten demnach verschiedenste Personengruppen angesprochen werden. Exergames sollten dabei jedoch keinesfalls als digitale Konkurrenz, sondern als eine Ergänzung zu klassischen Sportangeboten betrachtet werden, mit dem Ziel, das allgemeine Sport- und Bewegungsverhalten positiv zu beeinflussen.

Die vorliegenden Ergebnisse zum ExerCube „Sphery Racer“ ergänzen die aktuelle Exergaming-Forschung um wichtige Erkenntnisse im Hinblick auf sport- und gesundheitsorientierte Exergames, lassen jedoch keinesfalls Rückschlüsse auf andere Exergaming-Produkte zu. Dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund der in Kapitel 2.2.3 beschriebenen Tatsache, dass sich im Rahmen des Exergaming-Booms der letzten Jahre viele Produkte entwickelt haben, deren gesundheits- und leistungsförderlichen

Effekte unzureichend sind. Die Gamifizierung von körperlicher Aktivität allein scheint demnach nicht auszureichen, um das Bewegungsverhalten effektiv zu fördern (Marshall & Linehan, 2020). Vielmehr deutet die Forschung darauf hin, dass das optimale Zusammenspiel von Spielerlebnis und physischem Bewegungs- oder Trainingskonzept sowie die individuelle Passgenauigkeit von Exergame, Spieler*in und Setting entscheidend für die Wirksamkeit von Exergaming-Interventionen ist. Dies wiederum stellt eine komplexe Anforderung für Entwickler*innen dar.

Aufgrund der vielen unterschiedlichen Ausrichtungen und Facetten von Exergames auf dem Markt wächst die Notwendigkeit, Gütekriterien zu entwickeln, die bei der Auswahl eines geeigneten Exergames helfen und die Wirksamkeit einer Intervention sicherstellen. Ein erster Versuch, forschungsbasierte Exergame-Qualitätskriterien zu definieren, wurde im Rahmen des Projekts „Wissens- und Technologietransfer Serious Games“ der TU Darmstadt vorgenommen. In Kooperation mit dem DIN-Institut und Einrichtungen aus Forschung sowie Industrie wurde hierfür die DIN-Norm „DIN SPEC 91380: Serious Games Metadatenformat“ beantragt, die Entwickler*innen und Anwender*innen bei der systematischen Erfassung und Suche nach Spielen unterstützen soll (Caserman et al., 2020).

Ungeachtet der zunehmenden wissenschaftsbasierten Entwicklung und Evaluation von Exergames bedarf es in diesem Forschungsfeld jedoch weiterführender und vor allem interdisziplinärer Studien, um das bisher noch ungenutzte Potenzial der digitalen Bewegungsspiele aus physiologischer und psychologischer Perspektive vollständig ausschöpfen zu können. Im Hinblick auf die physische Effektivität von Exergames wird bspw. erkennbar, dass künftige Produkte noch stärker allgemeine Trainingsprinzipien und -konzepte aus dem klassischen Sport berücksichtigen sollten, um einen maximalen Nutzen zu erzielen. Um ein individuell abgestimmtes Spielerlebnis zu ermöglichen, könnte es zudem sinnvoll sein, Einstufungstests zu den physischen und kognitiven Fähigkeiten der Spieler*innen durchzuführen und damit das Spiel adressatengerecht anzupassen. Die verstärkte Integration psychophysischer Feedbackmechanismen in das Exergame könnte darüber hinaus individuelle Adaptionen während des Spiels ermöglichen. Aus psychologischer Perspektive sollten verstärkt Modelle zur Verhaltensänderung in die Exergame-Entwicklung einbezogen werden, um nachhaltige positive Effekte zu bewirken.

Mit seinem wissenschaftsorientierten und zugleich partizipativen Entwicklungsprozess, der grundlegende Trainingsprinzipien und aktuelle Designtrends berücksichtigt, geht der ExerCube „Sphery Racer“ mit gutem Beispiel voran und zeigt, welche Möglichkeiten innovative Bewegungstools bieten, wenn interdisziplinäre Zielsetzungen verfolgt werden. Die stetige Optimierung und Erweiterung der ExerCube-Soft- und Hardware für unterschiedliche Bedürfnisse und Settings verdeutlicht zudem das Entwicklungspotenzial von Exergames für bewegungs- und gesundheitsorientierte Zielstellungen.

8. Literaturverzeichnis

- AAP Council on communications and Media. (2013). Policy Statement. Children, adolescents, and the media. *Pediatrics*, 132(5), 958–961. <https://doi.org/10.1542/peds.2013-2656>
- Ahnert, J., & Schneider, W. (2007). Entwicklung und Stabilität motorischer Fähigkeiten vom Vorschul- bis ins frühe Erwachsenenalters: Befunde der Münchner Längsschnittstudie LOGIK. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 39(1), 12–24. <https://doi.org/10.1026/0049-8637.39.1.12>
- Alfermann, D., Stiller, J., & Würth, S. (2003). Das physische Selbstkonzept bei sportlich aktiven Jugendlichen in Abhängigkeit von sportlicher Leistungsentwicklung und Geschlecht. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 35(3), 135–143. <https://doi.org/10.1026//0049-8637.35.3.135>
- Alfermann, D., & Stoll, O. (2000). Effects of Physical Exercise on Self-Concept and Well-Being. *International Journal of Sport Psychology*, 31(1), 47–65.
- Allender, S., Cowburn, G., & Foster, C. (2006). Understanding participation in sport and physical activity among children and adults: A review of qualitative studies. *Health Education Research*, 21(6), 826–835. <https://doi.org/10.1093/her/cyl063>
- Andersen, L. B., Harro, M., Sardinha, L. B., Froberg, K., Ekelund, U., Brage, S., & Anderssen, S. A. (2006). Physical activity and clustered cardiovascular risk in children: a cross-sectional study (The European Youth Heart Study). *Lancet*, 368(9532), 299–304. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(06\)69075-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(06)69075-2)
- Andrade, A., Correia, C. K., & Coimbra, D. R. (2019). The Psychological Effects of Exergames for Children and Adolescents with Obesity: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 22(11), 724–735. <https://doi.org/10.1089/cyber.2019.0341>
- Andrade, A., Mayron da Cruz, W., Correia, C. K., Goya Santos, A. L., & Bevilacqua, G. G. (2020). Effect of practice exergames on the mood states and self-esteem of elementary school boys and girls during physical education classes: A cluster-randomized controlled natural experiment. *PLoS ONE*, 15(6), 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232392>
- Asendorpf, J. B., & Teubel, T. (2009). Motorische Entwicklung vom frühen Kindes- bis zum frühen Erwachsenenalter im Kontext der Persönlichkeitsentwicklung. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 16(1), 2–16. <https://doi.org/10.1026/1612-5010.16.1.2>
- Ashwell, M., Gunn, P., & Gibson, S. (2012). Waist-to-height ratio is a better screening tool than waist circumference and BMI for adult cardiometabolic risk factors: Systematic review and meta-analysis. *Obesity Reviews*, 13(3), 275–286. <https://doi.org/10.1111/j.1467-789X.2011.00952.x>
- Azevedo, L. B., Burges Watson, D., Haighton, C., & Adams, J. (2014). The effect of dance mat exergaming systems on physical activity and health - Related outcomes in secondary schools: Results from a natural experiment. *BMC Public Health*, 14(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-14-951>
- Babic, M. J., Morgan, P. J., Plotnikoff, R. C., Lonsdale, C., White, R. L., & Lubans, D. R. (2014). Physical Activity and Physical Self-Concept in Youth: Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 44(11), 1589–1601. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0229-z>
- Bailey, R. (2006). Physical education and sport in schools: A review of benefits and outcomes. *Journal of School Health*, 76(8), 397–401. <https://doi.org/10.1111/j.1746-1561.2006.00132.x>
- Banzer, W., & Füzéki, E. (2012). Körperliche Inaktivität, Alltagsaktivitäten und Gesundheit. In G. Geuter & A. Holleederer (Eds.), *Handbuch Bewegungsförderung und Gesundheit* (pp. 33–49). Hans Huber.
- Baranowski, T. (2017). Exergaming: Hope for future physical activity? or blight on mankind? *Journal of Sport and Health Science*, 6(1), 44–46. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2016.11.006>
- Baranowski, T., Maddison, R., Maloney, A., Medina, E., & Simons, M. (2014). Building a Better Mousetrap (Exergame) to Increase Youth Physical Activity. *Games for Health Journal*, 3(2), 72–78. <https://doi.org/10.1089/g4h.2014.0018>
- Barr-Anderson, D. J., Auyoung, M., Whitt-Glover, M. C., Glenn, B. A., & Yancey, A. K. (2011). Integration of short bouts of physical activity into organizational routine: A systematic review of the literature. *American Journal of Preventive Medicine*, 40(1), 76–93.

- <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2010.09.033>
- Bell, A. C., Ge, K., & Popkin, B. M. (2002). The road to obesity or the path to prevention: Motorized transportation and obesity in China. *Obesity Research, 10*(4), 277–283. <https://doi.org/10.1038/oby.2002.38>
- Berg, J., Haugen, G., Wang, A. I., & Moholdt, T. (2022). High-intensity exergaming for improved cardiorespiratory fitness: A randomised, controlled trial. *European Journal of Sport Science, 22*(6), 867–876. <https://doi.org/10.1080/17461391.2021.1921852>
- Berg, J., & Moholdt, T. (2020). Game on: A cycling exergame can elicit moderate-to-vigorous intensity. A pilot study. *BMJ Open Sport and Exercise Medicine, 6*(1), e000744. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2020-000744>
- Biddiss, E., & Irwin, J. (2010). Active video games to promote physical activity in children and youth: A systematic review. *Archives of Pediatrics and Adolescent Medicine, 164*(7), 664–672. <https://doi.org/10.1001/archpediatrics.2010.104>
- Biddle, S. J. H. (2007). Exercise motivation across the life span. In D. Smith & M. Bar-Eli (Eds.), *Essential readings in sport and exercise psychology* (pp. 378–389). Human Kinetics.
- Biddle, S. J. H., Fox, K., & Boutcher, S. (2000). *Physical Activity and Psychological Well-Being* (1. Edition). Routledge.
- Biddle, S. J. H., Gorely, T., Marshall, S. J., Murdey, I., & Cameron, N. (2004). Physical activity and sedentary behaviours in youth: Issues and controversies. *Journal of The Royal Society for the Promotion of Health, 124*(1), 29–33. <https://doi.org/10.1177/146642400312400110>
- Blanca, M. J., Alarcón, R., Arnau, J., Bono, R., & Bendayan, R. (2017). Non-normal data: Is ANOVA still a valid option? *Psicothema, 29*(4), 552–557. <https://doi.org/10.7334/psicothema2016.383>
- Borg, G. (1985). *An introduction to Borg's RPE-Scale*. Mouvement Publications.
- Borg, G. (2004). Anstrengungsempfinden und körperliche Aktivität. *Deutsches Ärzteblatt, 101*(15), 1016–1021. <https://www.aerzteblatt.de/pdf/101/15/a1016.pdf>
- Bös, K., Worth, A., Opper, E., Oberger, J., Wagner, M., Jekauc, D., & Woll, A. (2009). Motoric Ability and Activity in Children and Adolescents – Results of the MoMo Study (Motorische Fähigkeit und Aktivität von Kindern und Jugendlichen – Ergebnisse der MoMo-Studie). *Diabetes Aktuell, 7*(8), 367–371. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1247105>
- Bosch, P. R., Poloni, J., Thornton, A., & Lynskey, J. V. (2012). The heart rate response to nintendo wii boxing in young adults. *Cardiopulmonary Physical Therapy Journal, 23*(2), 13–29. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22833705>
- Bracken, B. A., & Lamprecht, M. S. (2003). Positive Self Concept: An Equal Opportunity Construct. *School Psychology Quarterly, 18*(2), 103–121. <https://doi.org/10.1521/scpq.18.2.103.21859>
- Braig, S., Genuneit, J., Walter, V., Brandt, S., Wabitsch, M., Goldbeck, L., Brenner, H., & Rothenbacher, D. (2018). Screen time, physical activity and self-esteem in children: The Ulm birth cohort study. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 15*(6), 1–12. <https://doi.org/10.3390/ijerph15061275>
- Brodersen, N. H., Steptoe, A., Boniface, D. R., & Wardle, J. (2007). Trends in physical activity and sedentary behaviour in adolescence: Ethnic and socioeconomic differences. *British Journal of Sports Medicine, 41*(3), 140–144. <https://doi.org/10.1136/bjsem.2006.031138>
- Bull, F. C., Al-Ansari, S. S., Biddle, S., Borodulin, K., Buman, M. P., Cardon, G., Carty, C., Chaput, J. P., Chastin, S., Chou, R., Dempsey, P. C., Dipietro, L., Ekelund, U., Firth, J., Friedenreich, C. M., Garcia, L., Gichu, M., Jago, R., Katzmarzyk, P. T., ... Willumsen, J. F. (2020). World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour. *British Journal of Sports Medicine, 54*(24), 1451–1462. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-102955>
- Burdette, H. L., & Whitaker, R. C. (2005). Resurrecting Free Play in Young Children. *Archives of Pediatrics & Adolescent Medicine, 159*(1), 46–50. <https://doi.org/10.1001/archpedi.159.1.46>
- Burmann, U. (2004). Effekte des Sporttreibens auf die Entwicklung des Selbstkonzepts Jugendlicher. *Zeitschrift für Sportpsychologie, 11*(2), 71–82. <https://doi.org/10.1026/1612-5010.11.2.71>
- Cale, L., & Harris, J. (2006). School-based physical activity interventions: Effectiveness, trends, issues, implications and recommendations for practice. *Sport, Education and Society, 11*(4), 401–420.

- <https://doi.org/10.1080/13573320600924890>
- Carroll, B., & Loumidis, J. (2001). Children's Perceived Competence and Enjoyment in Physical Education and Physical Activity Outside School. *European Physical Education Review*, 7(1), 24–43. <https://doi.org/10.1177/1356336X010071005>
- Caserman, P., Hoffmann, K., Müller, P., Schaub, M., Straßburg, K., Wiemeyer, J., Bruder, R., & Göbel, S. (2020). Quality criteria for serious games: Serious part, game part, and balance. *JMIR Serious Games*, 8(3), 1–14. <https://doi.org/10.2196/19037>
- Cerin, E., Leslie, E., Sugiyama, T., & Owen, N. (2010). Perceived barriers to leisure-time physical activity in adults: An ecological perspective. *Journal of Physical Activity and Health*, 7(4), 451–459. <https://doi.org/10.1123/jpah.7.4.451>
- Chanal, J., Cheval, B., Courvoisier, D. S., & Paumier, D. (2019). Developmental relations between motivation types and physical activity in elementary school children. *Psychology of Sport and Exercise*, 43, 233–242. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2019.03.006>
- Chinn, D. J., White, M., Howel, D., Harland, J. O. E., & Drinkwater, C. K. (2006). Factors associated with non-participation in a physical activity promotion trial. *Public Health*, 120(4), 309–319. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2005.11.003>
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Lawrence Erlbaum Associates.
- Coners, H., Himmelmann, W., Hebebrand, J., Heskler, H., Remschmidt, H., & Schäfer, H. (1996). Percentile curves for body mass index for weight assessment in children and adolescents aged ten years and older (Perzentilkurven für den Body-Mass-Index zur Gewichtsbeurteilung bei Kindern und Jugendlichen ab einem Alter von zehn Jahren). *Kinderarzt*, 27, 1002–1007.
- Conzelmann, A. (2008). Entwicklung. In A. Conzelmann & F. Hänsel (Eds.), *Sport und Selbstkonzept: Struktur, Dynamik und Entwicklung* (pp. 45–60). Hofmann.
- Crane, J., & Temple, V. (2015). A systematic review of dropout from organized sport among children and youth. *European Physical Education Review*, 21(1), 114–131. <https://doi.org/10.1177/1356336X14555294>
- Craven, R. G., & Marsh, H. W. (2008). The centrality of the self-concept construct for psychological wellbeing and unlocking human potential: Implications for child and educational psychologists. *Educational and Child Psychology*, 25(2), 104–118. <https://doi.org/10.53841/bpsecp.2008.25.2.104>
- Crutzen, R. (2010). Adding effect sizes to a systematic review on interventions for promoting physical activity among European teenagers. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 7(29), 6–10. <https://doi.org/10.1186/1479-5868-7-29>
- Csikszentmihalyi, M. (1975). *Beyond Boredom and Anxiety*. Jossey-Bass.
- Csikszentmihalyi, M., & Rathunde, K. (1993). The measurement of flow in everyday life: Toward a theory of emergent motivation. In J. E. Jacobs (Eds.), *Nebraska Symposium on Motivation, 1992: Developmental perspectives on motivation* (pp. 57–97). University of Nebraska Press.
- Dahlgren, A., Sjöblom, L., Eke, H., Bonn, S. E., Trolle, Y., & Lagerros, Y. (2021). Screen time and physical activity in children and adolescents aged 10–15 years. *PLoS ONE*, 16(7), e0254255. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254255>
- Daley, A. J. (2009). Can exergaming contribute to improving physical activity levels and health outcomes in children? *Pediatrics*, 124(2), 763–771. <https://doi.org/10.1542/peds.2008-2357>
- De Araújo, L. G. M., Turi, B. C., Locci, B., Mesquita, C. A. A., Fonsati, N. B., & Monteiro, H. L. (2018). Patterns of physical activity and screen time among Brazilian children. *Journal of Physical Activity and Health*, 15(6), 457–461. <https://doi.org/10.1123/jpah.2016-0676>
- De Bock, F. (2012). Promotion of physical activity in childhood and adolescence (Bewegungsförderung im Kindes- und Jugendalter). In G. Geuter & A. Holleder (Eds.), *Handbook on Physical Activity Promotion and Health (Handbuch Bewegungsförderung und Gesundheit)*. Verlag Hans Huber AG.
- De Bock, F., Breitenstein, L., & Fischer, J. E. (2012). Positive impact of a pre-school-based nutritional intervention on children's fruit and vegetable intake: Results of a cluster-randomized trial. *Public Health Nutrition*, 15(3), 466–475. <https://doi.org/10.1017/S136898001100200X>
- Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., & Nacke, L. (2011). From game design elements to gamefulness:

- Defining “gamification.” *Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments, MindTrek 2011, September, 9–15.* <https://doi.org/10.1145/2181037.2181040>
- Deutsche Adipositas Gesellschaft, & Else Kröner-Fresenius-Zentrum (EKFZ). (2022). *Folgen der Pandemie: Wie Corona das Gesundheitsverhalten von Kindern und Jugendlichen verändert hat. Pressekonferenz zur Vorstellung einer repräsentativen FORSA-Umfrage unter Eltern minderjähriger Kinder.* https://adipositas-gesellschaft.de/wp-content/uploads/2022/05/2022-05-31_DAG-EKFZ_forsa-Umfrage_Ergebnispraesentation_final.pdf
- Dickhuth, H.-H., Huonker, M., Münzel, T., Drexler, H., Berg, A., & Keul, J. (1991). Individual Anaerobic Threshold for Evaluation of Competitive Athletes and Patients with Left Ventricular Dysfunction. In N. Bachl, T. E. Graham, & H. Löllgen (Eds.), *Advances in Ergometry* (pp. 173–179). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-76442-4_26
- Dishman, R. K., Hales, D. P., Pfeiffer, K. A., Felton, G. A., Saunders, R., Ward, D. S., Dowda, M., & Pate, R. R. (2006). Physical self-concept and self-esteem mediate cross-sectional relations of physical activity and sport participation with depression symptoms among adolescent girls. *Health Psychology, 25*(3), 396–407. <https://doi.org/10.1037/0278-6133.25.3.396>
- Dishman, R. K., Motl, R. W., Saunders, R., Felton, G., Ward, D. S., Dowda, M., & Pate, R. R. (2005). Enjoyment mediates effects of a school-based physical-activity intervention. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 37*(3), 478–487. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000155391.62733.A7>
- Dishman, R. K., Sallis, J. F., & Orenstein, D. R. (1985). The determinants of physical activity and exercise. *Public Health Reports, 100*(2), 158–171.
- Dos Santos, H., Bredehoft, M. D., Gonzalez, F. M., & Montgomery, S. (2016). Exercise Video Games and Exercise Self-Efficacy in Children. *Global Pediatric Health, 3*, 1–6. <https://doi.org/10.1177/2333794x16644139>
- Dreiskämper, D., Tietjens, M., Honemann, S., Naul, R., & Freund, P. A. (2015). PSK - A questionnaire for assessing the physical self-concept of primary school children. *Zeitschrift für Sportpsychologie, 22*(3), 97–111. <https://doi.org/10.1026/1612-5010/a000141>
- Dunton, G. F., & Vaughan, E. (2008). Anticipated Affective Consequences of Physical Activity Adoption and Maintenance. *Health Psychology, 27*(6), 703–710. <https://doi.org/10.1037/0278-6133.27.6.703>
- Dutta, N., & Pereira, M. A. (2015). Effects of active video games on energy expenditure in adults: A systematic literature review. *Journal of Physical Activity and Health, 12*(6), 890–899. <https://doi.org/10.1123/jpah.2013-0168>
- Ekeland, E., Heian, F., Hagen, K. B., Abbott, J. M., & Nordheim, L. (2004). Exercise to improve self-esteem in children and young people. *Cochrane Database of Systematic Reviews, 1*. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD003683.pub2>
- Ekelund, U., Brage, S., Froberg, K., Harro, M., Anderssen, S. A., Sardinha, L. B., Riddoch, C., & Andersen, L. B. (2006). TV viewing and physical activity are independently associated with metabolic risk in children: The European youth heart study. *PLoS Medicine, 3*(12), 2449–2457. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.0030488>
- Ekkekakis, P., Parfitt, G., & Petruzzello, S. J. (2011). The pleasure and displeasure people feel when they exercise at different intensities: Decennial update and progress towards a tripartite rationale for exercise intensity prescription. *Sports Medicine, 41*(8), 641–671. <https://doi.org/10.2165/11590680-000000000-00000>
- Ekkekakis, P., & Petruzzello, S. J. (1999). Acute aerobic exercise and affect. Current status, problems and prospects regarding dose-response. *Sports Medicine, 28*(5), 337–347. <https://doi.org/10.2165/00007256-199928050-00005>
- Fennell, C., Barkley, J. E., & Lepp, A. (2019). The relationship between cell phone use, physical activity, and sedentary behavior in adults aged 18–80. *Computers in Human Behavior, 90*, 53–59. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.08.044>
- Fernández-Bustos, J. G., Infantes-Paniagua, Á., Cuevas, R., & Contreras, O. R. (2019). Effect of physical activity on self-concept: Theoretical model on the mediation of body image and physical self-

- concept in adolescents. *Frontiers in Psychology*, 10, 1537. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01537>
- Finco, M. D., Reategui, E., Zaro, M. A., Sheehan, D. D., & Katz, L. (2015). Exergaming as an alternative for students unmotivated to participate in regular physical education classes. *International Journal of Game-Based Learning*, 5(3), 1–10. <https://doi.org/10.4018/IJGBL.2015070101>
- Fu, Y., Burns, R. D., Constantino, N., & Zhang, P. (2018). Differences in Step Counts, Motor Competence, and Enjoyment between an Exergaming Group and a Non-Exergaming Group. *Games for Health Journal*, 7(5), 335–340. <https://doi.org/10.1089/g4h.2017.0188>
- Fu, Y., Burns, R. D., Gomes, E., Savignac, A., & Constantino, N. (2019). Trends in sedentary behavior, physical activity, and motivation during a classroom-based active video game program. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(16), 2821. <https://doi.org/10.3390/ijerph16162821>
- Gao, Z. (2017). Fight fire with fire? Promoting physical activity and health through active video games. *Journal of Sport and Health Science*, 6(1), 1–3. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2016.11.009>
- Gao, Z., Chen, S., Pasco, D., & Pope, Z. (2015). A meta-analysis of active video games on health outcomes among children and adolescents. *Obesity Reviews*, 16(9), 783–794. <https://doi.org/10.1111/obr.12287>
- Gao, Z., & Huang, C. (2011). Examining Children’s Motivation, Physical Activity Participation, And Enjoyment In An Interactive Dance Game. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(5), 327. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000400901.39178.e8>
- Gao, Z., Pope, Z., Lee, J. E., Stodden, D., Roncesvalles, N., Pasco, D., Huang, C. C., & Feng, D. (2017). Impact of exergaming on young children’s school day energy expenditure and moderate-to-vigorous physical activity levels. *Journal of Sport and Health Science*, 6(1), 11–16. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2016.11.008>
- Gao, Z., Zhang, T., & Stodden, D. (2013). Children’s physical activity levels and psychological correlates in interactive dance versus aerobic dance. *Journal of Sport and Health Science*, 2(3), 146–151. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2013.01.005>
- Garber, C. E., Blissmer, B., Deschenes, M. R., Franklin, B. A., Lamonte, M. J., Lee, I. M., Nieman, D. C., & Swain, D. P. (2011). Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: Guidance for prescribing exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(7), 1334–1359. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318213fefb>
- Garn, A. C., Morin, A. J. S., White, R. L., Owen, K. B., Donley, W., & Lonsdale, C. (2020). Moderate-to-vigorous physical activity as a predictor of changes in physical self-concept in adolescents. *Health Psychology*, 39(3), 190–198. <https://doi.org/10.1037/hea0000815>
- Gerlach, E. (2008). Sport, Persönlichkeit und Selbstkonzept. *Sportunterricht*, 57(1), 5–10.
- Gerlach, E., & Brettschneider, W.-D. (2008). Sportengagement, Persönlichkeit und Selbstkonzeptentwicklung im Kindesalter. In W. Schmidt (Eds.), *Zweiter Deutscher Kinder- und Jugendsportbericht. Schwerpunkt: Kindheit* (pp. 193–208). Hofmann.
- GfK. (2022). *Rund 6 von 10 Deutschen spielen Games*. Game – Verband der deutschen Games-Branche e.V. <https://www.game.de/marktdaten/rund-6-von-10-deutschen-spielen-games-2/>
- Ginsburg, K. R., Shifrin, D. L., Broughton, D. D., Dreyer, B. P., Milteer, R. M., Mulligan, D. A., Nelson, K. G., Altmann, T. R., Brody, M., Shuffett, M. L., Wilcox, B., Kolbaba, C., Noland, V. L., Tharp, M., Coleman, W. L., Earls, M. F., Goldson, E., Hausman, C. L., Siegel, B. S., ... Smith, K. (2007). The importance of play in promoting healthy child development and maintaining strong parent-child bonds. *Pediatrics*, 119(1), 182–191. <https://doi.org/10.1542/peds.2006-2697>
- Glen, K., Eston, R., Loetscher, T., & Parfitt, G. (2017). Exergaming: Feels good despite working harder. *PLoS ONE*, 12(10), 1–12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0186526>
- Goble, D. J., Cone, B. L., & Fling, B. W. (2014). Using the Wii Fit as a tool for balance assessment and neurorehabilitation: The first half decade of “wii-search.” *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 11(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-11-12>
- Graves, L. E. F., Ridgers, N. D., Williams, K., Stratton, G., Atkinson, G., & Cable, N. T. (2010). The

- physiological cost and enjoyment of Wii fit in adolescents, young adults, and older adults. *Journal of Physical Activity and Health*, 7(3), 393–401. <https://doi.org/10.1123/jpah.7.3.393>
- Guthold, R., Stevens, G. A., Riley, L. M., & Bull, F. C. (2018). Worldwide trends in insufficient physical activity from 2001 to 2016: a pooled analysis of 358 population-based surveys with 1.9 million participants. *The Lancet Global Health*, 6(10), e1077–e1086. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(18\)30357-7](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(18)30357-7)
- Guthold, R., Stevens, G. A., Riley, L. M., & Bull, F. C. (2020). Global trends in insufficient physical activity among adolescents: a pooled analysis of 298 population-based surveys with 1.6 million participants. *The Lancet Child and Adolescent Health*, 4(1), 23–35. [https://doi.org/10.1016/S2352-4642\(19\)30323-2](https://doi.org/10.1016/S2352-4642(19)30323-2)
- Harter, S. (1998). The development of self-representations. In W. Damon & N. Eisenberg (Eds.), *Handbook of child psychology: Social, emotional, and personality development* (pp. 553–617). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1026//0942-5403.8.3.189>
- Harter, S. (2006). The Self. In N. Eisenberg, W. Damon, & R. M. Lerner (Eds.), *Handbook of child psychology: Social, emotional, and personality development* (pp. 505–570). John Wiley & Sons, Inc.
- Harter, S. (2012). Developmental Differences in Self-Representations during Childhood. In S. Harter (Eds.), *The construction of the self: developmental and sociocultural foundations* (Second Ed., pp. 27–71). Guilford press. <https://doi.org/10.5860/choice.50-1160>
- Heath, G. W., Parra, D. C., Sarmiento, O. L., Andersen, L. B., Owen, N., Goenka, S., Montes, F., Brownson, R. C., & Lancet Physical Activity Series Working Group. (2012). Evidence-based intervention in physical activity: lessons from around the world. *Lancet*, 380(9838), 272–281. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)60816-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)60816-2)
- Helbach, J., & Stahlmann, K. (2021). Changes in digital media use and physical activity in german young adults under the covid-19 pandemic-a cross-sectional study. *Journal of Sports Science and Medicine*, 20(4), 642–654. <https://doi.org/10.52082/jssm.2021.642>
- Hill, D., Ameenuddin, N., Chassiakos, Y. R., Cross, C., Radesky, J., Hutchinson, J., Boyd, R., Mendelson, R., Moreno, M. A., Smith, J., & Swanson, W. S. (2016). Media use in school-aged children and adolescents. *Pediatrics*, 138(5), 1–6. <https://doi.org/10.1542/peds.2016-2592>
- Hung, J. W., Chou, C. X., Hsieh, Y. W., Wu, W. C., Yu, M. Y., Chen, P. C., Chang, H. F., & Ding, S. E. (2014). Randomized comparison trial of balance training by using exergaming and conventional weight-shift therapy in patients with chronic stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 95(9), 1629–1637. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2014.04.029>
- Jackson, S., & Csikszentmihalyi, M. (1999). *Flow in sports: The keys to optimal experiences and performances*. Human Kinetics.
- Jacobs, J. E., Lanza, S., Osgood, D. W., Eccles, J. S., & Wigfield, A. (2002). Changes in children's self-competence and values: Gender and domain differences across grades one through twelve. *Child Development*, 73(2), 509–527. <https://doi.org/10.1111/1467-8624.00421>
- Jekauc, D., Voelkle, M., Wagner, M. O., Mewes, N., & Woll, A. (2013). Reliability, validity, and measurement invariance of the german version of the physical activity enjoyment scale. *Journal of Pediatric Psychology*, 38(1), 104–115. <https://doi.org/10.1093/jpepsy/jss088>
- Jordan, M., Donne, B., & Fletcher, D. (2011). Only lower limb controlled interactive computer gaming enables an effective increase in energy expenditure. *European Journal of Applied Physiology*, 111(7), 1465–1472. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1773-3>
- Joronen, K., Aikasalo, A., & Suvitie, A. (2017). Nonphysical effects of exergames on child and adolescent well-being: a comprehensive systematic review. *Scandinavian Journal of Caring Sciences*, 31(3), 449–461. <https://doi.org/10.1111/scs.12393>
- Kari, T. (2016). Promoting physical activity and fitness with exergames: Updated systematic review of systematic reviews. In B. Dubbels (Eds.), *Transforming Gaming and Computer Simulation Technologies across Industries* (pp. 225–245). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-1817-4.ch013>
- Katzmarzyk, P. T., Friedenreich, C., Shiroma, E. J., & Lee, M. (2022). Physical inactivity and non-communicable disease burden in low-income countries. *British Journal of Sports Medicine*, 56(2),

- 101–106. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-103640>
- Kawabata, M., & Mallett, C. J. (2022). Progressing the construct of enjoyment: conceptualizing enjoyment as a proactive process. *Discover Psychology, 2*(1), 2. <https://doi.org/10.1007/s44202-021-00015-1>
- Ketelhut, S., Wehlan, E., & Ketelhut, K. (2019). Geschlechtsspezifische Unterschiede im physischen Selbstkonzept bei Schülerinnen und Schülern. *Sportunterricht, 68*(8), 345–350. <https://doi.org/10.30426/SU-2019-08-2>
- Kimiecik, J. C., & Harris, A. T. (1996). What is enjoyment? A conceptual/definitional analysis with implications for sport and exercise psychology. *Journal of Sport & Exercise Psychology, 18*(3), 247–263.
- Kimm, S. Y. S., Glynn, N. W., Obarzanek, E., Kriska, A. M., Daniels, S. R., Barton, B. A., & Liu, K. (2005). Relation between the changes in physical activity and body-mass index during adolescence: A multicentre longitudinal study. *Lancet, 366*(9482), 301–307. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(05\)66837-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(05)66837-7)
- Klein, M. J., & Simmers, C. S. (2009). Exergaming: virtual inspiration, real perspiration. *Young Consumers, 10*(1), 35–45. <https://doi.org/10.1108/17473610910940774>
- Klimmt, C. (2003). Dimensions and determinants of the enjoyment of playing digital games: A three-level model. In M. Copier & J. Raessens (Eds.), *Level up: digital games research conference* (pp. 246–257). Utrecht University.
- Kooiman, B. J., Sheehan, D. P., Wesolek, M., & Reategui, E. (2016). Exergaming for physical activity in online physical education. *International Journal of Distance Education Technologies, 14*(2), 1–16. <https://doi.org/10.4018/IJDET.2016040101>
- Kriemler, S., Meyer, U., Martin, E., Van Sluijs, E. M. F., Andersen, L. B., & Martin, B. W. (2011). Effect of school-based interventions on physical activity and fitness in children and adolescents: A review of reviews and systematic update. *British Journal of Sports Medicine, 45*(11), 923–930. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090186>
- Lamboglia, C. M., Da Silva, V. T., De Vasconcelos Filho, J. E., Pinheiro, M. H., Munguba, M. C., Silva Júnior, F. V., De Paula, F. A., & Da Silva, C. A. (2013). Exergaming as a Strategic Tool in the Fight against Childhood Obesity: A Systematic Review. *Journal of Obesity, 2013*, 438364. <https://doi.org/10.1155/2013/438364>
- Langford, R., Bonell, C. P., Jones, H. E., Poulidou, T., Murphy, S. M., Waters, E., Gibbs, L. F., Komro, K. A., Magnus, D., & Campbell, R. (2014). The WHO Health Promoting School framework for improving the health and well-being of students and their academic achievement. *Cochrane Database of Systematic Reviews, 4*. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD008958.pub2>
- Lanningham-Foster, L., Jensen, T. B., Foster, R. C., Redmond, A. B., Walker, B. A., Heinz, D., & Levine, J. A. (2006). Energy expenditure of sedentary screen time compared with active screen time for children. *Pediatrics, 118*(6), e1831–e1835. <https://doi.org/10.1542/peds.2006-1087>
- Lau, P. W. C., Wang, J. J., & Maddison, R. (2016). A Randomized-Controlled Trial of School-Based Active Videogame Intervention on Chinese Children's Aerobic Fitness, Physical Activity Level, and Psychological Correlates. *Games for Health Journal, 5*(6), 1–8. <https://doi.org/10.1089/g4h.2016.0057>
- Lee, S., Kim, W., Park, T., & Peng, W. (2017). The Psychological Effects of Playing Exergames: A Systematic Review. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking, 20*(9), 513–532. <https://doi.org/10.1089/cyber.2017.0183>
- Lee, S., Myers, N. D., Park, T., Hill, C. R., & Feltz, D. L. (2018). An Exploratory Study on the Köhler Effect and Flow in Long-term Exergaming. *Simulation and Gaming, 49*(5), 538–552. <https://doi.org/10.1177/1046878118776043>
- Léger, L. A., Mercier, D., Gadoury, C., & Lambert, J. (1988). The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness. *Journal of Sports Sciences, 6*(2), 93–101. <https://doi.org/10.1080/02640418808729800>
- Lewis, B. A., Williams, D. M., Frayeh, A., & Marcus, B. H. (2016). Self-efficacy versus perceived enjoyment as predictors of physical activity behaviour. *Psychology and Health, 31*(4), 456–469.

- <https://doi.org/10.1080/08870446.2015.1111372>
- Li, J., Theng, Y. L., & Foo, S. (2016). Effect of Exergames on Depression: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 19(1), 34–42. <https://doi.org/10.1089/cyber.2015.0366>
- Liu, M., Wu, L., & Ming, Q. (2015). How does physical activity intervention improve self-esteem and self-concept in children and adolescents? Evidence from a meta-analysis. *PLoS ONE*, 10(8), 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0134804>
- Lwin, M. O., & Malik, S. (2014). Can exergames impart health messages? Game play, framing, and drivers of physical activity among children. *Journal of Health Communication*, 19(2), 136–151. <https://doi.org/10.1080/10810730.2013.798372>
- Lyons, E. J. (2015). Cultivating Engagement and Enjoyment in Exergames Using Feedback, Challenge, and Rewards. *Games for Health Journal*, 4(1), 12–18. <https://doi.org/10.1089/g4h.2014.0072>
- Lyons, E. J., Tate, D. F., Ward, D. S., Bowling, J. M., Ribisl, K. M., & Kalyararaman, S. (2011). Energy expenditure and enjoyment during video game play: Differences by game type. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(10), 1987–1993. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318216ebf3>
- Mackintosh, K. A., Standage, M., Staiano, A. E., Lester, L., & McNarry, M. A. (2016). Investigating the Physiological and Psychosocial Responses of Single- and Dual-Player Exergaming in Young Adults. *Games for Health Journal*, 5(6), 375–381. <https://doi.org/10.1089/g4h.2016.0015>
- Macvean, A., & Robertson, J. (2013). Understanding exergame users' physical activity, motivation and behavior over time. *CHI '13: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1251–1260. <https://doi.org/10.1145/2470654.2466163>
- Madsen, K. A., Yen, S., Wlasiuk, L., Newman, T. B., & Lustig, R. (2007). Feasibility of a Dance Videogame to Promote Weight Loss Among Overweight Children and Adolescents. *Archives of Pediatrics & Adolescent Medicine*, 161(1), 105–107. <https://doi.org/doi:10.1001/archpedi.161.1.105-c>
- Mang'eni Ojiambo, R. (2013). Physical Activity and Well-being: A Review of the Health Benefits of Physical Activity on Health Outcomes. *Journal of Applied Medical Sciences*, 2(2), 69–78.
- Marsh, H. W. (1994). The Importance of Being Important: Theoretical Models of Relations between Specific and Global Components of Physical Self-Concept. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 16(3), 306–325. <https://doi.org/10.1123/jsep.16.3.306>
- Marsh, H. W., Papaioannou, A., & Theodorakis, Y. (2006). Causal ordering of physical self-concept and exercise behavior: Reciprocal effects model and the influence of physical education teachers. *Health Psychology*, 25(3), 316–328. <https://doi.org/10.1037/0278-6133.25.3.316>
- Marsh, H. W., & Redmayne, R. S. (1994). A Multidimensional Physical Self-Concept and Its Relations to Multiple Components of Physical Fitness. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 16(1), 43–55. <https://doi.org/10.1123/jsep.16.1.43>
- Marshall, J., & Linehan, C. (2020). Are Exer-Games Exercise? A Scoping Review of the Short Term Effects of Exertion Games. *IEEE Transactions on Games*, 13(2), 160–169. <https://doi.org/10.1109/tg.2020.2995370>
- Martin-Niedecken, A. L. (2021). *Towards Balancing Fun and Exertion in Exergames: Exploring the Impact of Movement-Based Controller Devices, Exercise Concepts, Game Adaptivity and Player Modes on Player Experience and Training Intensity in Different Exergame Settings* [Technische Universität Darmstadt]. <https://doi.org/10.26083/tuprints-00014186>
- Martin-Niedecken, A. L., Mahrer, A., Rogers, K., de Bruin, E. D., & Schättin, A. (2020). “HIIT” the ExerCube: Comparing the Effectiveness of Functional High-Intensity Interval Training in Conventional vs. Exergame-Based Training. *Frontiers in Computer Science*, 2(10), 33. <https://doi.org/10.3389/fcomp.2020.00033>
- Martin-Niedecken, A. L., Márquez Segura, E., Rogers, K., Niedecken, S., & Turmo Vidal, L. (2019). Towards socially immersive fitness games: An exploratory evaluation through embodied sketching. *CHI PLAY 2019 - Extended Abstracts of the Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play*, 525–534. <https://doi.org/10.1145/3341215.3356293>
- Martin-Niedecken, A. L., & Mekler, E. D. (2018). The ExerCube: Participatory design of an immersive

- fitness game environment. In S. Göbel, A. Garcia-Agundez, T. Tregel, M. Ma, J. Baalsrud, M. Oliveira, T. Marsh, & P. Caserman (Eds.), *Serious Games. JCSG 2018. Lecture Notes in Computer Science* (Vol. 11243, pp. 263–275). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-02762-9_28
- Martin-Niedecken, A. L., Rogers, K., Turmo Vidal, L., Mekler, E. D., & Márquez Segura, E. (2019). Exercube vs. Personal trainer: Evaluating a holistic, immersive, and adaptive fitness game setup. *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1–15. <https://doi.org/10.1145/3290605.3300318>
- Martin-Niedecken, A. L., & Schättin, A. (2020). Let the Body'n'Brain Games Begin: Toward Innovative Training Approaches in eSports Athletes. *Frontiers in Psychology*, 11, 138. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00138>
- Matthews, C. E., Moore, S. C., Sampson, J., Blair, A., Xiao, Q., Keadle, S. K., Hollenbeck, A., & Park, Y. (2015). Mortality Benefits for Replacing Sitting Time with Different Physical Activities. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 47(9), 1833–1840. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000621>
- McCarthy, P. J., Jones, M. V., & Clark-Carter, D. (2008). Understanding enjoyment in youth sport: A developmental perspective. *Psychology of Sport and Exercise*, 9(2), 142–156. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2007.01.005>
- Mellecker, R. R., Lyons, E. J., & Baranowski, T. (2013). Disentangling Fun and Enjoyment in Exergames Using an Expanded Design, Play, Experience Framework: A Narrative Review. *Games for Health Journal*, 2(3), 142–149. <https://doi.org/10.1089/g4h.2013.0022>
- Mellecker, R. R., & McManus, A. M. (2008). Energy expenditure and cardiovascular responses to seated and active gaming in children. *Archives of Pediatrics and Adolescent Medicine*, 162(9), 886–891. <https://doi.org/10.1001/archpedi.162.9.886>
- Mentzoni, R. A., Brunborg, G. S., Molde, H., Myrseth, H., Skouverøe, K. J. M., Hetland, J., & Pallesen, S. (2011). Problematic video game use: Estimated prevalence and associations with mental and physical health. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 14(10), 591–596. <https://doi.org/10.1089/cyber.2010.0260>
- Moholdt, T., Weie, S., Chorianopoulos, K., Wang, A. I., & Hagen, K. (2017). Exergaming can be an innovative way of enjoyable high-intensity interval training. *BMJ Open Sport and Exercise Medicine*, 3(1), 3–8. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2017-000258>
- Molina, K. I., Ricci, N. A., De Moraes, S. A., & Perracini, M. R. (2014). Virtual reality using games for improving physical functioning in older adults: A systematic review. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 11(1), 156. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-11-156>
- Monda, K. L., Adair, L. S., Zhai, F., & Popkin, B. M. (2008). Longitudinal relationships between occupational and domestic physical activity patterns and body weight in China. *European Journal of Clinical Nutrition*, 62(11), 1318–1325. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602849>
- Monedero, J., Lyons, E. J., & O’Gorman, D. J. (2015). Interactive video game cycling leads to higher energy expenditure and is more enjoyable than conventional exercise in adults. *PLoS ONE*, 10(3), 2–13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118470>
- Monedero, J., Murphy, E. E., & O’Gorman, D. J. (2017). Energy expenditure and affect responses to different types of active video game and exercise. *PLoS ONE*, 12(5), 1–13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176213>
- Morales-Sánchez, V., Hernández-Martos, J., Reigal, R. E., Morillo-Baro, J. P., Caballero-Cerbán, M., & Hernández-Mendo, A. (2021). Physical self-concept and motor self-efficacy are related to satisfaction/enjoyment and boredom in physical education classes. *Sustainability*, 13(16), 8829. <https://doi.org/10.3390/su13168829>
- Motamed-Gorji, N., Qorbani, M., Nikkho, F., Asadi, M., Motlagh, M. E., Safari, O., Arefirad, T., Asayesh, H., Mohammadi, R., Mansourian, M., & Kelishadi, R. (2019). Association of screen time and physical activity with health-related quality of life in Iranian children and adolescents. *Health and Quality of Life Outcomes*, 17(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s12955-018-1071-z>
- Mummendey, H. D. (1995). *Psychologie der Selbstdarstellung* (2., überar. Auflage). Hogrefe.

- Mummendey, H. D. (2006). *Psychologie des »Selbst« Theorien, Methoden und Ergebnisse der Selbstkonzeptforschung* (1. Auflage). Hogrefe.
- Musa, S., Elyamani, R., & Dergaa, I. (2022). COVID-19 and screen-based sedentary behaviour: Systematic review of digital screen time and metabolic syndrome in adolescents. *PLoS ONE*, *17*(3), 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0265560>
- Nes, B. M., Janszky, I., Wisløff, U., Støylen, A., & Karlsen, T. (2013). Age-predicted maximal heart rate in healthy subjects: The HUNT Fitness Study. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, *23*(6), 697–704. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2012.01445.x>
- Newzoo International B.V. (2022). *Global Games Market Report 2022*. Newzoo International B.V. <https://newzoo.com/insights/trend-reports/newzoo-global-games-market-report-2022-free-version>
- Nguyen, H. Van, Huang, H. C., Wong, M. K., Lu, J., Huang, W. F., & Teng, C. I. (2016). Double-edged sword: The effect of exergaming on other forms of exercise; A randomized controlled trial using the self-categorization theory. *Computers in Human Behavior*, *62*, 590–593. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.04.030>
- Noah, A. J., Spierer, D. K., Tachibana, A., & Bronner, S. (2011). Vigorous energy expenditure with a dance exer-game. *Journal of Exercise Physiology Online*, *14*(4), 13–28.
- O’Donovan, C., Hirsch, E., Holohan, E., McBride, I., McManus, R., & Hussey, J. (2012). Energy expended playing Xbox Kinect™ And Wii™ Games: A preliminary study comparing single and multiplayer modes. *Physiotherapy*, *98*(3), 224–229. <https://doi.org/10.1016/j.physio.2012.05.010>
- O’Loughlin, E. K., Dutczak, H., Kakinami, L., Consalvo, M., McGrath, J. J., & Barnett, T. A. (2020). Exergaming in Youth and Young Adults: A Narrative Overview. *Games for Health Journal*, *9*(5), 314–338. <https://doi.org/10.1089/g4h.2019.0008>
- Oh, Y., & Yang, Stephen, P. (2010). Defining Exergames & Exergaming. *Proceedings of Meaningful Play Conference 2010, January 2010*, 21–23. meaningfulplay.msu.edu/proceedings2010/mp2010_paper_63.pdf
- Orland, K., & Remo, C. (2008). *Games For Health: Noah Falstein On Exergaming History*. <https://www.gamedeveloper.com/pc/games-for-health-noah-falstein-on-exergaming-history>
- Pagulayan, R. J., Keeker, K., Wixon, D., Romero, R. L., Fuller, T., Jacko, J. A., & Sears, A. (2003). User-centered design in games. In J. A. Jacko & A. Sears (Eds.), *The human-computer interaction handbook* (3rd ed., pp. 883–906). Lawrence Erlbaum Associates.
- Park, J. H., Moon, J. H., Kim, H. J., Kong, M. H., & Oh, Y. H. (2020). Sedentary Lifestyle: Overview of Updated Evidence of Potential Health Risks. *Korean Journal of Family Medicine*, *41*(6), 365–373. <https://doi.org/10.4082/KJFM.20.0165>
- Pawlik, L. (2021). Todesursache: Bewegungsmangel. *Pädiatrie & Pädologie*, *56*(1), 8–14. <https://doi.org/10.1007/s00608-020-00859-1>
- Paxton, R. J., Nigg, C., Motl, R. W., Yamashita, M., Chung, R., Battista, J., & Chang, J. A. (2008). Physical activity enjoyment scale short form - does it fit for children? *Research Quarterly for Exercise and Sport*, *79*(3), 423–427. <https://doi.org/10.1080/02701367.2008.10599508>
- Payne, V. G., & Isaac, L. D. (2016). *Human Motor Development: A Lifespan Approach* (9th ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315213040>
- Pelletier, H. V., Lessard, A., Piché, F., Tétreau, C., & Descarreaux, M. (2020). Video games and their associations with physical health: A scoping review. *BMJ Open Sport and Exercise Medicine*, *6*(1), 1–10. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2020-000832>
- Peng, W., & Crouse, J. (2013). Playing in parallel: The effects of multiplayer modes in active video game on motivation and physical exertion. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, *16*(6), 423–427. <https://doi.org/10.1089/cyber.2012.0384>
- Peng, W., Crouse, J. C., & Lin, J. H. (2013). Using Active Video Games for Physical Activity Promotion: A Systematic Review of the Current State of Research. *Health Education and Behavior*, *40*(2), 171–192. <https://doi.org/10.1177/1090198112444956>
- Peng, W., Lin, J. H., & Crouse, J. (2011). Is playing exergames really exercising? A meta-analysis of energy expenditure in active video games. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, *14*(11),

- 681–688. <https://doi.org/10.1089/cyber.2010.0578>
- Perri, M. G., Anton, S. D., Durning, P. E., Ketterson, T. U., Sydeman, S. J., Berlant, N. E., Kanasky Jr., W. F., Newton Jr., R. L., Limacher, M. C., & Martin, A. D. (2002). Adherence to exercise prescriptions: Effects of prescribing moderate versus higher levels of intensity and frequency. *Health Psychology, 21*(5), 452–458. <https://doi.org/10.1037//0278-6133.21.5.452>
- Pescatello, L. S., Riebe, D., & Arena, R. (2014). *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription* (9th ed.). Lippincott Williams & Wilkins.
- Physical Activity Guidelines Advisory Committee. (2018). *Physical Activity Guidelines Advisory Committee Scientific Report*. U.S. Department of Health and Human Services. https://health.gov/sites/default/files/2019-09/PAG_Advisory_Committee_Report.pdf
- Prosperini, L., Fortuna, D., Gianni, C., Leonardi, L., Marchetti, M. R., & Pozzilli, C. (2013). Home-based balance training using the wii balance board: A randomized, crossover pilot study in multiple sclerosis. *Neurorehabilitation and Neural Repair, 27*(6), 516–525. <https://doi.org/10.1177/1545968313478484>
- Quaiser-Pohl, C., Geiser, C., & Lehmann, W. (2006). The relationship between computer-game preference, gender, and mental-rotation ability. *Personality and Individual Differences, 40*(3), 609–619. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2005.07.015>
- Quinn, M. (2013). Introduction of Active Video Gaming Into the Middle School Curriculum as a School-Based Childhood Obesity Intervention. *Journal of Pediatric Health Care, 27*(1), 3–12. <https://doi.org/10.1016/j.pedhc.2011.03.011>
- Quitério, A. L. D. (2013). School physical education: The effectiveness of health-related interventions and recommendations for health-promotion practice. *Health Education Journal, 72*(6), 716–732. <https://doi.org/10.1177/0017896912460934>
- Reicherz, A., & Schlicht, W. (2012). Bewegungsförderung im Erwachsenenalter. In G. Geuter & A. Holleder (Eds.), *Handbuch Bewegungsförderung und Gesundheit* (pp. 153–164). Hans Huber.
- Rheinberg, F., Vollmeyer, R., & Engeser, S. (2003). Die Erfassung des Flow-Erlebens. In J. Stiensmeier-Pelster & F. Rheinberg (Eds.), *Diagnostik von Motivation und Selbstkonzept. Tests und Trends, N. F. Band 2* (pp. 261–279). Hogrefe.
- Röglin, L., Martin-Niedecken, A. L., & Ketelhut, S. (2023). Exercising Digitally: A Multi-Perspective Analysis of Exergames for Physical Activity and Health Promotion. In Brooks A. L. (Eds.), *Creating Digitally: Shifting Boundaries: Arts and Technologies - Contemporary Applications and Concepts*. Springer Nature.
- Rosenberg, M. (1985). Self-concept and psychological well-being in adolescence. In R. L. Leahy (Eds.), *The development of the self* (pp. 205–246). Academic Press.
- Rostad, F., & Long, B. C. (1996). Exercise as a coping strategy for stress: a review. *International Journal of Sport Psychology, 27*(2), 197–222.
- Ruiz, M., Moreno, M., Girela-Serrano, B., Díaz-Oliván, I., Muñoz, L. J., González-Garrido, C., & Porrás-Segovia, A. (2022). Winning The Game Against Depression: A Systematic Review of Video Games for the Treatment of Depressive Disorders. *Current Psychiatry Reports, 24*(1), 23–35. <https://doi.org/10.1007/s11920-022-01314-7>
- Rütten, A., & Pfeifer, K. (2016). *Nationale Empfehlungen für Bewegung und Bewegungsförderung*. FAU University Press. <https://www.sport.fau.de/files/2016/05/Nationale-Empfehlungen-für-Bewegung-und-Bewegungsförderung-2016.pdf>
- Ryan, R. M. (1995). Psychological needs and the facilitation of integrative processes. *Journal of Personality, 63*(3), 397–427. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6494.1995.tb00501.x>
- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *The American Psychologist, 55*(1), 68–78. <https://doi.org/10.1037//0003-066x.55.1.68>
- Saanijoki, T., Nummenmaa, L., Eskelinen, J.-J., Savolainen, A. M., Vahlberg, T., Kalliokoski, K. K., & Hannukainen, J. C. (2015). Affective Responses to Repeated Sessions of High-Intensity Interval Training. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 47*(12), 2604–2611. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000721>

- Salmon, J., Ball, K., Crawford, D., Booth, M., Telford, A., Hume, C., Jolley, D., & Worsley, A. (2005). Reducing sedentary behaviour and increasing physical activity among 10-year-old children: Overview and process evaluation of the “Switch-Play” intervention. *Health Promotion International, 20*(1), 7–17. <https://doi.org/10.1093/heapro/dah502>
- Salmon, J., Booth, M. L., Phongsavan, P., Murphy, N., & Timperio, A. (2007). Promoting physical activity participation among children and adolescents. *Epidemiologic Reviews, 29*(1), 144–159. <https://doi.org/10.1093/epirev/mxm010>
- Sandercock, G. R. H., Ogunleye, A., & Voss, C. (2012). Screen time and physical activity in youth: thief of time or lifestyle choice? *Journal of Physical Activity & Health, 9*(7), 977–984. <https://doi.org/10.1123/jpah.9.7.977>
- Schmider, E., Ziegler, M., Danay, E., Beyer, L., & Bühner, M. (2010). Is It Really Robust?: Reinvestigating the robustness of ANOVA against violations of the normal distribution assumption. *Methodology, 6*(4), 147–151. <https://doi.org/10.1027/1614-2241/a000016>
- Schnohr, P., Marott, J. L., Jensen, J. S., & Jensen, G. B. (2012). Intensity versus duration of cycling, impact on all-cause and coronary heart disease mortality: The Copenhagen City Heart Study. *European Journal of Preventive Cardiology, 19*(1), 73–80. <https://doi.org/10.1177/1741826710393196>
- Sell, K., Lillie, T., & Taylor, J. (2008). Energy Expenditure During Physically Interactive Video Game Playing in Male College Students With Different Playing Experience. *Journal of American College Health, 56*(5), 505–511. <https://doi.org/10.3200/JACH.56.5.505-512>
- Shavelson, R. J., Hubner, J. J., & Stanton, G. C. (1976). Self-Concept: Validation of Construct Interpretations. *Review of Educational Research, 46*(3), 407–441. <https://doi.org/10.3102/00346543046003407>
- Sheehan, D., Katz, L., & Kooiman, B. (2015). Exergaming and physical education: A qualitative examination from the teachers’ perspective. *Journal of Case Studies in Education, 4*, 1–14.
- Sigmundova, D., Ansari, W. El, Sigmund, E., & Fromel, K. (2011). Secular trends: a ten-year comparison of the amount and structure of physical activity and inactivity in adolescents. *BMC Public Health, 11*(11), 1–12. <http://www.biomedcentral.com/1471-2458/11/731>
- Sinclair, J., Hingston, P., & Masek, M. (2009). Exergame development using the dual flow model. *Proceedings of the 6th Australasian Conference on Interactive Entertainment, IE 2009*, 1–7. <https://doi.org/10.1145/1746050.1746061>
- Sinclair, J., Hingston, P., & Masek, M. (2007). Considerations for the design of exergames. *Proceedings of the 5th International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques in Australia and Southeast Asia*, 289–295. <https://doi.org/10.1145/1321261.1321313>
- Slutzky, C. B., & Simpkins, S. D. (2009). The link between children’s sport participation and self-esteem: Exploring the mediating role of sport self-concept. *Psychology of Sport and Exercise, 10*(3), 381–389. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2008.09.006>
- Soltani, P., Figueiredo, P., & Vilas-Boas, J. P. (2020). Does exergaming drive future physical activity and sport intentions? *Journal of Health Psychology, 26*(12), 2173–2185. <https://doi.org/10.1177/1359105320909866>
- Sonstroem, R. J. (1997). The physical self-system: A mediator of exercise and self-esteem. In R. K. Fox (Eds.), *The physical self: From motivation to well-being* (pp. 3–26). Human Kinetics.
- Sonstroem, R. J., & Morgan, W. P. (1989). Exercise and self-esteem: rationale and model. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 21*(3), 329–337. <https://doi.org/10.1249/00005768-198906000-00018>
- Sothorn, M. S., Loftin, M., Suskind, R. M., Udall, J. N., & Blecker, U. (1999). The health benefits of physical activity in children and adolescents: Implications for chronic disease prevention. *European Journal of Pediatrics, 158*(4), 271–274. <https://doi.org/10.1007/s004310051070>
- Speicher, M., Hall, B. D., & Nebeling, M. (2019). What is mixed reality? *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, 1–15. <https://doi.org/10.1145/3290605.3300767>
- Staiano, A. E., Abraham, A. A., & Calvert, S. L. (2013). Adolescent Exergame Play for Weight Loss and Psychosocial Improvement: A Controlled Physical Activity Intervention. *Obesity, 21*(3), 598–601. <https://doi.org/10.1038/oby.2012.143>

- Staiano, A. E., Beyl, R. A., Guan, W., Hendrick, C. A., Hsia, D. S., & Newton, R. L. (2018). Home-based exergaming among children with overweight and obesity: a randomized clinical trial. *Pediatric Obesity, 13*(11), 724–733. <https://doi.org/10.1111/ijpo.12438>
- Staiano, A. E., Beyl, R. A., Hsia, D. S., Katzmarzyk, P. T., & Newton, R. L. (2017). Twelve weeks of dance exergaming in overweight and obese adolescent girls: Transfer effects on physical activity, screen time, and self-efficacy. *Journal of Sport and Health Science, 6*(1), 4–10. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2016.11.005>
- Stamm, O., Vorwerg, S., Haink, M., Hildebrand, K., & Buchem, I. (2022). Usability and Acceptance of Exergames Using Different Types of Training among Older Hypertensive Patients in a Simulated Mixed Reality. *Applied Sciences, 12*(22), 11424. <https://doi.org/10.3390/app122211424>
- Stiller, J., & Alfermann, D. (2005). Selbstkonzept im Sport. *Zeitschrift für Sportpsychologie, 12*(4), 119–126. <https://doi.org/10.1026/1612-5010.12.4.119>
- Stiller, J., Würth, S., & Alfermann, D. (2004). Die Messung des physischen Selbstkonzepts (PSK). *Zeitschrift für Differentielle und Diagnostische Psychologie, 25*(4), 239–257. <https://doi.org/10.1024/0170-1789.25.4.239>
- Stoll, O., & Lau, A. (2005). Flow-Erleben beim Marathonlauf. *Zeitschrift für Sportpsychologie, 12*(3), 75–82. <https://doi.org/10.1026/1612-5010.12.3.75>
- Stoll, O., & Ufer, M. (2021). Flow in Sports and Exercise: A Historical Overview. In Peifer, C., Engeser, S. (Eds.), *Advances in Flow Research* (pp. 351–375). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-53468-4_13
- Street, T. D., Lacey, S. J., & Langdon, R. R. (2017). Gaming Your Way to Health: A Systematic Review of Exergaming Programs to Increase Health and Exercise Behaviors in Adults. *Games for Health Journal, 6*(3), 136–146. <https://doi.org/10.1089/g4h.2016.0102>
- Sun, H. (2012). Exergaming impact on physical activity and interest in elementary school children. *Research Quarterly for Exercise and Sport, 83*(2), 212–220. <https://doi.org/10.1080/02701367.2012.10599852>
- Sun, H. (2013). Impact of exergames on physical activity and motivation in elementary school students: A follow-up study. *Journal of Sport and Health Science, 2*(3), 138–145. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2013.02.003>
- Sween, J., Wallington, S. F., Sheppard, V., Taylor, T., Llanos, A. A., & Adams-Campbell, L. L. (2014). The Role of Exergaming in Improving Physical Activity: A Review. *Journal of Physical Activity & Health, 11*(4), 864–870. <https://doi.org/10.1123/jpah.2011-0425>
- Sweetser, P., & Wyeth, P. (2005). GameFlow: a model for evaluating player enjoyment in games. *Computers in Entertainment (CIE), 3*(3), 3–3. <https://doi.org/10.1145/1077246.1077253>
- Tamborini, R., Bowman, N. D., Eden, A., Grizzard, M., & Organ, A. (2010). Defining Media Enjoyment as the Satisfaction of Intrinsic Needs. *Journal of Communication, 60*(4), 758–777. <https://doi.org/10.1111/j.1460-2466.2010.01513.x>
- Tan, B., Aziz, A. R., Chua, K., & Teh, K. C. (2002). Aerobic demands of the dance simulation game. *International Journal of Sports Medicine, 23*(2), 125–129. <https://doi.org/10.1055/s-2002-20132>
- Tanaka, H., Monahan, K. D., & Seals, D. R. (2001). Age-predicted maximal heart rate revisited. *Journal of the American College of Cardiology, 37*(1), 153–156. [https://doi.org/10.1016/S0735-1097\(00\)01054-8](https://doi.org/10.1016/S0735-1097(00)01054-8)
- Taylor, M. J. D., & Griffin, M. (2015). The use of gaming technology for rehabilitation in people with multiple sclerosis. *Multiple Sclerosis Journal, 21*(4), 355–371. <https://doi.org/10.1177/1352458514563593>
- Telama, R. (2009). Tracking of Physical Activity from Childhood to Adulthood : A Review. *Obesity Facts, 2*(3), 187–195. <https://doi.org/10.1159/000222244>
- Terlecki, M. S., & Newcombe, N. S. (2005). How important is the digital divide? The relation of computer and videogame usage to gender differences in mental rotation ability. *Sex Roles, 53*(5–6), 433–441. <https://doi.org/10.1007/s11199-005-6765-0>
- Thomas, G., Bennie, J. A., De Cocker, K., Castro, O., & Biddle, S. J. H. (2020). A Descriptive Epidemiology of Screen-Based Devices by Children and Adolescents: a Scoping Review of 130 Surveillance

- Studies Since 2000. *Child Indicators Research*, 13(3), 935–950. <https://doi.org/10.1007/s12187-019-09663-1>
- Tietjen, A. M. J., & Devereux, G. R. (2019). Physical Demands of Exergaming in Healthy Young Adults. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(7), 1978–1986. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002235>
- Tremblay, M. S., Aubert, S., Barnes, J. D., Saunders, T. J., Carson, V., Latimer-Cheung, A. E., Chastin, S. F. M., Altenburg, T. M., Chinapaw, M. J. M., Aminian, S., Arundell, L., Hinkley, T., Hnatiuk, J., Atkin, A. J., Belanger, K., Chaput, J. P., Gunnell, K., Larouche, R., Manyanga, T., ... Wondergem, R. (2017). Sedentary Behavior Research Network (SBRN) - Terminology Consensus Project process and outcome. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 14(1), 1–17. <https://doi.org/10.1186/s12966-017-0525-8>
- Trost, S. G., Pate, R. R., Sallis, J. F., Freedson, P. S., Taylor, W. C., Dowda, M., & Sirard, J. (2002). Age and gender differences in objectively measured physical activity in youth. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(2), 350–355. <https://doi.org/10.1097/00005768-200202000-00025>
- Trott, M., Driscoll, R., Irlado, E., & Pardhan, S. (2022). Changes and correlates of screen time in adults and children during the COVID-19 pandemic: A systematic review and meta-analysis. *EClinicalMedicine*, 48, 101452. <https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2022.101452>
- Trzesniewski, K. H., Donnellan, M. B., & Robins, R. W. (2003). Stability of Self-Esteem Across the Life Span. *Journal of Personality and Social Psychology*, 84(1), 205–220. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.84.1.205>
- Vagheti, C. A. O., Monteiro-Junior, R. S., Finco, M. D., Reategui, E., & Da Costa Botelho, S. S. (2018). Exergames experience in physical education: A review. *Physical Culture and Sport, Studies and Research*, 78(1), 23–32. <https://doi.org/10.2478/pcssr-2018-0010>
- Valenzuela, T., Okubo, Y., Woodbury, A., Lord, S. R., & Delbaere, K. (2018). Adherence to Technology-Based Exercise Programs in Older Adults: A Systematic Review. *Journal of Geriatric Physical Therapy*, 41(1), 49–61. <https://doi.org/10.1519/JPT.0000000000000095>
- Valeriani, F., Protano, C., Marotta, D., Liguori, G., Spica, V. R., Valerio, G., Vitali, M., & Gallè, F. (2021). Exergames in childhood obesity treatment: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(9), 4938. <https://doi.org/10.3390/ijerph18094938>
- Van Sluijs, E. M. F., McMinn, A. M., & Griffin, S. J. (2008). Effectiveness of interventions to promote physical activity in children and adolescents: Systematic review of controlled trials. *British Journal of Sports Medicine*, 42(8), 653–657. <https://doi.org/10.1136/bmj.39320.843947.BE>
- Vandewater, E. A., Shim, M. S., & Caplovitz, A. G. (2004). Linking obesity and activity level with children's television and video game use. *Journal of Adolescence*, 27(1), 71–85. <https://doi.org/10.1016/j.adolescence.2003.10.003>
- Vernadakis, N., Zetou, E., Derri, V., Bebetos, E., & Filippou, F. (2014). The Differences between Less Fit and Overweight Children on Enjoyment of Exergames, Other Physical Activity and Sedentary Behaviours. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 152, 802–807. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.09.324>
- Viana, R. B., Vancini, R. L., Vieira, C. A., Gentil, P., Campos, M. H., Andrade, M. S., & de Lira, C. A. B. (2018). Profiling exercise intensity during the exergame Hollywood Workout on XBOX 360 Kinect®. *PeerJ*, 6, e5574. <https://doi.org/10.7717/peerj.5574>
- Vollmer, J., Lohmann, J., & Giess-Stüber, P. (2021). Socioeconomic status and global physical self-concept of adolescents: a multilevel structural equation modeling approach. *German Journal of Exercise and Sport Research*, 51(2), 160–169. <https://doi.org/10.1007/s12662-020-00701-7>
- Wankel, L. M. (1993). The importance of enjoyment to adherence and psychological benefits from physical activity. *International Journal of Sports Psychology*, 24(2), 151–169.
- Warburton, D. E. R., Bredin, S. S. D., Horita, L. T. L., Zbogar, D., Scott, J. M., Esch, B. T. A., & Rhodes, R. E. (2007). The health benefits of interactive video game exercise. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, 32(4), 655–663. <https://doi.org/10.1139/H07-038>
- Weltärztebund. (2013). *WMA Deklaration von Helsinki - Ethische Grundsätze für die medizinische Forschung am Menschen*. <https://www.fmh.ch/files/pdf24/wma-helsinki-deklaration.pdf>

- Whitehead, J. R. (1993). Physical activity and intrinsic motivation. *President's Council on Physical Fitness and Sports Research Digest*, 1(2), 1–8.
- Whitehead, J. R., & Corbin, C. B. (1997). Self-esteem in children and youth: the role of sport and physical education. In K. A. R. Fox (Eds.), *The physical self: From motivation to well-being* (pp. 175–203). Human Kinetics.
- Willems, M. E. T., & Bond, T. S. (2009). Comparison of physiological and metabolic responses to playing nintendo wii sports and brisk treadmill walking. *Journal of Human Kinetics*, 22(1), 43–49. <https://doi.org/10.2478/v10078-009-0022-5>
- Williams, D. M., Papandonatos, G. D., Napolitano, M. A., Lewis, B. A., Whiteley, J. A., & Marcus, B. H. (2006). Perceived enjoyment moderates the efficacy of an individually tailored physical activity intervention. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 28(3), 300–309. <https://doi.org/10.1123/jsep.28.3.300>
- World Health Organization. (2010). *Global Recommendations on Physical Activity for Health*. World Health Organization. <https://bit.ly/3ZSsoaV>
- World Health Organization. (2018). *Global action plan on physical activity 2018-2030: more active people for a healthier world*. World. <https://doi.org/10.1016/j.jpolmod.2006.06.007>
- World Health Organization. (2019). *Guidelines on physical activity, sedentary behaviour and sleep for children under 5 years of age*. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/311664>
- World Health Organization. (2020). *WHO Guidelines on physical activity, sedentary behaviour*. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK566045/pdf/Bookshelf_NBK566045.pdf
- Ye, S., Lee, J., Stodden, D., & Gao, Z. (2018). Impact of Exergaming on Children's Motor Skill Competence and Health-Related Fitness: A Quasi-Experimental Study. *Journal of Clinical Medicine*, 7(9), 261. <https://doi.org/10.3390/jcm7090261>
- Ye, S., Pope, Z. C., Lee, J. E., & Gao, Z. (2019). Effects of school-based exergaming on urban children's physical activity and cardiorespiratory fitness: A quasi-experimental study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(21), 1–9. <https://doi.org/10.3390/ijerph16214080>
- Yen, H. Y., & Chiu, H. L. (2021). Virtual Reality Exergames for Improving Older Adults' Cognition and Depression: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Control Trials. *Journal of the American Medical Directors Association*, 22(5), 995–1002. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2021.03.009>
- YouGov. (2022). *Der Großteil der Gamerinnen und Gamer sieht durchs Spielen positive Effekte auf die mentale Gesundheit*. Game – Verband der deutschen Games-Branche e.V. <https://www.game.de/marktdaten/der-grossteil-der-gamerinnen-und-gamer-sieht-durchs-spielen-positive-effekte-auf-die-mentale-gesundheit/>
- Zaczynski, M., & Whitehead, A. (2014). Establishing Design Guidelines in Interactive Exercise Gaming: Preliminary Data from Two Posing Studies. *SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1875–1884. <https://doi.org/10.1145/2556288.2557329>
- Zamorano-García, D., Infantes-Paniagua, Á., Cuevas-Campos, R., & Fernández-Bustos, J. G. (2021). Impact of Physical Activity-based Interventions on Children and Adolescents' Physical Self-concept: A Meta-analysis. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 94(1), 1–14. <https://doi.org/10.1080/02701367.2021.1927945>
- Zsakai, A., Karkus, Z., Utczas, K., & Bodzsar, E. B. (2015). Body Structure and Physical Self-Concept in Early Adolescence. *Journal of Early Adolescence*, 37(3), 316–338. <https://doi.org/10.1177/0272431615602757>

Danksagung

Auf dem Weg zur Promotion haben mich viele Menschen begleitet und unterstützt, ohne die ich die Dissertation nicht abgeschlossen – und vermutlich nicht einmal begonnen – hätte.

Danken möchte ich Prof. Dr. Oliver Stoll nicht nur für die Bereitschaft, mich als externe Doktorandin zu betreuen, sondern besonders für die Offenheit gegenüber dem Thema der Arbeit sowie die hilfreichen Anregungen, Tipps und die konstruktive Kritik bei der Verfassung der Publikationen. Gleichzeitig bin ich sehr dankbar für die Freiheit, die mir während des gesamten Forschungsprozesses gewährt wurde, was dazu beigetragen hat, meinen wissenschaftlichen Arbeitsstil zu finden.

Bedanken möchte ich mich auch bei Dr. Sascha Ketelhut, der mir während des gesamten Forschungsprozesses mit viel Geduld zur Seite stand, mir Mut zugesprochen hat und mir beigebracht hat, dass Tiefen und Zweifel genauso zum Promotionsverfahren gehören wie Höhen und Erfolgserlebnisse. Unsere zahlreichen Diskussionen und Debatten haben maßgeblich dazu beigetragen, dass ich meine Motivation und Begeisterung für das Forschungsthema bis zum Fertigstellen der Dissertation aufrechterhalten konnte und darüber hinaus noch weitere Forschungsprojekte entstanden sind. Vor allem der „Exergamathon“-Workshop ist ein inspirierendes Wissenschaftsformat, das ganz neue Perspektiven aufgedeckt hat.

Großer Dank gilt Prof. Dr. Anna-Lisa Martin-Niedecken und Stefan Niedecken für die zahlreichen kreativen Brainstormings, die wertvollen Literaturtipps sowie den Support beim Auf- und Abbau und Bedienen des ExerCube. Bei jedem Austausch sind die Ideen nur so gesprudelt, was mir immer wieder gezeigt hat, wie viel Potenzial digitale Bewegungsinterventionen aufweisen.

Bedanken möchte ich mich auch bei Prof. Dr. Kerstin Ketelhut für die Koordination der Schulstudie und den stetigen Austausch mit allen Lehrenden und Übungsleiter*innen, vor allem während der Corona-Pandemie. Deine Organisation hat maßgeblich dazu beigetragen, dass wir so viele Daten erheben konnten.

Mein Dank gilt ebenfalls Dr. Sara Wellenzohn nicht nur für das Korrekturlesen der Arbeit, sondern vor allem auch für das kritische Hinterfragen von Begrifflichkeiten und Methoden sowie das stets offene Ohr und die Hilfsbereitschaft.

Ein großes Dankeschön möchte ich allen Lehrenden und Übungsleiter*innen der Mercator Grundschule sowie vor allem der Schulleiterin aussprechen, die es überhaupt erst möglich gemacht hat, die Untersuchungen durchzuführen. Die Offenheit der gesamten Schule gegenüber innovativen Bewegungsformaten und die Nutzung des ExerCube über den Interventionszeitraum hinaus haben mir gezeigt, dass Forschungsprojekte nicht nur in der Theorie das Potenzial besitzen, etwas „zu bewegen“.

Bedanken möchte ich mich auch bei allen Studienteilnehmenden sowie Übungsleiter*innen (vor allem Frank Brünner) für die Bereitschaft, an den Untersuchungen teilzunehmen, sowie das große Interesse am Forschungsthema. Ohne euer Engagement wäre die Datenerhebung nicht möglich gewesen.

Für das Interesse an meiner Arbeit und dem Forschungsprozess sowie den Zuspruch, das Mitfiebern und das Daumendrücken (vor allem bei der Einreichung der Zeitschriften-Publikationen) möchte ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden bedanken.