

# Die räumliche Präsenz mediiert den Einfluss von Immersivität auf Entspannung: Eine Sekundäranalyse

Thiemo Knaust<sup>1\*</sup>, Anna Felnhofer<sup>2</sup>, Oswald Kothgassner<sup>3</sup>, Helge Höllmer<sup>1</sup>, Robert Gorzka<sup>4</sup> & Holger Schulz<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Zentrum für Seelische Gesundheit, Bundeswehrkrankenhaus Hamburg, Hamburg, Deutschland

<sup>2</sup> Universitätsklinik für Kinder- und Jugendheilkunde, Abteilung für Pädiatrische Pulmologie, Allergologie und Endokrinologie, Medizinische Universität Wien, Wien, Österreich

<sup>3</sup> Universitätsklinik für Kinder- und Jugendpsychiatrie, Medizinische Universität Wien, Wien, Österreich

<sup>4</sup> Abteilung für Truppen- und Einsatzpsychologie, Kommando Feldjäger der Bundeswehr, Hannover, Deutschland

<sup>5</sup> Zentrum für Psychosoziale Medizin, Institut und Poliklinik für Medizinische Psychologie, Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf, Hamburg, Deutschland

## Abstract

**Hintergrund:** Virtuelle Entspannungsinterventionen, wie 360°Naturvideos, gewinnen zunehmend an Bedeutung. Während der bisherige Fokus auf der Wirksamkeit von 360°Naturvideos lag, haben nur wenige Studien die zugrundeliegenden Wirkfaktoren untersucht.

**Ziel:** Diese Sekundäranalyse überprüft explorativ, ob die räumliche Präsenz den Einfluss einer 360°Strandaufnahme, welche mit unterschiedlich immersiver Hardware präsentiert wird, auf die selbstberichtete und psychophysiologische Entspannung (Hautleitfähigkeit und Herzrate) mediiert. Anschließend wurde untersucht, ob dieser Mediationseffekt durch das Alter, Geschlecht oder die Technologieängstlichkeit der Teilnehmer beeinflusst wird.

**Methode:** Insgesamt nahmen 102 Erwachsene (40.2% weiblich) an einem randomisiert kontrollierten Innersubjektexperiment teil. Alle Teilnehmer durchliefen drei Erholungsbedingungen, in denen sie eine monoskopische 360°Strandaufnahme über ein head-mounted display (HMD) und einen Computerbildschirm sahen und eine Kontrollbedingung ohne Strandvideo durchliefen. Vor der jeweiligen Erholungsbedingung wurden, um das physiologische Aktivierungsniveau zu erhöhen, den Teilnehmern Kopfrechenaufgaben gestellt.

**Ergebnisse:** Die Multilevel Mediationsanalyse ergab, dass die Strandaufnahme via HMD als signifikant entspannender erlebt wurde als über den Computerbildschirm. Dieser Unterschied wurde durch die räumliche Präsenz mediiert. Weiterführende Analysen zeigten, dass dieser Mediationseffekt nicht durch das Alter, Geschlecht oder die Technologieängstlichkeit der Teilnehmer beeinflusst wurde. Entgegen den Erwartungen wurden keine Unterschiede in der Hautleitfähigkeit und Herzrate zwischen den Bedingungen festgestellt.

**Zusammenfassung:** Diese explorative Sekundäranalyse fand erste Belege dafür, dass die räumliche Präsenz ein bedeutsamer Wirkfaktor für die selbstberichtete Entspannung einer monoskopischen 360°Strandaufnahme ist, welcher nicht durch das Alter, Geschlecht oder die Technologieängstlichkeit beeinflusst wird. Allerdings ist die Aussagekraft durch methodische Limitierungen und fehlende psychophysiologische Entspannungsunterschiede eingeschränkt. Entsprechend werden weiterführende Studien zu den Wirkfaktoren monoskopischer 360°Naturvideos benötigt.

**Keywords:** Monoskopische 360°Naturvideos, Immersive Naturumgebung, Virtuelle Entspannungsverfahren, Räumliche Präsenz, Psychophysiologie

Artikelhistorie

Eingereicht 6. Februar 2022

Überarbeitet 14. April 2022

Akzeptiert 6. Juli 2022

DOI 10.24989/dp.v2i2.2046

## 1 Einleitung

Virtual Reality (VR) wird als Methode für psychologische Interventionen bereits vielseitig eingesetzt und erforscht. Ein unter dem Gesichtspunkt der Entspannungsinduktion zunehmend erprobter Ansatz sind die Darbietungen virtueller Naturumgebungen (Browning et al., 2020; Frost et al., 2022). Aktuell werden

verschiedene Theorien zu einem integrativen Rahmenmodell für die Erklärung der Wirkungen virtueller Naturumgebungen zusammengefasst. Diese werden in den folgenden Abschnitten beschrieben.

Neben der Stress Reduction Theory (SRT; Ulrich et al., 1991) und der Biophilie-Hypothese (Kellert & Wilson, 1995) ist eine der bekanntesten Theorien zu den Entspannungseffekten realer

Naturumgebungen die Attention Restoration Theory (ART; Kaplan, 1995); diese stellt zugleich auch den theoretischen Rahmen für die Erklärung virtueller Naturumgebungen dar (Browning et al., 2020; Yeo et al., 2020). Die ART beruht im Wesentlichen auf der Annahme der kognitiven Wahrnehmungs- und Aufmerksamkeitsumlenkung (Kaplan, 1995). Demnach helfen Naturumgebungen dabei, die Aufmerksamkeit von einer stressbezogenen Situation auf etwas Neutrales oder positiv Erlebtes (z. B. die Naturumgebung) zu lenken, was wiederum als entspannend bzw. erholsam wahrgenommen wird (Kaplan, 1995; Frost et al., 2022). Die ART hat sich über die Zeit hinweg bewährt, gleichwohl sie teilweise kontrovers diskutiert wurde (Ohly et al., 2016). Dennoch stellt sie einen wichtigen nomologischen Eckpfeiler dar, um u. a. auch die Wirkweise virtueller Naturumgebungen zu erklären (Browning et al., 2020; Yeo et al., 2020).

Für die theoretische Wirksamkeitserklärung virtueller Naturumgebungen ist die räumliche Präsenz essenziell. Diese beschreibt im Allgemeinen den Eindruck des Rezipienten, sich tatsächlich an einem virtuellen Ort zu befinden (Hofer et al., 2020). Eine bekannte theoriegeleitete Konzeptionalisierung ist das Zwei-Ebenen-Modell der räumlichen Präsenz (Hartmann et al., 2016; Wirth et al., 2007). Laut diesem Modell wird durch die aufmerksame Verarbeitung des virtuellen Raumes ein räumliches Situationsmodell (*spatial situation model*, SSM; Rinck et al., 1996) erzeugt. Damit räumliche Präsenz beim Rezipienten entsteht, muss im zweiten Schritt das SSM als primärer Referenzrahmen festgelegt werden. Dies bedeutet, dass z. B. die virtuelle Umgebung – im Gegensatz zur physischen bzw. realen Umgebung (z. B. Labor) – die vorrangige Gültigkeit für aktuelle Wahrnehmungsprozesse besitzt (Hartmann et al., 2016). Der Referenzrahmen wird dabei aus der Ich-Perspektive entwickelt (*egocentric reference frame*; ERF; Carlson et al., 2010). Das Herausfordernde ist hierbei, dass mehrere ERFs in Konkurrenz zueinanderstehen, da es möglich ist, sich sowohl in der virtuellen als auch in der realen Umgebung anwesend zu fühlen. Bedeutsam ist, welcher dieser ERFs als primärer egozentrischer Referenzrahmen festgelegt wird (PERF). Nach Wirth et al. (2007) lässt sich dieser Prozess anhand der Hypothesentheorie der sozialen Wahrnehmung erklären. Demnach ist die Wahrnehmung kein direktes Abbild der Umwelt, sondern ein Abgleich zwischen Erwartungen (Hypothesen) über die Beschaffenheit und den eintreffenden Informationen der Umwelt (Hartmann et al., 2016). Je mehr Informationen nun über die virtuelle statt über die reale Umgebung vorhanden sind, desto wahrscheinlicher wird es, dass die virtuelle Umgebung als PERF akzeptiert wird und räumliche Präsenz erzeugt werden kann.

Die Prozesse des SSM und der PERF sind von mehreren Faktoren abhängig wie z. B. dem Immersionsgrad der Technologie. Immersivität ist eine technische Eigenschaft, welche sich aus dem Zusammenspiel zwischen Hard- und Software zusammensetzt und durch die Inclusiveness, Extensiveness, dem Surrounding und der Vividness systematisch beschrieben werden kann (Slater, 2003; Slater & Sanchez-Vives, 2016; Slater & Wilbur, 1997). Es gilt als relativ gesichert, dass der Immersionsgrad

der Technik positiv mit der Entstehung räumlicher Präsenz zusammenhängt (Cummings & Bailenson, 2016). Weshalb für die Wirksamkeitserklärung virtueller Naturumgebungen auch die Immersivität der Darbietungsart wichtig ist.

Eine Darbietungsart für virtuelle Naturumgebungen sind monoskopische 360°Naturvideos, welche über ein head-mounted display (HMD) präsentiert werden. Sie profitieren von fotorealistischen Aufnahmen, einer verhältnismäßig einfachen Bedienung und Postproduktion-Workflows, was in Kombination mit den relativ geringen Produktionskosten die massentaugliche Marktreife und zunehmende Popularität, speziell im Vergleich zu stereoskopischen oder computerprogrammierten 3D Naturumgebungen, erklären kann (Knaust et al., 2021). Deshalb konzentriert sich die vorliegende Studie im weiteren Verlauf auf monoskopische 360°Naturaufnahmen. Gleichwohl sie zunehmend populärer werden, schöpfen monoskopische 360°Naturaufnahmen die immersiven Funktionseigenschaften aktueller HMDs nicht vollumfänglich aus, da z. B. Stereoskopie fehlt und auch Interaktionsmöglichkeiten mit der virtuellen Naturumgebung reduziert sind (z. B. kann sich nicht frei in der virtuellen Naturumgebung bewegt oder Gegenstände gegriffen werden etc.). Aufgrund der immersionsreduzierenden Eigenschaften monoskopischer 360°Videos ist eine zentrale Frage, ob es einen bedeutsamen Unterschied macht, wenn diese mit einer immersiven Hardware, wie einem HMD, im Vergleich zu einer weniger immersiven Hardware, wie einem PC- oder TV-Bildschirm, dargeboten werden (Knaust et al., 2021; Yeo et al., 2020).

Für einen bedeutsamen Unterschied spricht z. B., dass der Grad der visuellen Inclusiveness stark zwischen HMDs und PC- oder TV-Bildschirmen variiert. Werden monoskopische 360°Naturvideos via HMDs präsentiert, erfolgt eine nahezu vollständige visuelle Substitution der realen Umgebung mit der virtuellen Naturumgebung, was mit einem normalen PC oder TV-Bildschirm nicht möglich ist. Hinzukommt die blickpunktabhängige Bildgenerierung aus der Ich-Perspektive, wenn das monoskopische 360°Video via HMD präsentiert wird.

Bezugnehmend auf das Zwei-Ebenen-Modell der räumlichen Präsenz (Wirth et al., 2007) kann speziell aus der Kombination der visuellen Inclusiveness und der blickpunktabhängigen Bildgenerierung aus der Ich-Perspektive eine höhere Wahrscheinlichkeit abgeleitet werden, dass das monoskopische 360°Naturvideo via HMD im Vergleich zum PC oder TV-Bildschirm eher als PERF akzeptiert wird und räumliche Präsenz erzeugt. Demnach hat der Rezipient eher den Eindruck sich tatsächlich in der monoskopischen 360°Naturaufnahme zu befinden, wenn diese mit einem HMD anstatt einem PC oder TV-Bildschirm dargeboten wird. Dies wird im Einklang mit der ART (Kaplan, 1995) dann als entspannender konnotiert.

Empirisch wurde in einer kürzlich erschienenen Studie untersucht, ob es einen signifikanten Unterschied zwischen einer 3D computer-programmierten Unterwasserumgebung via HMD (3D-Bedingung), einer monoskopischen 360°Unterwasseraufnahme via HMD (360°-Bedingung) und einer normalen Unterwasseraufnahme via TV-Bildschirm (TV-Bedingung)

hinsichtlich des selbstberichteten situativen Affektes gibt (Yeo et al., 2020). Vor der Unterwasserumgebung gab es eine experimentell induzierte Langweile-Phase. Zudem untersuchten die Autoren, ob mögliche Unterschiede durch das räumliche Präsenzerleben und die Naturverbundenheit mediiert werden.

Die Autoren fanden zum Postzeitpunkt, dass der positive Affekt signifikant höher in der 3D- anstatt 360°- und TV-Bedingung war. Entgegen der Erwartung konnten sie keine signifikanten Unterschiede zwischen der 360°- und TV-Bedingung feststellen. Im anschließenden Strukturgleichungsmodell zeigten die Autoren signifikante Mediationseffekte für das räumliche Präsenzerleben und der Naturverbundenheit in der 3D- und 360°-Bedingung, im Vergleich zu der TV-Bedingung, auf den positiven Affekt. Interessanterweise kehrte sich unter der statistischen Kontrolle der Mediatoren der direkte Effekt der 3D- und 360°-Bedingung um. Demnach war die TV-Bedingung mit höheren positiven Affektwerten assoziiert. Als mögliche Erklärung führen die Autoren an, dass einige Probanden das Gewicht des HMDs als störend empfanden. Sodass sie vermuten, dass die „VR conditions tended to promote positive affect by being more immersive, but this was countered by awkward equipment that the simpler TV setup did not require.“ (Yeo et al., 2020, p. 10). Entgegen der Erwartung fanden die Autoren keine signifikanten Effekte zwischen den Bedingungen zum Postzeitpunkt hinsichtlich des negativen Affekts und der Langweile-Werte. Methodische Limitierungen (z.B. unterschiedliches Filmmaterial mit unterschiedlichen Dokumentarnarrativen oder eine geringe Teststärke) könnten die inkonsistenten Ergebnisse erklären.

Zudem wird allgemein diskutiert, ob die Entstehung räumlicher Präsenz von weiteren Rezipientenmerkmalen wie z. B. Geschlecht, Alter und/oder der Technologieängstlichkeit abhängig ist (Felnhofer et al., 2014; Kothgassner et al., 2013; Kothgassner et al., 2018; Manis & Choi, 2019). Dieses würde dann auch die Entspannungsreaktion monoskopischer 360°Naturaufnahmen, im Sinne einer mediiierenden Moderation, beeinflussen. Bisher fehlen hierzu jedoch empirische Überprüfungen (Liszio et al., 2018; Yeo et al., 2020).

Im Allgemeinen ist die Operationalisierung der Entspannungsreaktion facettenreich. Sie kann z. B. auf einer subjektiven/selbstberichteten, physiologischen und behavioralen Ebene vollzogen werden (Gal & Lazarus, 1975). Daher eignen sich multimodale Operationalisierungsansätze, um ein möglichst umfassendes Bild der Entspannungsreaktion wiederzugeben (Villani et al., 2007). Auch das Komplementierungspotential der unterschiedlichen Entspannungsreaktionen scheint vielversprechend zu sein. So sind z. B. physiologische Parameter – anders als selbstberichtete Messungen – weniger von den Erwartungen und Überzeugungen der Teilnehmer über das Experiment, ihrer Selbstwahrnehmung oder Introspektionsfähigkeit abhängig (Orne, 1962). So können sie selbstberichtete Parameter zielführend ergänzen. Gleichwohl eine gewisse Konvergenz der unterschiedlichen Entspannungsreaktionsebenen angenommen wird (Mauss et al., 2005; Mauss & Robinson, 2009), sind die empirischen Befunde indes häufiger unklar und zeigen Inkonsistenzen

zwischen psychophysiologischen und selbstberichteten Zielvariablen (Campbell et al., 2012; Dalile et al., 2022; Gal & Lazarus, 1975).

Dies trifft auch auf virtuelle Naturumgebungen zu. Liszio et al. (2018) konnten z. B. zeigen, dass nach einer Aktivierungsphase (20 min. virtueller Trierer Stress Test), eine 6-minütige 3D computerprogrammierte Unterwasserumgebung („theBlu“) via 6DoF HMD (HMD-Bedingung) zu signifikant höheren Herzratenvariabilitätswerten (operationalisiert mit der standard deviation of the differences between successive NN intervals; SDD) geführt hat, als eine 2D Aufnahme von theBlu via PC-Bildschirm (PC-Bedingung) oder eine Kontrollbedingung ohne Naturumgebung. Höhere SDD-Werte sind mit Entspannungsreaktionen assoziiert. Kohärent hierzu fanden die Autoren signifikant höhere positive Affektwerte in der HMD-Bedingung als in der PC- und Kontrollbedingung. Entgegen der Erwartung wurden keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich des negativen Affekts und des Cortisolspiegels der Probanden zwischen den Bedingungen gefunden. Auch weiterführende Studien zu virtuellen Naturumgebungen – mit unterschiedlichen Zielsetzungen (z. B. virtuelle Naturumgebungen vs. virtuell dargebotene Kontrollbedingungen, Anderson et al., 2017; Mostajeran et al., 2021 oder virtuelle Naturumgebungen vs. reale, Browning et al., 2020) – fanden teilweise Belege dafür, dass psychophysiologische Entspannungsreaktionen und Affektveränderungen durch das einmalige Präsentieren von virtuellen Naturumgebungen erwartungsgemäß beeinflussbar sind (siehe Supplementary Table 1 für eine detailliertere Zusammenfassung der Studien). Allerdings zeigten diese Studien auch Inkonsistenzen zwischen psychophysiologischen und selbstberichteten Entspannungsparametern. Daher bleibt es offen inwiefern konvergierende Entspannungsreaktionsmuster bei virtuellen Naturumgebungen erwartbar sind.

Zusammenfassend ist das Ziel dieser Studie zu untersuchen, ob eine monoskopische 360°Naturaufnahme via HMD dem gleichen Video via PC-Bildschirm hinsichtlich der selbstberichteten Entspannung (operationalisiert mit einem Single-item) und der psychophysiologischen Entspannungsreaktion überlegen ist; und ob dieser Effekt durch die räumliche Präsenz mediiert wird. Die psychophysiologische Entspannungsreaktion wird durch die Hautleitfähigkeit und Herzrate operationalisiert (Mostajeran et al., 2021; Schwartz & Andrasik, 2017). Weiterführende Analysen sollen Aufschluss darüber geben, ob ein potenziell mediiender Effekt durch das Alter, Geschlecht und die Technologieängstlichkeit der Probanden beeinflusst wird.

## 2 Methode

Die vorliegende Studie ist eine explorative Sekundäranalyse von Knaust et al. (2021). A-priori wurden keine spezifischen primären Zielvariablen festgelegt. Vor Beginn unterschrieben alle Teilnehmer die Datenschutz- und Einwilligungserklärung.

## 2.1 Stichprobe

Die ad-hoc Stichprobe bestand aus insgesamt  $N = 102$  (40.2% Frauen) gesunden Erwachsenen. Die Studie fand am Bundeswehrkrankenhaus in Hamburg statt. Das Alter lag zwischen 19 und 62 Jahren ( $M = 36.52$ ,  $SD = 12.63$ ). Die durchschnittliche Technologieängstlichkeit, welche mit einer 7-stufigen Likert-Skala (1 = „Trifft nicht zu“, 7 = „Trifft zu“) aus dem Technology Usage Inventory (TUI, Kothgassner et al., 2013) gemessen wurde, lag bei  $M = 2.34$  ( $SD = 1.13$ ). Tabelle 1 fasst alle soziodemographischen Faktoren getrennt nach dem Geschlecht zusammen.

Die Rekrutierung fand über Ankündigungen in Teambesprechungen im Krankenhaus, Informationsflyer, persönlichen Kontakt und Mundpropaganda statt. Ausreichend gute Deutschkenntnisse waren das einzige a-priori definierte Einschlusskriterium.

## 2.2 Design

Das vorliegende Experiment ist ein ausbalanciertes randomisiertes Innersubjektexperiment. Alle Teilnehmer durchliefen insgesamt drei Erholungsbedingungen (HMD-Bedingung: 5-minütiges monoskopisches 360°Strandvideo via HMD, PC-Bedingung: gleiches Video via PC-Bildschirm, Kontrollbedingung ohne Video: 5 Minuten lang ruhig und still dasitzen). Vor den jeweiligen Erholungsbedingungen mussten alle Teilneh-

mer in der Aktivierungsbedingung Kopfrechenaufgaben lösen, welche in Anlehnung an den Trier Social Stress Test (TSST; Kirschbaum et al., 1993) konzipiert wurden. Um Positions- und Übertragungseffekte zu verhindern, wurde die Reihenfolge der Kopfrechenaufgaben und die Reihenfolge der Erholungsbedingungen getrennt voneinander randomisiert. Mit einer Randomisierungsliste wurde dann für jeden Teilnehmer festgelegt, welche Rechenaufgabe als erstes, zweites oder drittes gerechnet, und welche Erholungsbedingung im Anschluss der jeweiligen Rechenaufgaben durchlaufen werden sollte. Die Randomisierungsliste bestand hierbei aus einer Blockrandomisierung, um eine ungefähre gleich große Ausbalancierung der Reihenfolge-möglichkeiten zu realisieren. Die Blockbildung bestand aus den potentiellen Reihenfolgeoptionen (Blockfaktorgröße,  $k = 36$ ). Innerhalb dieses Blocks wurden die Reihenfolgeoptionen dann mit zufällig generierten Zahlen bestimmt. Aufgrund der relativ großen Blöcke halten wir eine Vorhersehbarkeit der Reihenfolge durch die Probanden und Versuchsleiter für gering, gleichwohl diese – typisch für Blockrandomisierungen – nicht gänzlich ausgeschlossen werden kann.

## 2.3 Messinstrumente

### Hautleitfähigkeit und Herzrate

Die psychophysiologische Entspannung wurde mit der Hautleitfähigkeit (skin conductance level, SCL) und Herzrate (HR) ope-

Tab. 1: Soziodemographische Faktoren der Stichprobe.

	Gesamt (N = 102)		Frauen (n = 41)		Männer (n = 61)		Chi <sup>2</sup> (df)	p	ω
	n	%	n	%	n	%			
Bildung							2.81 (2)	.245	.168
Universität	28	27.5	13	31.8	15	25.5			
Gesamtschule	44	43.1	14	34.1	30	50.8			
Real- und Hauptschule	28	27.5	14	34.1	14	23.7			
Erfahrung mit einem HMD							3.33 (1)	.068	.182
Ja	43	42.2	13	31.7	30	50.0			
Nein	58	56.9	28	68.3	30	50.0			
	M	SD	M	SD	M	SD	t (df)	p	d
Alter (in Jahren)	36.52	12.63	35.61	12.11	37.13	13.04	0.59 (100)	.554	0.12
Arbeitserfahrung (in Jahren)	15.54	12.93	14.65	12.04	16.15	13.57	0.58 (99)	.569	0.11
Technologieängstlichkeit	2.21	1.13	2.67	1.26	1.90	0.93	3.50 (100)	.001	0.71

Notiz. Der Chi<sup>2</sup> und t-test bezieht sich auf den Vergleich der Geschlechter und der jeweiligen abhängigen Variable, head-mounted display = HMD.

rationalisiert (Ben-Shakhar, 1985; Schwartz & Andrasik, 2017). Die Aufzeichnung erfolgte mit dem *Nexus Mark II* (Mind Media B. V., Niederlande) und der dazugehörigen *Biotrace+* Software (Version 20.13). Für die SCL wurden zwei Ag/AgCl Fingerelektroden an den Zeige- und Ringfinger der nicht-dominanten Hand angebracht. Der Blutvolumenpulsometer wurde an den Zeigefinger der dominanten Hand angebracht. Die SCL wird ausschließlich sympathisch innerviert und wurde mit micro Siemens gemessen (Ben-Shakhar, 1985). Die HR wird sowohl sympathisch als auch parasympathisch innerviert und wurde in Schlägen pro Minute gemessen (Schwartz & Andrasik, 2017). Die sample rate betrug 32 samples per second (SPS).

#### *Selbstberichtete Entspannung*

Mit jeweils einem Item pro Darbietungsform wurde die erlebte Entspannung auf einer 7-stufigen Likert Skala (1= „Trifft nicht zu“, 7 = „Trifft zu“) erfasst (PC-Bedingung: „Das PC-Video empfand ich als entspannend“; HMD-Bedingung: „Das VR-Video empfand ich als entspannend.“).

Das Innersubjektdesign erhöhte die Teststärke in der vorliegenden Stichprobe, führte jedoch zu einer relativ langen Versuchsdauer von ca. einer Stunde. Zudem macht das Innersubjektdesign die Nutzung validierter Skalen zur Bewertung der Entspannungs-/Stimmungsänderungen herausfordernd (wie z. B. den Positive and Negative Affect Schedule, Watson et al., 1988). Jeder Teilnehmer musste 20 Items für jede Bedingung ausfüllen, was wahrscheinlich zu Ermüdungs- und/oder Langleweileneffekten geführt hätte. Zudem würde sich der relativ lange Versuchsablauf zusätzlich verlängern. Um dieses zu verhindern haben wir uns, wie auch vorherige Studien (Vaquero-Blasco et al., 2021), für ein Single-Item als Operationalisierung entschieden. Allerdings wird die Reliabilität und Aussagekraft von Single-Items kontrovers diskutiert (Egleston et al., 2011; Loo, 2002; Postmes et al., 2013).

Bisherige Studien haben im Prä-Post-Vergleich selbstberichtete Affektveränderungsmessinstrumente erhoben (Anderson et al., 2017; Liszio et al., 2018; Villani et al., 2007; Yeo et al., 2020; siehe Tabelle S1). Neben dem Prä-Post-Vergleich ist ein alltagsnahes Szenario, dass Rezipienten das relativ neuartige Entspannungsverfahren der monoskopischen 360°Naturaufnahme mit bereits bekannten Entspannungsverfahren und/oder Medien – auch außerhalb des Labors – vergleichen würden, um so für sich zu bewerten, ob sie es mehr oder weniger entspannend erleben. Diese referenzrahmenbasierte Entscheidung (Helson, 1948; Rigoli, 2019) hielten wir – komplementär zu den psychophysiologischen Entspannungsparametern – für eine ökologisch valide Ergänzung zum bisherigen Forschungsstand. Allerdings müssen die Ergebnisse entsprechend vorsichtig interpretiert werden, da durch einen postrezeptiven intraindividuellen Vergleich zum Schluss des Experiments eine systematische Überschätzung in den selbstberichteten Entspannungsunterschieden nicht ausgeschlossen werden kann.

#### *Räumliche Präsenz*

Die räumliche Präsenz wurde in der vorliegenden Studie mit einer modifizierten Form der Subskala Spatial Presence aus dem iGroup presence questionnaire (IPQ; Schubert et al., 2001) operationalisiert (Itemanzahl:  $k = 5$ , Likert-Skala: 1= „Trifft nicht zu“, 7 = „Trifft zu“). Die Modifikation bestand daraus, dass vor den Items ein „im PC-Video“ bzw. „im VR-Video“ ergänzt wurde (z. B. „Im PC-Video hatte ich das Gefühl, dass die virtuelle Umgebung hinter mir weitergeht“). In der vorliegenden Studie lag die interne Konsistenz dieser modifizierten Subskala bei  $\alpha = .808$  und deutet so auf eine gute Reliabilität hin (Cronbach, 1951).

#### *Technologieängstlichkeit*

Mit dem TUI (Kothgassner et al., 2013) wurde die Technologieängstlichkeit operationalisiert. Die Subskala Technologieängstlichkeit erfasst mit vier Items den Grad der Überforderung und der Angst vor technischen Geräten (1= „Trifft nicht zu“, 7 = „Trifft zu“) (Kothgassner et al., 2013). Die interne Konsistenz war mit einem Cronbachs  $\alpha = .79$  in dieser Stichprobe im guten Bereich (Cronbach, 1951).

## 2.4 Prozedere

Nachdem die Probanden die Einwilligungs- und Datenschutzerklärung unterschrieben hatten, wurden sie an das NeXus Mark II angeschlossen und das Experiment begann mit der Messung einer zweiminütigen Hautleitfähigkeits- und Herzrate-Baseline. Hier sollten die Probanden mit offenen Augen ruhig dazusitzen. Im Anschluss durchliefen die Probanden abwechselnd die Aktivierungs- und Erholungsbedingungen, bis insgesamt drei Kopfrechenaufgaben, welche in Anlehnung an den TSST (Kirschbaum et al., 1993) konzipiert wurden (sukzessives und serielles subtrahieren einer zweistelligen Primzahl z. B. 13 von 1022 vor dem Versuchsleiter. Die Ergebnisse mussten laut ausgesprochen werden) und drei Erholungsbedingungen (HMD, PC und Kontrollbedingung) absolviert wurden.

In der HMD-Bedingung wurde die Blickrichtung mit Kopfbewegungen gesteuert. In der PC-Bedingung konnten die Probanden vor dem Start des Videos die Blickrichtung mit einer Computermaus festlegen. Danach war keine weitere Interaktion mit der Computermaus erlaubt, um Artefakte bei der psychophysiologischen Messung zu vermeiden. In der Kontrollbedingung sahen die Probanden keine 360°Strandaufnahme. Sie wurden instruiert fünf Minuten lang ruhig und still dazusitzen. Die Probanden saßen vor einer Trennwand, sodass der Testleiter während der PC- und Kontrollbedingung nicht zu sehen war. Der Computerbildschirm war während der Kontrollbedingung ausgeschaltet.

Nach der letzten Erholungsbedingung wurden die Ableitungen des NeXus Marks II vom Probanden entfernt und ein Abschlussfragebogen ausgehändigt. Mit diesem wurden soziodemographische Faktoren, die räumliche Präsenz, die selbstbe-

richtete Entspannung zu den drei Erholungsbedingungen und der TUI erfasst.

## 2.5 Material

Für die HMD-Bedingung wurde die HTC Vive an einen Computer (Windows 7, Intel (R) Core (TM) i7-3820 CPU, 64 Bit, NVIDIA GeForce GTX 660, 8GB Ram) angeschlossen. Als PC-Bedingung wurde an den gleichen Computer ein Computermonitor angeschlossen (Modeltyp EV2750). Um den Ton zwischen der immersiven und nicht-immersiven Bedingung konstant zu halten, wurden on-ear Kopfhörer (JBL JR 3000) je nach Bedingung entweder an das HMD oder an den Computermonitor angeschlossen. Das monoskopische 360°Strandvideo (<https://www.sphaeresvr.com/experience/vr-nature/dream-beach-mallorca>) zeigt eine geschützte Bucht mit Blick auf den Ozean und wurde von Meeresrauschen begleitet.

## 2.6 Datenaufbereitung SCL und HR

Die Rohdaten der SCL und HR wurden in den folgenden vier Schritten aufbereitet: Erstens wurden durch den Mittelwert der 32 Werte pro Sekunde die 32SPS zu einem Wert pro Sekunde zusammengefasst. Zweitens wurden alle Zeitintervalle, die nicht direkt zu den Experimentalphasen gehören, entfernt. Drittens wurde dieser Datensatz, der nur noch die Experimentalphasen enthält, z-transformiert, um interindividuelle Unterschiede zu minimieren (Ben-Shakhar, 1985). Im vierten Schritt wurden Minutenintervalle der einzelnen Experimentalphasen gebildet. Der Wert pro Minute wurde aus dem Mittelwert der jeweiligen 60 Sekunden gebildet. Hieraus resultierten für die Erholungsbedingungen fünf Messzeitpunkte (Min 1–5).

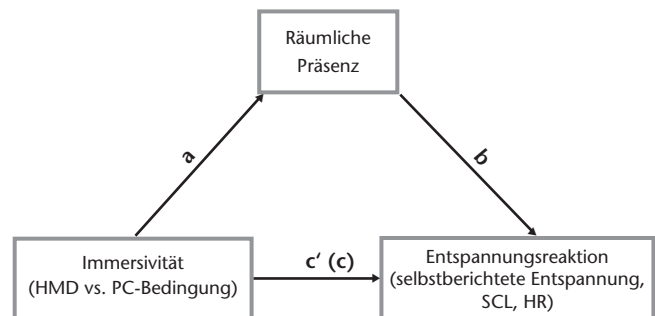
## 2.7 Statistische Analyse

Zur statistischen Überprüfung der Hypothesen wurde eine Multilevel Mediationsanalyse mit dem MLmed (<https://njrockwood.com/mlmed>) Makro für SPSS (Version 26) durchgeführt (Hayes & Rockwood, 2020; Hu et al., 2020). In dem vorliegenden Innersubjektdesign liegt eine hierarchische Datenstruktur vor. Die selbstberichtete Entspannung, räumliche Präsenz und die psychophysiologische Reaktion sind in der Versuchsperson genestet und stellen die Level-1-Variablen dar. Level-2-Variablen bilden die Versuchsperson selbst, sowie das Alter, Geschlecht und die Technologieängstlichkeit. Das MLmed Makro für SPSS ermöglicht diese Abhängigkeit in den Daten zu berücksichtigen.

In diesem Multilevel Mediationsmodell ist die unabhängige Variable die Immersivität (HMD mit „-1“ und PC-Bedingung mit „1“ codiert), die räumliche Präsenz der Mediator und die selbstberichtete Entspannung, die Minutendifferenz (Min1-

Min5) der z-standardisierten SCL- und HR-Werte die abhängigen Variablen. Abbildung 1 stellt die Hypothesentestung schematisch dar.

Für die explorativen Analysen wurden das Geschlecht, Alter und die Technologieängstlichkeit als Zwischensubjektfaktoren jeweils einzeln in das Modell aufgenommen. Es wurde überprüft, ob sie die Wirkung der räumlichen Präsenz (Pfad *a* & *b*, siehe Abbildung 1) beeinflusst. Die Kovarianzstruktur der zufälligen Effekte wurde auf Diagonal festgelegt und die Parameter nach der Restricted Maximum Likelihood (REML) Methode geschätzt (Hu et al., 2020).



**Abb. 1:** Schematische Darstellung, dass die Entspannungsreaktion zwischen der HMD und PC-Bedingung durch die räumliche Präsenz mediiert wird. Pfad *a* stellt den Einfluss der Immersivität auf die räumliche Präsenz dar. Pfad *b* den Einfluss der räumlichen Präsenz auf die Entspannungsreaktion. Pfad *c* beinhaltet den gesamten Effekt der Immersivität auf die Entspannungsreaktion. Mit Pfad *c'* wird die Immersivität und die räumliche Präsenz gleichzeitig als Regressoren auf die Entspannungsreaktion modelliert. Dies zeigt den direkten Effekt der Immersivität auf die Entspannungsreaktion, wenn der Effekt der räumlichen Präsenz gleichzeitig statistisch kontrolliert wird.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Manipulationskontrolle

Für die Manipulationskontrolle wurde überprüft, ob die Kopfrechenaufgaben tatsächlich zu einer psychophysiologischen Aktivierung und die Erholungsbedingungen zu einer Reduzierung geführt haben. Hierfür wurden die SCL- und HR-Werte für alle drei Kopfrechenaufgaben zu einem SCL- und HR-Wert gemittelt. Gleiches Prozedere wurde für die Erholungsbedingungen und die Baseline durchgeführt. Getrennt nach den einzelnen psychophysiologischen Zielvariablen stellten einfaktorielle Varianzanalysen mit Messwiederholungen sowie anschließenden post-hoc *t*-tests für abhängige Stichproben fest, dass die Psychophysiologie während den Matheaufgaben signifikant höher war als bei den Erholungsbedingungen und der Baseline (siehe Tabelle 2). Dies zeigt, dass die Kopfrechenaufgaben tatsächlich eine psychophysiologische Aktivierung ausgelöst und die Erholungsbedingungen zu einer psychophysiologischen Reduktion geführt haben, was für eine erfolgreiche Manipulation spricht.

Tab. 2: Manipulationscheck Psychophysiologie

	Herz Rate (bpm)						z-transformierte Herz Rate																
	Baseline <sup>a</sup>		Aktivierung <sup>b</sup>		Erholung <sup>c</sup>		Baseline <sup>d</sup>		Aktivierung <sup>e</sup>		Erholung <sup>f</sup>												
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD											
Min. 1	73.99	10.07	87.23	11.11	73.45	10.17	- 0.30	0.37	0.84	0.39	- 0.36	0.21											
Min. 2	74.80	10.56	83.29	11.04	73.70	10.31	- 0.22	0.32	0.48	0.28	- 0.33	0.17											
Min. 3			82.74	11.04	73.70	10.19			0.45	0.26	- 0.31	0.17											
Min. 4					73.56	10.04					- 0.34	0.18											
Min. 5					74.40	9.97					- 0.27	0.19											
rmANOVA <sup>abc</sup>						rmANOVA <sup>def</sup>																	
$F(1.32, 132.07)=164.59, p<0.001, \eta_p^2=0.622$						$F(1.55, 155.04)=307.45, p<0.001, \eta_p^2=0.755$																	
post-hoc <i>t</i> -tests						post-hoc <i>t</i> -tests																	
$d_{ab}$		$p$		$d_{bc}$		$p$		$d_{ca}$		$p$		$d_{de}$		$p$		$d_{ef}$		$p$		$d_{fd}$		$p$	
1.23		< .001		1.48		< .001		0.15		.115		1.67		< .001		2.19		< .001		0.20		.047	

	Hautleitfähigkeit (micro Siemens)						z-transformierte Hautleitfähigkeit																
	Baseline <sup>g</sup>		Aktivierung <sup>h</sup>		Erholung <sup>i</sup>		Baseline <sup>j</sup>		Aktivierung <sup>k</sup>		Erholung <sup>l</sup>												
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD											
Min. 1	3.51	3.03	6.52	4.42	5.84	3.79	- 1.73	0.68	0.78	0.49	0.35	0.25											
Min. 2	3.23	2.79	6.31	4.12	5.36	3.65	- 1.92	0.50	0.67	0.32	- 0.05	0.22											
Min. 3			6.39	4.15	5.07	3.63			0.75	0.31	- 0.30	0.26											
Min. 4					4.87	3.58					- 0.47	0.33											
Min. 5					4.76	3.56					- 0.56	0.40											
rmANOVA <sup>ghi</sup>						rmANOVA <sup>kl</sup>																	
$F(1.46, 146.22)=197.08, p<0.001, \eta_p^2=0.663$						$F(1.61, 161.58)=903.01, p<0.001, \eta_p^2=0.900$																	
post-hoc <i>t</i> -tests						post-hoc <i>t</i> -tests																	
$d_{gh}$		$p$		$d_{hi}$		$p$		$d_{ig}$		$p$		$d_{jk}$		$p$		$d_{kl}$		$p$		$d_{lj}$		$p$	
1.94		< .001		1.16		< .001		1.27		< .001		5.14		< .001		1.74		< .001		2.16		< .001	

Notiz. Die Effektstärken (Cohen's *d*) und entsprechende Signifikanzwerte zeigen post-hoc *t*-Tests für abhängige Stichproben zwischen den jeweils markierten Bedingungen, die nach dem signifikanten Haupteffekt der einfaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholungen (rmANOVA) durchgeführt wurden. Bei verletzter Sphärizitätsannahme wurde die Greenhouse-Geisser-Korrektur angewendet und berichtet. Als abhängige Variablen wurden die Minutenintervalle zu einem Durchschnittswert zusammengefasst (z. B. [Baseline Minute 1 + Baseline Minute 2]/2). Diese Durchschnittswerte wurden dann miteinander verglichen. Bpm = beats per minute.

### 3.2 Mediationseffekt der räumlichen Präsenz

Die Multilevel Mediationsanalyse stellte im ersten Schritt (siehe Abbildung 1, Pfad c) fest, dass die Strandaufnahme via HMD ( $M = 5.40, SD = 1.42$ ) signifikant entspannender erlebt wurde als via PC-Bildschirm ( $M = 4.07, SD = 1.46$ ),  $\beta = -0.66, 95\%KI [-0.86, -0.46], t(100) = -6.53, p < .001$ . Zudem zeigte sie, dass die räumliche Präsenz signifikant stärker bei der HMD ( $M = 4.76, SD = 1.53$ ) als bei der PC-Bedingung ( $M = 2.43, SD = 1.28$ ) ausgeprägt war,  $\beta = -1.16, 95\%KI [-1.36, -0.96], t(100) = -11.71, p < .001$  (Abbildung 1, Pfad a).

In der anschließenden Multilevel Mediationsanalyse wurde die selbstberichtete Entspannung als abhängige Variable, die Immersivität als unabhängige Variable und die räumliche Präsenz als Mediatorvariable modelliert. Die drei Variablen wur-

den gleichzeitig ins Modell aufgenommen. Die Ergebnisse zeigen einen signifikant positiven Effekt für die Immersivität,  $\beta = 0.23, 95\%KI [0.02, 0.43], t(99) = 2.25, p = .026$  (Abbildung 1, Pfad c') und einen signifikant positiven Effekt für die räumliche Präsenz,  $\beta = 0.76, 95\%KI [0.63, 0.90], t(99) = 11.15, p < .001$  (Abbildung 1, Pfad b). Anschließende Monte Karlo Simulation stellte fest, dass der Effekt der Immersivität auf die selbstberichtete Entspannung durch die räumliche Präsenz mediiert wurde,  $\beta = -0.89, SE = 0.11, z = -8.06, p < .001, 95\% KI [-1.12, -0.68]$ .

Für die SCL zeigte die Multilevel Mediationsanalyse keinen signifikanten Unterschied zwischen der HMD ( $M = 0.97, SD = 0.64$ ) und PC-Bedingung ( $M = 0.98, SD = 0.57$ ),  $\beta = 0.0002, 95\%KI [-0.085, 0.085], t(99) = 0.004, p = .996$  (Abbildung 1, Pfad c). Auch für die Herzrate wurde kein signifikanter Unterschied zwischen der HMD ( $M = -0.07, SD = 0.39$ ) und PC-Bedingung

( $M = -0.06$ ,  $SD = 0.35$ ),  $\beta = 0.002$ , 95%KI [-0.042, 0.048],  $t(99) = 0.12$ ,  $p = .903$  festgestellt (Abbildung 1, Pfad c). Nach Baron & Kenny (1986) wurde die geplante Mediationsanalyse hier beendet, da kein totaler Effekt gefunden wurde. Entsprechend wurden auch die weiterführenden Analysen für die SCL und HR nicht durchgeführt.

### 3.3 Mediierte Moderation von Alter, Geschlecht und Technologieängstlichkeit auf die selbst berichtete Entspannung

Die Multilevel Mediationsanalyse zeigte keine signifikanten moderierenden Effekte für das Alter, Pfad a:  $\beta = 0.012$ , 95%KI [-0.003, 0.027],  $t(98) = 1.57$ ,  $p = .116$ , Pfad b:  $\beta = -0.002$ , 95%KI [-0.009, 0.005],  $t(98) = -0.52$ ,  $p = .598$ . Es ergaben sich ebenfalls keine signifikanten moderierenden Effekte für das Geschlecht, Pfad a:  $\beta = -0.042$ , 95%KI [-0.242, 0.158],  $t(98) = -0.41$ ,  $p = .679$ , Pfad b:  $\beta = -0.023$ , 95%KI [-0.111, 0.063],  $t(98) = -0.54$ ,  $p = .589$  und die Technologieängstlichkeit, Pfad a:  $\beta = 0.125$ , 95%KI [-0.046, 0.297],  $t(98) = 1.43$ ,  $p = .151$ , Pfad b:  $\beta = 0.028$ , 95%KI [-0.053, 0.110],  $t(98) = 0.69$ ,  $p = .490$ .

## 4 Diskussion

### 4.1 Selbstberichtete Entspannung

Im Einklang mit den theoretischen Überlegungen zeigten unsere Analysen, dass die selbstberichtete Entspannung in der HMD-Bedingung signifikant höher war als in der PC-Bedingung, und dass dieser Effekt durch die räumliche Präsenz mediiert wurde. Die signifikant höheren Werte im räumlichen Präsenzerleben in der HMD- als PC-Bedingung stehen dabei im Einklang mit bisherigen Studien (Liszio et al., 2018; Yeo et al., 2020). Zudem sind die Ergebnisse mit dem o.g. theoriegeleiteten Rahmenmodell, welches aus dem Zwei-Faktoren-Modell der räumlichen Präsenz (Hartmann et al., 2016; Wirth et al., 2007) und der Immersivität (Slater, 2003) in Verbindung mit der ART (Kaplan, 1995) besteht, kompatibel. Die signifikant stärkere räumliche Präsenz in der HMD-Bedingung kann damit erklärt werden, dass während der Darbietung der monoskopischen 360°Naturaufnahme via HMD – im Gegensatz zur PC-Bedingung – mehr Informationen über die virtuelle als über die reale Umgebung vorhanden waren (visuelle inclusiveness und blickpunktabhängige Bildgenerierung aus der Ich-Perspektive; Cummings & Bailenson, 2016; Slater & Sanchez-Vives, 2016). Dies erhöhe die Wahrscheinlichkeit, dass eher das SSM in der HMD anstatt PC-Bedingung als PERF angenommen wird (Wirth et al., 2007). Im Einklang mit der ART (Kaplan, 1995) scheint sich dies auch in der selbstberichteten Entspannung niederzuschlagen. Allerdings wurde in der vorliegenden Studie die räumliche Präsenz mit der Subskala von Schubert et al. (2001) anstatt mit der Spatial Presence Experience Scale (SPES; Hartmann et al., 2016), welche auf dem

Zwei-Faktoren-Modell der räumlichen Präsenz von Wirth et al. (2007) beruht, erfasst. Deshalb kann nur spekuliert werden, ob der selbstberichtete Entspannungsunterschied tatsächlich durch unterschiedlich stark ausgeprägte SSMs erklärbar ist.

Unsere Ergebnisse stimmen nur teilweise mit jenen von Yeo et al. (2020) überein. Wir fanden, dass monoskopische 360°Strandvideo via HMD signifikant entspannender erlebt wurde als über den PC-Bildschirm. Yeo et al. (2020) fanden dies nicht. Ihre Analysen zeigten hingegen, dass der positive Affekt signifikant höher in der 3D- anstatt 360°- und TV-Bedingung war und sich die 360°- und TV-Bedingung nicht signifikant voneinander unterschieden. Allerdings stellten die Autoren auch inkonsistente Ergebnisse innerhalb der selbstberichteten Zielvariablen fest. Entgegen der Erwartung fanden sie keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Bedingungen hinsichtlich des negativen Affekts und der selbstberichteten Langeweile-Werten, was die Aussagekraft des positiven Affekts limitiert.

Eine mögliche Erklärung für die unterschiedlichen Ergebnisse zwischen Yeo et al. (2020) und der vorliegenden Studie könnten Unterschiede im Untersuchungsdesign sein. Es ist möglich, dass bei Yeo et al. (2020) das unterschiedliche Videomaterial und der Bekanntheitsgrad der BBC Dokumentation im Zusammenspiel mit einer verhältnismäßig geringen Teststärke den Vergleich zwischen TV- und 360°Bedingung beeinflusst hat. Dies könnte auch die inkonsistenten Ergebnisse in den selbstberichteten Zielvariablen erklären. Zudem unterscheidet sich die experimentelle Manipulation. In der vorliegenden Studie wurden die Probanden mit Matheaufgaben konfrontiert; bei Yeo et al. (2020) wurden sie gelangweilt. So bleibt es unklar, ob die Wirkung eines monoskopischen 360°Naturvideos via HMD möglicherweise intensiver nach einem akuten Stressor als nach einer Langweilephase erlebt wird. Alternativ ist ebenso vorstellbar, dass unser Innersubjektdesign die selbstberichteten Entspannungsratings verzerrt hat. Wir konzipierten diese Studie als Innersubjektdesign, um die Teststärke zu erhöhen, die in vorherigen Studien relativ gering gewesen ist (Liszio et al., 2018; Yeo et al., 2020). Allerdings durchliefen die Probanden alle Bedingungen und kannten diese entsprechend. Deshalb kann eine postrezeptive Überschätzung der selbstberichteten Entspannungsratings, durch einen retrospektiven intraindividuellen Vergleich beider Bedingung zum Schluss des Experiments, die Ergebnisse verzerrt haben. Daher sollten zukünftige Innersubjektreplicationsstudien die selbstberichtete Entspannung unmittelbar nach oder während der jeweiligen Bedingungen erfassen. Zusätzlich könnte die referenzrahmbasierte selbstberichtete Entspannung z.B. durch ein Single-Choice-Item und/oder mit einem kurzen qualitativen Interview zum Schluss des Experimentes erfasst werden. Zudem wurde die selbstberichtete Entspannung mit einem Single-Item operationalisiert, um Müdigkeitseffekte (Vaquero-Blasco et al., 2021) zu vermeiden und den relativ langen Versuchsablauf nicht zusätzlich zu verlängern. Allerdings wird die Reliabilität von Single-Items kontrovers diskutiert (Loo, 2002; Postmes et al., 2013) und schränkt die Aussagekraft unserer selbstberichteten Entspannungsoperationalisierung



zusätzlich ein. Gleichwohl die Reihenfolge ausbalanciert randomisiert wurde, kann aufgrund des Innersubjektdesigns und des intraindividuellen Vergleichs der Bedingungen zum Schluss des Experiments, ein Recency-Effekt nicht gänzlich sowie ein Recall-Effekt nicht ausgeschlossen werden. Insgesamt müssen die selbstberichteten Ergebnisse vorsichtig interpretiert werden und sollten durch Studiendesigns mit unabhängigen Gruppen je Bedingung sowie auch mit einer umfassenderen Operationalisierung der selbstberichteten Entspannung (z. B. mittels einer validierten Skala) repliziert werden.

Interessanterweise fanden auch wir, dass nach der statistischen Kontrolle des räumlichen Präsenzerlebens, die PC-Bedingung signifikant mit höheren Entspannungsratings assoziiert war. Gleichwohl unsere Ergebnisse aufgrund genannter Limitationen vorsichtig interpretiert werden müssen, deckt sich dieser Befund mit Yeo et al. (2020). Dies zeigt, dass neben dem angeführten theoriegeleiteten Rahmenmodell noch weitere Faktoren die Wirkung monoskopischer 360°Naturvideos beeinflussen, mit zum Teil gegenläufigen Effekten. Hieran knüpft die Frage an, für welchen Rezipienten welche Darbietungsart vorteilhafter ist.

In diesem Zusammenhang wurde statistisch überprüft, ob das Alter, Geschlecht oder die Technologieängstlichkeit die Ergebnisse der Mediationsanalyse mitbeeinflussen. Die Analysen fanden jedoch keine signifikanten Effekte. Allerdings war die Gesamtstichprobe relativ jung und z. B. die Ausprägung der Technologieängstlichkeit verhältnismäßig gering ( $M = 2.21$ ,  $SD = 1.13$ ). Demnach könnten Bodeneffekte den potentiellen Einfluss der Moderatoren verhindert haben. Die Technologieängstlichkeit wurde am Ende des Versuchs erhoben, um eine Verzerrung der selbstberichteten Entspannung durch die Salienz der Technologieängstlichkeit zu verhindern. Allerdings kann so nicht ausgeschlossen werden, dass die Erfahrungen im Experiment zu einer Verzerrung der Technologieängstlichkeit geführt haben. Dies kann möglicherweise die niedrige Ausprägung erklären und sollte bei der Interpretation berücksichtigt werden. Zudem wurde untersucht, ob die Vorerfahrung mit einem HMD die Ergebnisse der Mediationsanalyse (Wirkung auf Pfad *a* & *b*) signifikant beeinflusst hat. Die Analysen (siehe Tabelle S2) stellten keinen signifikanten Einfluss fest. Dies könnte damit erklärt werden, dass die dichotome (Ja/Nein) HMD-Vorerfahrung-Operationalisierung nicht umfassend genug gewesen ist, um einen potentiellen Einfluss der HMD-Vorerfahrung zu detektieren.

Yeo et al. (2020) beschrieben, dass einige Probanden das Gewicht und die Sperrigkeit des HMDs als störend empfunden haben. Sie spekulieren, ob dieser störende Effekt den Entspannungseffekt in der 360°-Bedingung – im Vergleich zu der TV-Bedingung – reduziert habe, gleichwohl dieser störende Effekt durch die Entstehung räumlicher Präsenz überlagert wird. Allerdings wurde dieser Erklärungsansatz nicht systematisch untersucht – sodass weiterführende Studien für die empirische Überprüfung benötigt werden. Hieran anschließend sollte auch die Cybersickness (Weech et al., 2019) zukünftig erfasst werden, welche, speziell in der HMD-Bedingung, einen entspannungs-

limitierenden Einfluss gehabt haben könnte. Allerdings bleibt ein möglicher konfundierender Einfluss unklar, da weder in dieser noch in Yeo et al. (2020) die Cybersickness empirisch erfasst wurde.

## 4.2 Psychophysiologische Entspannung

Unsere Manipulationskontrolle in Tabelle 2 zeigt eindeutige erwartungstreue Unterschiede zwischen der Anspannungsphase vs. Baseline und Anspannungs- vs. Entspannungsphase für die z-transformierten und nicht transformierten Herzrate- (Cohen's  $d_{\text{Range}} = 1.23-2.19$ ) und Hautleitfähigkeitswerte (Cohen's  $d_{\text{Range}} = 1.16-5.14$ ). Dies deutet auf eine generell erfolgreiche Manipulation hin. Allerdings wurden entgegen den Erwartungen keine signifikanten Unterschiede zwischen der HMD und PC-Bedingung in der Reduktion der Hautleitfähigkeit und der Herzrate festgestellt. Somit finden auch wir – wie vorherige Studien – divergierende Ergebnisse zwischen selbstberichteten und psychophysiologischen Entspannungsreaktionen (Anderson et al., 2017; Liszio et al., 2018; Mostajeran et al., 2021).

Liszio et al (2018) zeigten, dass die Herzratenvariabilität (HRV; operationalisiert mit der SDDSD) signifikant höher bei „theBlu“ via HMD anstatt via PC-Bildschirm oder einer Kontrollbedingung ohne Intervention war. Allerdings konnte dies nicht mit Cortisol repliziert werden. Die unterschiedlichen Ergebnisse zwischen Liszio et al. (2018) und der vorliegenden Studie könnten erneut durch Unterschiede im Design wie z. B. unterschiedlichem Immersionsgrad in den HMD-Bedingungen, unterschiedlicher Operationalisierungen der Aktivierungsphasen und der Psychophysiologie erklärt werden. Liszio et al. (2018) nutzten theBlu, eine computerprogrammierte 3D virtuelle Unterwasserumgebung mit Interaktionsmöglichkeiten. Demnach war hier die HMD-Bedingung (Stereoskopie, 6DoF Interaktionsmöglichkeiten) immersiver als unsere. Somit könnte es sein, dass die Immersionsdiskrepanz beim Vergleich zwischen der HMD- und PC-Bedingung bei Liszio et al. (2018) groß genug war, um auch Unterschiede in der Psychophysiologie detektieren zu können. Zudem könnte auch die unterschiedliche Operationalisierung des Stressors die divergenten Ergebnisse erklären. So wurde am Ende des virtuellen TSST bei Liszio et al. (2018) den Probanden mitgeteilt, dass ein weiterer Stressor am Ende des Versuchs folgen wird. Die Autoren intendierten hiermit eine konstante Stressreaktion der Probanden. So erklären die Autoren auch die Abnahme der SDDSD-Werte während der Entspannungsphase in der PC- und Kontrollbedingung, was als Stressreaktion interpretiert wird, mit einem antizipierten Stresserlebens der Probanden im Hinblick des zu erwartenden letzten Stressors. Hingegen sei die distraktorische Wirkung in der VR-Bedingung so stark gewesen, dass sie erfolgreich von dem antizipierten Stressor abgelenkt habe, was die höheren SDDSD-Werte erklären könnte. Allerdings sollten die Ergebnisse vorsichtig interpretiert werden, da sie mit Cortisol nicht repliziert wurden und auch die Standardabweichung der SDDSD-Werte in

der VR-Entspannungsbedingung zwei bis dreimal so hoch war als in der Kontroll- und PC-Bedingung. Zudem zeigt der deskriptive Effektstärkenvergleich zwischen unserer Studie und Liszio et al. (2018), dass gleichwohl der Stressor bei Liszio et al. (2018) wesentlich länger war als bei uns (20 vs. 3 Minuten), unsere Studie (SCL:  $\eta_p^2 = 0.622$ , HR:  $\eta_p^2 = 0.663$ ) deutlich größere Effektstärken zwischen Baseline, Aktivierungs- und Entspannungsphase fand als bei Liszio et al. (2018; HRV:  $\eta_p^2 = 0.06$ ; siehe Tabelle 2 und Tabelle S3). Sodass es unklar bleibt, weshalb wir den distraktorischen psychophysiologischen Effekt in der HMD im Vergleich zu der PC-Bedingung nicht replizieren konnten. Dies könnte wiederum mit dem unterschiedlichem Immersionsniveau der HMD-Bedingung erklärt werden, welche bei Liszio et al. (2018) höher war.

Letztendlich können auch unterschiedliche Operationalisierungen der psychophysiologischen Messparameter die verschiedenen Ergebnisse mitbedingt haben. Wir erfassten die HR und Liszio et al. (2018) die HRV. Diese gilt ebenfalls als valider physiologische Stressindikator (Kim et al., 2018). Die HR und HRV hängen physiologisch und mathematisch miteinander zusammen (Sacha, 2014). Allgemein bietet die HRV gegenüber der HR z.B. den Vorteil, dass mit ihr statistische Kennwerte berechnet werden können, die sensitiver zwischen der para- und sympathischer Aktivität des autonomen Nervensystems (ANS) differenzieren können (Sacha, 2014; Shaffer & Ginsberg, 2017). Liszio et al. (2018) nutzten als HRV-Parameter die SDSD. Die SDSD gehört zu den Zeitbereichsanalyseverfahren (time-domain) der HRV (Shaffer & Ginsberg, 2017). Höhere Werte werden als physiologische Entspannungsreaktion interpretiert. Allerdings ist die SDSD ein Gesamtvariabilitätsmaß, ohne klare Zuordnung zur para- oder sympathischer Aktivität, womit der Informationsgehalt relativ vergleichbar zur HR ist (Shaffer & Ginsberg, 2017). Somit scheinen die zuvor genannten Designunterschiede (Immersiondiskrepanz und/oder unterschiedlich lange/intensive Aktivierungsphasen) vielversprechender zu sein, um die inkonsistenten Ergebnisse zu erklären.

Neben den Zeitbereichsanalyseverfahren (Liszio et al., 2018) nutzten z.B. Anderson et al. (2017) Frequenzanalyseverfahren (frequency-domain) als HRV-Parameter wie die high-frequency (HF), low-frequency (LF) und das Verhältnis zwischen HF und LF. Der HF-Bereich wird der parasympathischen Aktivität zugeordnet (Shaffer & Ginsberg, 2017). Der LF-Bereich kann indes auf parasympathische und sympathische Aktivität zurückgeführt werden, gleichwohl bei Langzeitaufzeichnungen die LF eher Aufschluss über die sympathische Aktivität geben soll. Das Verhältnis zwischen HF und LF stellt die sympathovagale Balance dar (Shaffer & Ginsberg, 2017). Gleichwohl die genannten Frequenzanalysebereiche der HRV in der Theorie sensitivere Informationen über die parasympathische und sympathische Aktivität des ANS wiedergeben kann – im Vergleich zu der SDSD und/oder HR – fanden Anderson et al. (2017) keine signifikanten Unterschiede zwischen einem monoskopischen 360°Naturvideo via HMD und einer virtuellen Kontrollbedingung via HMD, sowie keine signifikanten Unterschiede zwischen der Ak-

tivierungsphase (Kopfrechenaufgaben) und der Entspannungsphase und Baseline (für mehr Details siehe Tabelle S1). Auch unsere Nachberechnungen der Zwischenbedingungseffektstärken zeigen, dass gleichwohl die Frequenzbereichsanalyse einen höheren Informationsgehalt über die para- und sympathische Aktivität wiedergeben kann als die SDSD und HR, die Effektstärken deutlich geringer sind als bei Liszio et al. (2018), jedoch höher sind als in unserer Studie (siehe Tabelle S4). Mostajeran et al. (2021) zeigten hingegen klare psychophysiologische Unterschiede zwischen ihrer Aktivierungs- (Kopfrechenaufgaben) und Reduzierungsphase gemessen mit der HR. Allerdings fanden sie keine signifikanten Unterschiede für die HR zwischen virtuellen Entspannungsbedingungen – ein ähnliches Ergebnismuster wie in unserer Studie. Abschließend fanden Villani et al. (2007) keine signifikanten Zwischenbedingungsentspannungseffekte, sowohl für die selbstberichteten als auch psychophysiologischen Parameter. Allerdings berichteten die Autoren keine deskriptiven Werte, weshalb wir die Effektstärken nicht nachträglich schätzen konnten (für mehr Infos siehe Tabelle S1).

Zusammenfassend können bestimmte Maße der HRV (wie z.B. die LF, HF, LF/HF) gegenüber der HR in der Theorie sensitiver zwischen para- und sympathischer Aktivität differenzieren. Damit bietet die HRV einen höheren Informationsgehalt über die Aktivität des ANS als die HR. Empirisch sind die Ergebnisse jedoch unklar und zeigen häufig nicht-signifikante Entspannungsunterschiede zwischen unterschiedlich immersiv dargebotenen Naturumgebungen (Mostajeran et al., 2021; Villani et al., 2007) und/oder im Vergleich zu virtuellen Kontrollbedingungen (Anderson et al., 2017). Auffällig ist, dass die bisherigen Studien zu virtuellen Naturumgebungen (Anderson et al., 2017; Liszio et al., 2018; Mostajeran et al., 2021; Villani et al., 2007) entweder die HR oder die HRV erfassten. Daher ist ein empirischer Vergleich, welcher Parameter möglicherweise geeigneter ist, um psychophysiologische Entspannungsunterschiede bei virtuellen Naturumgebungen zu detektieren, bisher nicht möglich. Zukünftige Studien sollten daher zur Überprüfung der psychophysiologischen Entspannungsreaktion sowohl die HR als auch die HRV berücksichtigen.

Der nahezu identische Verlauf der Hautleitfähigkeit (siehe Tabelle S5) in der HMD und PC-Bedingung kann möglicherweise auf die Naturgeräusche zurückgeführt werden. Dies steht im Einklang mit der Conditioned Restoration Theory (CRT; Egner et al., 2020), die eine konditionierte Entspannungsreaktion von Naturumgebungen (reale und virtuelle) postuliert. Demnach kann es sein, dass das Meeresrauschen an sich die Habitationsreaktion hervorgerufen hat.

Insgesamt konnte die vorliegende Studie keine signifikanten Unterschiede in der Psychophysiologie zwischen einer monoskopischen 360°Strandaufnahme via HMD und PC-Bildschirm feststellen. Dieser psychophysiologische Befund kann wiederum im Einklang mit den Ergebnissen von Yeo et al. (2020) interpretiert werden. Allerdings sind Inkonsistenzen zwischen selbstberichteter und psychophysiologischer Entspannung bei der Wirkung immersiv dargebotener Naturumgebungen auch

bei vorherigen Studien beobachtbar (Anderson et al., 2017; Browning et al., 2020; Liszio et al., 2018; Mostajeran et al., 2021; Villani et al., 2007). Somit bleibt es unklar, ob unsere selbstberichteten Entspannungsbewertungen durch den intraindividuellen Vergleich überschätzt sind oder die nicht-signifikanten psychophysiologischen Entspannungseffekte durch methodische Limitierungen erklärbar sind.

Allgemein wird die Divergenz in den Ent- bzw. Anspannungsreaktionsebenen auch in anderen Forschungsgebieten und über mehrere Jahre beobachtet (Campbell et al., 2012; Dalile et al., 2022; Gal & Lazarus, 1975). Dennoch scheint die multimodale Entspannungsoperationalisierung geeignet zu sein, um die Entspannung möglichst umfassend wiedergeben zu können. Wie in Tabelle S1 zusammengefasst, verfolgten die bisherigen Studien zu virtuellen Naturumgebungen unterschiedliche Ziele und nutzten unterschiedliche Studiendesigns, was die Vergleichbarkeit einschränkt. Insgesamt zeigen die bisherigen Studien, dass eher mit selbstberichteten Messinstrumenten Entspannungseffekte von virtuellen Naturumgebungen festgestellt worden sind, hingegen diese seltener mit psychophysiologischen Parametern repliziert werden konnten.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Die vorliegende Studie konnte zeigen, dass ein monoskopisches 360°Strandvideo via HMD signifikant entspannender erlebt wurde als das gleiche Video via PC-Bildschirm. Dieser Effekt wird durch die räumliche Präsenz mediiert, wobei das Alter, Geschlecht und die Technologieängstlichkeit diesen Effekt nicht beeinflussen. Unter statistischer Kontrolle der räumlichen Präsenz war die PC-Bedingung mit höheren Entspannungsratings assoziiert. Dieser gegenläufige Effekt wurde ebenfalls in Yeo et al. (2020) festgestellt und wirft die Frage auf, welche weiteren Faktoren den Wirkungsunterschied monoskopischer 360°Naturvideos via HMD im Vergleich zu PC/TV-Bildschirm beeinflussen. Demnach sollten zukünftige Studien untersuchen, welche Darbietungsart für welche Rezipienten besonders geeignet sind.

In der vorliegenden Studie müssen die Ergebnisse jedoch vorsichtig interpretiert werden, da keine signifikanten Unterschiede in der Psychophysiologie gefunden wurden. Vermutlich haben methodische Limitationen, wie z. B. ein konfundierender Einfluss von Naturgeräuschen, das Ausbleiben eines psychophysiologischen Entspannungseffektes mitbedingt. Zudem kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Sensitivität der psychophysiologischen Parameter (HR und SCL) möglicherweise nicht ausreichend hoch gewesen ist – im Vergleich zu z. B. der HRV – um Unterschiede zwischen Entspannungsinterventionen von wenigen Minuten zu detektieren. Dem sollte in zukünftigen Studien nachgegangen werden. Zudem könnte auch die Operationalisierung der selbstberichteten Entspannung als Single-Item und/oder eine postrezeptive Überschätzung durch einen intraindividuellen Vergleich beider Bedingungen zu einer syste-

matischen Überschätzung in der selbstberichteten Entspannung geführt haben. Weshalb die Aussagekraft der selbstberichteten Entspannungsergebnisse limitiert ist und als vorläufig betrachtet werden sollte.

Neben weiterführenden grundlagenorientierten Studien sollten zukünftige Forschungsvorhaben auch die Übertragbarkeit der entspannenden Wirkung und Wirkmechanismen von monoskopischen 360°Naturvideos auf klinische Stichproben untersuchen. Speziell stressassoziierte Erkrankungen (z. B. Posttraumatische Belastungsstörung oder Depression) könnten von der entspannungsinduzierenden Wirkung monoskopischer 360°Naturvideo profitieren.

## 6 Literaturverzeichnis

- Anderson, A. P., Mayer, M. D., Fellows, A. M., Cowan, D. R., Hegel, M. T. & Buckley, J. C. (2017). Relaxation with immersive natural scenes presented using virtual reality. *Aerospace Medicine and Human Performance*, 88(6), 520–526. <https://doi.org/10.3357/AMHP.4747.2017>
- Baron, R.M. & Kenny, D.A. (1986). The moderator-mediator variable distinction in social psychological research: Conceptual, strategic, and statistical considerations. *Journal of Personality and Social Psychology*, 51, 1173–1182.
- Ben-Shakhar, G. (1985). Standardization within individuals: a simple method to neutralize individual differences in skin conductance. *Psychophysiology*, 22(3), 292–299. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1985.tb01603.x>
- Browning, M. H. E. M., Mimnaugh, K. J., van Riper, C. J., Laurent, H. K. & LaValle, S. M. (2020). Can simulated nature support mental health? Comparing short, single-doses of 360-degree nature videos in virtual reality with the outdoors. *Frontiers in Psychology*, 10, 2667. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02667>
- Browning, M. H. E. M., Shipley, N., McAnirlin, O., Becker, D., Yu, C.-P., Hartig, T., & Dzhambov, A. M. (2020). An actual natural setting improves mood better than its virtual counterpart: a meta-analysis of experimental data. *Frontiers in Psychology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.02200>
- Campbell, J. & Ehler, U. (2012). Acute psychosocial stress: does the emotional stress response correspond with physiological responses? *Psychoneuroendocrinology*, 37(8), 1111–1134. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2011.12.010>
- Carlson, L. A., Hoffman, J., & Newcombe, N. (2010). Introduction to the special section on spatial reference frames: examining what and how information is encoded through the integration of cognitive, behavioral, and neuroscience approaches. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 36(3), 573–575. <https://doi.org/10.1037/a0019449>
- Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16(3), 297–334. <https://doi.org/10.1007/BF02310555>
- Cummings, J. J., & Bailenson, J. N. (2016). How immersive is enough? A meta-analysis of the effect of immersive technology on user presence. *Media Psychology*, 19(2), 272–309. <https://doi.org/10.1080/15213269.2015.1015740>
- Dalile, B., La Torre, D., Verbeke, K., van Oudenhove, L. & Vervliet, B. (2022). When the mind says one thing, but the HPA axis says ano-

- ther: lack of coherence between subjective and neuroendocrine stress response trajectories in healthy men. *Psychoneuroendocrinology*, 139, 105692. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2022.105692>
- Egleston, B. L., Miller, S. M., & Meropol, N. J. (2011). The impact of misclassification due to survey response fatigue on estimation and identifiability of treatment effects. *Statistics in Medicine*, 30(30), 3560-3572.
- Egner, L. E., Sütterlin, S., & Calogiuri, G. (2020). Proposing a framework for the restorative effects of nature through conditioning: conditioned restoration theory. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(18). <https://doi.org/10.3390/ijerph17186792>
- Felnhofer, A., Kothgassner, O. D., Hauk, N., Beutl, L., Hlavacs, H., & Kryspin-Exner, I. (2014). Physical and social presence in collaborative virtual environments: exploring age and gender differences with respect to empathy. *Computers in Human Behavior*, 31, 272-279. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2013.10.045>
- Frost, S., Kannis-Dymand, L., Schaffer, V., Millea, P., Allen, A., Stallman, H., ... & Atkinson-Nolte, J. (2022). Virtual immersion in nature and psychological well-being: a systematic literature review. *Journal of Environmental Psychology*, 101765. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2022.101765>
- Gal, R. & Lazarus, R. S. (1975). The role of activity in anticipating and confronting stressful situations. *Journal of Human Stress*, 1(4), 4-20. <https://doi.org/10.1080/0097840X.1975.9939548>
- Hartmann, T., Wirth, W., Schramm, H., Klimmt, C., Vorderer, P., Gysbers, A., ... Maria Sacau, A. (2016). The spatial presence experience scale (SPES). *Journal of Media Psychology*, 28(1), 1-15. <https://doi.org/10.1027/1864-1105/a000137>
- Hayes, A. F., & Rockwood, N. J. (2020). Conditional process analysis: concepts, computation, and advances in the modeling of the contingencies of mechanisms. *American Behavioral Scientist*, 64(1), 19-54. <https://doi.org/10.1177/0002764219859633>
- Helson, H. (1948). Adaptation-level as a basis for a quantitative theory of frames of reference. *Psychological review*, 55(6).
- Hofer, M., Hartmann, T., Eden, A., Ratan, R., & Hahn, L. (2020). The role of plausibility in the experience of spatial presence in virtual environments. *Frontiers in Virtual Reality*, 1. <https://doi.org/10.3389/frvir.2020.00002>
- Hu, X., Zheng, J., Fan, T., Su, N., Yang, C., & Luo, L. (2020). Using multilevel mediation model to measure the contribution of beliefs to judgments of learning. *Frontiers in Psychology*, 11, 637. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00637>
- Kaplan, S. (1995). The restorative benefits of nature: toward an integrative framework. *Journal of Environmental Psychology*, 15(3), 169-182. [https://doi.org/10.1016/0272-4944\(95\)90001-2](https://doi.org/10.1016/0272-4944(95)90001-2)
- Kellert, S. R., & Wilson, E. O. (1995). *The Biophilia Hypothesis*. Island Press.
- Kim, H.-G., Cheon, E.-J., Bai, D.-S., Lee, Y. H. & Koo, B.-H. (2018). Stress and heart rate variability: a meta-analysis and review of the literature. *Psychiatry investigation*, 15(3), 235-245. <https://doi.org/10.30773/pi.2017.08.17>
- Kirschbaum, C., Pirke, K. M., & Hellhammer, D. H. (1993). The 'Trier Social Stress Test'-a tool for investigating psychobiological stress responses in a laboratory setting. *Neuropsychobiology*, 28(1-2), 76-81. <https://doi.org/10.1159/000119004>
- Knaust, T., Felnhofer, A., Kothgassner, O. D., Höllmer, H., Gorzka, R.-J., & Schulz, H. (2021). Exposure to virtual nature: the impact of different immersion levels on skin conductance level, heart rate, and perceived relaxation. *Virtual Reality*, 7(3), 1036. <https://doi.org/10.1007/s10055-021-00595-2>
- Kothgassner, O. D., Felnhofer, A., Hauk, N., Kasthofer, E., Gomm, J., & Kryspin-Exner, I. (2013). *TUI: Technology Usage Inventory*. Vienna: FFG.
- Kothgassner, O. D., Goreis, A., Kafka, J. X., Hlavacs, H., Beutl, L., Kryspin-Exner, I., & Felnhofer, A. (2018). Agency and gender influence older adults' presence-related experiences in an interactive virtual environment. *Cyberpsychology, Behavior and Social Networking*, 21(5), 318-324. <https://doi.org/10.1089/cyber.2017.0691>
- Lakens, D. (2013). Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: a practical primer for t-tests and ANOVAs. *Frontiers in Psychology*, 4, 863.
- Liszio, S., Graf, L., & Masuch, M. (2018). The relaxing effect of virtual nature: immersive technology provides relief in acute stress situations. *Annual Review of Cybertherapy and Telemedicine 2018*, 87.
- Loo, R. (2002). A caveat on using single-item versus multiple-item scales. *Journal of Managerial Psychology*, 17(1), 68-75. <https://doi.org/10.1108/02683940210415933>
- Manis, K. T., & Choi, D. (2019). The virtual reality hardware acceptance model (VR-HAM): extending and individuating the technology acceptance model (TAM) for virtual reality hardware. *Journal of Business Research*, 100, 503-513. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2018.10.021>
- Mauss, I. B., Levenson, R. W., McCarter, L., Wilhelm, F. H. & Gross, J. J. (2005). The tie that binds? Coherence among emotion experience, behavior, and physiology. *Emotion*, 5(2), 175-190. <https://doi.org/10.1037/1528-3542.5.2.175>
- Mauss, I. B. & Robinson, M. D. (2009). Measures of emotion: a review. *Cognition & Emotion*, 23(2), 209-237. <https://doi.org/10.1080/02699930802204677>
- Mostajeran, F., Krzikawski, J., Steinicke, F. & Kühn, S. (2021). Effects of exposure to immersive videos and photo slideshows of forest and urban environments. *Scientific Reports*, 11(1), 3994. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-83277-y>
- Ohly, H., White, M. P., Wheeler, B. W., Bethel, A., Ukoumunne, O. C., Nikolaou, V., & Garside, R. (2016). Attention restoration theory: a systematic review of the attention restoration potential of exposure to natural environments. *Journal of Toxicology and Environmental Health. Part B, Critical Reviews*, 19(7), 305-343. <https://doi.org/10.1080/10937404.2016.1196155>
- Orne, M. T. (1962). On the social psychology of the psychological experiment: with particular reference to demand characteristics and their implications. *American Psychologist*, 17(11), 776-783. <https://doi.org/10.1037/h0043424>
- Postmes, T., Haslam, S. A., & Jans, L. (2013). A single-item measure of social identification: reliability, validity, and utility. *The British Journal of Social Psychology*, 52(4), 597-617. <https://doi.org/10.1111/bjso.12006>
- Rigoli, F. (2019). Reference effects on decision-making elicited by previous rewards. *Cognition*, 192, 104034. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2019.104034>
- Rinck, M., Williams, P., Bower, G. H., & Becker, E. S. (1996). Spatial situation models and narrative understanding: some generalizations and extensions. *Discourse Processes*, 21(1), 23-55. <https://doi.org/10.1080/01638539609544948>
- Sacha, J. (2014). Interaction between heart rate and heart rate variability.

- Annals of Noninvasive Electrocardiology: The Official Journal of the International Society for Holter and Noninvasive Electrocardiology, Inc*, 19(3), 207–216. <https://doi.org/10.1111/anec.12148>
- Schubert, T., Friedmann, F., & Regenbrecht, H. (2001). The experience of presence: factor analytic insights. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 10(3), 266–281. <https://doi.org/10.1162/105474601300343603>
- Schwartz, M. S., & Andrasik, F. (Eds.) (2017). *Biofeedback: A Practitioner's Guide* (Fourth edition; paperback edition). New York: The Guilford Press.
- Shaffer, F. & Ginsberg, J. P. (2017). An overview of heart rate variability metrics and norms. *Frontiers in Public Health*, 5, 258. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00258>
- Slater, M. (2003). A note on presence terminology. *Presence Connect*, 3(3), 1–5.
- Slater, M., & Sanchez-Vives, M. V. (2016). Enhancing our lives with immersive virtual reality. *Frontiers in Robotics and AI*, 3, 751. <https://doi.org/10.3389/frobt.2016.00074>
- Slater, M., & Wilbur, S. (1997). A framework for immersive virtual environments (FIVE): speculations on the role of presence in virtual environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(6), 603–616. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.6.603>
- Ulrich, R. S., Simons, R. F., Losito, B. D., Fiorito, E., Miles, M. A., & Zelson, M. (1991). Stress recovery during exposure to natural and urban environments. *Journal of Environmental Psychology*, 11(3), 201–230. [https://doi.org/10.1016/s0272-4944\(05\)80184-7](https://doi.org/10.1016/s0272-4944(05)80184-7)
- Vaquero-Blasco MA, Perez-Valero E, Morillas C, Lopez-Gordo MA (2021) Virtual reality customized 360-degree experiences for stress relief. *Sensors* 21(6). <https://doi.org/10.3390/s21062219>
- Villani, D., Riva, F. & Riva, G. (2007). New technologies for relaxation: the role of presence. *International Journal of Stress Management*, 14(3), 260–274. <https://doi.org/10.1037/1072-5245.14.3.260>
- Weech, S., Kenny, S., & Barnett-Cowan, M. (2019). Presence and cyber-sickness in virtual reality are negatively related: a review. *Frontiers in Psychology*, 10, 158. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00158>
- Watson, D., Clark, L. A. & Tellegen, A. (1988). Development and validation of brief measures of positive and negative affect: the PANAS scales. *Journal of Personality and Social Psychology*, 54(6), 1063–1070. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.54.6.1063>
- Wirth, W., Hartmann, T., Böcking, S., Vorderer, P., Klimmt, C., Schramm, H., ... Jäncke, P. (2007). A process model of the formation of spatial presence experiences. *Media Psychology*, 9(3), 493–525. <https://doi.org/10.1080/15213260701283079>
- Yeo, N. L., White, M. P., Alcock, I., Garside, R., Dean, S. G., Smalley, A. J., & Gatersleben, B. (2020). What is the best way of delivering virtual nature for improving mood? An experimental comparison of high definition TV, 360° video, and computer generated virtual reality. *Journal of Environmental Psychology*, 72, 101500. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2020.101500>

## Kontaktinformation

Thiemo Knaust: [thiemo1knaust@bundeswehr.org](mailto:thiemo1knaust@bundeswehr.org)  
 Anna Felhofer: [anna.felhofer@meduniwien.ac.at](mailto:anna.felhofer@meduniwien.ac.at)  
 Oswald Kothgassner: [oswald.kothgassner@meduniwien.ac.at](mailto:oswald.kothgassner@meduniwien.ac.at)  
 Helge Höllmer: [helgehoellmer@bundeswehr.org](mailto:helgehoellmer@bundeswehr.org)  
 Robert Gorzka: [robertgorzka@bundeswehr.org](mailto:robertgorzka@bundeswehr.org)  
 Holger Schulz: [schulz@uke.de](mailto:schulz@uke.de)

## \*Korrespondierender Autor

Thiemo Knaust, M.Sc., Zentrum für Seelische Gesundheit,  
 Bundeswehrkrankenhaus Hamburg, Deutschland, Lesserstraße 180,  
 22049 Hamburg, T: (040) 6947 – 26410,  
 E-Mail: [thiemo1knaust@bundeswehr.org](mailto:thiemo1knaust@bundeswehr.org)

## Interessenkonflikt & Förderung

Keiner der Autoren deklariert einen persönlichen oder finanziellen Interessenkonflikt. Die vorliegende Arbeit erhielt keine Fördermittel, Zuschüsse oder sonstige finanzielle Unterstützung.

## Supplementary Material

**Tab. S1:** Detaillierte Übersicht über bisherige Studien zu virtuellen Naturumgebungen die selbstberichtete und psychophysiologische Zielvariablen erhoben haben.

Quelle	Design & Stichprobe	Interventionen	Abhängige Variablen für Entspannung	Ergebnisse
Anderson et al. (2017)	<p><u>Design:</u> Innersubjektdesign</p> <p><u>Stichprobenumfang</u> N = 18</p> <p><u>Länge der virtuellen Natur:</u> 15 Minuten</p> <p><u>Nutzung eines Stressors:</u> Ja, Kopfrechenaufgaben</p> <p><u>Erhebungsmesszeitpunkte:</u> <i>PANAS:</i> Baseline, Post-Stressor; Post-Intervention; Insgesamt: 7x</p> <p><i>MRJPQ:</i> Post-Intervention; Insgesamt: 3x</p> <p><i>EDA &amp; HRV:</i> Kontinuierlich; Aggregiert zu 2-Minuten-Intervallen (Baseline; Stressor; Anfang, Mitte, Ende der jeweiligen Intervention)</p>	<p><u>Intervention 1 (I1):</u> Mono 360° Strandaufnahme via 6DoF HMD</p> <p><u>Intervention 2 (I2):</u> Mono 360° Naturaufnahmen aus Irland via 6DoF HMD</p> <p><u>Intervention 3 (I3):</u> 360° Klassenzimmer via 6DoF HMD</p>	<p><u>Selbstberichtete Messinstrumente:</u> PANAS und MRJPQ</p> <p><u>Psychophysiologie:</u> EDA und HRV</p>	<p><i>Selbstberichtete Messinstrumente</i> <u>PANAS:</u> Es wurden keine signifikanten Unterschiede im negativen und positiven Affekt zwischen den Bedingungen bei der Post-Messung gefunden. Allerdings wurde eine signifikante Verringerung des negativen Affekts vom Prä-Post für I1 und I2, aber nicht für I3 gefunden. Im Gegensatz zeigte sich in der I3 eine signifikante Verringerung des positiven Affekts vom Prä-Post-Zeitpunkt, was nicht bei I1 und I2 gefunden wurde.</p> <p><u>MRJPQ:</u> I1 und I2 hatten signifikant höhere MRJPQ-Werte als I3.</p> <p><i>Psychophysiologie</i> <u>EDA:</u> Signifikanter Zeiteffekt. Die Hautleitfähigkeit sank in allen drei Bedingungen kontinuierlich. Die Strandaufnahme (I1) unterschritt signifikant das Baselinenniveau. Die anderen Bedingungen nicht.</p> <p><u>HRV:</u> Die LF war bei dem Messzeitpunkt Stress signifikant niedriger als beim Messzeitpunkt Beginn für I2 und I3. Es gab keine weiteren signifikanten Prä-Post oder Zwischenbedingungeffekte.</p> <p>Die HF war bei dem Messzeitpunkt Stressor signifikant niedriger als bei allen anderen Messzeitpunkte (Beginning, Middle, End) der I1, I2 und I3. Es gab keine weiteren signifikanten Prä-Post oder Zwischenbedingungeffekte.</p> <p>Das Verhältnis LF/HF war bei dem Messzeitpunkt Beginning der I3 signifikant größer als beim Messzeitpunkt Middle und End. Für I1 war der Stressmesszeitpunkt signifikant größer als die Messzeitpunkte Beginning, Middle und End. Es gab keine weiteren signifikanten Prä-Post oder Zwischenbedingungeffekte.</p>

**Fortsetzung Tab. S1:** Detaillierte Übersicht über bisherige Studien zu virtuellen Naturumgebungen die selbstberichtete und psychophysiologische Zielvariablen erhoben haben.

Quelle	Design & Stichprobe	Interventionen	Abhängige Variablen für Entspannung	Ergebnisse
Browning et al. (2020)	<p><u>Design:</u> Zwischensubjekt-design mit Messwiederholungen (Prä-Post)</p> <p><u>Stichprobenumfang</u> N = 90; n = 30</p> <p><u>Länge der virtuellen Natur:</u> 6 Minuten</p> <p><u>Nutzung eines Stressors:</u> Nein</p> <p><u>Erhebungsmesszeitpunkte:</u> <i>PANAS:</i> Prä und Post-Intervention; Insgesamt 2x, pro Bedingung.</p> <p><i>PRS:</i> Post-Intervention; Insgesamt: 1x, pro Bedingung</p> <p><i>EDA:</i> Kontinuierlich; aggregiert zu 30 Sekundenintervalle</p>	<p><u>Intervention 1 (I1):</u> Mono 360° Waldaufnahme via 6DoF HMD</p> <p><u>Intervention 2 (I2):</u> Reale Waldumgebung</p> <p><u>Intervention 3 (I3):</u> Kontrollbedingung ohne Natur (einfaches dasitzen).</p>	<p><u>Selbstberichtete Messinstrumente:</u> PANAS und PRS</p> <p><u>Psychophysiologie:</u> EDA</p>	<p><i>Selbstberichtete Messinstrumente</i> <u>PANAS:</u> Der positive Affekt in der I3 war beim Postzeitpunkt signifikant niedriger als bei der I1 und I2. Der negative Affekt nahm signifikant in allen Bedingungen ab. Es wurden keine weiteren signifikanten Zwischenbedingungsunterschiede festgestellt.</p> <p><u>PRS:</u> Die PRS in der I3 war beim Postzeitpunkt signifikant niedriger als bei der I1 und I2. Es wurden keine weiteren signifikanten Effekte festgestellt.</p> <p><i>Psychophysiologie</i> <u>EDA:</u> Es wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen I1 und I2 gefunden. Im Vergleich zu I3 wurde ein signifikant höheres EDA-Niveau zu I1 und I2 gefunden und ein kontinuierlicher steigender Trend.</p>

**Fortsetzung Tab. S1:** Detaillierte Übersicht über bisherige Studien zu virtuellen Naturumgebungen die selbstberichtete und psychophysiologische Zielvariablen erhoben haben.

Quelle	Design & Stichprobe	Interventionen	Abhängige Variablen für Entspannung	Ergebnisse
Liszio et al. (2018)	<p><u>Design:</u> Zwischensubjekt-design mit Messwiederholungen (baseline, induction, post-induction, manipulation, post-manipulation)</p> <p><u>Stichprobenumfang</u> N = 62; n<sub>11</sub> = 22, n<sub>12</sub> = 17, n<sub>13</sub> = 23</p> <p><u>Länge der virtuellen Natur:</u> 7 Minuten</p> <p><u>Nutzung eines Stressors:</u> Ja, virtuelle Version des TSST</p> <p><u>Erhebungsmesszeitpunkte:</u> STAI: Baseline, Post-Stressor, Post-Resting; Insgesamt: 3x, pro Bedingung</p> <p><u>PANAS:</u> Baseline, Post-Stressor, Post-Resting; Insgesamt: 3x, pro Bedingung</p> <p><u>HRV:</u> SDSD-5-Minuten-Intervalle zum Ende der Baseline, Stressor und Restingphase; Insgesamt: 3x, pro Bedingung</p> <p><u>Cortisol:</u> Baseline, 15 min nach der Stressorphase, 15 min nach der Restingphase, Insgesamt 3x, pro Bedingung.</p>	<p><u>Intervention 1 (I1):</u> computer-programmierte 3D Unterwasserumgebung („theBlu“) via 6DoF HMD</p> <p><u>Intervention 2 (I2):</u> eine Bildschirmaufnahme von theBlu (2D computer-programmierte Unterwasserumgebung) via PC-Bildschirm.</p> <p><u>Intervention 3 (I3):</u> Kontrollbedingung ohne Natur (im Raum warten).</p>	<p><u>Selbstberichtete Messinstrumente:</u> PANAS und STAI</p> <p><u>Psychophysiologie:</u> HRV und Cortisol</p>	<p><i>Selbstberichtete Messinstrumente</i> STAI: Die „Post-Manipulation-Post-Induction“ Differenz des STAI zeigt, dass I1 signifikant mehr Angst reduziert hat als I2 und I3. I2 und I3 unterschieden sich nicht signifikant.</p> <p><u>PANAS:</u> Die „Post-Manipulation-Post-Induction“ Differenz des positiven Affekts zeigt, dass der positive Affekt in I1 signifikant größer war als bei I2 und I3. I2 und I3 unterschieden sich nicht signifikant. Es wurden keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich des negativen Affekts gefunden.</p> <p><i>Psychophysiologie</i> <u>HRV:</u> Die HRV-Werte (SDSD) in der I1 war signifikant höher als bei I2 und I3 zum Postzeitpunkt (post-manipulation). Es wurden keine weiteren signifikanten Zwischenbedingungsunterschiede festgestellt.</p> <p><u>Cortisol:</u> Es wurden keine signifikanten Zwischensubjektbedingungsunterschiede gefunden.</p>



**Fortsetzung Tab. S1:** Detaillierte Übersicht über bisherige Studien zu virtuellen Naturumgebungen die selbstberichtete und psychophysiologische Zielvariablen erhoben haben.

Quelle	Design & Stichprobe	Interventionen	Abhängige Variablen für Entspannung	Ergebnisse
Mostajeran et al. (2021)	<p><u>Design:</u> Gemischtesdesign</p> <p><u>Stichprobenumfang</u> N = 34</p> <p><u>Länge der virtuellen Natur:</u> 6 Minuten</p> <p><u>Nutzung eines Stressors:</u> Ja, Kopfrechen</p> <p><u>Erhebungsmesszeitpunkte:</u> STADI-S, SSSQ, PSS, POMS, IPQ: Post-Kontrolle und Post-Experimentalbedingung; Insgesamt: 2x.</p> <p>SSQ: Start &amp; Ende, Insgesamt: 2x, pro Bedingung.</p> <p>HR &amp; EDA: Kontinuierlich; die Daten wurden gemittelt über die Stressoren (Kopfrechenaufgaben), welche jeweils 5 Minuten lang waren; sowie über die Länge der Interventionen (6 Minuten). Hieraus wurden Differenzwerte kalkuliert (Stressor – Intervention) und diese für die Varianzanalyse genutzt.</p>	<p><u>Intervention 1 (I1):</u> Mono 360°Waldaufnahme via 6DoF HMD</p> <p><u>Intervention 2 (I2):</u> Mono 360° Stadtaufnahme via 6DoF HMD</p> <p><u>Intervention 3 (I3):</u> Waldfotos via 6DoF HMD</p> <p><u>Intervention 4 (I4):</u> Stadtfotos via 6DoF HMD</p>	<p><u>Selbstberichtete Messinstrumente:</u> STADI-S, POMS, SSSQ, PSS, IPQ und SSQ</p> <p><u>Psychophysiologie:</u> HR und EDA</p>	<p><u>Selbstberichtete Messinstrumente</u> <u>STADI-S:</u> Es wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt.</p> <p><u>SSSQ:</u> Es wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt.</p> <p><u>PSS:</u> Es wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt.</p> <p><u>POMS:</u> Die Waldaufnahme führten zu einer signifikant größeren Reduzierung des POMS als die Stadtaufnahmen. Post-Hoc-Tests zeigten, dass der Unterschied zwischen I1 und I2 zurückzuführen ist. Weitere signifikanten Unterschiede wurden nicht gefunden.</p> <p><u>IPQ:</u> Die 360°Aufnahmen führten zu einem signifikant höheren Präsenzerleben als die Fotos. Das Waldmaterial führte zu einem signifikant höherem Präsenzerleben als das Stadtmaterial. Interaktionseffekte wurden nicht festgestellt.</p> <p><u>SSQ:</u> Der Pre-Post t-test zeigt, dass die Simulator Sickness signifikant zugenommen hat.</p> <p><u>Psychophysiologie</u> <u>HR:</u> Alle Bedingungen führten zu einer signifikanten Reduzierung der Herzrate. Keine signifikanten Zwischenbedingungseffekte wurden gefunden.</p> <p><u>EDA:</u> Die EDA-Differenz (Kopfrechenphase-Experimentalphase) war bei den Fotos signifikant größer als bei den 360°Videos. I1 unterschied sich nicht signifikant von den anderen Bedingungen. I3 war signifikant größer als I2 und I4 signifikant größer als I2.</p>

**Fortsetzung Tab. S1:** Detaillierte Übersicht über bisherige Studien zu virtuellen Naturumgebungen die selbstberichtete und psychophysiologische Zielvariablen erhoben haben.

Quelle	Design & Stichprobe	Interventionen	Abhängige Variablen für Entspannung	Ergebnisse
Villani et al. (2007)	<p><u>Design:</u> Zwischensubjekt-design mit Messwiederholungen (Prä-Post an zwei Tagen)</p> <p><u>Stichprobenumfang</u> N = 64, n<sub>1</sub> = 16, n<sub>2</sub> = 16, n<sub>3</sub> = 16, n<sub>4</sub> = 16</p> <p><u>Länge der virtuellen Natur:</u> n.r.</p> <p><u>Nutzung eines Stressors:</u> Ja, Kopfrechen</p> <p><u>Erhebungsmesszeitpunkte:</u> STAI, VAS, PANAS, COPE und ITC-SOPI Prä-Post Intervention, pro Tag; Insgesamt: 4x.</p> <p>HR, Rr, EDA und EMG: Prä- und Post-Intervention, 3-Min-Messung; Insgesamt 4x.</p>	<p><u>Intervention 1 (I1):</u> 3D computer-programmierter Strand über 3DoF HMD.</p> <p><u>Intervention 2 (I2):</u> Strandaufnahme via TV</p> <p><u>Intervention 3 (I3):</u> Angeleitete Imagination</p> <p><u>Intervention 4 (I4):</u> Kontrollbedingung ohne Intervention</p>	<p><u>Selbstberichtete Messinstrumente:</u> STAI, VAS (8 unterschiedliche Emotionen), PANAS, COPE und ITC-SOPI</p> <p><u>Psychophysiologie:</u> HR, Rr, EDA und EMG</p>	<p><u>Selbstberichtete Messinstrumente</u> <u>STAI:</u> Es wurden keine signifikanten Zwischenbedingungsunterschiede festgestellt.</p> <p><u>VAS:</u> Es wurden keine signifikanten Zwischenbedingungsunterschiede festgestellt.</p> <p><u>PANAS:</u> Es wurden keine signifikanten Zwischenbedingungsunterschiede festgestellt.</p> <p><u>COPE:</u> Es wurden keine signifikanten Zwischenbedingungsunterschiede festgestellt.</p> <p><u>ITC-SOPI:</u> Es wurden keine signifikanten Zwischenbedingungsunterschiede festgestellt.</p> <p><u>Psychophysiologie</u> <u>HR:</u> Es wurden keine signifikanten Zwischenbedingungsunterschiede festgestellt.</p> <p><u>Rr:</u> Es wurden keine signifikanten Zwischenbedingungsunterschiede festgestellt.</p> <p><u>EDA:</u> Es wurden keine signifikanten Zwischenbedingungsunterschiede festgestellt.</p> <p><u>EMG:</u> Es wurden keine signifikanten Zwischenbedingungsunterschiede festgestellt.</p>

*Notiz.* 6DoF = six degrees of freedom, COPE = coping orientation to problems experienced, EDA = electrodermal activity, EMG = electromyography, HF = high frequency, HMD = head mounted display, HRV = heart rate variability, IPQ = igroup presence questionnaire, ITC-SOPI = ITC-Sense of Presence Inventory, LF = low frequency, MRJPQ = modified reality judgment and presence questionnaire, PANAS = positive and negative affect schedule, POMS = profile of mood states, PRS = perceived restorativeness scale, PSS = perceived stress scale, Rr = respiratory rate, SDD = the standard deviation of the differences between successive NN intervals, SSQ = simulator sickness questionnaire, SSSQ = short stress state questionnaire, STADI-S = the state-trait anxiety-depression inventor, STAI = state-trait anxiety inventory, VAS = visual analog scale.

**Tab. S2:** Der Einfluss der HMD-Vorerfahrung (Ja / Nein) auf Pfad a & b der Multilevel Mediationsanalyse des räumlichen Präsenzerlebens auf die selbstberichtete Entspannung

Pfad	$\beta$	95%KI	SE	t(df)	p
a	0.060	[-.138, .259]	.10	0.60 (98)	.548
b	-	[-.156, .016]	.04	1.60 (98)	.111

Notiz. SE = Standardfehler, KI = Konfidenzintervall, df = Freiheitsgrad.

**Tab. S3:** Nachberechnungen der Effektstärken von Liszjo et al. (2018)

Variablen	M	SD	M	SD	M	SD
	VR <sub>Baseline</sub> <sup>a</sup>		Desktop <sub>Baseline</sub> <sup>b</sup>		Kontrolle <sub>Baseline</sub> <sup>c</sup>	
HRV SDSD	53.8	32.8	48.6	22.0	49.8	23.6
Cortisol	13.9	7.24	12.6	7.38	12.0	6.50
	VR <sub>Stress</sub> <sup>d</sup>		Desktop <sub>Stress</sub> <sup>e</sup>		Kontrolle <sub>Stress</sub> <sup>f</sup>	
HRV SDSD	46.3	25.4	50.6	16.5	44.1	19.2
Cortisol	21.1	17.0	23.3	22.9	19.7	16.5
	VR <sub>Resting</sub> <sup>g</sup>		Desktop <sub>Resting</sub> <sup>h</sup>		Kontrolle <sub>Resting</sub> <sup>i</sup>	
HRV SDSD	63.3	37.2	38.9	12.9	41.5	16.1
Cortisol	13.0	6.55	15.1	14.5	14.4	11.6
Effektstärken für HRV SDSD						
	Cohen's $d^{ad}$		Cohen's $d^{be}$		Cohen's $d^{cf}$	
	-0.252		0.101		-0.262	
	Cohen's $d^{dg}$		Cohen's $d^{eh}$		Cohen's $d^{fi}$	
	0.516		-0.779		-0.146	
	Cohen's $d^{gh}$		Cohen's $d^{hi}$		Cohen's $d^{ig}$	
	-0.885		0.181		0.728	
Effektstärken für Cortisol						
	Cohen's $d^{ad}$		Cohen's $d^{be}$		Cohen's $d^{cf}$	
	0.487		0.529		0.535	
	Cohen's $d^{dg}$		Cohen's $d^{eh}$		Cohen's $d^{fi}$	
	-0.545		-0.409		-0.361	
	Cohen's $d^{gh}$		Cohen's $d^{hi}$		Cohen's $d^{ig}$	
	0.179		-0.054		-0.148	

Notiz. Die Effektstärken wurden gemäß Lakens (2013) nachberechnet.

**Tab. S4:** Nachberechnungen der Effektstärken von Anderson et al. (2017)

Variablen	Ende (Kontrolle) <sup>a</sup>		Ende (Strand) <sup>b</sup>		Ende (Irland) <sup>c</sup>	
	M	SD	M	SD	M	SD
HRV Low Frequency (LF)	130	180	110	70	130	110
	Cohen's $d^{ab}$		Cohen's $d^{bc}$		Cohen's $d^{ca}$	
	-0.127		0.207		0.001	
HRV High Frequency (HF)	100	80	130	90	110	120
	Cohen's $d^{ab}$		Cohen's $d^{bc}$		Cohen's $d^{ca}$	
	0.351		-0.185		-0.094	
HRV LF/HF	1.38	1.28	0.92	0.36	1.88	1.75
	Cohen's $d^{ab}$		Cohen's $d^{bc}$		Cohen's $d^{ca}$	
	-0.402		0.600		-0.319	

*Notiz.* HF = high frequency, LF = low frequency, Höhere LF-Werte sind eher mit sympathischer Aktivität assoziiert, höhere HF-Werte hingegen eher mit parasympathischer Aktivität und ein niedrigeres LF/HF Verhältnis deutet eher auf die Dominanz des Parasympathikus und ein höheres LF/HF Verhältnis auf die Dominanz der Sympathikus hin. Die Effektstärken wurden gemäß Lakens (2013) nachberechnet.

**Tab. S5:** Deskriptive Statistik für den zeitlichen Verlauf der Herz Rate und der Hautleitfähigkeit. Für die zweiminütige Baseline wurden die Probanden instruiert mit offenen Augen ruhig dasitzen.

	Herz Rate (bpm)						z-transformierte Herz Rate								
	Baseline		PC		HMD		Baseline		PC		HMD				
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD			
Min. 1	73.99	10.07	73.74	10.40	73.21	10.49	-	0.30	0.37	-	0.34	0.31	-	0.38	0.37
Min. 2	74.80	10.56	74.15	10.45	73.36	10.54	-	0.22	0.32	-	0.29	0.27	-	0.38	0.28
Min. 3			74.09	10.63	73.78	10.22				-	0.31	0.29	-	0.33	0.28
Min. 4			73.60	10.58	73.35	10.05				-	0.34	0.29	-	0.36	0.25
Min. 5			74.36	10.36	74.33	10.19				-	0.27	0.30	-	0.30	0.33
	Hautleitfähigkeit (micro Siemens)						z-transformierte Hautleitfähigkeit								
	Baseline		PC		HMD		Baseline		PC		HMD				
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD			
Min. 1	3.51	3.03	5.83	3.75	5.87	3.90	-	1.73	0.68	0.36	0.53	0.38	0.56		
Min. 2	3.23	2.79	5.35	3.62	5.41	3.77	-	1.92	0.50	-	0.04	0.50	-	0.03	0.53
Min. 3			5.07	3.67	5.08	3.73				-	0.31	0.53	-	0.30	0.54
Min. 4			4.85	3.57	4.85	3.71				-	0.50	0.58	-	0.49	0.59
Min. 5			4.72	3.53	4.73	3.70				-	0.62	0.61	-	0.60	0.63

*Notiz.* Bpm = beats per minute.