

Aus der Klinik für Psychosomatische Medizin und Psychotherapie

Vergleich der Exposition in VR (VRET) versus in vivo für Höhenangst hinsichtlich ihrer Effektivität bezüglich der Herzfrequenzvariabilität anhand der frequenzbasierten Parameter HF und LF

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der
Medizin
der Universitätsmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Vorgelegt von

Alan Karimi
aus Mainz

Mainz, 2025

Für meine Eltern.

Wissenschaftlicher Vorstand: Herr Univ.-Prof. Dr. med. Philipp Drees

1. Gutachter: Frau Univ.-Prof. Dr. Katja Petrowski

2. Gutachter: Frau Prof. Dr. Melanie Jagler-Franke

Tag der Promotion: 15.09.2025

Nachnutzungslizenz: CC BY

Inhaltsverzeichnis

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	7
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	9
TABELLENVERZEICHNIS	10
1 EINLEITUNG	12
2 THEORETISCHER TEIL	13
2.1 ANGSTSTÖRUNG UND SPEZIFISCHE PHOBIEN	13
2.1.1 <i>Akrophobie</i>	13
2.1.2 <i>Epidemiologie</i>	14
2.1.3 <i>Diagnosekriterien (ICD 11, DSM-V)</i>	14
2.1.4 <i>Ätiologie</i>	15
2.1.4.1 Zwei-Faktoren-Theorie	15
2.1.4.2 Konzept der Preparedness	16
2.1.4.3 Three-Pathway-Modell	16
2.1.4.4 Vulnerabilitäts-Stress-Modell	16
2.1.5 <i>Pathophysiologie der Höhenangst</i>	17
2.1.6 <i>Therapie</i>	18
2.1.6.1 Exposition in vivo	18
2.1.6.2 VRET (Virtual Reality Exposure Therapy).....	19
2.2 HERZFREQUENZVARIABILITÄT (HRV)	20
2.2.1 <i>Frequenzanalyse</i>	21
2.2.2 <i>Taktatmung</i>	22
2.3 HERZFREQUENZVARIABILITÄT ALS MARKER DER EXPOSITIONSTHERAPIE	23
2.4 HYPOTHESEN	24
2.4.1 <i>Hypothesen zu physiologischen Messwerten</i>	24
2.4.1.1 Hypothese 1	24
2.4.1.2 Hypothese 2	24
2.4.1.3 Hypothese 3	24
2.4.2 <i>Hypothesen zu Fragebögen</i>	25
2.4.2.1 Hypothese 1	25
2.4.2.2 Hypothese 2	25
2.4.2.3 Hypothese 3	25
2.4.2.4 Hypothese 4	25
3 METHODIK	26
3.1 STUDIENDESIGN	26
3.2 REKRUTIERUNG DER PROBAND:INNEN	26
3.2.1 <i>Ein- und Ausschlusskriterien</i>	27

3.2.2	<i>Proband:Innenaufklärung</i>	27
3.3	MESSINSTRUMENTE/FRAGEBOGENSET	28
3.3.1	<i>Fragebogen zu soziodemographischen Daten</i>	28
3.3.2	<i>Acrophobia Questionnaire (74)</i>	28
3.3.3	<i>Igroup Presence Questionnaire (77)</i>	28
3.3.4	<i>Simulator Sickness Questionnaire (78)</i>	29
3.3.5	<i>Protokoll zur Expositionstherapie (43)</i>	29
3.4	BESCHREIBUNG DES EXPERIMENTALEN STUDIENTEILS	29
3.4.1	<i>Rahmenbedingungen der Studie</i>	29
3.4.2	<i>Technische Geräte und Software</i>	30
3.4.3	<i>Studienablauf</i>	31
3.4.4	<i>Exposition</i>	32
3.4.4.1	Taktatmung	32
3.4.4.2	Exposition in VR.....	32
3.4.4.3	Exposition in vivo	33
3.4.5	<i>Untersuchungsgruppe</i>	34
3.4.6	<i>Statistische Analysen</i>	34
4	ERGEBNISSE	35
4.1	DESKRIPTIVE STATISTIKEN	35
4.2	UNTERSCHIEDET SICH DIE EXPOSITION IN VR VON DER EXPOSITION IN VIVO HINSICHTLICH DER HF?	38
4.2.1	<i>ANOVA-Test HF gesamter Slot</i>	38
4.2.2	<i>Post-hoc Analyse HF gesamter Slot</i>	39
4.2.3	<i>ANOVA-Test HF Peak</i>	40
4.2.4	<i>Post-hoc Analyse HF Peak</i>	41
4.3	UNTERSCHIEDET SICH DIE DIE EXPOSITION IN VR VON DER EXPOSITION IN VIVO HINSICHTLICH DER LF?.....	41
4.3.1	<i>ANOVA-Test LF gesamter Slot</i>	41
4.3.2	<i>Post-hoc Analyse LF gesamter Slot</i>	42
4.3.3	<i>ANOVA-Test LF Peak</i>	43
4.3.4	<i>Post-hoc Analyse LF Peak</i>	44
4.4	UNTERSCHIEDET SICH DIE DIE EXPOSITION IN VR VON DER EXPOSITION IN VIVO HINSICHTLICH DER LF/HF-RATIO?	45
4.4.1	<i>ANOVA-Test LF/HF gesamter Slot</i>	45
4.4.2	<i>Post-hoc Analyse LF/HF gesamter Slot</i>	46
4.4.3	<i>ANOVA-Test LF/HF-Ratio Peak</i>	47
4.4.4	<i>Post-hoc Analyse LF/HF Peak</i>	48
4.5	UNTERSCHIEDET SICH DIE EXPOSITION IN VR VON DER EXPOSITION IN VIVO HINSICHTLICH DER EINSCHÄTZUNG DER SUBJEKTIVEN ANGST DER PATIENT:INNEN VOR DER EXPOSITION VERSUS DER MAXIMALEN ANGST WÄHREND DER EXPOSITION? ...	49
4.5.1	<i>ANOVA-Test Expositionsprotokoll Angst vor und Angst während der Exposition</i>	49
4.5.2	<i>Post-hoc Analyse Expositionsprotokoll Angst vor und Angst während der Exposition</i>	50

4.6	UNTERSCHIEDET SICH DIE DIE EXPOSITION IN VR VON DER EXPOSITION IN VIVO HINSICHTLICH DER EINSCHÄTZUNG DER SUBJEKTIVEN ANGST DER PATIENT:INNEN VOR DER EXPOSITION VERSUS DER ANGST AM ENDE DER EXPOSITION?	51
4.6.1	<i>ANOVA-Test Expositionsprotokoll Angst vor und Angst am Ende der Exposition</i>	51
4.6.2	<i>Post-hoc Analyse Expositionsprotokoll Angst vor und Angst am Ende der Exposition</i>	52
5	DISKUSSION	53
5.1	ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE	53
5.1.1	<i>High frequency (HF)</i>	53
5.1.2	<i>Low frequency (LF)</i>	53
5.1.3	<i>LF/HF-Ratio</i>	54
5.1.4	<i>Expositionsfragebogen Angst vor und während der Exposition</i>	55
5.1.5	<i>Expositionsfragebogen Angst vor und am Ende der Exposition</i>	55
5.2	DISKUSSION DER ERGEBNISSE	56
5.3	DISKUSSION DER METHODIK.....	61
5.3.1	<i>Limitationen</i>	62
5.3.2	<i>Klinische Implikationen</i>	63
5.3.3	<i>Ausblick und Zukunft der VRET</i>	64
6	ZUSAMMENFASSUNG	65
7	LITERATURVERZEICHNIS	67
8	DANKSAGUNG	74
9	LEBENS LAUF	75

Abkürzungsverzeichnis

ACQ	Acrophobia questionnaire
ANS	Autonomes Nervensystem
AWMF	Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften
DSM	Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders
dt.	deutsch
EKG	Elektrokardiographie
ggf.	gegebenenfalls
Hf	Herzfrequenz
HRV	Herzfrequenzvariabilität
Hz	Hertz
ICD	International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems
IdNR	Identifikationsnummer
KVT	Kognitive Verhaltenstherapie
m	männlich
MZP	Messzeitpunkt
ms	Millisekunden
η_p^2	partielltes Etaquadrat
o.g.	oben genannte
PTBS	Posttraumatische Belastungsstörung
RSA	Respiratorische Sinus Arrhythmie
VR	Virtuelle Realität
VRET	Virtual Reality Exposure Therapy
SD	Standardabweichung
SDNN	Standard Deviation of the NN Intervall
SMD	space and motion discomfort
s.o.	siehe oben
sog.	sogenannten
u.a.	unter anderem
VFD	Visual Field Dependence
w	weiblich
\bar{x}	Mittelwert
z.B.	zum Beispiel

z.T. zum Teil

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1 SINNESPATHOPHYSIOLOGIE DES ERWERBS DER HÖHENANGST	17
ABBILDUNG 2 FREQUENZBEREICHE DER HRV-PARAMETER	22
ABBILDUNG 3 INTERAKTION VON BEDINGUNG UND MESSZEITPUNKTEN HINSICHTLICH DER HF (PEAK)	40
ABBILDUNG 4 INTERAKTION VON BEDINGUNG UND MESSZEITPUNKTEN HINSICHTLICH DER LF (PEAK)	44

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1 MITTELWERTE UND STANDARDABWEICHUNGEN FÜR HF (GESAMTER SLOT)	36
TABELLE 2 MITTELWERTE UND STANDARDABWEICHUNGEN FÜR HF (PEAK)	36
TABELLE 3 MITTELWERTE UND STANDARDABWEICHUNGEN FÜR LF (GESAMTER SLOT).....	36
TABELLE 4 MITTELWERTE UND STANDARDABWEICHUNGEN FÜR LF (PEAK)	37
TABELLE 5 MITTELWERTE UND STANDARDABWEICHUNGEN FÜR LF (PEAK)	37
TABELLE 6 MITTELWERTE UND STANDARDABWEICHUNGEN FÜR LF/HF (PEAK).....	37
TABELLE 7 MITTELWERTE UND STANDARDABWEICHUNGEN FÜR EXPOSITIONSPROTOKOLL ANGST VOR UND MAXIMALE ANGST WÄHREND DER EXPOSITION	38
TABELLE 8 MITTELWERTE UND STANDARDABWEICHUNGEN FÜR EXPOSITIONSPROTOKOLL ANGST VOR UND AM ENDE DER EXPOSITION	38
TABELLE 9 MAUCHLY-TEST AUF SPHÄRIZITÄT DER ANOVA FÜR HF (GESAMTER SLOT)	38
TABELLE 10 KORRIGIERTE TESTS DER INNERSUBJEKTEFFEKTE FÜR HF (GESAMTER SLOT)	39
TABELLE 11 POST-HOC ANALYSE: PAARWEISE VERGLEICHE DER BEDINGUNGEN FÜR HF (GESAMTER SLOT)	39
TABELLE 12 MAUCHLY-TEST AUF SPHÄRIZITÄT DER ANOVA FÜR HF (PEAK).....	40
TABELLE 13 KORRIGIERTE TESTS DER INNERSUBJEKTEFFEKTE FÜR HF (PEAK).....	40
TABELLE 14 POST-HOC ANALYSE: PAARWEISE VERGLEICHE DER BEDINGUNGEN FÜR HF (GESAMTER SLOT)	41
TABELLE 15 MAUCHLY-TEST AUF SPHÄRIZITÄT DER ANOVA FÜR LF (GESAMTER SLOT)	41
TABELLE 16 KORRIGIERTE TESTS DER INNERSUBJEKTEFFEKTE FÜR LF (GESAMTER SLOT)	42
TABELLE 17 POST-HOC ANALYSE: PAARWEISE VERGLEICHE DER BEDINGUNGEN FÜR LF (GESAMTER SLOT)	42
TABELLE 18 POST-HOC ANALYSE: PAARWEISE VERGLEICHE DER MESSZEITPUNKTE FÜR LF (GESAMTER SLOT)	43
TABELLE 19 MAUCHLY-TEST AUF SPHÄRIZITÄT DER ANOVA FÜR LF (PEAK).....	43
TABELLE 20 KORRIGIERTE TESTS DER INNERSUBJEKTEFFEKTE FÜR LF (PEAK).....	43
TABELLE 21 POST-HOC ANALYSE: PAARWEISE VERGLEICHE DER BEDINGUNGEN FÜR LF (PEAK)	44
TABELLE 22 POST-HOC ANALYSE: PAARWEISE VERGLEICHE DER MESSZEITPUNKTE FÜR LF (PEAK)	45
TABELLE 23 MAUCHLY-TEST AUF SPHÄRIZITÄT DER ANOVA FÜR LF/HF-RATIO (GESAMTER SLOT).....	45
TABELLE 24 KORRIGIERTE TESTS DER INNERSUBJEKTEFFEKTE FÜR LF/HF-RATIO (GESAMTER SLOT).....	45
TABELLE 25 POST-HOC ANALYSE: PAARWEISE VERGLEICHE DER BEDINGUNGEN FÜR LF/HF-RATIO (GESAMTER SLOT).....	46
TABELLE 26 POST-HOC ANALYSE: PAARWEISE VERGLEICHE DER MESSZEITPUNKTE FÜR LF/HF-RATIO (GESAMTER SLOT)	46
TABELLE 27 MAUCHLY-TEST AUF SPHÄRIZITÄT DER ANOVA FÜR LF/HF-RATIO (PEAK)	47
TABELLE 28 KORRIGIERTE TESTS DER INNERSUBJEKTEFFEKTE FÜR LF/HF-RATIO (PEAK)	47
TABELLE 29 POST-HOC ANALYSE: PAARWEISE VERGLEICHE DER BEDINGUNGEN FÜR LF/HF-RATIO (PEAK)	48
TABELLE 30 POST-HOC ANALYSE: PAARWEISE VERGLEICHE DER MESSZEITPUNKTE FÜR LF/HF-RATIO (PEAK).....	48
TABELLE 31 MAUCHLY-TEST AUF SPHÄRIZITÄT DER ANOVA FÜR DIE EXPOSITIONSPROTOKOLL ANGST VOR UND ANGST WÄHREND DER EXPOSITION	49
TABELLE 32 KORRIGIERTE TESTS DER INNERSUBJEKTEFFEKTE FÜR DIE EXPOSITIONSPROTOKOLL ANGST VOR UND ANGST WÄHREND DER EXPOSITION	49

TABELLE 33 POST-HOC ANALYSE: PAARWEISE VERGLEICHE DER BEDINGUNGEN FÜR DIE EXPOSITIONSPROTOKOLL ANGST VOR UND ANGST WÄHREND DER EXPOSITION	50
TABELLE 34 POST-HOC ANALYSE: PAARWEISE VERGLEICHE DER MESSZEITPUNKTE FÜR DIE EXPOSITIONSPROTOKOLL ANGST VOR UND ANGST WÄHREND DER EXPOSITION	50
TABELLE 35 MAUCHLY-TEST AUF SPHÄRIZITÄT DER ANOVA FÜR DIE EXPOSITIONSPROTOKOLL ANGST VOR UND ANGST NACH DER EXPOSITION	51
TABELLE 36 KORRIGIERTE TESTS DER INNERSUBJEKTEFFEKTE FÜR DIE EXPOSITIONSPROTOKOLL ANGST VOR UND ANGST NACH DER EXPOSITION	51
TABELLE 37 POST-HOC ANALYSE: PAARWEISE VERGLEICHE DER BEDINGUNGEN FÜR DIE EXPOSITIONSPROTOKOLL ANGST VOR UND ANGST NACH DER EXPOSITION.....	52
TABELLE 38 POST-HOC ANALYSE: PAARWEISE VERGLEICHE DER MESSZEITPUNKTE FÜR DIE EXPOSITIONSPROTOKOLL ANGST VOR UND ANGST NACH DER EXPOSITION.....	52

1 Einleitung

Die vorliegende Studie beschäftigt sich mit der Auswirkung der Expositionstherapie in virtueller Realität (VRET) auf die Herzfrequenzvariabilität im Vergleich zur Expositionstherapie in vivo.

Alleine in der EU wird von einer 12-Monats-Prävalenz von 18.5 Millionen Menschen im Alter von 18 bis 65 Jahren für Phobien, wobei die Akrophobie, also die Angst vor Höhe, die zweithäufigste Phobie ist, ausgegangen (1). Diese hohe Prävalenz sowie die damit verbundenen hohen sozioökonomischen Kosten (2) verdeutlichen den Bedarf an neuen therapeutischen Ansätzen.

Die als Goldstandard in der Therapie von spezifischen Phobien geltende Expositionstherapie (3) ist jedoch in vielen Fällen kosten- und zeitaufwändig (4). Bereits 1992 begannen, damals mit noch nicht ausgereifter Technologie, erste Versuche mit Expositionen in virtueller Realität (5). Inzwischen ist die VRET eine ebenfalls von der Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften empfohlene Alternative zur klassischen Expositionstherapie (3). Zu erwähnen ist, dass die meisten Untersuchungen zur Wirksamkeit der VRET zur Therapie von Phobien im Kontext der Akrophobie getestet worden sind (5).

Während viele Studien den Therapieerfolg mit nicht objektivierbaren Messinstrumenten wie z.B. Fragebögen messen (6-9), erscheint die Einbeziehung physiologischer Parameter essenziell. Diese Notwendigkeit besteht, da Teilnehmer:Innen von Expositionsstudien zum Teil zwar frei von psychischer Reaktion auf die exponierte Situation waren, jedoch nicht von (unbewusster) physischer Reaktion (10). Ein etablierter physiologischer Marker hierfür ist die Herzfrequenzvariabilität (HRV) (11). In der vorliegenden Studie wird der Einfluss der VR- und In-vivo-Exposition insbesondere auf die frequenzbasierten Parameter der HRV (LF, HF, LF/HF) untersucht. Gleichzeitig wurde, bei o.g. Studienlage, ein standardisierter Fragebogen zum subjektiven Vergleich der VRET und der Exposition in vivo herangezogen. Hierzu nahmen Proband:Innen im Rahmen eines quasi-experimentellen Studiendesigns teil, die nicht die Kriterien einer Akrophobie gemäß DSM-5 erfüllten, jedoch über subjektiv wahrnehmbare Höhenangst berichteten.

2 Theoretischer Teil

2.1 Angststörung und spezifische Phobien

Das Gefühl der Angst zählt zu den Basisemotionen (1, 12, S. 146, 13). Angst ist somit eine angeborene Emotion, welche eine biologisch sinnvolle Reaktion auf eine reale Bedrohung auslöst (1, S. 972). Die Angst signalisiert Gefahr und führt, sofern erforderlich, zur Vermeidung der potenziell gefährlichen Situation. Spezifische Phobien beschreiben eine unangemessene, für die Betroffenen sehr intensiv empfundene und dauerhafte Furcht vor bestimmten Objekten oder Situationen. Eine klare Abgrenzung zwischen starker Angst und Phobie existiert nicht; die diagnostische Einordnung richtet sich vielmehr nach dem Ausmaß der Beeinträchtigung im Alltag (1, S. 972) und orientiert sich für die Diagnose einer spezifischen Phobie an den unten genannten Kriterien des DSM-V und der ICD-11. Ängste können in manchen Fällen in eigentlich ungefährlichen Situationen so stark ausfallen, dass das Leben der Betroffenen erheblich eingeschränkt wird (1). Menschen, die an einer Angststörung leiden, weisen eine durchschnittliche Arbeitsunfähigkeit von männlich = 4.2 und weiblich = 2.6 Tagen innerhalb von vier Wochen auf (14). Unbehandelt chronifizieren die meisten Angststörungen (1, 14). Aus dieser anhaltenden psychischen Belastung resultieren häufig sekundär Depressionen oder Substanzstörungen (14). Nicht zu vernachlässigen sind ebenfalls die hohen sozio-ökonomischen Kosten: In Europa verursachen Angststörungen Kosten von 63 Milliarden Euro und gelten damit als die kostenintensivste psychische Erkrankung (2).

2.1.1 Akrophobie

Die Akrophobie (dt. Höhenangst) zählt zu den sogenannten situationalen Phobien. Mit einer Lebenszeitprävalenz von 20.4 % ist die Akrophobie nach der Tierphobie (22.2 %) die zweithäufigste Form der spezifischen Phobie (15). Das Verhalten von Menschen, welche an Akrophobie leiden ist durch Vermeiden von verschiedenen, höhenassoziierten Situationen geprägt. Dazu zählen z.B. das Betreten von Fahrstühlen, Brücken, Wohnungen oder Büros in höheren Gebäuden oder das Benutzen von Treppenstufen (16). Höhenassoziierte Situationen sind im Alltag allgegenwärtig. Durch die Vermeidung dieser Situationen im Alltag von Betroffenen geht die Akrophobie mit einer starken Einschränkung des Sozialverhaltens einher (16). Im Vergleich zu nicht-akrophoben Personen schätzen Menschen mit Akrophobie das Risiko, in einer höhenassoziierten Situation zu stürzen, höher ein (17). Auch die Wahrscheinlichkeit, sich in solchen Situationen schwer zu verletzen wird höher angegeben als

in der Kontrollgruppe, obwohl sich die tatsächliche Häufigkeit solcher Ereignisse nicht von der der Kontrollgruppe unterscheidet (17).

2.1.2 Epidemiologie

Etwa 14 % der Bevölkerung der EU leiden an einer Angststörung (2). Somit stellen die Angststörungen die häufigste psychische Erkrankung dar. Innerhalb der Angststörungen ist die spezifische Phobie die häufigste Form und geht mit einer 12-Monats-Prävalenz von 6.4 % einher (2). Frauen sind mehr als doppelt so häufig betroffen wie Männer ($w : m = 2:5$) (2). Spezifische Phobien haben ihren Beginn häufig in der Kindheit und gehen im Verlauf häufig zusammen mit weiteren Komorbiditäten einher. Etwa 42 % der Betroffenen mit spezifischer Phobie weisen zusätzlich eine weitere Erkrankung aus dem Bereich der Angststörungen (1) oder weiteren spezifischen Phobien auf (15). Der Median des Erkrankungsalters liegt bei 12 Jahren, in ca. 80 % der Fälle entwickelt sich eine spezifische Phobie häufig vor dem 20. Lebensjahr (14). Zu betonen ist jedoch, dass das jeweilige Ersterkrankungsalter einer spezifischen Phobie von der Art der spezifischen Phobie abhängen kann (14).

2.1.3 Diagnosekriterien (ICD 11, DSM-V)

Die Diagnosekriterien einer spezifischen Phobie sind im DSM-V (18) in sieben Kriterien festgehalten. Zu den Kriterien gehören eine ausgeprägte Furcht oder Angst vor einem spezifischen Objekt oder einer spezifischen Situation, die meistens eine unmittelbare Furcht oder Angstreaktion hervorruft. Als Reaktion auf diese Furcht oder Angst wird diese entweder aktiv gemieden oder unter fortbestehen von starker Angst oder Furcht ertragen (18). Ein weiteres Kriterium ist der soziokulturelle Einfluss einer Phobie als Diagnosekriterium: So wird die Angst als in einem soziokulturellen Verständnis als unverhältnismäßig zu der von dem Objekt oder Situation tatsächlichen ausgehenden Gefahr beschrieben (18). Zudem führt die Angst zu Einschränkungen in allgemein sozialen oder anderen wichtigen Funktionsbereichen (18). Die Angst oder die aktive Vermeidung der angstausslösenden Situation dauert in der Regel über 6 Monate und länger an und kann nicht durch Symptome anderer psychischer Erkrankungen erklärt werden. Hierzu gehören z.B. Ängste, welche im Rahmen von Zwangsstörungen auftreten, mit traumatischen Ereignissen verknüpft sind (PTBS) oder Ängste aus sozialen Situationen heraus (18).

Im ICD-11 ist die spezifische Phobie unter dem Code 6B03 im Kapitel 6 klassifiziert (19), während sie im ICD-10 unter F40.2 im Kapitel V als „spezifische (isolierte) Phobie“ aufgeführt ist(20). Die aktuelle ICD-11 beschreibt im Vergleich zur ICD-10 das zeitliche Kriterium „die

Symptome halten mindestens mehrere Monate lang an“ (19), welches bei der ICD-10 gänzlich fehlt. Außerdem ist neu hinzugekommen, dass die Empfindung oder Reaktion der betroffenen Person formuliert wird. So ist in der ICD-11 definiert, dass die „Situationen gemieden oder aber mit intensiver Angst oder Furcht ertragen“ werden (19). Ebenfalls neu ist die Nennung „erheblicher Leidensdruck“ oder die „erhebliche Beeinträchtigung“ in verschiedenen sozialen Bereichen. Damit ähnelt die neue ICD-11 eher der DSM-V, insbesondere den Kriterien, die unter c), e) und f) aufgeführt sind.

2.1.4 Ätiologie

2.1.4.1 Zwei-Faktoren-Theorie

Die Zwei-Faktoren-Theorie von Mowrer (21) erklärt die Entwicklung von Ängsten anhand von zwei Faktoren: der klassischen und der operanten Konditionierung. Im Rahmen der klassischen Konditionierung wird ein angeborener, ursprünglich unkonditionierter Reiz, welcher eine unkonditionierte Reaktion hervorruft, mit einem neutralen Reiz zeitlich verknüpft. Wiederholt man diese Kopplung mehrfach, so ruft der zuvor neutrale Reiz nun selbst eine Angstreaktion hervor (nun die konditionierte Reaktion) und wird damit zum konditionierten Reiz (12).

Mowrer erklärt die Kopplung des neutralen Reizes mit einem aversiven, aufgrund traumatischer Ereignisse entstandenem Reiz. Zusätzlich erklärt Mowrer das Verhalten, welches einem aversiven Reiz folgt: So führt die Vermeidung zwar zu einer Reduktion der Angst, gleichzeitig wirkt es durch den Abbau des unangenehmen Gefühls als Verstärker für das Vermeidungsverhalten (1, 22). Die Limitation dieses Erklärungsansatzes für die Entstehung von Ängsten liegt darin, dass ein Großteil der Menschen mit Angststörungen keine vorausgegangenen traumatischen Erfahrungen ausmachen können. Ferner konnte das bekannte Experiment um den „kleinen Albert“ von Watson und Rayner (23) nicht ausreichend nachweisen, dass Ängste beim Menschen konditionierbar sind (1, S. 110-111).

Ein weiterer wichtiger Aspekt, der rein lerntheoretischen Ansätzen widerspricht, ist das Prinzip der Äquipotenzialität von Reizen. Während heutzutage Objekte wie Steckdosen, Messer oder Autos realere Gefahren darstellen, werden Schlangen, Spinnen oder Höhe mehr gefürchtet. Die Angst vor den zuletzt genannten Reizen zeigt sich ebenfalls stabil verteilt über verschiedene Kulturen hinweg, obwohl weder die Häufigkeit dieser Reize im täglichen Leben, noch die Wahrscheinlichkeit unangenehmer oder traumatischer Erfahrungen in Zusammenhang mit diesen Reizen der Realität entspricht. Somit kann keine Äquipotenzialität bezüglich gleich wahrscheinlicher Angstausslösung geboten werden (1, S. 976).

2.1.4.2 Konzept der Preparedness

Um das Problem der fehlenden Äquipotenzialität zu erklären, verknüpfte Seligman (24) das Prinzip der Konditionierung mit biologisch-genetischen Einflüssen auf die Entstehung von Ängsten. Welches Objekt oder welche Situation letztlich als angstausslösend wahrgenommen wird, hängt von der biologischen Bereitschaft, der „Preparedness“, eines Reizes ab (12, S. 18) (22). Diese Theorie wurde dadurch gestützt, dass angstausslösende Reize vor allem jene sind, die in der evolutionären Vergangenheit des Menschen eine reale Bedrohung darstellten.

2.1.4.3 Three-Pathway-Modell

Rachman beschreibt in seinem „Three-Pathway-Modell“ drei Wege, wie Phobien entstehen können: durch klassische Konditionierung, Modelllernen und Instruktionlernen (25). Dabei unterstützt Rachman Seligmans Annahme, dass eine biologische Bereitschaft vorliegen muss, um Ängste zu entwickeln. Neuere prospektive Studien von Kelly et al. (26) zeigen im Vergleich zu den retrospektiven Studien von Rachman, die hauptsächlich auf Erinnerungen basieren, ebenfalls die Möglichkeit, Ängste anhand von Modell- und Instruktionlernen zu erlernen. Jedoch wird auch die Möglichkeit aufgezeigt, diese Ängste wieder zu verlernen (1, 26). Schwierig anhand dieser Theorie zu erklären sind jedoch Ängste, die keinem dieser drei Modelle folgen oder sogar spontan auftreten. Dazu gehört z.B. die Angst vor Wasser, für die weder eine Konditionierung noch ein Modell- oder Instruktionlernen als Auslöser festgemacht werden konnte (27).

2.1.4.4 Vulnerabilitäts-Stress-Modell

Das Vulnerabilitäts-Stress-Modell von Muris et al. (27) soll eine Alternative bieten, um die Probleme der „Three-Faktor-Theorie“ wie beispielsweise spontan entstandene Ängste, zu erklären. Dieses Modell beschreibt, dass das Auslösen von Ängsten auf Grundlage einer genetischen Vulnerabilität basiert. Diese genetisch vererbte Komponente ist jedoch per se nicht die Angst oder die Störung die vererbt wird sondern lediglich eine Bereitschaft (Vulnerabilität), solche Ängste zu entwickeln (1, 28). So unterscheidet Taylor (29) zwei Arten genetischer Anlagen für die Entwicklung von Ängsten: einerseits genetischen Faktoren, die eine allgemeine Vulnerabilität für die Entstehung verschiedener Phobien darstellen und andererseits spezifische genetische Faktoren, die einen Vulnerabilitätsfaktor für die Entwicklung bestimmter Arten von Phobien darstellen (27).

Die Entwicklung von Ängsten ist somit multidimensional (27) und kann nicht auf einen einzigen Auslöser zurückgeführt werden. Vielmehr handelt es sich um ein Zusammenspiel von

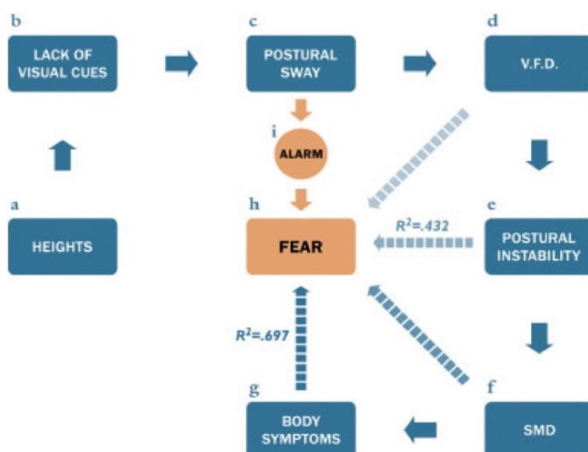
genetischer Disposition, individuellen Ressourcen der Resilienz und dem Vorhandensein von auslösenden Faktoren (30, S. 52 ff.). Es ist daher vollkommen natürlich, dass Kinder verschiedene Ängste entwickeln und ist somit als „normales Phänomen“ zu betrachten (27). Somit kann kein alleiniger, geschweige denn sicherer Auslöser für Höhenängste formuliert werden.

2.1.5 Pathophysiologie der Höhenangst

Das Gefühl von Schwindel, auch Vertigo genannt, das bei der Konfrontation mit Höhensituationen auftreten kann, ist eine physiologische Reaktion des Menschen und als Warnsignal (16, 31) vor einer potenziell gefährlichen Situation, etwa der Höhe, oder deren möglichen Folgen zu verstehen. Dieses Gefühl entsteht dadurch, dass sich die Distanz zwischen dem Betrachter und dem nächstgelegenen fixierbaren Objekt vergrößert und dadurch die Bewegungsparallaxe reduziert wird (16, 32). Die daraus resultierenden, fehlenden Informationen des räumlichen Tiefensehens führen zu einer verzerrten Wahrnehmung: Während das vestibuläre und das somatosensorische System dem Körper eine Bewegung signalisiert, bleibt eine entsprechende Information aus dem visuellen System aus (16, 33) (s. Abbildung 1). Dabei ist die Höhenangst demnach keine vestibuläre Malfunktion, sondern eine fehlerhafte Interpretation körperlicher Wahrnehmung (34, 35). Hieraus lässt sich ableiten, dass jene Menschen, deren Haltungskontrolle stärker vom visuellen System abhängig ist, möglicherweise anfälliger für die Entwicklung von Höhenangst sind (16, 36).

Abbildung 1

Sinnespathophysiologie des Erwerbs der Höhenangst



Anmerkung. SMD = Space and motion discomfort, VFD = Visual Field Dependence, Coelho CM, Waters AM, Hine TJ, Wallis G. The use of virtual reality in acrophobia research and treatment. J Anxiety Disord. 2009;23(5):563-74 (34)

2.1.6 Therapie

2.1.6.1 Exposition in vivo

Die S-3 Leitlinie zur Behandlung von Angststörungen empfiehlt zur Therapie spezifischer Phobien die kognitive Verhaltenstherapie (KVT) in Form der Expositionstherapie (3). Ist diese nicht verfügbar, so empfiehlt die Leitlinie als Alternative die virtuelle-Expositions-Therapie (VRET) (3). Die Expositionstherapie gilt als Goldstandard in der Behandlung von Angststörungen (4, 37) und zeigt im Vergleich zu Placebo-Behandlungen oder zu keiner Behandlung eine sehr hohe Wirksamkeit (4, 38). Auch im Vergleich zu psychodynamischen Therapieverfahren ist die KVT bei der Therapie von Angststörungen überlegen (4, 39). Dennoch konnte gezeigt werden, dass in der ambulanten Versorgung die expositionsbasierten Verfahren zur Therapie von Angststörungen zu den am wenigsten eingesetzten psychotherapeutischen Methoden gehören (4, 40). Ältere Schätzungen zeigen, dass zwar 63% der befragten Verhaltenstherapeut:Innen Expositionstherapie meistens oder immer anwenden, jedoch erfolgt die Durchführung oft nicht *lege artis*. Gründe hierfür sind unter anderem der hohe zeitliche Aufwand von Expositionssitzungen und die reduzierte Erreichbarkeit geeigneter Expositionsorte (4, 41).

Die Emotional Processing Theory (42) beschreibt zwei notwendige Bedingungen zur Veränderung gelernter Angstbedingungen (43): eine Bedingung für die Therapie von Ängsten mithilfe der Expositionstherapie und somit entscheidendes Merkmal der KVT ist, dass in einem ersten Schritt in der Exposition die Angstreaktion ausgelöst werden muss. Das Angstsystem des Menschen muss mit allen für die jeweilige angstausslösende Situation notwendigen Informationen aktiviert sein. Nur so lässt sich dann in einem zweiten Schritt mithilfe von korrektiven Informationen, welche mit den Informationen über die auslösende Angst unvereinbar sind, die Angst reduzieren. Dadurch kann die ehemals bedrohlich empfundene Situation als ungefährlich umstrukturiert werden (43). Dieser theoretische Hintergrund der KVT legt nahe, dass der Erfolg einer Expositionstherapie mit dem Ausmaß der zuvor ausgelösten Angstreaktion sowie dem Ermöglichen eines anschließenden Habituationsprozesses zusammenhängt (43, 44).

Eine neue theoretische Erklärung für die Extinktion von Ängsten im Rahmen der Expositionstherapie stellt die Inhibitory Learning Theory dar (45). In Abschnitt 2.1.4.1 wurde bereits die Entstehung von Angst durch die Assoziation eines ursprünglich neutralen Reizes mit einem aversiven Reiz im Sinne der klassischen Konditionierung erläutert. Die Inhibitory

Learning Theory erweitert das Verständnis der Angstreduktion durch Exposition, indem sie nicht ausschließlich die Extinktion, sondern auch Prozesse der Habituation berücksichtigt.

Zentraler Bestandteil dieser Theorie ist die Annahme, dass die ursprüngliche Assoziation zwischen dem neutralen und dem aversiven Reiz im Rahmen der Extinktion nicht vollständig gelöscht wird, sondern z.T. intakt bleibt. Durch die Expositionserfahrung wird zusätzlich eine neue, hemmende Assoziation aufgebaut, die nicht mehr das Eintreten einer aversiven Reaktion auf jeden ehemals konditionierten Reiz vorhersagt (45).

Daraus ergibt sich eine Doppelfunktion für die Kopplung aus neutralem und aversivem Reiz. Zum einen besteht weiterhin die ursprüngliche, angstausslösende (exzitatorische) Assoziation, zum anderen wird eine neu erlernte, angsthemmende Kopplung etabliert (45). Diese Annahme ist zentral für die Erklärung des Wiederauftretens von Ängsten nach zunächst erfolgreicher Expositionstherapie (45).

2.1.6.2 VRET (Virtual Reality Exposure Therapy)

Ebenfalls in der Therapie von Höhenängsten hat sich die Expositionstherapie mittels virtueller Realität (Virtual Reality Exposure Therapy, VRET) etabliert. Diese wird in der S-3 Leitlinie zur Therapie für spezifische Phobien dann empfohlen, wenn in-vivo-Exposition nicht verfügbar oder nicht durchführbar sind (3). Ein wesentlicher Vorteil der VRET ist, dass diese innerhalb therapeutischer Settings durchführbar sind und die Praxisräume nicht verlassen werden müssen. Besonders bei bestimmten Phobien, wie etwa der Flugangst, kann VRET auch kostengünstiger als eine Exposition in vivo sein (1). Zudem ermöglicht die VRET Patient:Innen, ihr Selbstvertrauen in die Therapie zu bewahren, indem sie belastenden Situationen in der Öffentlichkeit entgehen können (8, 34). In diesem Zusammenhang kann VRET als vorbereitender Schritt dienen, um die Hemmschwelle für eine nachfolgende Exposition in vivo zu senken (34). Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass die Sitzungen und die Behandlung auf die Bedürfnisse der Patient:Innen individualisiert werden können. So kann das Ausmaß der angstausslösenden Situation in Dimensionen gesteigert werden, wie sie in vivo nicht möglich wären. Diese Anpassung ist selbstverständlich auch in die andere Richtung möglich, sodass die Schwelle der Angstausslösenden Situation auf ein Minimum reduziert werden kann (8, 34). Gerade die Individualisierbarkeit des Stimulus ermutigt mehr Betroffene, eine Therapie in Anspruch zu nehmen (34, 46). Dies ist besonders in der Therapie von Phobien von großer Relevanz, da Betroffene oft nicht bereitwillig Hilfe aufsuchen (34, 47).

Mehrere Studien (5, 6, 8, 48) weisen auf einen positiven Effekt der Angstreduktion durch VRET auf Patient:Innen mit Höhenangst hin. Emmelkamp et al. (7) konnte sogar einen gleichermaßen

hohen Effekt der VRET im Vergleich zur klassischen Exposition in vivo nachweisen (5). Allerdings ist hervorzuheben, dass die meisten Studien zur VRET die Veränderung der subjektiven Symptombelastung betrachten, während psychophysiologische Parameter wie die Herzratenvariabilität häufig wenig Beachtung finden (49).

Tsai et al. (10) konnten zwar eine Stressinduktion durch die VRET mittels Angstfragebögen nachweisen, jedoch spiegelte sich diese subjektiv empfundene Angst lediglich in einem der zeitbasierten HRV-Parameter (SDNN) wider. Frequenzbasierte HRV-Parameter zeigten hingegen keine signifikanten Abweichungen zu Kontrollbedingungen, was auf eine deutliche Diskrepanz zwischen der subjektiven und der physiologischen Stresswahrnehmung hinweist.

Foa und Kozak (42) formulierten drei Voraussetzungen die erfüllt sein müssen, damit eine VRET therapeutisch wirksam sein kann: Erstens müssen Patient:Innen die virtuelle Umgebung als einen Ort, welchen Sie besuchen und daran teilhaben, wahrnehmen. Es darf nicht der Eindruck entstehen, dass es eine Art Film ist, welche Ihnen dargeboten wird. Zweitens muss die virtuelle Exposition in der Lage sein, emotionale Reaktionen, in diesem Fall die Angst, tatsächlich auszulösen. Nur so kann eine Auslöschung der in diesem Fall unerwünschten Emotion und Reaktion überhaupt ermöglicht werden. Drittens muss die in der VRET erlebte Angstreduktion auf reale Situationen übertragbar sein. Nur so kann gewährleistet werden, dass diese Angstreduktion auch der Realität bestand hat (5). Berücksichtigt man die zentrale Annahme der Inhibitory Learning Theory (45) (s. 2.1.6.1) ist es essenziell, dass die in der virtuellen Expositionstherapie (VRET) erworbene hemmende Verknüpfung zwischen neutralem und aversivem Reiz auf reale Situationen übertragen werden kann.

2.2 Herzfrequenzvariabilität (HRV)

Die Herzfrequenzvariabilität beschreibt die Variation des Zeitabstandes zwischen zwei aufeinanderfolgenden Herzschlägen (RR-Intervalle) (50). Sie wird als Zeitangabe in Millisekunden (ms) angegeben. Das Herz besitzt im Normalfall mit dem Sinusknoten einen autonomen Schrittmacher, welcher in Ruhe mit einer Frequenz von ca. 70 Schlägen pro Minute die elektrische und folglich auch die mechanische Herzaktion automatisch initiiert (51, S. 197). Dieser Automatismus unterliegt dennoch dem Einfluss sowohl inneren als auch äußeren Faktoren, welche die Herzfrequenz verändern können. Zu diesen Einflüssen zählen unter anderem genetische, psychische und körperliche Faktoren. Gemeinsam ist ihnen, dass der Einfluss auf die letztendliche Herzfrequenz über das autonome Nervensystem (ANS) übertragen wird (52), also über die Wechselwirkung von Sympathikus und Parasympathikus (50).

Der Einfluss einer gesteigerten parasympathischen Aktivität erfolgt über die Ausschüttung von Acetylcholin durch den Vagusnerv, was physiologisch zu einer Reduktion der Herzfrequenz führt. Umgekehrt bewirkt eine gesteigerte sympathische Aktivität die Freisetzung von Adrenalin und Noradrenalin, was zu einem Anstieg der Herzfrequenz zur Folge hat. Auch eine Reduktion des jeweils anderen Anteils kann zu entsprechenden Änderungen der Herzfrequenz führen (52, 53). Gleichzeitig bedingt eine erhöhte parasympathische Aktivität einen Anstieg der HRV, wohingegen eine erhöhte sympathische Aktivität mit einer verminderten HRV einhergeht (54). Eine reduzierte HRV gilt als einer der stärksten Prädiktoren für das Auftreten von schwerwiegenden Arrhythmien bei Patient:Innen mit Myokardinfarkten und konnte zudem in zahlreichen Studien bei Patient:Innen mit Angststörungen nachgewiesen werden (55).

2.2.1 Frequenzanalyse

Die HRV kann anhand einer Frequenz- und Zeitanalyse untersucht werden.

Zu den frequenzbasierten Parametern zählen die „total power“, „low frequency“ (LF; 0.04 - 0.15 Hz), „high frequency“ (HF; 0.15 - 0.4 Hz) sowie das Verhältnis von LF zu HF (LF/HF-Ratio). Die Parameter „total power“, LF und HF werden in Millisekunden zum Quadrat (ms^2) angegeben, während die LF/HF Ratio dimensionslos ist (50).

Die HF-Komponente spiegelt isoliert den Einfluss des Parasympathikus auf die HRV wider (50). Für die LF-Komponente und den Sympathikus gilt dies nicht in gleicher Weise (50). Im Frequenzband der LF findet man sowohl sympathische als auch parasympathische Aktivität, wobei die des Sympathikus überwiegt (56, 57). Zusätzlich wird angenommen, dass die LF die Funktionalität des Barorezeptor Reflexes widerspiegelt (56) und die HF die in 2.2.2 beschriebene Respiratorische Sinusarrhythmie. Darüber hinaus spiegelt die LF-Komponente die durch die Atmung bedingten und über Barorezeptoren vermittelten Schwankungen des arteriellen Blutdrucks (Hering-Traube-Mayer-Wellen) auf das Herzschlagfrequenzverhalten wider (56, 58).

Der Quotient aus LF/HF und somit stellvertretend das Verhältnis von Sympathikus zu Parasympathikus wird als Indikator der Balance des autonomen Nervensystems herangezogen. Ein hoher Wert des Quotient ist typischerweise mit einer hohen Sympathikusaktivität assoziiert, ein niedrigerer Quotient mit einer höheren parasympathischen Aktivität (56). Die angenommene Bedeutung der LF/HF-Ratio bezüglich ihrer Aussage zur sympathikovagalen Balance werden neuerdings jedoch in Frage gestellt, da insbesondere die LF-Komponente nicht eindeutig einem der beiden autonomen Systeme zugeordnet werden und somit eine genaue Einschätzung der Ratio von LF zu HF nicht ausreichend getätigt werden kann (59).

Eine Metaanalyse zur HRV-Messung bei akutem mentalem Stress zeigt über verschiedene Studien hinweg eine Erhöhung der LF, eine Reduktion der HF sowie eine damit einhergehende Erhöhung der LF/HF-Ratio (60). Diese Befunde verdeutlichen erneut eine Verschiebung des autonomen Gleichgewichts bei akutem Stress in Richtung einer sympathischen Aktivierung und einer Abnahme des Parasympathikus (60). Unter anderem konnten auch Visnovcova et al. (61) statistisch signifikante Erhöhungen im LF-Band sowie signifikante Verringerungen im HF-Band nachweisen. Die LF/HF-Ratio war rechnerisch zwar erhöht, erreichte jedoch keine statistische Signifikanz.

Die Frequenzbereiche der einzelnen Parameter sind der folgenden Abbildung 2 zu entnehmen:

Abbildung 2

Frequenzbereiche der HRV-Parameter

Frequency-domain analysis		
Total power	ms ²	Variance of all NN intervals < 0.4 Hz
ULF	ms ²	Ultra low frequency < 0.003 Hz
VLF	ms ²	Very low frequency < 0.003–0.04 Hz
LF	ms ²	Low frequency power 0.04–0.15 Hz
HF	ms ²	High frequency power 0.15–0.4 Hz
LF/HF	Ratio	Ratio of low–high frequency power

Anmerkung. Cygankiewicz I, Zareba W. Heart rate variability. Handb Clin Neurol. 2013;117:379-93 (50)

Wird die HRV in Zeiträumen unter einer Stunde gemessen (sog. Kurzzeitmessung), empfiehlt die S2k-Leitlinie „Nutzung der Herzschlagfrequenz und der Herzfrequenzvariabilität in der Arbeitsmedizin und der Arbeitswissenschaft“ für eine adäquate Erfassung der LF, HF und LF/HF-Ratio eine Mindestmessdauer von fünf Minuten (54). Als Begründung wird unter anderem angeführt, dass dieser Zeitraum lang genug ist, um einen ausreichend Artefakt freien Messabschnitt zu gewährleisten und den sogenannten „nichtstationären Bereich“ zu Beginn der Messung zu umgehen, eine Phase, in der sich die Herzfrequenz noch nicht an die gegebene Situation angepasst hat (54).

2.2.2 Taktatmung

Die Taktatmung, die in dieser Studie vor jeder Exposition von den Proband:Innen durchgeführt wurde (s. 3.4.4.1), dient der Messung der HRV ohne den Einfluss expositionbedingten Stresses und somit ohne eine vorangegangene übermäßige Aktivierung des autonomen Nervensystems. Auf diese Weise soll eine Referenz in einem nicht-exponierten Zustand geschaffen werden, um

die gemessenen Werte im Anschluss mit der HRV während der Exposition vergleichen zu können.

Wie bereits in Abschnitt 2.2 beschrieben, unterliegt die HRV der Regulation durch das autonome Nervensystem (52). Auch die Atmung hat einen direkten Einfluss auf die Herzfrequenzvariabilität (62). Dieser Mechanismus, bei dem die Atmung die Herzfrequenz beeinflusst, wird als „Respiratorische Sinus Arrhythmie“ (RSA) bezeichnet. Die RSA beschreibt die Schwankung der Herzfrequenz, die beim Einatmen ansteigt und beim Ausatmen wieder abnimmt (62, 63). Diese Fluktuation der Herzfrequenz beim Atmen ist auf die Hemmung des Parasympathikus und einer Stimulation des Sympathikus mit einem Anstieg der Herzfrequenz bei der Inspiration und umgekehrt auf eine Wiederherstellung des parasympathischen Einflusses auf das Herz mit vermehrter Hemmung der sympathischen Fasern und einem konsekutiven Abfall der Herzfrequenz bei der Expiration, verbunden (64). Die RSA tritt im „high-frequency“ (HF) Bereich (0.15 – 0.4 Hz) der HRV Messung auf und gilt, wie in 2.2.1 beschrieben, als ein Indikator für den parasympathischen Einfluss auf das Herz (62, 65). Mehrere Studien konnten einen positiven Effekt der Taktatmung im Rahmen von HRV-Biofeedback auf das Vorliegen von psychischem Stress und Ängsten zeigen (64, 66-69).

2.3 Herzfrequenzvariabilität als Marker der Expositionstherapie

Menschen mit Angststörungen weisen im Vergleich zur gesunden Normalbevölkerung eine niedrigere Herzfrequenzvariabilität auf (55, 70). Eine hohe parasympathische Aktivität gilt als protektiver Faktor für die Anpassungsfähigkeit an verändernde Umweltbedingungen eines Menschen (71). Diese Fähigkeit zur Anpassung fehlt bei Betroffenen mit Angststörungen und geht mit einer verminderten HRV einher (70).

Alpers und Sell (11) konnten in in-vivo-Expositionen nachweisen, dass die HRV als Prädiktor u. a. für den Verlauf von Expositionen auf die Angstreaktion dient. Auch für den Erwerb sowie die Löschung von erlernten Ängsten konnte die Herzfrequenzvariabilität als signifikanter Marker nachgewiesen werden (72). Battaglia et al. (73) zeigten zudem in der Spektralanalyse der HRV eine erhöhte parasympathische (vagale) Aktivität bei der Unterscheidung zwischen konditionierten und neutralen Reizen. So ist sowohl die Ausgangs-HRV als auch die HRV während einer Exposition bei Menschen mit Angststörungen niedriger, was auf eine verminderte Hemmung eines konditionierten Reizes hinweisen kann (73).

In einem Review von Eichenberg und Wolters (48) und Krijn et al. (5) verweisen mehrere Studien auf eine Wirksamkeit von VR-Expositionstherapien zur Behandlung von Menschen mit Höhenangst. Diese Ergebnisse, in Zusammenhang mit den beschriebenen Zusammenhängen

der HRV, Ängsten und Expositionstherapien bilden die Grundlage für die im Abschnitt 2.4 formulierten Hypothesen.

2.4 Hypothesen

2.4.1 Hypothesen zu physiologischen Messwerten

2.4.1.1 Hypothese 1

Die Studie von Castaldo et al. (60) zeigt, dass Stress zu einer signifikanten Reduktion der high frequency (HF) der Herzfrequenzvariabilität (HRV) führt, während die VRET-Studien (8, 10) eine Reduktion der Stresssymptome und z.T. eine Verbesserung der HRV während der virtuellen Exposition aufzeigen.

Daher lässt sich als erste Hypothese postulieren: die Reduktion der HF während der VRET ist mindestens gleichwertig oder sogar stärker ausgeprägt ist als die Reduktion der HF während der in-vivo-Exposition.

2.4.1.2 Hypothese 2

Die Studie von Castaldo et al. (60) zeigt, dass Stress zu einer signifikanten Erhöhung der low frequency (LF) der Herzfrequenzvariabilität (HRV) führt während die VRET-Studien (8, 10) eine Reduktion der Stresssymptome und z.T. eine Verbesserung der HRV während der virtuellen Exposition aufzeigen.

Daher lässt sich postulieren, dass die Erhöhung der low frequency (LF) der Herzfrequenzvariabilität während der virtuellen Expositionstherapie (VRET) mindestens gleichwertig oder stärker ausgeprägt ist als die Erhöhung der LF während der in-vivo-Exposition.

2.4.1.3 Hypothese 3

Die Studie von Castaldo et al. (60) zeigt, dass Stress zu einer signifikanten Erhöhung der LF/HF-Ratio der Herzfrequenzvariabilität (HRV) führt während die VRET-Studien (8, 10) eine Reduktion der Stresssymptome und z.T. eine Verbesserung der HRV während der virtuellen Exposition aufzeigen.

Daher lässt sich postulieren, dass die Erhöhung der LF/HF-Ratio der Herzfrequenzvariabilität während der virtuellen Expositionstherapie (VRET) ist mindestens gleichwertig oder stärker ausgeprägt als die Erhöhung der LF/HF-Ratio während der in-vivo-Exposition.

2.4.2 Hypothesen zu Fragebögen

2.4.2.1 Hypothese 1

Verschiedene Studien (6, 7, 10) zeigen eine signifikante Reduktion der subjektiven, mittels Fragebögen erfassten Angst während der virtuellen Expositionstherapie (VRET).

Daher lässt sich postulieren, dass die Proband:Innen für die erwartete maximale Angst während der Exposition im Expositionsfragebogen vor Beginn der virtuellen Expositionstherapie eine mindestens gleichwertige Angst angeben wie vor Beginn der in-vivo Exposition.

2.4.2.2 Hypothese 2

Verschiedene Studien (6, 7, 10) zeigen eine signifikante Reduktion der subjektiven, mittels Fragebögen erfassten Angst während der virtuellen Expositionstherapie (VRET).

Daher lässt sich postulieren, dass die Proband:Innen im Expositionsfragebogen vor der virtuellen Expositionstherapie eine mindestens gleichwertige Angst angeben, wenn sie an die zu bewältigende Übung denken wie in der in-vivo-Exposition.

2.4.2.3 Hypothese 3

Mehrere Studien (6, 7, 10) belegen eine signifikante Reduktion subjektiv empfundener Angst, wie sie mittels Fragebögen während der virtuellen Expositionstherapie (VRET) erfasst wurde. In Verbindung mit der Tatsache, dass die Grenzen der Simulation in der VRET praktisch unbegrenzt sind (34) und die angstausslösenden Situationen in einer Intensität dargestellt werden können, die in vivo nicht realisierbar wäre, lässt sich postulieren, dass die Proband:Innen im Expositionsfragebogen nach der virtuellen Expositionstherapie (VRET) eine höhere maximale Angst während der Übung angeben als nach der in-vivo-Exposition.

2.4.2.4 Hypothese 4

Wie verschiedene Studien belegen (6, 7, 10) verringert sich die subjektiv empfundene, durch Fragebögen gemessene Angst während der virtuellen Expositionstherapie (VRET) signifikant. In Verbindung mit der Tatsache, dass die Grenzen der Simulation in der VRET praktisch unbegrenzt sind (34) und die angstausslösenden Situationen in einer Intensität dargestellt werden können, die in vivo nicht realisierbar wäre, lässt sich postulieren, dass die Proband:Innen im Expositionsfragebogen nach der virtuellen Expositionstherapie (VRET) höhere Angstwerte angeben, nachdem die Exposition beendet war, als nach der in-vivo-Exposition.

3 Methodik

3.1 Studiendesign

Die Studie entspricht einem quasi-experimentellen, randomisierten Versuchsdesign ohne Kontrollgruppe. Jede:r Proband:In erhält während der Studie die gleiche Intervention, wobei lediglich die Reihenfolge der Interventionen (Exposition in VR oder in vivo) randomisiert zugeteilt wird. Eine Verblindung der Versuchsleiter:Innen ist nicht möglich, da sie über die jeweilige Intervention informiert sein müssen, um die entsprechenden Expositionen mit den Proband:Innen durchzuführen. Die Datenerhebung erfolgte über einen Zeitraum von eineinhalb Jahren, von März 2021 bis Juni 2022. Die untersuchte Gruppe besteht aus 33 Proband:Innen und musste die im Kapitel 3.2.1 aufgeführten Ein- und Ausschlusskriterien erfüllen.

Die Patient:Innen haben bereits bei Einschluss in die Studie eine individuelle Identifikationsnummer (IdNr) zugewiesen bekommen. Alle während der Studie erhobenen Daten unterliegen strengen Datenschutzbestimmungen und wurden unmittelbar nach der Erhebung verschlüsselt sowie anonymisiert, indem sie einem Probanden-Code zugeordnet wurden. Eine Weitergabe der Daten an Dritte ist ausgeschlossen.

Die Studie wurde von der Ethik-Kommission der Landesärztekammer Rheinland-Pfalz genehmigt. Ein schriftliches Votum hierzu liegt vor (EK 2020-15411).

3.2 Rekrutierung der Proband:Innen

Die Rekrutierung der Proband:Innen erfolgte durch die Vorstellung des Projektes in Form von Aushängen, Vorlesungen und über persönliche Netzwerke zwischen Februar 2021 und Juni 2022. Interessierte Teilnehmer:Innen konnten die Studienleitung per E-Mail kontaktieren. Im Anschluss daran wurde ein telefonisches Screening durchgeführt, bei dem mithilfe eines Fragebogens Informationen zu physischen und psychischen Erkrankungen der Proband:Innen abgefragt und schriftlich protokolliert wurden. Der Screeningfragebogen orientiert sich am SKID-I-Fragebogen auf Basis des DMS-IV und wurde im Vorfeld der Studie eigenständig um Fragen nach somatischen Erkrankungen ergänzt.

Zudem wurden die Proband:Innen bezüglich ihrer bisherigen Erfahrungen mit VR-basierten Szenarien im Zusammenhang mit Höhen befragt, um sicherzustellen, dass sie das für die Studie verwendete Programm nicht bereits kennen. Zudem wurden während des telefonischen Screenings persönlichen Daten zur erneuten Kontaktaufnahme erfasst. Entsprechend eine Proband:In den unten genannten Ein- und Ausschlusskriterien für die Studienteilnahme, so

wurde ein Termin für die Teilnahme im Institut für Medizinische Psychologie und Medizinische Soziologie vereinbart.

3.2.1 Ein- und Ausschlusskriterien

Zu den Einschlusskriterien zählten weibliche und männliche Proband:Innen im Alter zwischen 18 und 65 Jahren mit subjektiv empfundener Höhenangst, die jedoch nicht die diagnostischen Kriterien einer spezifischen Phobie erfüllten. Weitere Voraussetzungen für die Teilnahme waren ausreichende Deutschkenntnisse zur sicheren Verständigung sowie die schriftliche Einwilligung in die Teilnahmebedingungen der Studie.

Als Ausschlusskriterien galten psychische Erkrankungen wie Substanzmissbrauch (Alkohol oder Drogen), Schizophrenie, bipolare Störung, Demenz, Essstörungen, posttraumatische Belastungsstörung sowie schwere depressive Episoden. Darüber hinaus führten schwere somatische Erkrankungen (z. B. Krebs, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Epilepsie) sowie die Einnahme von Psychopharmaka oder herzkreislaufwirksamen Medikamenten (z. B. Betablocker) zum Ausschluss. Auch laufende psychotherapeutische Behandlungen oder eine bereits abgeschlossene Therapie im Zusammenhang mit Höhenangst schlossen eine Studienteilnahme aus.

3.2.2 Proband:Innenaufklärung

Die Proband:Innen wurden vor Beginn der Studie ausführlich über Zielsetzung, Bedeutung sowie den Ablauf der Teilnahme an den Expositionssitzungen in ausreichendem Umfang mündlich und schriftlich aufgeklärt. Jede:r Proband:In wurde die Probandeninformation zur Teilnahme an der Studie: „Höhen-Exposition mittels virtueller Realität“ ausgehändigt, welche umfassend über die Verwendung der erhobenen Daten, deren Anonymisierung, den Versicherungsschutz sowie über die Tragweite der Studie informierte. Zudem wurden die Teilnehmenden ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Teilnahme an der Studie jederzeit ohne Angabe von Gründen und ohne negative Konsequenzen beendet werden konnte. Im Anschluss wurden die Proband:Innen gebeten, die Einwilligungserklärung zur Teilnahme an der Studie „Höhen-Exposition mittels virtueller Realität“ sorgfältig zu lesen und zu unterzeichnen. Etwaige Rückfragen konnten jederzeit per E-Mail, telefonisch oder persönlich gestellt werden. Die Teilnahme an der Studie erfolgte ausschließlich nach schriftlicher Einwilligung.

3.3 Messinstrumente/Fragebogenset

3.3.1 Fragebogen zu soziodemographischen Daten

Zur Erhebung der soziodemographischen Daten wurde ein internetbasierter, eigens erstellter Fragebogen eingesetzt. Dieser umfasst Fragen zum Alter, Geschlecht, Nationalität, Familienstand, Schulabschluss, Berufsabschluss, aktuell ausgeübter Beruf sowie zum Vorliegen einer Berufsunfähigkeit. Einzelne demographische Informationen (s.o.) wurden erst nach Abschluss der Studienteilnahme erhoben. Die Proband:Innen wurden gebeten, alle Angaben bezogen auf den Zeitpunkt ihrer Teilnahme zu machen. Von insgesamt 33 Teilnehmenden beantworteten 24 den Fragebogen vollständig.

3.3.2 Acrophobia Questionnaire (74)

Der Acrophobia Questionnaire (ACQ) nach Cohen aus dem Jahr 1977 (74), in der deutschen Übersetzung des Autors Stefan Knössel (75), erfasst die Ausprägung von Höhenangst anhand von zwei Skalen: Im ersten Teil beurteilen die Proband:Innen 20 verschiedene höhenbezogene Situationen auf einer vierstufigen Skala hinsichtlich des von ihnen erlebten Angstniveaus. Es ist jeweils eine Einzelantwort aus folgenden Optionen zu wählen: „überhaupt nicht ängstlich“ = 0, „leicht ängstlich“ = 1, „mäßig ängstlich“ = 2, „sehr ängstlich“ = 3. Der zweite Teil des Fragebogens erfasst die Häufigkeit spezifischer Gedanken oder Vorstellungen, die den Proband:Innen in angstausslösenden Situationen durch den Kopf gehen könnten. Der Fragebogen besteht aus 14 Items entlang einer 5-Punkte-Skala: „nie“ = 1, „selten“ = 2, „Hälfte der Zeit“ = 3, „gewöhnlich“ = 4, „immer“ = 5.

Dieses Testinstrument weist eine gute interne Konsistenz hinsichtlich der Reliabilität auf. Die Spearman-Brown-Reliabilität beträgt für die Angst-Skala $r = .82$ und für die Vermeidungs-Skala $r = .70$. Die Retest-Reliabilität zeigt ebenfalls eine hohe Stabilität mit $r = .86$ für die Angstskala und $r = .82$ für die Vermeidungsskala (76).

3.3.3 Igroup Presence Questionnaire (77)

Der Igroup Presence Questionnaire (IPQ) wurde von Schubert et al. (77) entwickelt und dient der Erfassung des subjektiven Präsenzepfindens in virtuellen Umgebungen. Er besteht aus drei Subskalen: „Räumliche Präsenz“ (SP), „Beteiligung“ (IN), „Erfahrener Realismus“ (REAL), und umfasst insgesamt 14 Items. Das Antwortformat umfasst eine fünfstufige Skala von „tritt nicht zu“ = 1, „trifft eher nicht zu“ = 2, „teils teils“ = 3, „trifft eher zu“ = 4 bis „trifft

zu“ = 5. Es sind jeweils nur Einzelantworten möglich. Der individuelle Testwert ergibt sich durch das Mitteln der Werte einer zugehörigen Subskala und dem anschließenden Mittel aus den drei Subskalen (77).

3.3.4 Simulator Sickness Questionnaire (78)

Der Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) wurde von Kennedy et al. (78) entwickelt und dient der Erfassung und Quantifizierung von Symptomen im Zusammenhang mit sog. „Cyber-Sickness“. Der Fragebogen umfasst 16 Items, die auf einer vierstufigen Skala beantwortet werden: „gar nicht“ = 0, „leicht“ = 1, „mittel“ = 2, „schwer“ = 3. Es sind jeweils nur Einzelantworten möglich. Die Items sind jeweils einem oder mehreren Subskalen zugeordnet. Die Subskalen sind dabei unterteilt in „Oculomotor“ (O), „Disorientation“ (D), „Nausea“ (N). Für die Berechnung des Gesamtscores (Total Score) werden die den Subskalen zugeordneten, von den Proband:Innen angegebenen Zahlenwerte summiert und anschließend mit einem festen Multiplikator von 3,74 multipliziert.

3.3.5 Protokoll zur Expositionstherapie (43)

Zur Erfassung der subjektiv empfundenen Angst vor der jeweiligen Exposition wurden die Protokolle zur Expositionstherapie von Lang et al. (43) verwendet. Der Fragebogen gliedert sich in zwei Teile: Der erste Teil wird vor der Exposition ausgefüllt und erfasst die subjektiv erwartete Angst, die individuelle Motivation, Befürchtungen über körperlicher Symptome, Verhaltensweisen und Gedanken, die während der bevorstehenden Exposition auftreten könnten. Der zweite Teil ist nach der Exposition auszufüllen und dient der Erhebung des tatsächlichen Angstverlaufs und lässt Angaben über die Bewältigung der Exposition zu. In beiden Teilen wird die Angst auf einer numerischen Skala von 0 = „keine Angst“ bis 10 = „maximal mögliche Angst“ angegeben. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, den individuellen Angstverlauf grafisch auf einer zweidimensionalen Skala darzustellen.

3.4 Beschreibung des experimentalen Studienteils

3.4.1 Rahmenbedingungen der Studie

Für die Studienplanung war im Vorfeld sowohl die Auswahl eines geeigneten Raumes für die VR-Exposition als auch eines geeigneten Ortes mit ausreichender Höhe für die in-vivo-Exposition erforderlich. Der Raum für die VR-Exposition musste ausreichend gegen äußere

Einflüsse wie Tageslicht, Lärm und unbefugtes Betreten abgeschirmt sein und zusätzlich eine ausreichend große Fläche bieten, damit sich die Proband:Innen frei in der virtuellen Realität bewegen konnten. Hierfür eignete sich das Schlaflabor des Instituts für Medizinische Psychologie und Medizinische Soziologie. Die Auswahl des Ortes mit ausreichender Höhe für die in-vivo-Exposition erfolgte unter besonderer Berücksichtigung der notwendigen Sicherheitsstandards. So sollte z.B. ein ausreichend hohes Gelände und ggf. ein Absatz hinter dem Gelände vorhanden sein. Zudem sollte sich der Ort in räumlicher Nähe zum Institut befinden, um den Proband:Innen eine praktikable Teilnahme zu ermöglichen. Hierfür eignete sich nach Rücksprache mit der Hausverwaltung der Johannes Gutenberg-Universität Mainz das Dach des Gebäude 2413, Staudingerweg 9, Mainz, das eine Höhe von 25 Metern aufweist.

Die Randomisierung der Proband:Innen erfolgte im Vorfeld für die vollständige geplante Stichprobengröße mithilfe von Microsoft Excel. Dabei wurde die Stichprobengröße mit $n = 40$ festgelegt, bei möglichen Dropouts eine erneute Randomisierung und damit potenzielle Verzerrungen zu vermeiden. Jede:r Proband:In wurde vom Programm zufällig eine Zahl zugewiesen, welche demnach für den Beginn der Exposition in vivo oder in VR codiert.

Die Dauer eines jeden Expositionsabschnitts wurde auf eine Mindestzeit von drei Minuten festgelegt. Es wurde im Vorfeld keine obere Grenze für die Dauer der Exposition festgelegt. Stattdessen orientierte sich die Dauer an der subjektiv angegebenen Gewöhnung an das Szenario. Diese Angabe erfolgte anhand des o.g. Ablaufprotokolls entlang einer numerischen Skala von 0 = „keine Angst“ bis 10 = „maximale Angst“ gemessen.

Die Proband:Innen wurden gebeten, ausreichend Zeit für die Teilnahme an der Studie einzuplanen. Vom Konsum von Alkohol oder anderweitigen Substanzen sollte am Tag vor und während der Studie abgesehen werden.

3.4.2 Technische Geräte und Software

Für die Durchführung der VR-basierten Expositionen wurde die VR-Brille „Oculus Quest“ der Marke „Meta Quest“ eingesetzt. Die genannte VR-Brille ist akkubetrieben und kann kabellos genutzt werden, wodurch keine Verknüpfung zu einem externen Computer oder einer Konsole notwendig ist. Die Brille verfügt über einen integrierten Raumbegrenzungsmodus („Guardian“), welcher bei drohender Kollisionsgefahr mit dem vordefinierten Spielbereich eine visuelle Warnung ausgibt. Zur Steuerung innerhalb des verwendeten Programms ist kein Controller notwendig; die Navigation erfolgt über das in der VR-Brille integrierte Kamerasystem durch die Hände der Proband:In („Hand Tracking“). Zudem besitzt die Brille integrierte Lautsprecher zur auditiven Wiedergabe von Programminhalten.

Für die Simulation einer VR-Basierten Umgebung und der Expositionssituation kam das Programm „Richies Plank Experience“ zum Einsatz. Das mit der o.g. VR-Brille kompatible und frei erhältliche Programm simuliert eine virtuelle Welt, in der sich die Proband:Innen innerhalb des vordefinierten Spielbereichs frei bewegen können. Es beinhaltet unter anderem einen virtuellen Wolkenkratzer mit einem Fahrstuhl, der über Handtracking bedient wird, um so auf das Dach des Wolkenkratzers zu gelangen. Dort stehen die Proband:Innen mit dem Öffnen der Fahrstuhltür unmittelbar vor einer virtuellen Holzplanke an der Gebäudekante. Zur Verbesserung der Immersion wurde eine reale Holzplanke mit den korrekten Maßen in das Programm eingepflegt, sodass die virtuelle Planke exakt auf eine physisch im Raum platzierte Planke projiziert wird.

Zur Erfassung der Herzfrequenz wurde die Uhr „Polar V800“ und der zugehörige Brustgurt mit Herzfrequenzsensor der Marke „Polar“ verwendet. Das Anlegen des Brustgurt erfolgte unter Anleitung der Studienleitung selbstständig durch die Proband:Innen. Dabei war zu beachten, dass der Brustgurt subxiphoidal, mit direkt Hautkontakt eng aufliegt.

Die Auswertung der über den Herzfrequenzsensor ermittelten Herzfrequenzdaten erfolgte mit der Software Kubios HRV Standard (ver. 3.5.0) der Firma Kubios Ltd.

3.4.3 Studienablauf

Vor jedem Termin wurde der Raum für die Exposition in VR vorbereitet. Hierfür wurde die VR-Brille auf ihre Funktionalität geprüft und auf den Raum kalibriert („Guardian“, s.o.) und anschließend mit den entsprechenden Einstellungen eingeschaltet belassen. Etwaige technische Probleme, die im Rahmen der Vorbereitung auftraten, konnten somit vor Beginn der Exposition behoben werden. Eine reale Holzplanke wurde außerhalb des Sichtbereichs der Proband:Innen platziert, sodass diese nichts über die Durchführung der Exposition erahnen konnten. Auch die Messuhr und der dazugehörige Brustgurt wurden vorab auf Funktionalität geprüft; der Brustgurt wurde für eine bessere Ableitung mit Elektrodenflüssigkeit präpariert. Eine Kopie des Ablaufprotokolls zur Aufzeichnung der Zeiten und der Slots wurde bereitgestellt.

Alle Proband:Innen (n = 33) wurden an einem individuell vereinbarten Termin in das Institut für Medizinische Psychologie und Medizinische Soziologie gebeten. Für jede:r Proband:In war eine Sitzung vorgesehen, die eine initiale Psychoedukation zum Thema sowie den Ablauf der Studie und die beiden Expositionen umfasste. Zu Beginn des Termins wurde die unterschriebene Einwilligungserklärung hinsichtlich offen gebliebener Fragen besprochen und der Proband:In eine Kopie dieser ausgehändigt. Anschließend erfolgte eine Einführung mittels einer eigens erstellten PowerPoint-Präsentation, in der Zielsetzung, Ablauf und Durchführung

der Studie erläutert wurden. Zur Erfassung der Wirkung der Expositionen auf die Teilnehmenden wurden vor und nach jeder Exposition zwei Fragebögen eingesetzt: Der o.g. ACQ und das Protokoll für Expositionstherapie nach Lang et al. (43). Die Befragung erfolgte unter Anwesenheit der Studienleitung, um Rückfragen unmittelbar beantworten zu können. Des Weiteren wurden die Proband:Innen vor den Expositionen darüber informiert, dass die Studienleitung zu bestimmten Zeitpunkten während der Expositionen Fotoaufnahmen der Messuhr machen muss und diese vorab angekündigt werden, da die Uhr den Beginn der einzelnen Slots nicht automatisch speichert. Darüber hinaus wurde den Proband:Innen erklärt, sich während der Exposition keiner Gegenstände, Handlungen oder Gedanken zu bedienen, um die Angst während der Exposition zu beeinflussen.

3.4.4 Exposition

3.4.4.1 Taktatmung

Unmittelbar vor Beginn jeder Exposition wurde mit den Proband:Innen eine Taktatmung durchgeführt, welche zugleich den ersten Slot der jeweiligen Exposition darstellt. Hierfür sollen die Proband:Innen im Sinne einer Atemübung über einen Messzeitraum von drei Minuten durchgehend für jeweils fünf Sekunden ein- und ausatmen. Daraus ergibt sich eine Atemfrequenz von sechs Atemzügen pro Minute (0.1 Hz). Atempausen durch ein zu schnelles Ein- oder Ausatmen sollten vermieden werden. Die Dauer der Ein- und Ausatmung und der gesamten Taktatmung erfolgte über eine Zeitanzeige auf der Uhr. Um eine stabile Ableitung des Brustgurtes zu gewährleisten, wurde die Taktatmung erst 45 Sekunden nach Beginn des Messzeitraums gestartet.

3.4.4.2 Exposition in VR

Bei Beginn der Exposition in VR wurden die Patient:Innen mit ins Schlaflabor gebeten. Der Raum wurde mit dem Vermerk auf eine Testung verschlossen, um potenzielle Störungen durch Dritte auszuschließen. Den Proband:Innen wurde die VR-Brille aufgesetzt und diese auf die individuelle Kopfform angepasst. Anschließend wurde an der Messuhr zum Beginn der Aufzeichnung der Herzratenvariabilität das Aufnahmeprogramm gestartet. Der Start der Messung beschreibt gleichzeitig den Beginn des ersten Slots der Exposition.

Während der gesamten Exposition war die Studienleitung anwesend, um einerseits den Ablauf zu erklären und andererseits im Falle von etwaigen Vermeidungsreaktionen unterstützend eingreifen zu können. Im ersten Slot sollten die Proband:Innen sich in der virtuellen Stadt orientieren und ggf. auf Unverträglichkeiten mit der VR Brille aufmerksam machen. Nach

Ablauf der festgelegten Mindestzeit von drei Minuten und der Orientierung begann der zweite Slot: die Proband:Innen wurden in den virtuellen Aufzug gebeten, um auf das Dach des Wolkenkratzers zu gelangen. Während der Aufzugsfahrt legte die Studienleitung die reale Holzplanke auf die am Boden markierten Positionen. Mit dem Öffnen der Fahrstuhlür begann der dritte Slot, der die eigentliche Exposition darstellt. Die Proband:Innen befanden sich nun an der Hochhauskante vor der virtuellen Holzplanke und wurden durch die Studienleitung aufgefordert diese, wenn möglich bis zum Ende der Planke, zu betreten und dort zu verweilen. Für die Studienleitung war der Fortschritt des Betretens der Planke insofern erkennbar, da die reale Planke mit der virtuellen Planke übereinstimmte. Notwendiger Zuspruch, um das Betreten der Planke zu fördern, wurde im Einzelfall geleistet. Nach Erreichen des Plankenendes wurden die Proband:Innen aufgefordert so lange zu verweilen, bis eine subjektive Gewöhnung an die Situation eingetreten war. Diese Angstreduktion wurde anhand einer verbalen numerischen Skala zur subjektiven Angst angegeben. Anschließend folgte der Rückweg über die Planke zum Fahrstuhl, was den Beginn des vierten Slots markiert. Für den Fall, dass eine Proband:In in der realen Welt das Gleichgewicht verlieren und somit auch im Programm vom Hochhaus stürzen sollte, wurde der Slot mit erneutem Betreten des Dachs fortgesetzt. Abschließend führen die Proband:Innen mit dem Aufzug zurück in die aus dem ersten Slot generierte Stadt und sollten sich dort ebenfalls mindestens für drei Minuten, bei Bedarf auch länger, aufhalten. Das Ende des vierten Slots markiert gleichzeitig das Ende der VR-Exposition.

3.4.4.3 Exposition in vivo

Die Exposition in vivo fand im Nachbargebäude des Institutes für Medizinische Soziologie und Medizinische Psychologie statt. Die Proband:Innen wurden hierfür vor Beginn der Exposition erneut mit dem Brustgurt samt Herzfrequenzsensor und der Uhr zum Aufzeichnen der Herzfrequenz ausgestattet. Unmittelbar vor dem Betreten des Daches wurde die Taktatmung wie in 3.4.4.1 beschrieben durchgeführt. Diese stellt den ersten Slot der Exposition in vivo dar. Um eine mögliche Verzerrung der Herzfrequenzdaten durch den physischen Aufstieg über die Treppen des Gebäudes zu minimieren, wurden die Proband:Innen gebeten, die Etagen langsam zu begehen. Zudem wurde nach dem Aufstieg und vor Beginn der Taktatmung eine Ruhepause von zwei Minuten eingehalten. Nach Abschluss der Taktatmung wurden die Proband:Innen auf das bislang für sie nicht einsehbare Dach gebeten. Dort sollten sich die Proband:Innen an markierter Position an das Geländer begeben, womit der zweite Slot begann. Die Anweisung lautete, das Geländer weder mit dem Rumpf noch mit den Händen zu berühren und den Blick nach unten zu richten. In dieser Position sollten die Proband:Innen so lange verweilen, bis eine

subjektive Gewöhnung an die Situation entlang einer verbalen numerischen Skala, mindestens jedoch drei Minuten, eingetreten war. Nach Abschluss des zweiten Slots sollten die Proband:Innen vom Geländer wegtreten und den auf dem Boden des Dachs ausgelegten Markierungen bis zur Kante des Daches folgen. Dort begann der dritte Slot. Auch hier sollten die Proband:Innen mindestens drei Minuten verweilen oder bis eine subjektive Angstreduktion angegeben wurde. Dabei galt, dass der Blick in die Ferne und nicht auf den Boden des Daches gerichtet sein sollte. Der vierte Slot beinhaltet den Rückweg zu demselben Geländer aus Slot zwei sowie und dem Verweilen an derselben Stelle unter denselben Bedingungen wie zuvor beschrieben. Das Ende des vierten Slots markiert gleichzeitig das Ende der in-vivo-Exposition.

3.4.5 Untersuchungsgruppe

Beschrieben wird im Folgenden die gesamte Untersuchungsgruppe, die im Zeitraum vom 01.03.2021 bis zum 30.06.2022 an den Expositionsversuchen teilgenommen haben.

Die Stichprobengröße der Untersuchung beträgt $n = 33$. Davon waren 22 weibliche (66.6 %) und 11 männliche (33.3 %) Proband:Innen mit einem mittleren Alter von 26.61 ± 4.18 Jahren. Das Altersspektrum der Proband:Innen lag zwischen 19 und 35 Jahren.

21 Proband:Innen (63.6 %) gaben die deutsche Staatsangehörigkeit an, 3 eine andere als die Deutsche (9.1 %), 9 Teilnehmende (27.3 %) machten keine Angaben zu Ihrer Nationalität.

13 Proband:Innen (39.4 %) waren zum Umfragezeitpunkt in einer festen, nicht-ehelichen Partnerschaft, 5 (15.2 %) längerfristig partnerlos und je 3 Proband:Innen (9.1 %) kurzfristig partnerlos oder mit wechselnden Partner:Innen.

Der höchste Schulabschluss war bei 72.7 % der Proband:Innen ($n = 24$) das Abitur oder Fachabitur. Bei 27.3 % ($n = 9$) Proband:Innen fehlten hierzu die Angabe. Der größte Teil der Proband:Innen (27.3 %) verfügte über ein abgeschlossenes Hochschulstudium ($n = 9$), 21.2 % ($n = 7$) hatten eine abgeschlossene Lehre und je 12.2 % ($n = 4$) befanden sich nach wie vor in der Ausbildung oder hatten gar keinen Berufsabschluss.

3.4.6 Statistische Analysen

Die Berechnung der Stichprobengröße erfolgte mithilfe von Stata 17.0. Grundlage war die Annahme einer mittleren Effektgröße, eines Signifikanzniveaus von $\alpha = .05$ und eine Power von 80 %. Es wurden zwei Bedingungen (Exposition in VR vs. in vivo) sowie vier Messzeitpunkte definiert. Für die Berechnung wurden Matrizen erstellt, welche die erwarteten Effekte zu den einzelnen Zeitpunkten in beiden Bedingungen abbilden. Basierend auf der Art der Szenarien wurden zeitliche Effekte für fehlende Unterschiede zwischen den Bedingungen

angenommen (79, 80). Auf Grundlage dieser Berechnungen ergab sich eine erforderliche Stichprobengröße von $n = 32$.

Zur statistischen Auswertung und dem Vergleich beider Expositionen wurde eine ANOVA mit Messwiederholung durchgeführt. Die Analysen erfolgten mit dem Statistikprogramm IBM SPSS Statistics Version 29.0.

Hierfür wurde zwischen zwei Bedingungen unterschieden: Bedingung 1 (Exposition in VR) und Bedingung 2 (Exposition in vivo). Die in 3.4.4.2 beschriebenen Slots entsprechen den Messzeitpunkten 1 bis 4. Die ANOVA mit Messwiederholung wurde für jede der in dieser Arbeit betrachteten Variablen der Frequenzanalyse (HF, LF und LF/HF) sowie für die in 3.3.5 beschriebenen Fragen der Expositionsprotokolle durchgeführt.

Zudem wurde die ANOVA mit Messwiederholung bezüglich jeder Variable in zwei Ausführungen durchgeführt: zum einen wurden beim Gegenüberstellen beider Bedingungen die gesamten Slots (Messzeitpunkte 1 bis 4) verglichen. Zum anderen wurden beim Gegenüberstellen beider Bedingungen die jeweils höchsten Ausschläge (Peaks) der jeweiligen Messzeitpunkte 1 bis 4 miteinander verglichen. Lediglich bei der Auswertung der Expositionsfragebögen beziehen sich die Messzeitpunkte 1 und 2 auf die Zeitpunkte der Datenerhebung vor und während bzw. nach der Exposition und nicht auf die spezifischen Messzeitpunkte innerhalb der einzelnen Slots.

Zudem wurde untersucht, ob Interaktionen zwischen den Bedingungen und den Messzeitpunkten vorlagen.

Die Sphärizitätsannahme wurde mittels Mauchly-Test auf Sphärizität überprüft. Bei Verletzung dieser Annahme wurde die Greenhouse-Geisser-Korrektur angewandt. Die Interpretation der Effektstärken (η_p^2) basiert auf Cohens statistischen Poweranalyse für die Verhaltenswissenschaften (81), wonach die Einteilung in .01 (kleiner Effekt), .06 (mittlerer Effekt) und .14 (großer Effekt) erfolgt.

4 Ergebnisse

4.1 Deskriptive Statistiken

Für die einzelnen HRV-Parameter wurden die Mittelwerte (\bar{x}) und Standardabweichungen (SD) sowohl für die gesamten Slots als auch für die jeweils höchsten Ausschläge (Peaks) innerhalb der Slots berechnet und in Tabelle 1 bis 8 dargestellt.

Tabelle 1

Mittelwerte und Standardabweichungen für HF (gesamter Slot)

Bedingungen	Messzeitpunkte	\bar{x}	SD
VR	Slot 1	5.631	1.319
	Slot 2	5.663	1.013
	Slot 3	5.697	1.083
	Slot 4	5.853	1.001
In vivo	Slot 1	5.802	1.186
	Slot 2	5.939	1.145
	Slot 3	6.028	1.128
	Slot 4	5.851	1.176

Anmerkung. \bar{x} = Mittelwert, SD = Standardabweichung**Tabelle 2**

Mittelwerte und Standardabweichungen für HF (Peak)

Bedingungen	Messzeitpunkte	\bar{x}	SD
VR	Slot 1	5.631	1.319
	Slot 2	5.435	1.381
	Slot 3	4.760	1.914
	Slot 4	5.800	1.486
In vivo	Slot 1	5.802	1.186
	Slot 2	5.391	1.761
	Slot 3	5.125	1.748
	Slot 4	4.909	1.673

Anmerkung. \bar{x} = Mittelwert, SD = Standardabweichung**Tabelle 3**

Mittelwerte und Standardabweichungen für LF (gesamter Slot)

Bedingungen	Messzeitpunkte	\bar{x}	SD
VR	Slot 1	7.986	1.176
	Slot 2	7.131	.975
	Slot 3	7.121	.868
	Slot 4	7.528	.782
In vivo	Slot 1	8.107	1.102
	Slot 2	7.370	.882
	Slot 3	7.337	.932
	Slot 4	7.346	.910

Anmerkung. \bar{x} = Mittelwert, SD = Standardabweichung

Tabelle 4

Mittelwerte und Standardabweichungen für LF (Peak)

Bedingungen	Messzeitpunkte	\bar{x}	SD
VR	Slot 1	7.986	1.176
	Slot 2	7.116	1.373
	Slot 3	6.532	1.505
	Slot 4	7.399	1.412
In vivo	Slot 1	8.107	1.102
	Slot 2	6.720	1.573
	Slot 3	6.524	1.293
	Slot 4	6.196	1.443

Anmerkung. \bar{x} = Mittelwert, SD = Standardabweichung

Tabelle 5

Mittelwerte und Standardabweichungen für LF (Peak)

Bedingungen	Messzeitpunkte	\bar{x}	SD
VR	Slot 1	2.520	.844
	Slot 2	1.717	.431
	Slot 3	1.668	.468
	Slot 4	1.875	.651
In vivo	Slot 1	2.242	.621
	Slot 2	1.695	.583
	Slot 3	1.602	.526
	Slot 4	1.758	.503

Anmerkung. \bar{x} = Mittelwert, SD = Standardabweichung

Tabelle 6

Mittelwerte und Standardabweichungen für LF/HF (Peak)

Bedingungen	Messzeitpunkte	\bar{x}	SD
VR	Slot 1	2.513	.831
	Slot 2	1.888	.582
	Slot 3	2.027	.860
	Slot 4	1.834	.674
In vivo	Slot 1	2.422	.614
	Slot 2	1.708	.873

Slot 3	1.708	.709
Slot 4	1.635	.874

Anmerkung. \bar{x} = Mittelwert, SD = Standardabweichung

Tabelle 7

Mittelwerte und Standardabweichungen für Expositionsprotokoll Angst vor und maximale Angst während der Exposition

Bedingungen	Messzeitpunkte	\bar{x}	SD
VR	vorher	3.78	2.296
	während	8.91	1.467
In vivo	vorher	3.94	2.462
	während	3.41	1.938

Anmerkung. \bar{x} = Mittelwert, SD = Standardabweichung, Wertebereich: 0 = „keine Angst“ bis 10 = „maximal mögliche Angst“

Tabelle 8

Mittelwerte und Standardabweichungen für Expositionsprotokoll Angst vor und am Ende der Exposition

Bedingungen	Messzeitpunkte	\bar{x}	SD
VR	vorher	3.78	2.296
	nachher	1.00	1.524
In vivo	vorher	3.94	2.462
	nachher	0.72	.958

Anmerkung. \bar{x} = Mittelwert, SD = Standardabweichung, Wertebereich: 0 = „keine Angst“ bis 10 = „maximal mögliche Angst“

4.2 Unterscheidet sich die Exposition in VR von der Exposition in vivo hinsichtlich der HF?

4.2.1 ANOVA-Test HF gesamter Slot

Tabelle 9

Mauchly-Test auf Sphärizität der ANOVA für HF (gesamter Slot)

	<i>Mauchly-W</i>	<i>p</i>
Bedingungen	1.00	.
Messzeitpunkte	.453	< .001

Bedingungen*Messzeitpunkte .646 .020

Anmerkung. p = p-Wert

Tabelle 10

Korrigierte Tests der Innersubjekteffekte für HF (gesamter Slot)

		<i>p</i>	<i>F</i>	<i>Hypothese</i> <i>df</i>	Fehler <i>df</i>	η_p^2
Bedingungen	Sphärizität angenommen	.146	2.225	1.00	32.00	-
Messzeitpunkte	Greenhouse-Geisser	.875	.229	3.00	30.00	-
Bedingungen*Messzeitpunkte	Greenhouse-Geisser	.147	1.923	3.00	30.00	-

Anmerkung. p = p-Wert, F = F-Wert, df = Freiheitsgrade, η^2 = Eta-Quadrat

Für die Bedingungen kann die Sphärizität angenommen werden. und weist keine signifikanten Unterschiede auf.

Der Mauchly-Test auf Sphärizität (s. Tabelle 9) zeigt hinsichtlich der Messzeitpunkte und der Interaktion von Bedingungen und Messzeitpunkte eine Verletzung der Voraussetzung der Sphärizität.

Die Greenhouse-Geisser-Korrektur zeigte keine signifikanten Unterschiede für die Messzeitpunkte. Für die Interaktion zwischen Bedingung und Messzeitpunkten zeigte die Greenhouse-Geisser Korrektur ebenfalls keine signifikanten Unterschiede (s. Tabelle 10).

4.2.2 Post-hoc Analyse HF gesamter Slot

Tabelle 11

Post-hoc Analyse: Paarweise Vergleiche der Bedingungen für HF (gesamter Slot)

	\bar{x}	<i>p</i>	<i>F</i>	Hypothese <i>df</i>	Fehler <i>df</i>	Mdiff	95%-CI
VR	5.712	.146	2.225	1.00	32.00	-.193	-.458, .071
in vivo	5.905	.146	2.225	1.00	32.00	.193	-.071, .458

Anmerkung. \bar{x} = Mittelwert, p = p-Wert, F = F-Wert, df = Freiheitsgrade, Mdiff = Mittelwertsdifferenz, 95%-CI = 95%-Koinzidenzintervall

Der Bonferroni-korrigierte post-hoc Tests (s. Tabelle 11) zeigen hinsichtlich der HF keinen signifikanten Unterschied zwischen der Bedingung in VR und in vivo.

Die paarweisen Vergleiche der Messzeitpunkte zeigten ebenfalls durchgehend keine signifikanten Unterschiede ($p = 1.00$).

4.2.3 ANOVA-Test HF Peak

Tabelle 12

Mauchly-Test auf Sphärizität der ANOVA für HF (Peak)

	<i>Mauchly-W</i>	<i>p</i>
Bedingungen	1.00	.
Messzeitpunkte	.655	.024
Bedingungen*Messzeitpunkte	.665	.028

Anmerkung. p = p-Wert

Tabelle 13

Korrigierte Tests der Innersubjekteffekte für HF (Peak)

		<i>p</i>	<i>F</i>	<i>Hypothese</i> <i>df</i>	Fehler <i>df</i>	η_p^2
Bedingungen	Sphärizität angenommen	.544	.377	1.00	32.00	-
Messzeitpunkte	Greenhouse-Geisser	.012	4.365	2.314	74.059	.120
Bedingungen*Messzeitpunkte	Greenhouse-Geisser	.047	2.968	2.465	78.864	.085

Anmerkung. p = p-Wert, F = F-Wert, df = Freiheitsgrade, η^2 = Eta-Quadrat

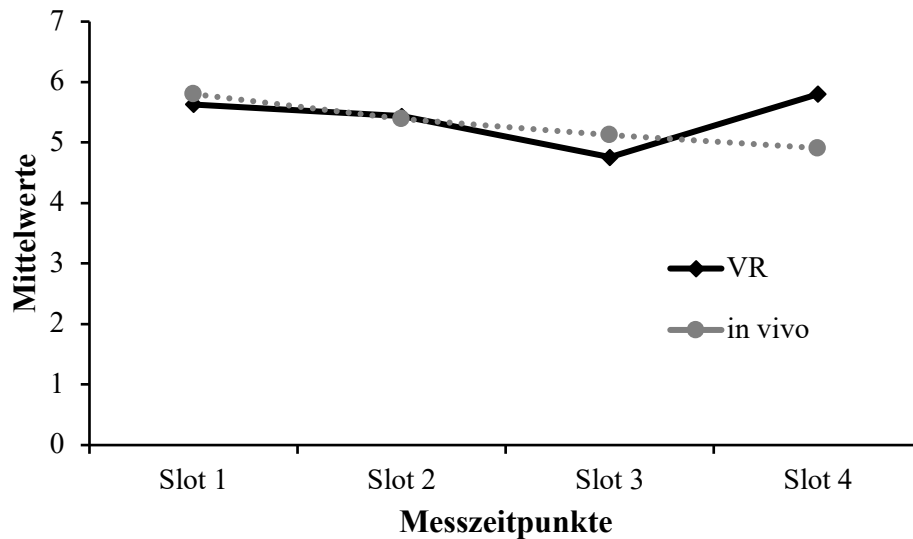
Für die Bedingungen kann die Sphärizität angenommen werden und weist keine signifikanten Unterschiede auf.

Der Mauchly-Test auf Sphärizität (s. Tabelle 12) zeigt hinsichtlich der Messzeitpunkte und der Interaktion von Bedingungen und Messzeitpunkte eine Verletzung der Voraussetzung der Sphärizität.

Die Greenhouse-Geisser-Korrektur zeigte signifikante Unterschiede für die Messzeitpunkte. Für die Interaktion zwischen Bedingung und Messzeitpunkten zeigte die Greenhouse-Geisser Korrektur ebenfalls signifikante Unterschiede (s. Tabelle 13).

Abbildung 3

Interaktion von Bedingung und Messzeitpunkten hinsichtlich der HF (Peak)



4.2.4 Post-hoc Analyse HF Peak

Tabelle 14

Post-hoc Analyse: Paarweise Vergleiche der Bedingungen für HF (gesamter Slot)

	\bar{x}	p	F	Hypothese df	Fehler df	Mdiff	95%-CI
VR	5.407	.544	.377	1.00	32.00	.100	-.232, .432
in vivo	5.307	.544	.377	1.00	32.00	-.100	-.432, .232

Anmerkung. \bar{x} = Mittelwert, p = p-Wert, F = F-Wert, df = Freiheitsgrade, Mdiff = Mittelwertsdifferenz, 95%-CI = 95%-Koinzidenzintervall

Der Bonferroni-korrigierte post-hoc Tests (s. Tabelle 14) zeigen hinsichtlich der HF keinen signifikanten Unterschied zwischen der Bedingung in VR und in vivo.

Die paarweisen Vergleiche der Messzeitpunkte zeigten ebenfalls durchgehend keine signifikanten Ergebnisse ($p > .061$).

4.3 Unterscheidet sich die die Exposition in VR von der Exposition in vivo hinsichtlich der LF?

4.3.1 ANOVA-Test LF gesamter Slot

Tabelle 15

Mauchly-Test auf Sphärizität der ANOVA für LF (gesamter Slot)

Mauchly-W	p
-----------	-----

Bedingungen	1.00	.
Messzeitpunkte	.494	< .001
Bedingungen*Messzeitpunkte	.812	.270

Anmerkung. p = p-Wert

Tabelle 16

Korrigierte Tests der Innersubjekteffekte für LF (gesamter Slot)

		<i>p</i>	<i>F</i>	<i>Hypothese</i> <i>df</i>	Fehler <i>df</i>	η_p^2
Bedingungen	Sphärizität angenommen	.241	1.425	1.00	32.00	-
Messzeitpunkte	Greenhouse-Geisser	.001	4.365	2.021	64.659	.365
Bedingungen*Messzeitpunkte	Sphärizität angenommen	.092	2.213	3.00	96.00	-

Anmerkung. p = p-Wert, F = F-Wert, df = Freiheitsgrade, η^2 = Eta-Quadrat

Für die Bedingungen kann die Sphärizität angenommen werden und weist keine signifikanten Unterschiede auf (s. Tabelle 15).

Für die Interaktion von Bedingungen und Messzeitpunkte kann die Sphärizität ebenfalls angenommen werden und weist keine signifikanten Unterschiede auf (s. Tabelle 15).

Der Mauchly-Test auf Sphärizität (s. Tabelle 15) zeigt hinsichtlich der Messzeitpunkte eine Verletzung der Voraussetzung der Sphärizität.

Die Greenhouse-Geisser-Korrektur zeigt signifikanten Unterschiede für die Messzeitpunkte (s. Tabelle 16).

Es konnten ebenfalls signifikante Unterschiede in der Interaktion von Bedingungen und Messzeitpunkten gemessen werden.

4.3.2 Post-hoc Analyse LF gesamter Slot

Tabelle 17

Post-hoc Analyse: Paarweise Vergleiche der Bedingungen für LF (gesamter Slot)

	\bar{x}	<i>p</i>	<i>F</i>	Hypothese <i>df</i>	Fehler <i>df</i>	Mdiff	95%-CI
VR	7.441	.241	1.425	1.00	32.00	-.099	-.268, .070
in vivo	7.540	.241	1.425	1.00	32.00	.099	-.070, .268

Anmerkung. \bar{x} = Mittelwert, p = p-Wert, F = F-Wert, df = Freiheitsgrade, Mdiff = Mittelwertsdifferenz, 95%-CI = 95%-Koinzidenzintervall

Der Bonferroni-korrigierte post-hoc Tests (s. Tabelle 17) zeigen hinsichtlich der LF keinen signifikanten Unterschied zwischen der Bedingung in VR und in vivo. Die paarweisen Vergleiche der Messzeitpunkte zeigten teils signifikante und teils nicht-signifikante Unterschiede. Messzeitpunkt 1 zeigt zu allen weiteren Messzeitpunkten höchst signifikante Unterschiede (s. Tabelle 18). Alle weiteren Messzeitpunkte zeigen untereinander keine signifikanten Unterschiede (s. Tabelle 18).

Tabelle 18

Post-hoc Analyse: Paarweise Vergleiche der Messzeitpunkte für LF (gesamter Slot)

Messzeitpunkt I	Messzeitpunkt J	Messzeitpunkt Differenz (I-J)	Sig.	95%-CI
1	2	.796	< 0.001	.437, 1.156
	3	.818	< 0.001	.323, 1.312
	4	.610	< 0.001	.242, .977
2	3	.021	1.00	-.299, .342
	4	-.187	.163	-.414, .040
3	4	-.208	.373	-.511, .095

Anmerkung. Sig = Signifikanz, 95%-CL = 95%-Koinzidenzintervall

4.3.3 ANOVA-Test LF Peak

Tabelle 19

Mauchly-Test auf Sphärizität der ANOVA für LF (Peak)

	Mauchly-W	p
Bedingungen	1.00	.
Messzeitpunkte	.664	.028
Bedingungen*Messzeitpunkte	.645	.020

Anmerkung. p = p-Wert

Tabelle 20

Korrigierte Tests der Innersubjekteffekte für LF (Peak)

		p	F	Hypothese df	Fehler df	η_p^2
Bedingungen	Sphärizität	.007	8.152	1.00	32.00	.203
	angenommen					
Messzeitpunkte	Greenhouse-Geisser	.001	20.30	2.335	74.735	.388
Bedingungen*Messzeitpunkte	Greenhouse-Geisser	.006	4.930	2.384	76.288	.133

Anmerkung. p = p-Wert, F = F-Wert, df = Freiheitsgrade, η^2 = Eta-Quadrat

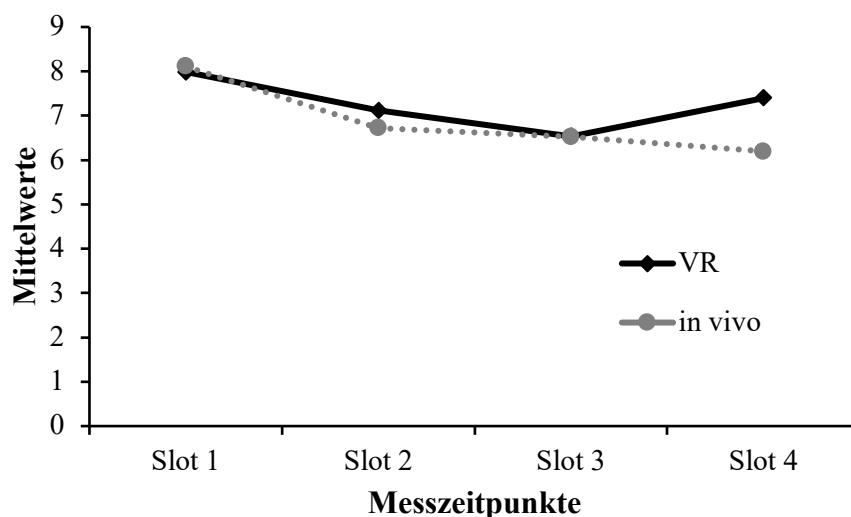
Für die Bedingungen kann die Sphärizität angenommen werden und weist signifikanten Unterschiede auf (s. Tabelle 19).

Der Mauchly-Test auf Sphärizität (s. Tabelle 19) zeigt hinsichtlich der Messzeitpunkte und der Interaktion von Bedingungen und Messzeitpunkte eine Verletzung der Voraussetzung der Sphärizität.

Die Greenhouse-Geisser-Korrektur zeigte signifikanten Unterschiede für die Messzeitpunkte. Für die Interaktion zwischen Bedingung und Messzeitpunkten zeigte die Greenhouse-Geisser Korrektur ebenfalls signifikante Unterschiede (s. Tabelle 20).

Abbildung 4

Interaktion von Bedingung und Messzeitpunkten hinsichtlich der LF (Peak)



4.3.4 Post-hoc Analyse LF Peak

Tabelle 21

Post-hoc Analyse: Paarweise Vergleiche der Bedingungen für LF (Peak)

	\bar{x}	p	F	Hypothese df	Fehler df	Mdiff	95%-CI	η_p^2
VR	7.258	.007	8.152	1.00	32.00	.371	.106, .636	.203
in vivo	6.887	.007	8.152	1.00	32.00	-.371	-.636, -.106	.203

Anmerkung. \bar{x} = Mittelwert, p = p-Wert, F = F-Wert, df = Freiheitsgrade, $Mdiff$ = Mittelwertsdifferenz, 95%-CI = 95%-Koinzidenzintervall, η^2 = Eta-Quadrat

Der Bonferroni-korrigierte post-hoc Tests (s. Tabelle 21) zeigen hinsichtlich der LF einen signifikanten Unterschied zwischen der Bedingung in VR und in vivo. Die paarweisen Vergleiche der Messzeitpunkte zeigten teils signifikante und teils nicht-signifikante Unterschiede. Messzeitpunkt 1 zeigt zu allen weiteren Messzeitpunkten höchst signifikante Unterschiede (s. Tabelle 22). Alle weiteren Messzeitpunkte zeigen untereinander keine signifikanten Unterschiede (s. Tabelle 22).

Tabelle 22

Post-hoc Analyse: Paarweise Vergleiche der Messzeitpunkte für LF (Peak)

Messzeitpunkt I	Messzeitpunkt J	Messzeitpunkt Differenz (I-J)	Sig.	95%-CI
1	2	1.128	< 0.001	.638, 1.618
	3	1.519	< 0.001	.750, 2.287
	4	1.249	< 0.001	.660, 1.839
2	3	.390	.497	-.223, 1.004
	4	.121	1.00	-.333, .574
3	4	-.270	1.00	-.850, .310

Anmerkung. Sig = Signifikanz, 95%-CL = 95%-Koinzidenzintervall

4.4 Unterscheidet sich die die Exposition in VR von der Exposition in vivo hinsichtlich der LF/HF-Ratio?

4.4.1 ANOVA-Test LF/HF gesamter Slot

Tabelle 23

Mauchly-Test auf Sphärizität der ANOVA für LF/HF-Ratio (gesamter Slot)

	Mauchly-W	p
Bedingungen	1.00	.
Messzeitpunkte	.438	< .001
Bedingungen*Messzeitpunkte	.807	.272

Anmerkung. p = p-Wert

Tabelle 24

Korrigierte Tests der Innersubjekteffekte für LF/HF-Ratio (gesamter Slot)

	p	F	Hypothese df	Fehler df	η_p^2

Bedingungen	Sphärizität angenommen	.283	1.194	1.00	31.00	-
Messzeitpunkte	Greenhouse-Geisser	.001	34.91	1.908	59.143	.530
Bedingungen*Messzeitpunkte	Sphärizität angenommen	.918	.168	3.00	93.00	-

Anmerkung. p = p-Wert, F = F-Wert, df = Freiheitsgrade, η^2 = Eta-Quadrat

Für die Bedingungen kann die Sphärizität angenommen werden und weist keine signifikanten Unterschiede auf (s. Tabelle 23).

Für die Interaktion von Bedingungen und Messzeitpunkte kann die Sphärizität ebenfalls angenommen werden und weist keine signifikanten Unterschiede auf (s. Tabelle 23).

Der Mauchly-Test auf Sphärizität (s. Tabelle 23) zeigt hinsichtlich der Messzeitpunkte eine Verletzung der Voraussetzung der Sphärizität. Die Greenhouse-Geisser-Korrektur zeigt signifikanten Unterschiede für die Messzeitpunkte (s. Tabelle 24).

4.4.2 Post-hoc Analyse LF/HF gesamter Slot

Tabelle 25

Post-hoc Analyse: Paarweise Vergleiche der Bedingungen für LF/HF-Ratio (gesamter Slot)

	\bar{x}	p	F	Hypothese df	Fehler df	Mdiff	95%-CI
VR	1.945	.283	1.194	1.00	31.00	.078	-.068, .224
in vivo	1.867	.283	1.194	1.00	31.00	-.078	-.224, .068

Anmerkung. \bar{x} = Mittelwert, p = p-Wert, F = F-Wert, df = Freiheitsgrade, Mdiff = Mittelwertsdifferenz, 95%-CI = 95%-Koinzidenzintervall

Der Bonferroni-korrigierte post-hoc Tests (s. Tabelle 25) zeigen hinsichtlich der LF/HF-Ratio keinen signifikanten Unterschied zwischen der Bedingung in VR und in vivo. Die paarweisen Vergleiche der Messzeitpunkte zeigten teils signifikante und teils nicht-signifikante Unterschiede. Messzeitpunkt 1 zeigt zu allen weiteren Messzeitpunkten höchst signifikante Unterschiede (s. Tabelle 26). Alle weiteren Messzeitpunkte zeigen untereinander keine signifikanten Unterschiede (s. Tabelle 26).

Tabelle 26

Post-hoc Analyse: Paarweise Vergleiche der Messzeitpunkte für LF/HF-Ratio (gesamter Slot)

Messzeitpunkt I	Messzeitpunkt J	Messzeitpunkt Differenz (I-J)	Sig.	95%-CI
1	2	.760	< 0.001	.465, 1.054

	3	.830	< 0.001	.518, 1.143
	4	.649	< 0.001	.310, .987
2	3	.071	1.00	-.109, .251
	4	-.111	.438	-.279, .058
3	4	-.182	.064	-.370, .007

Anmerkung. Sig = Signifikanz, 95%-CL = 95%-Koinzidenzintervall

4.4.3 ANOVA-Test LF/HF-Ratio Peak

Tabelle 27

Mauchly-Test auf Sphärizität der ANOVA für LF/HF-Ratio (Peak)

	<i>Mauchly-W</i>	<i>p</i>
Bedingungen	1.00	.
Messzeitpunkte	.840	.375
Bedingungen*Messzeitpunkte	.746	.110

Anmerkung. p = p-Wert

Tabelle 28

Korrigierte Tests der Innersubjekteffekte für LF/HF-Ratio (Peak)

		<i>p</i>	<i>F</i>	<i>Hypothese</i> <i>df</i>	Fehler <i>df</i>	η_p^2
Bedingungen	Sphärizität	.018	6.246	1.00	32.00	.163
	angenommen					
Messzeitpunkte	Sphärizität	.001	13.75	3.00	96.00	.301
	angenommen					
Bedingungen*Messzeitpunkte	Sphärizität	.785	.356	3.00	96.00	-
	angenommen					

Anmerkung. p = p-Wert, F = F-Wert, df = Freiheitsgrade, η^2 = Eta-Quadrat

Für die Bedingungen kann die Sphärizität angenommen werden und weist signifikanten Unterschiede auf (s. Tabelle 27).

Für die Messzeitpunkte kann die Sphärizität ebenfalls angenommen werden und weist signifikante Unterschiede auf (s. Tabelle 27).

Auch für die Interaktion von Bedingungen und Messzeitpunkten kann die Sphärizität angenommen werden und weist keine signifikante Unterschiede auf (s. Tabelle 27).

4.4.4 Post-hoc Analyse LF/HF Peak

Tabelle 29

Post-hoc Analyse: Paarweise Vergleiche der Bedingungen für LF/HF-Ratio (Peak)

	\bar{x}	p	F	Hypothese df	Fehler df	Mdiff	95%-CI	η_p^2
VR	2.066	.018	6.264	1.00	32.00	.197	.037, .358	.163
in vivo	1.868	.018	6.264	1.00	32.00	-.197	-.358, -.037	.163

Anmerkung. \bar{x} = Mittelwert, p = p-Wert, F = F-Wert, df = Freiheitsgrade, Mdiff = Mittelwertsdifferenz, 95%-CI = 95%-Koinzidenzintervall, η^2 = Eta-Quadrat

Der Bonferroni-korrigierte post-hoc Tests (s. Tabelle 29) zeigen hinsichtlich der LF/HF-Ratio einen signifikanten Unterschied zwischen der Bedingung in VR und in vivo. Die paarweisen Vergleiche der Messzeitpunkte zeigten teils signifikante und teils nicht-signifikante Unterschiede. Messzeitpunkt 1 zeigt zu allen weiteren Messzeitpunkten höchst signifikante Unterschiede ($p < .001$) (s. Tabelle 30). Alle weiteren Messzeitpunkte zeigen untereinander keine signifikanten Unterschiede (s. Tabelle 30).

Tabelle 30

Post-hoc Analyse: Paarweise Vergleiche der Messzeitpunkte für LF/HF-Ratio (Peak)

Messzeitpunkt I	Messzeitpunkt J	Messzeitpunkt Differenz (I-J)	Sig.	95%-CI
1	2	.670	< 0.001	.376, .963
	3	.600	< 0.001	.220, .980
	4	.733	< 0.001	.324, 1.141
2	3	-.070	1.00	-.427, .288
	4	.063	1.00	-.276, .402
3	4	.133	1.00	-.252, .518

Anmerkung. Sig = Signifikanz, 95%-CL = 95%-Koinzidenzintervall

4.5 Unterscheidet sich die Exposition in VR von der Exposition in vivo hinsichtlich der Einschätzung der subjektiven Angst der Patient:Innen vor der Exposition versus der maximalen Angst während der Exposition?

4.5.1 ANOVA-Test Expositionsprotokoll Angst vor und Angst während der Exposition

Tabelle 31

Mauchly-Test auf Sphärizität der ANOVA für die Expositionsprotokoll Angst vor und Angst während der Exposition

	<i>Mauchly-W</i>	<i>p</i>
Bedingungen	1.00	.
Messzeitpunkte	1.00	.
Bedingungen*Messzeitpunkte	1.00	.

Anmerkung. p = p-Wert

Tabelle 32

Korrigierte Tests der Innersubjekteffekte für die Expositionsprotokoll Angst vor und Angst während der Exposition

		<i>p</i>	<i>F</i>	<i>Hypothese</i> <i>df</i>	Fehler <i>df</i>	η_p^2
Bedingungen	Sphärizität	.001	47.12	1.00	31.00	.603
	angenommen					
Messzeitpunkte	Sphärizität	.001	48.93	1.00	31.00	.612
	angenommen					
Bedingungen*Messzeitpunkte	Sphärizität	.001	91.40	1.00	31.00	.747
	angenommen					

Anmerkung. p = p-Wert, F = F-Wert, df = Freiheitsgrade, η^2 = Eta-Quadrat

Für die Bedingungen kann die Sphärizität angenommen werden und weist signifikante Unterschiede auf (s. Tabelle 32).

Für die Messzeitpunkte kann die Sphärizität ebenfalls angenommen werden und weist signifikante Unterschiede auf (s. Tabelle 32).

Für die Interaktion zwischen Bedingung und Messzeitpunkten kann die Sphärizität angenommen werden und weist signifikante Unterschiede auf (s. Tabelle 32).

4.5.2 Post-hoc Analyse Expositionsprotokoll Angst vor und Angst während der Exposition

Tabelle 33

Post-hoc Analyse: Paarweise Vergleiche der Bedingungen für die Expositionsprotokoll Angst vor und Angst während der Exposition

	\bar{x}	p	F	Hypothese df	Fehler df	Mdiff	95%-CI	η_p^2
VR	6.344	< .001	47.116	1.00	31.00	-2.67	1.88, 3.47	.603
in vivo	3.672	< .001	47.116	1.00	31.00	-2.67	-3.47, -1.88	.603

Anmerkung. \bar{x} = Mittelwert, p = p-Wert, F = F-Wert, df = Freiheitsgrade, $Mdiff$ = Mittelwertsdifferenz, 95%-CI = 95%-Koinzidenzintervall, η^2 = Eta-Quadrat

Der Bonferroni-korrigierte post-hoc Test (s. Tabelle 33) zeigen hinsichtlich der Angst vor und während der Exposition einen signifikanten Unterschied zwischen der Bedingung in VR und in vivo. Die paarweisen Vergleiche der Messzeitpunkte 1 (Angst vor der Exposition) und 2 (Angst während der Exposition) zeigten ebenfalls signifikante Unterschiede (s. Tabelle 34).

Tabelle 34

Post-hoc Analyse: Paarweise Vergleiche der Messzeitpunkte für die Expositionsprotokoll Angst vor und Angst während der Exposition

	\bar{x}	p	F	Hypothese df	Fehler df	Mdiff	95%-CI	η_p^2
Messzeitpunkt 1	3.859	< .001	48.943	1.00	31.00	-2.30	-2.97, -1.63	.612
Messzeitpunkt 2	6.156	< .001	48.943	1.00	31.00	2.30	1.63, 2.97	.612

Anmerkung. \bar{x} = Mittelwert, p = p-Wert, F = F-Wert, df = Freiheitsgrade, $Mdiff$ = Mittelwertsdifferenz, 95%-CI = 95%-Koinzidenzintervall, η^2 = Eta-Quadrat

4.6 Unterscheidet sich die die Exposition in VR von der Exposition in vivo hinsichtlich der Einschätzung der subjektiven Angst der Patient:Innen vor der Exposition versus der Angst am Ende der Exposition?

4.6.1 ANOVA-Test Expositionsprotokoll Angst vor und Angst am Ende der Exposition

Tabelle 35

Mauchly-Test auf Sphärizität der ANOVA für die Expositionsprotokoll Angst vor und Angst nach der Exposition

	<i>Mauchly-W</i>	<i>p</i>
Bedingungen	1.00	.
Messzeitpunkte	1.00	.
Bedingungen*Messzeitpunkte	1.00	.

Anmerkung. p = p-Wert

Tabelle 36

Korrigierte Tests der Innersubjekteffekte für die Expositionsprotokoll Angst vor und Angst nach der Exposition

		<i>p</i>	<i>F</i>	<i>Hypothese</i> <i>df</i>	Fehler <i>df</i>	η_p^2
Bedingungen	Sphärizität	.823	.051	1.00	31.00	-
	angenommen					
Messzeitpunkte	Sphärizität	.001	65.65	1.00	31.00	.679
	angenommen					
Bedingungen*Messzeitpunkte	Sphärizität	.488	.492	1.00	31.00	-
	angenommen					

Anmerkung. p = p-Wert, F = F-Wert, df = Freiheitsgrade, η^2 = Eta-Quadrat

Für die Bedingungen kann die Sphärizität angenommen werden und weist keine signifikante Unterschiede auf (s. Tabelle 36).

Für die Messzeitpunkte kann die Sphärizität ebenfalls angenommen werden und weist signifikante Unterschiede auf (s. Tabelle 36).

Für die Interaktion zwischen Bedingung und Messzeitpunkten kann die Sphärizität angenommen werden und weist keine signifikante Unterschiede auf (s. Tabelle 35).

4.6.2 Post-hoc Analyse Expositionsprotokoll Angst vor und Angst am Ende der Exposition

Tabelle 37

Post-hoc Analyse: Paarweise Vergleiche der Bedingungen für die Expositionsprotokoll Angst vor und Angst nach der Exposition

	\bar{x}	p	F	Hypothese df	Fehler df	Mdiff	95%-CI
VR	2.391	.823	.051	1.00	31.00	.063	-.502, .627
in vivo	2.328	.823	.051	1.00	31.00	-.063	-.627, .502

Anmerkung. \bar{x} = Mittelwert, p = p-Wert, F = F-Wert, df = Freiheitsgrade, $Mdiff$ = Mittelwertsdifferenz, 95%-CI = 95%-Koinzidenzintervall

Der Bonferroni-korrigierte post-hoc Test (s. Tabelle 37) zeigen hinsichtlich der Angst vor und am Ende der Exposition keinen signifikanten Unterschied zwischen der Bedingung in VR und in vivo. Die paarweisen Vergleiche der Messzeitpunkte 1 (Angst vor der Exposition) und 2 (Angst während der Exposition) zeigten signifikante Unterschiede (s. Tabelle 38).

Tabelle 38

Post-hoc Analyse: Paarweise Vergleiche der Messzeitpunkte für die Expositionsprotokoll Angst vor und Angst nach der Exposition

	\bar{x}	p	F	Hypothese df	Fehler df	Mdiff	95%-CI	η_p^2
Messzeitpunkt 1	3.859	< .001	65.65	1.00	31.00	3.00	2.25, 3.76	.679
Messzeitpunkt 2	.859	< .001	65.65	1.00	31.00	-3.00	-3.76, -2.25	.679

Anmerkung. \bar{x} = Mittelwert, p = p-Wert, F = F-Wert, df = Freiheitsgrade, $Mdiff$ = Mittelwertsdifferenz, 95%-CI = 95%-Koinzidenzintervall, η^2 = Eta-Quadrat

5 Diskussion

5.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

5.1.1 High frequency (HF)

Im HF-Band der HRV zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen der VR- und der in-vivo-Bedingung; weder über die gesamten Messslots noch bei den höchsten Ausschlägen (Peaks) innerhalb der Slots. Zu betonen ist jedoch, dass die HF-Werte während der VR-Exposition, insbesondere in der angstausslösenden Phase (Messzeitpunkt 3), deskriptiv niedriger als in der in-vivo-Bedingung waren.

Auch im zeitlichen Verlauf konnten weder über die gesamten Slots noch bei den Peaks signifikante Reduktionen der HF beobachtet werden. Eine Interaktion zwischen Bedingung und Messzeitpunkten bestand über die Slots hinweg nicht.

Allerdings konnte ein Unterschied mittlerer Effektstärke für die zeitliche Entwicklung der HF entlang der Peaks beider Bedingungen festgestellt werden, was auf eine Interaktion von Bedingung und Messzeitpunkten hinweist. Während die HF-Werte in der in-vivo-Bedingung kontinuierlich sanken, stiegen sie in der VR-Bedingung nach einem vorherigen Abfall im letzten Messzeitpunkt wieder an.

Die Ergebnisse stützen die Hypothese 1 nicht, da keine signifikante Reduktion der HF während der VRET im Vergleich zur in-vivo-Exposition festgestellt werden konnte. Deskriptiv waren die HF-Werte in der VR-Bedingung zwar niedriger, jedoch ohne signifikante Unterschiede im zeitlichen Verlauf oder bei den Peaks.

5.1.2 Low frequency (LF)

Für die LF-Werte zeigte sich über die gesamten Slots hinweg kein signifikanter Unterschied zwischen VR- und in vivo-Bedingung. Ebenso ergab sich keine signifikante Interaktion zwischen Bedingung und Messzeitpunkten hinsichtlich der Entwicklung der LF im Verlauf der Messzeitpunkten der gesamten Slots.

Signifikante Unterschiede mit hoher Effektstärke konnten jedoch für die Messzeitpunkte zwischen den Bedingungen entlang der gesamten Slots gemessen werden. Besonders deutlich war der Unterschied zwischen dem ersten Messzeitpunkt (Taktatmung) und den nachfolgenden Messzeitpunkten. Dies gilt sowohl für die Messung in VR und in vivo, bei welchen jeweils eine höhere LF während der Taktatmung im Vergleich zu den Expositionssituationen gemessen

werden konnte. Eine Interaktion zwischen Bedingungen und Messzeitpunkten hat sich nicht signifikant unterschieden.

Bei der Analyse der Peaks zeigten sich signifikante Unterschiede mit hoher Effektstärke: Während der VRET wurden signifikant höhere LF-Werte gemessen als in der in-vivo-Bedingung. Für die LF konnten auch während der VRET signifikant höhere Werte als in der Exposition in vivo gemessen werden.

Auch die Messzeitpunkte zeigen innerhalb der Peaks signifikante Unterschiede bei hoher Effektstärke, wobei hier ebenfalls Messzeitpunkt 1 (Taktatmung) sich von den weiteren Messzeitpunkten unterscheidet. Die Interaktion von Bedingung und Messzeitpunkt war bei den Peaks beider Bedingungen ebenfalls signifikant bei mittlerer Effektstärke: In der in-vivo-Bedingung nahmen die LF-Werte kontinuierlich ab, während sie in der VRET im letzten Messzeitpunkt wieder anstiegen.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die LF-Werte während der VRET in den Peaks signifikant höher sind als in der in-vivo-Bedingung, was die Hypothese 2 einer mindestens gleichwertigen oder stärkeren Erhöhung der LF-Werte in der VRET unterstützt. Allerdings konnte über die gesamten Slots hinweg keine signifikante Differenz festgestellt werden, sodass die Hypothese nicht vollständig gestützt wird.

5.1.3 LF/HF-Ratio

Die LF/HF-Ratio unterschied sich über die gesamten Slots hinweg nicht signifikant zwischen den Bedingungen. Es zeigt sich erneut ein signifikant großer Unterschied mit hoher Effektstärke zwischen der Taktatmung (Messzeitpunkt 1) zu den weiteren Messzeitpunkten. In beiden Bedingungen sank die LF/HF-Ratio zunächst über die ersten drei Slots hinweg ab, bevor sie im vierten Messzeitpunkt wieder anstieg. Eine signifikante Interaktion zwischen Bedingung und Zeitpunkten wurde nicht festgestellt.

Bei den Peaks hingegen waren signifikante Unterschiede zwischen VR und in vivo messbar: die LF/HF-Ratio war während der VR Bedingung höher als in der in-vivo-Bedingung. Auch hier zeigte sich ein signifikanter Unterschied der Taktatmung zu den weiteren Messzeitpunkten, jeweils mit hoher Effektstärke. Wie auch bei der LF/HF-Ratio während des gesamten Slots konnte entlang der Peaks keine signifikanten Unterschiede der Interaktion von Bedingungen und Messzeitpunkten nachgewiesen werden.

Die Ergebnisse stützen die Hypothese 3 insofern, als dass Peaks eine signifikant höhere LF/HF-Ratio in der VR-Bedingung beobachtet wurde. Eine generelle Gleichwertigkeit oder

Überlegenheit der VRET im Vergleich zur in-vivo-Exposition über den gesamten Zeitraum konnte jedoch nicht festgestellt werden.

5.1.4 Expositionsfragebogen Angst vor und während der Exposition

Die Auswertung des Expositionsfragebogens hinsichtlich der Angst vor und während der Exposition zeigt hoch signifikante Unterschiede zwischen der VR- und der in-vivo-Bedingung mit hoher Effektstärke. Die subjektiv empfundene Angst war während der VRET durchgehend höher als in der in-vivo-Exposition.

Auch zwischen den Messzeitpunkten zeigten sich hoch signifikante Unterschiede: Zu Beginn der Exposition war die Angst in beiden Bedingungen ähnlich ausgeprägt. Während sie in der in-vivo-Bedingung geringfügig sank, stieg die maximale Angst in der VRET im Mittel um fünf Skalenpunkte an. Entsprechend war die insgesamt erlebte Angstreduktion in der VRET signifikant größer.

Hoch signifikant ist ebenfalls der Unterschied der angegebenen Angst zwischen den Messzeitpunkten.

Sowohl Hypothese 1 und Hypothese 2 zur subjektiv erwarteten Angst vor der Exposition wird durch die Ergebnisse gestützt. Die erwartete maximale Angst sowie die antizipierte Angst beim Gedanken an die Übung waren zu Beginn in beiden Bedingungen zumindest vergleichbar ausgeprägt.

5.1.5 Expositionsfragebogen Angst vor und am Ende der Exposition

Im Vergleich der Angstangaben vor und nach der Exposition zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bedingungen, ebenfalls liegt keine signifikante Interaktion vor.

Hoch signifikant ist hingegen der Unterschied der angegebenen Angst entlang der Messzeitpunkte. So liegt für beide Expositionen eine Angstreduktion im Vergleich der Angst vor und am Ende der Exposition vor. Wie in Abschnitt 5.1.4 erläutert ist jedoch hervorzuheben, dass bei vergleichbar angegebener subjektiver Angst zu Beginn der Expositionen die Angst am Ende der Exposition in der VRET signifikant stärker mit hoher Effektstärke ausgeprägt war als zum Ende der in-vivo-Bedingung.

Die Hypothese 3, wonach die während der Übung erlebte maximale Angst in der VRET höher ist als in der in-vivo-Exposition, kann durch die vorliegenden Ergebnisse angenommen werden. Die Hypothese 4 hingegen konnte nicht bestätigt werden. Zwar war die Angst am Ende der VRET deskriptiv höher, jedoch nicht signifikant im Vergleich zur in-vivo-Bedingung.

5.2 Diskussion der Ergebnisse

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass sich die dem aktuellen Goldstandard entsprechende (3), zur Therapie von spezifischen Phobien zugelassene in-vivo-Expositionstherapie hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die HRV nicht signifikant von der VRET (Virtual Reality Exposure Therapy), unterscheidet.

In einigen Aspekten konnten für die VRET sogar signifikant bessere Ergebnisse im Vergleich zur in-vivo-Therapie festgestellt werden.

Die deskriptive Analyse der Ergebnisse zeigt eine Veränderung der HRV-Parameter, die mit den Ergebnissen aus der Literatur (60) übereinstimmt, auch wenn die Gleichwertigkeit im statistischen Sinne nicht eindeutig bestätigt werden konnte, da sich die beiden Bedingungen z.T. nicht signifikant voneinander unterscheiden haben. So konnten für die HF in der exponierenden Situation deskriptiv niedrigere Werte gemessen werden als in Ruhe. Die LF hingegen zeigte in der angstausslösenden Situation deskriptiv höhere Werte als in Ruhe. Dies bestätigt erneut die Annahme, dass die Verschiebung des Gleichgewichts des ANS bei akutem Stress eine sympathische Aktivierung mit Reduktion der HRV stattfindet (60).

Auch andere Reviews, wie Zhang et al. (55), zeigen in zahlreichen Studien auf verringerte Werte im HF-Band und erhöhte Werte im LF-Band bei Patient:Innen mit Angststörungen auf. Sie vermerken jedoch, dass insbesondere bei Kurzzeitmessungen in der Frequenzanalyse (HF und LF) keine signifikanten Unterschiede bei Patient:Innen mit und ohne Angststörungen festgestellt werden konnten. Übereinstimmend kann auch in dieser Studie dieser Zusammenhang zumindest anhand der deskriptiven Analyse der Parameter, vereinzelt auch statistisch signifikant, nachgewiesen werden.

Von besonderer Bedeutung ist die Auseinandersetzung mit den LF- und LF/HF-Werten. So schreibt Petrowski et al. (59), dass neuere Annahmen vorliegen, welchen nach die LF nicht isoliert die sympathische Innervation des Herzens widerspiegelt, sondern vielmehr als Marker für die Funktion des Barorezeptors verstanden wird. Die hieraus resultierende, fehlende Möglichkeit, diesen Wert einem der Systeme zuzuordnen zu können erschwert die Interpretation der Messungen hinsichtlich ihrer Zuordnung zum Sympathikus. Selbes gilt für die LF/HF-Ratio, welche nunmehr nicht mehr als reiner Wert für die kardiale, sympathikovagale Balance betrachtet werden kann (59). Dennoch kann, bei Überwiegen des sympathischen Anteils des autonomen Nervensystems am LF-Band, diese zumindest mit einem höheren Anteil einem der Systeme zugerechnet werden (56). Auch die in dieser Studie gemessenen Werte stützen diese

Aussage. Sowohl in den gesamten Slots als auch innerhalb der Peaks zeigt die LF eine deutliche Reduktion während der Exposition, mit ihrem Minimum (mit Ausnahme der in-vivo-Peak-Messung) zu dem Zeitpunkt, der am ehesten die Angst auslösen sollte (Messzeitpunkt 3). Dies steht in Einklang mit der Tatsache, dass Angst als stressige Situation eine sympathikotone Reaktion hervorruft und diese in der LF zumindest überwiegen. Ähnliche Ergebnisse, bei denen das LF-Band in akuten Stresssituationen eine Verringerung aufwies, konnten in Kurzzeit-HRV-Messungen entsprechend der vorliegenden Studie auch von Castaldo et al. (60) festgestellt werden. Gleichzeitig decken sich diese Messergebnisse mit den in den subjektiven Fragebögen angebenen Ängsten. Mögliche Schwankungen der LF durch die Blutdruckschwankungen während der Atmung (Hering-Traube-Mayer-Wellen) welche in den Messbereich der LF fallen und für Fluktuationen innerhalb des Frequenzbandes sorgen (56), wurden nicht berücksichtigt.

Wie in 5.1.3 beschrieben, konnte für die LF/HF-Ratio zumindest eine teilweise Signifikanz festgestellt werden. Besonders bei der Messung der Peaks zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den Bedingungen, wobei die LF/HF-Ratio in der VR-Bedingung signifikant höher war als in der in-vivo-Bedingung. Unabhängig von der Frage, inwieweit die LF/HF-Ratio zur Einschätzung der sympathikovagalen Balance herangezogen werden kann (59, 60) (s. oben), zeigt sich hier eine Übereinstimmung mit den gemessenen Werten des LF-Bandes zu den entsprechenden Messzeitpunkten. Die Erhöhung der LF-Werte spiegelt sich auch in der rechnerischen Betrachtung der LF/HF-Ratio wider, da der LF-Wert im Zähler der Berechnung enthalten ist (60). Dies ermöglicht jedoch nach wie vor keinen präzisen Rückschluss auf die Balance des autonomen Nervensystems. Zudem lässt sich feststellen, dass signifikante Anstiege im LF-Band sowie Abnahmen im HF-Band nicht zwangsläufig mit einer statistisch signifikanten Veränderung der LF/HF-Ratio korrespondieren (61). Vielmehr lässt die gleichlaufende Erhöhung beider Werte in Richtung höherer Werte die Interpretation zu, dass das autonome Nervensystem bei Stressereignissen eine Reaktion zeigt, die durch höhere LF- und LF/HF-Ratio-Werte charakterisiert ist.

Zieht man hingegen Zhang et al. (55) hinzu, verweist dieser auf eine stabilere Interpretation des autonomen Nervensystems mittels der LF/HF-Ratio, da diese die LF und HF in Beziehung setzt und so ein besseres Verständnis der Wechselwirkungen zwischen den sympathischen und parasympathischen Systemen ermöglicht. Inwieweit eine Interpretation des Wertes nun für die sympathikovagalen Balance möglich ist, bleibt weiterhin unklar.

Dem entgegen steht die Bedeutung der HF. Diese kann eindeutig dem parasympathischen Anteil des autonomen Nervensystems zugeordnet werden (54, 56, 59). Wird während der Exposition versucht, Stress (Angst) auszulösen, würde dies für das HF-Band der Herzfrequenzvariabilität bedeuten, dass der Anteil der HF-Komponente an der gesamten HRV geringer ist als während der Taktatmung. Betrachtet man jedoch die Mittelwerte der HF über die gesamten Slots sowie die Peaks, zeigen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bedingungen und den Messzeitpunkten. In Bezug auf die signifikant gesteigerte subjektiv wahrgenommene Angst, insbesondere während der VRET, stellt sich die Frage, ob ein Parameter, der den Parasympathikus widerspiegelt (50), tatsächlich in der Lage ist, eine stressinduzierte, sympathikotone Situation adäquat abzubilden oder ob studienbezogene Faktoren wie die verkürzte Intervallzeit und weitere Messfaktoren ursächlich für die fehlende Veränderung der HF sind. Letzteres gewinnt insbesondere im Hinblick auf die von Castaldo et al. (60) analysierten Studien an Bedeutung, da über einen Großteil der dort betrachteten Untersuchungen hinweg eine signifikante Reduktion des HF-Bandes mit größerer Stabilität als vergleichsweise die Erhöhung der LF festgestellt wurde.

Tsai et al. (10) zeigten, dass bei Proband:Innen, die einer VR-Therapie unterzogen wurden, sowohl physiologische HRV-Messwerte als auch die Angstwerte, die mittels Fragebögen erfasst wurden, teilweise signifikant verändert wurden. Parallel zu den in dieser Studie gemessenen Ergebnissen konnten bei Tsai et al. (10) eine höhere Wirksamkeit der VR Therapie auf die Angstfragebögen im Vergleich auf die physiologischen Messwerte gemessen werden. Zudem heben sie hervor, dass eine mögliche und nicht unwahrscheinliche Diskrepanz zwischen der physiologisch erfassten und der psychologisch gemessenen Angst existiert. (10) Während die psychologisch erfasste Angst, etwa durch Fragebögen, subjektiv ist, handelt es sich bei den physiologischen Parametern um objektive Messgrößen, die möglicherweise schon zu einem früheren Zeitpunkt Veränderungen aufzeigen, während die subjektiv wahrgenommene Angst noch nicht eingetreten ist. Diese Diskrepanz liegt bei den Ergebnissen dieser Studie z.T. in entgegengesetzter Form vor. Während in der VR-Therapie signifikante Unterschiede in den Fragebögen ermittelt wurden, waren die Veränderungen in den physiologischen Messwerten nicht durchweg signifikant. Potenzielle Messungenauigkeiten oder Messfaktoren im Zusammenhang mit der teils ausbleibenden Erfassung der Reduktion des HF-Bandes (vgl. Review von Castaldo et al. (60)) könnten dazu beigetragen haben, dass objektiv messbare physiologische Veränderungen nicht adäquat berücksichtigt wurden. Im Gegensatz dazu tritt in den nachfolgend beschriebenen „Extremsituationen“ der VR-Exposition, wie sie durch

Fragebogenerhebungen erfasst wurden, die subjektive Angstaussprägung deutlich stärker in den Vordergrund.

Wie in Abschnitt 5.1.5 beschrieben, zeigten sich zwischen den Bedingungen keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Angstaussprägung vor und nach der Exposition. Zwar gaben die Proband:Innen vor der in-vivo-Exposition eine höhere Erwartungsangst sowie eine höhere antizipierte maximale Angst an, jedoch wurden sowohl die tatsächlich erlebte maximale Angst als auch die Angst am Ende der Exposition in der VR-Bedingung (VRET) höher angegeben als in der in-vivo-Bedingung. Damit zeigen beide Expositionsformen zwar eine Veränderung des Angstniveaus, jedoch mit einem entgegengesetzten Verlauf hinsichtlich des zeitlichen Auftretens des Angstmaximums; ein Effekt, der sich letztlich nicht in signifikanten Unterschieden zeigte.

Ein möglicher Grund für das Ausbleiben signifikanter Unterschiede zwischen VRET und in-vivo-Exposition könnte darin liegen, dass sich die Einschätzung der Höhenangst primär an realen Erfahrungen orientiert. So konnten Emmelkamp et al. (7) in einer mittels Acrophobia Questionnaire erfassten Expositionsstudie mit exakt gleichen Bedingungen für die VR- und die in-vivo-Exposition zeigen, dass die VR-Exposition hinsichtlich der Angstreduktion ebenso effektiv ist wie die Exposition in vivo. Dies legt nahe, dass die realen Erfahrungen der Patient:Innen eine entscheidende Rolle bei der Einschätzung ihrer Höhenangst spielen und die virtuelle Exposition in diesem Kontext als ausreichend realistisch empfunden wurde (7). Die in der VR-Bedingung erlebte Angst könnte daher weniger eine konkrete Höhenangst als vielmehr eine unspezifische Angst vor der neuartigen, schwer einschätzbaren virtuellen Situation widerspiegeln. Im Gegensatz dazu könnte die in-vivo-Exposition eine unmittelbare, klar zuordenbare Angst vor der realen Höhe ausgelöst haben, was die höhere Erwartungsangst in dieser Bedingung erklären würde. Scheveneels und Carpentier (82) zeigten, dass durchaus die angstausslösende Erwartung vor einer VRET möglicherweise an der Angstreduktion beteiligt ist. So zeigte bei größerer Reduktionen der angstausslösenden Erwartungen ein besseres Ergebnis der VR-Intervention im Follow-up (82).

Zudem ist denkbar, dass die Angst in der VR-Bedingung zu Beginn aufgrund fehlender Vorstellung vom Ausmaß der bevorstehenden Aufgabe unterschätzt wurde. Krijn et al. (5) verweisen auf die mangelnde Vergleichbarkeit zwischen VRET und der Exposition in vivo, da die exponierten Situationen häufig weder in ihrer Art noch im Ausmaß der Exposition übereinstimmen. Idealerweise sollten Proband:Innen sowohl in der virtuellen als auch in der realen Umgebung denselben Situationen über denselben Zeitraum hinweg ausgesetzt werden. Eine solche methodische Gegenüberstellung wurde, wie auch in dieser Studie, bisher nur selten

realisiert; eine Ausnahme bildet die Studie von Emmelkamp et al. (7), in der reale und virtuelle Expositionsszenarien vollständig identisch gestaltet wurden.

Die entgegengesetzten Verläufe des Angstepfindens mit jeweils unterschiedlichen Zeitpunkten maximaler und sehr geringer Angst könnten den Gesamteffekt neutralisiert haben. Vergleicht man hingegen nur die Messzeitpunkte 1 und 2, also den Unterschied der Angst vor und nach der Exposition der jeweiligen Exposition, so zeigt sich sowohl deskriptiv als auch statistisch ein signifikanter Unterschied. Zwar lässt sich, insbesondere bei der maximal erlebten Angst während der VRET, eine deutliche Adaption beobachten, dennoch war die virtuelle Exposition offensichtlich ausreichend angstinduzierend und wurde zu Beginn zu wenig bedrohlich eingeschätzt, sodass am Ende der Exposition eine im Vergleich zur in-vivo-Exposition leicht erhöhte Angstaussprägung berichtet wurde. Wie bereits beschrieben gaben die Proband:Innen vor Beginn der Expositionen eine vergleichbare oder sogar in vivo geringfügig höhere Angst an, jedoch war die maximal erlebte Angst während der VRET signifikant höher. Ein möglicher Erklärungsansatz hierfür könnte die Diskrepanz der beiden Expositionen in ihrem angstausslösendem Potential sein: Während die Proband:Innen in der VRET auf einem simulierten, schmalen Holzbalken auf der Kante eines Wolkenkratzers standen und ohne jegliche „Sicherung“ in die tiefe Fallen könnten, standen sie während der in-vivo-Exposition zu einem vergleichbaren Zeitpunkt in sicherem Abstand zur Kante eines Hochhauses, das durch ein Schutzgitter gesichert war und ihnen den Blick in die Tiefe verwehrte. Obwohl der VRET eine gewisse „Simulationskünstlichkeit“ und die damit verbundene angstausslösende Erwartung (82) zugeschrieben werden kann, lässt sich die dabei beobachtete signifikante Habituation als ein positiver und erwarteter Effekt interpretieren. Für die Gesamtbewertung der Exposition ist es sogar erwähnenswert, dass die Angst während der VRET deutlich höher war, obwohl das Risiko, welches man die Proband:Innen in der Situation aussetzen musste, in der VR-Bedingung wesentlich geringer war. Es lässt sich auch diskutieren, inwieweit der Messzeitpunkt 2 der in-vivo-Exposition nicht eher dem eigentlichen Expositionszeitpunkt (Messzeitpunkt 3) entsprochen hätte. Insbesondere der erste Kontakt auf dem Hochhausdach, bei dem die Proband:Innen sich in räumlicher Nähe zur Dachkante befanden, wäre möglicherweise eher mit dem Messzeitpunkt 3 der VRET vergleichbar gewesen.

Letztendlich sind weitere Untersuchungen hinsichtlich der Übertragbarkeit der Ergebnisse der VRET auf Realsituationen notwendig (5). Eine einmalig durchgeführte Exposition reicht nicht aus, um diese zu bestätigen. Zudem bleibt unklar, ob bei mehrfachen VRET-Sitzungen die Angstreduktion durch Habituation und die damit verbundene Angstabnahme erreicht wird, oder ob die Proband:Innen vielmehr die Angst vor der VR selbst als unbedrohliches Setting verlieren,

jedoch nicht vollständig die Angst vor der Höhe. Darüber hinaus ist es unklar, ob auch die Angst vor einem möglichen Sturz eine Rolle spielt. Während viele Menschen im Alltag bereits kleinere Stürze erlebt haben, konnten die Proband:Innen in der VR-Bedingung nicht wissen, welche Konsequenzen ein Sturz aus der simulierten Höhe, insbesondere von einem Wolkenkratzer, nach sich ziehen könnte

Eine erhöhte Dropoutrate aufgrund eines fehlenden Präsenzgefühls in der VR-Exposition konnte, im Gegensatz zu den Ergebnissen von Krijn et al. (5) in dieser Studie nicht festgestellt werden.

5.3 Diskussion der Methodik

In der vorliegenden Studie wurde der Einfluss von Expositionen in virtueller Realität (VRET) und in vivo auf frequenzbasierte Parameter der Herzfrequenzvariabilität (HRV) untersucht. Insgesamt wurden $n = 33$ Proband:Innen im Rahmen eines quasi-experimentellen Studiendesigns in randomisierter Reihenfolge nacheinander beiden Expositionsbedingungen ausgesetzt. VR-basierte Expositionsstudien weisen häufig kleine Stichprobengrößen auf, was die statistische Aussagekraft limitiert und belastbare Schlussfolgerungen über die Wirksamkeit der Intervention erschwert (5).

Als Einschlusskriterium galt das subjektive Erleben von Höhenangst ohne Vorliegen einer diagnostizierten Akrophobie gemäß DSM-V. Da jedoch keine standardisierte Erfassung des Ausprägungsgrades der Höhenangst vorgenommen wurde, ist die retrospektive Einschätzung interindividueller Unterschiede in der Angstausrprägung nachträglich nur eingeschränkt möglich.

Zur HRV-Analyse wurden die Parameter HF, LF und das Verhältnis LF/HF verwendet und logarithmiert. Die Datenauswertung erfolgte mithilfe der Software Kubios HRV Standard (Version 3.5.0). Die zeitlichen Messgrenzen der einzelnen Slots wurden manuell anhand synchronisierter Zeitaufzeichnungen festgelegt. Es liegen Hinweise vor, wonach die Qualität des VR-Systems einen Einfluss auf das erlebte Präsenzgefühl hat (83). Bei fehlender Dropoutrate (s. 5.2), welches aufgrund einer fehlenden Immersion angenommen wird (5, 83), kann diese Annahme für die vorliegende Studie vernachlässigt werden.

Es wurden zwei unterschiedliche Auswertungsstrategien verfolgt: Zum einen wurden HRV-Daten über den gesamten Slot berechnet, zum anderen wurden die jeweils höchsten Ausschläge der Herzfrequenz innerhalb eines Slots (Peaks) separat betrachtet. Diese ergänzende Analyse diente dazu einen möglichen Effekt oder signifikanten Unterschied innerhalb des Slots nicht durch eine Auswertungskünstlichkeit zu übersehen, die in der Mittelwertbildung über einen

längeren Zeitraum potenziell nivelliert worden wären. Ein Beispiel hierfür wäre ein Anstieg der Herzfrequenz durch eine akute Angstreaktion zu Beginn eines Slots, der durch eine anschließende Habituation zum Ende hin überdeckt wird. Somit würde die über den gesamten Zeitraum gemessene Herzfrequenz ein niedrigeres Mittel annehmen und die alleinige Betrachtung des gesamten Slots zu einer Unterschätzung der Reaktion führen. Die Peak-Analyse kann in solchen Fällen genauere Ergebnisse liefern, was sich auch in dieser Studie zeigte: Mehrere signifikante Unterschiede mit hoher Effektstärke traten ausschließlich in den Peaks auf.

Es ist jedoch anzumerken, dass durch das manuelle Festlegen der Slots minimale zeitliche Abweichungen nicht ausgeschlossen werden können. Die Messabweichungen in den einzelnen Slots, wenn sie auch sehr gering sind, könnten durch die in Abschnitt 3.4.3 erwähnte praktische Notwendigkeit, Slot-Grenzen mithilfe von Fotoaufnahmen der Uhrzeit zu dokumentieren, entstanden sein. Eine alternative Methode wäre es, die Messzeit automatisiert und synchron mit der Datenerfassung zu verbinden, um die Slots präzise anhand ihrer Grenzen in der VR aufzeichnen zu können.

Die in 2.1.6.2 von Foa und Kozak (42) beschriebenen Bedingungen, insbesondere die Wahrnehmung der in der VR geschaffenen Umgebung als eine, an der die Proband:Innen teilnehmen können, wurden anhand des von Schubert et al. entwickelten igroup Präsenzfragebogens (77) (s. 3.3.3) quantifiziert. Weitere Bedingungen, wie etwa die Fähigkeit der VR-Bedingung, eine emotionale Reaktion auszulösen, wurden anhand der in den Prä- und Post-Fragebögen erfassten subjektiven Angstaussprägungen überprüft.

5.3.1 Limitationen

Die über einen Pulsgurt aufgezeichneten Herzaktionen wurden zur Analyse der HRV herangezogen. Zwar empfiehlt die AWMF-Leitlinie zur HRV-Messung die Verwendung eines EKG-Geräts (54), dies wäre jedoch aufgrund der notwendigen Bewegungsfreiheit in diesem Studiensetting höchst unpraktikabel. Die von der AWMF-Leitlinie empfohlene Minstdauer von fünf Minuten pro Slot (54) konnte nicht in jedem Slot eingehalten werden und wurde insbesondere in den in-vivo-Aufzeichnungen unterschritten. Ursächlich hierfür war eine initial geringe subjektive Angst oder sehr rasche Angstreduktion, die eine längere Dauer nicht erforderlich machte.

Potenzielle Störfaktoren wie eine gedankliche Ablenkungen oder körperliche Distraktoren wurden vor jeder Exposition in einem kurzen Briefing besprochen und die Proband:Innen darauf hingewiesen, diese zu minimieren. Weitere Störfaktoren wie z.B. die

Herzfrequenzvariabilität-beeinflussende Erkrankungen (54) wurden vorab in einem Screening erfasst und ausgeschlossen. Tagesabhängige Störfaktoren wie z.B. Kaffeekonsum, erhöhter Stress am Tag, Nikotinkonsum oder die zirkadiane Rhythmik (54) wurden nicht berücksichtigt. Ein ursprünglich geplanter technischer Aufbau zur Übertragung der VR-Ansicht auf einen externen Monitor konnte aufgrund technischer Probleme mit dem Risiko, dass die Exposition nicht flüssig ablaufen konnte, nicht umgesetzt werden. Durch die Spiegelung hätten die Versuchsleiter:Innen jederzeit den Fortschritt der Proband:Innen verfolgen und bei Bedarf Anweisungen geben können. Für zukünftige Studien wäre eine optimierte technische Lösung sinnvoll, um eine engere Interaktion mit den Proband:Innen während der VR-Exposition zu ermöglichen.

5.3.2 Klinische Implikationen

Eichenberg et al. (48) konnten bereit in einem Review verschiedener Studien den praktischen Nutzen der VRET für Patient:Innen mit Akrophobie aufzeigen. Auch die aktuelle AWMF-Leitlinie zur Behandlung von Angststörungen erkennt die VRET als Alternative zur kognitiv-verhaltenstherapeutischen in-vivo-Exposition an (3). Dies unterstreicht ihre klinische Relevanz und weist auf ihr Potenzial hin, künftig als gleichwertige Behandlungsoption anerkannt zu werden.

Trotz dieser positiven Entwicklung gibt es im klinisch-praktischen Alltag noch Vorbehalte, welche die Einführung der VRET erschweren. U.a. fallend hier die noch vergleichsweise hohen Anschaffungskosten für die Hardware und Software zur Durchführung der VRET an. Auch wenn die technologischen Entwicklungen zu sinkenden Kosten führen dürften, stellt die Finanzierung der Systeme im klinischen Alltag weiterhin ein Hindernis dar bestehende Hürde für den klinischen Alltag dar (48). Des Weiteren hält sich nach wie vor ein Vorbehalt gegenüber dem Einsatz von Technologien wie VR in der Therapie von Patient:Innen (48, 84).

Während für spezifische Phobien bereits Handlungsempfehlungen vorliegen, fehlen standardisierte Leitlinien für den Einsatz der VRET bei anderen psychischen Erkrankungen. Darüber hinaus ist bislang nicht abschließend geklärt, wie Expositionsinhalte innerhalb virtueller Umgebungen gestaltet werden müssen, um therapeutisch wirksam zu sein (48).

Dem gegenüber stehen jedoch nennenswerte Vorteile wie eine zukünftig deutliche Kostenreduktion von Expositionstherapien, ein wesentlich geringerer logistischer Aufwand bei der Durchführung von Expositionen und eine größere Individualisierung der Expositionen für die jeweiligen Patient:Innen. So könnten beispielsweise Szenarien gezielt an die individuellen Bedürfnisse angepasst und in ein Programm integriert werden (48). Ein weiterer, wesentlicher

Vorteil der VRET liegt in ihrer potenziell höheren Akzeptanz eine Therapie durchzuführen, insbesondere bei jüngeren Patient:Innen, die neuen Technologien gegenüber aufgeschlossen sind (48). Auch anfängliche Hemmungen, wie die Sorge, in der Öffentlichkeit mit der Phobie konfrontiert zu werden, oder allgemein die Hemmschwelle, eine Therapie zu beginnen, können durch die VRET überwunden werden (8, 34).

Genauere Daten, wie viele Praxen bereits VRET anbieten, liegen nicht vor.

5.3.3 Ausblick und Zukunft der VRET

Die ersten Ansätze zur Nutzung virtueller Realität in der Expositionstherapie liegen mittlerweile rund 30 Jahre zurück (5). Seither gab es, neben dem wissenschaftlichen, einen im Bereich der virtuellen Realität erheblichen technischen Fortschritt (85). Obwohl dieser Fortschritt stattgefunden hat und VR-Brillen mittlerweile breit zugänglich und erschwinglicher geworden sind, fehlt nach wie vor die breite Akzeptanz, diese zu verwenden (48, 85). Während, wie auch in dieser Arbeit zitiert, diverse Studien auf die bestehende und hohe Effektivität der VRET zur Therapie von psychischen Erkrankungen vorliegen, mangelt es bislang an empirischen Daten zur langfristigen Wirksamkeit und Übertragbarkeit auf Realsituationen (85). Obwohl die technischen Voraussetzungen zur Entwicklung individualisierter Expositionsszenarien inzwischen gegeben sind, wird der Fortschritt in der klinischen Anwendung durch geringe Nachfrage und zögerliche Adaption gebremst.

Auch wenn der Einsatz der VR in der Therapie von psychologischen Erkrankungen nicht dem Wachstum der Technologie folgen konnte (85), ist der Ausblick in die Zukunft positiv zu betrachten.

Es bedarf weiterer Studien zur Übertragbarkeit der VRET, einer intensiveren Vermarktung sowie einer gesteigerten Akzeptanz sowohl bei den praktizierenden Psychotherapeut:Innen als auch in der breiten Öffentlichkeit. Zudem ist es wichtig, den Zugang zu entsprechenden Programmen zu vereinfachen und zu erweitern, um eine Vielzahl von Therapieformen zugänglich machen zu können. Auch die Integration der VRET in die Abrechnungssysteme der Krankenkassen könnte dazu beitragen, die Akzeptanz zu erhöhen (85). Ein zugelassener Anbieter für die virtuelle Expositionstherapie (VRET) bei Angststörungen ist Invirto (86). Die Nutzung des Angebots setzt eine psychodiagnostische Abklärung durch Ärzt:Innen oder Psychotherapeut:Innen voraus. Nach entsprechender Verordnung kann die Behandlung über die gesetzlichen Krankenkassen abgerechnet werden (86). Das therapeutische Programm besteht aus einer mobilen Applikation, einer Virtual-Reality-Brille sowie Kopfhörern. Ein wesentlicher Nachteil besteht jedoch darin, dass die Anwendung derzeit ausschließlich für die Behandlung

von Agoraphobie mit oder ohne Panikstörung (F40.00, F40.01), Panikstörung (F41.0) sowie sozialer Phobie (F40.1) zugelassen ist (86). Genaue Daten zur Häufigkeit der Nutzung von Invirto in Deutschland liegen derzeit nicht vor.

In einer Zeit, in der sich Computertechnologien und Künstliche Intelligenz stetig weiterentwickeln, bleibt zudem die Frage offen, inwieweit diese Innovationen die Nutzung virtueller Realität für therapeutische Zwecke revolutionieren werden. Letztlich bleibt die Frage offen, ob bei den theoretisch unbegrenzten Möglichkeiten der virtuellen Realität weiterhin an den klassischen, in der realen Welt durchgeführten Therapieformen festgehalten werden sollte oder ob etablierte Therapieansätze in ihrer derzeitigen Form an aktuelle technologische und gesellschaftliche Entwicklungen angepasst werden sollten (85).

6 Zusammenfassung

Angststörungen zählen mit einer 12-Monats-Prävalenz von 18.5 Millionen Betroffenen in Europa (1) zu den häufigsten psychischen Erkrankungen und verursachen jährliche Kosten in Höhe von etwa 63 Milliarden Euro, womit sie zu den kostenintensivsten psychischen Erkrankungen gehören (2). Die Expositionstherapie gilt als Goldstandard in der Behandlung spezifischer Phobien (4). Dennoch gehört sie in der ambulanten Versorgung zur Therapie von Angststörungen zu den am wenigsten eingesetzten psychotherapeutischen Methoden (4). Eine in der S3-Leitlinie zur Therapie von spezifischen Phobien zugelassene (3) und in zahlreichen Studien als wirksame (6, 8), zum Teil sogar als gleichwertig zur in-vivo-Exposition (7) evaluierte Alternative stellt die Expositionstherapie in virtueller Realität (VRET) dar.

Im Rahmen dieser Studie wurde der Einfluss der VRET im Vergleich zur klassischen in-vivo-Exposition auf die frequenzbasierten Parameter der Herzratenvariabilität (HF, LF und HF/LF-Ratio) untersucht. Dabei wurden 33 Proband:Innen in randomisierter Reihenfolge den beiden Expositionen (VRET und in vivo) ausgesetzt. Es erfolgte die Erfassung der HRV-Daten mittels eines Pulsgurts, während subjektive Angsterfahrungen über standardisierte Angstprotokolle von Lang et al. (43) erfasst wurden. Die Auswertung der HRV-Daten erfolgte anhand zweier Strategien: Zum einen wurden gesamte Messzeiträume (Slots) analysiert, zum anderen ausschließlich die maximalen Ausschläge der Herzfrequenz innerhalb dieser Zeiträume (Peaks).

Über beide Auswertungsansätze und den verschiedenen Frequenzbändern der HRV hinweg konnten teils signifikante Unterschiede zwischen den beiden Expositionsformen festgestellt werden. Insbesondere das Low-Frequency-Band (LF), das in größerem Anteil die sympathische Aktivität des autonomen Nervensystems abbildet (56, 57), sowie die daraus abgeleitete LF/HF-

Ratio, zeigten signifikante Unterschiede zwischen den Bedingungen. Auffällig ist, dass diese signifikanten Unterschiede fast ausschließlich in der Peak-Analyse auftraten, was einen zentralen Diskussionspunkt hinsichtlich der methodischen Auswertung der HRV in Bezug auf die Slot-basierte Analyse und potenzieller Verzerrungen darstellt. Zwar zeigten sich auch Unterschiede im High-Frequency-Band (HF), die als Marker für parasympathische Aktivität gilt (50), wobei unter der VRET eine stärkere Reduktion und somit eine höhere Stressreaktion beobachtet wurde; diese Unterschiede blieben jedoch deskriptiver Natur und waren statistisch nicht signifikant. Besonders hervorzuheben ist, dass sich signifikante Unterschiede zwischen dem Zustand kontrollierter Taktatmung als Indikator für Ruhe und parasympathische Aktivierung (62, 65) und der Expositionssituation in virtueller Realität nachweisen ließen, die in vivo nicht vorlagen. Eine Auffälligkeit, welche auf die fehlende Vergleichbarkeit der Intensität der Expositionen in VR und in vivo hinweisen könnte.

Bezogen auf die subjektiven Angstbewertungen im Vergleich der Zeitpunkte vor der Exposition zu während sowie vor der Exposition zu nach der Exposition zeigte sich, in Übereinstimmung mit anderen Studien (8, 10), im Rahmen der VRET eine stärkere Angstreduktion. Während der Exposition wurden dabei deskriptiv und zum Teil statistisch durchgehend höhere Werte für subjektive Angst in der VRET-Bedingung gemessen.

Offen bleibt, inwieweit eine einmalige VR-Exposition langfristige Effekte auf die HRV hat und ob, im Sinne der Kriterien nach Foa et al. (42) sowie dem Ansatz der Inhibitory Learning Theory (45), eine Übertragung auf Realsituationen erfolgen kann.

Die HRV, welche ein bereits etablierter physiologischer Marker zur Messung emotionaler Reaktionen ist (11), sollte künftig vermehrt in Studien eingesetzt werden, um VRET als therapeutisches Instrument zur Behandlung von Angststörungen zu stratifizieren. Ein weiterer Grund für die Fortführung HRV-basierter Studien zum Nachweis des Therapieerfolges durch die VRET liegt in der individualisierbaren Gestaltung von VR-basierten Expositionen unter Vermeidung öffentlicher Räume (8, 34), was die Akzeptanz und Inanspruchnahme dieser Therapieform erhöhen könnte (34, 48). Erste Anwendungen wie Invirto (86) bieten bereits einen limitierten Zugang zur VRET als therapeutische Option; ein kleiner, jedoch wichtiger Schritt hin zur potenziellen Gleichstellung mit der etablierten in-vivo-Expositionstherapie.

7 Literaturverzeichnis

1. Wittchen H-U, Hoyer J. *Klinische Psychologie & Psychotherapie (E-Book)*. 2 ed. Berlin 2011.
2. Wittchen HU, Jacobi F, Rehm J, Gustavsson A, Svensson M, Jönsson B, et al. The size and burden of mental disorders and other disorders of the brain in Europe 2010. *Eur Neuropsychopharmacol*. 2011;21(9):655-79.
3. Bandelow B, Aden I, Alpers GW, Benecke A, al. e. *AWMF Leitlinie zur Behandlung von Angststörungen (AWMF-Registernummer: 051 - 028)2014 Stand: 18.10.2023*.
4. Pittig A, Hoyer J. Exposition aus Sicht niedergelassener Verhaltenstherapeutinnen und Verhaltenstherapeuten. *Zeitschrift für Klinische Psychologie und Psychotherapie*. 2017;46(4):223-35.
5. Krijn M, Emmelkamp PM, Olafsson RP, Biemond R. Virtual reality exposure therapy of anxiety disorders: a review. *Clin Psychol Rev*. 2004;24(3):259-81.
6. Rothbaum BO, Hodges LF, Kooper R, Opdyke D, Williford JS, North M. Effectiveness of computer-generated (virtual reality) graded exposure in the treatment of acrophobia. *Am J Psychiatry*. 1995;152(4):626-8.
7. Emmelkamp PM, Krijn M, Hulsbosch AM, de Vries S, Schuemie MJ, van der Mast CA. Virtual reality treatment versus exposure in vivo: a comparative evaluation in acrophobia. *Behav Res Ther*. 2002;40(5):509-16.
8. Choi YH, Jang DP, Ku JH, Shin MB, Kim SI. Short-term treatment of acrophobia with virtual reality therapy (VRT): a case report. *Cyberpsychol Behav*. 2001;4(3):349-54.
9. Malbos E, Rapee Rm Fau - Kavakli M, Kavakli M. A controlled study of agoraphobia and the independent effect of virtual reality exposure therapy. (1440-1614 (Electronic)).
10. Tsai CF, Yeh SC, Huang Y, Wu Z, Cui J, Zheng L. The Effect of Augmented Reality and Virtual Reality on Inducing Anxiety for Exposure Therapy: A Comparison Using Heart Rate Variability. *J Healthc Eng*. 2018;2018:6357351.
11. Alpers GW, Sell R. And yet they correlate: psychophysiological activation predicts self-report outcomes of exposure therapy in claustrophobia. *J Anxiety Disord*. 2008;22(7):1101-9.
12. Faller H, Lang H. *Medizinische Psychologie und Soziologie*. 5th ed. ed. Berlin 2019.
13. Adolphs R. The biology of fear. *Current Biology*. 2013;23(2):R79-93.
14. H.-U. Wittchen; F. Jacobi. Themenheft 21: Angststörungen. *Gesundheitsberichterstattung des Bundes*. 2004.

15. Curtis G, Magee WJ, Eaton WW, Wittchen H-U, Kessler RC. Specific fears and phobias: Epidemiology and classification. *The British Journal of Psychiatry*. 1998;173(3):212-7.
16. Coelho CM, Wallis G. Deconstructing acrophobia: physiological and psychological precursors to developing a fear of heights. *Depression and Anxiety*. 2010;27(9):864-70.
17. Menzies RG, Clarke JC. Danger expectancies and insight in acrophobia. *Behav Res Ther*. 1995;33(2):215-21.
18. American Psychiatric Association. Diagnostisches und statistisches Manual psychischer Störungen - DSM-5 (E-Book). 2., korrigierte Auflage ed. Falkai P, Wittchen H-U, Döpfner M, Gaebel W, Maier W, Rief W, et al., editors. Göttingen: Hogrefe; 2018.
19. (BfArM) BfAuM. ICD-11 in Deutsch – Entwurfsfassung [Internet].
 Zitiert am 28.11.2023. URL:
https://www.bfarm.de/DE/Kodiersysteme/Klassifikationen/ICD/ICD-11/uebersetzung/_node.html2023.
20. (BfArM) BfAuM. Kodiersysteme
 Gesundheitsdaten standarisieren. Digitalisierung voranbringen [Internet].
 Letzte Aktualisierung: 15.09.2023. Zitiert am 28.11.2023. URL:
<https://klassifikationen.bfarm.de/icd-10-gm/kode-suche/htmlgm2024/block-f40-f48.htm2023>.
21. Mowrer OH. Two-factor learning theory: summary and comment. *Psychol Rev*. 1951;58(5):350-4.
22. Armfield JM. Cognitive vulnerability: a model of the etiology of fear. *Clin Psychol Rev*. 2006;26(6):746-68.
23. Watson JB, Rayner R. Conditional emotional reactions. *Journal of Experimental Psychology*. 1920(3):1-14.
24. Seligman ME. On the generality of the laws of learning. *Psychological Review*. 1970;77(5):406-18.
25. Rachman S. The conditioning theory of fear-acquisition: a critical examination. *Behav Res Ther*. 1977;15(5):375-87.
26. Kelly VL, Barker H, Field AP, Wilson C, Reynolds S. Can Rachman's indirect pathways be used to un-learn fear? A prospective paradigm to test whether children's fears can be reduced using positive information and modelling a non-anxious response. *Behav Res Ther*. 2010;48(2):164-70.
27. Muris P, Merckelbach H, de Jong P, Ollendick TH. The etiology of specific fears and phobias in children: a critique of the non-associative account. *Behav Res Ther*. 2002;40(2):185-95.

28. Barlow DH. *Anxiety and its Disorders*. 2nd ed. New York: The Guildford Press; 2002.
29. Taylor S. The hierarchic structure of fears. *Behav Res Ther*. 1998;36(2):205-14.
30. Hansch D. *Angst selbst Bewältigen*. München: Knaur Verlag; 2017.
31. Brandt T, Arnold F, Bles W, Kapteyn TS. The mechanism of physiological height vertigo. I. Theoretical approach and psychophysics. *Acta Oto-Laryngologica*. 1980;89(3-6):513-23.
32. Guerraz M, Sakellari V, Burchill P, Bronstein AM. Influence of motion parallax in the control of spontaneous body sway. *Experimental Brain Research*. 2000;131:244–52.
33. Nadler JW, Angelaki DE, DeAngelis GC. A neural representation of depth from motion parallax in macaque visual cortex. *Nature*. 2008;452:642-710.
34. Coelho CM, Waters AM, Hine TJ, Wallis G. The use of virtual reality in acrophobia research and treatment. *J Anxiety Disord*. 2009;23(5):563-74.
35. Alpers GW, Adolph D. Exposure to heights in a theme park: fear, dizziness, and body sway. *J Anxiety Disord*. 2008;22(4):591-601.
36. Jacob RG, Redfern MS, Furman JM. Space and motion discomfort and abnormal balance control in patients with anxiety disorders. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2009;80(1):74-8.
37. Bandelow B, Lichte T, Rudolf S, Wiltink J, Beutel ME. The German guidelines for the treatment of anxiety disorders. *Eur Arch Psychiatry Clin Neurosci*. 2015;265(5):363-73.
38. Hofmann SG, Smits JA. Cognitive-behavioral therapy for adult anxiety disorders: a meta-analysis of randomized placebo-controlled trials. *J Clin Psychiatry*. 2008;69(4):621-32.
39. Tolin DF. Is cognitive-behavioral therapy more effective than other therapies? A meta-analytic review. *Clin Psychol Review*. 2010;30(6):710-20.
40. Cook JM, Biyanova T, Elhai J, Schnurr PP, Coyne JC. What do psychotherapists really do in practice? An Internet study of over 2,000 practitioners. *Psychotherapy (Chic)*. 2010;47(2):260-7.
41. Roth C, Siegl J, Aufdermauer N, Reinecker H. Therapie von Angst- und Zwangspatienten in der verhaltenstherapeutischen Praxis. *Verhaltenstherapie*. 2004;14(1):16-21.
42. Foa EB, Kozak MJ. Emotional processing of fear: exposure to corrective information. *Psychol Bull*. 1986;99(1):20-35.

43. Lang T, Helbig-Lang S, Westphal D, Gloster AT, Wittchen HU. Expositionsbasierte Therapie der Panikstörung mit Agoraphobie : ein Behandlungsmanual. Göttingen: Hogrefe; 2012.
44. Craske MG, Kircanski K, Zelikowsky M, Mystkowski J, Chowdhury N, Baker A. Optimizing inhibitory learning during exposure therapy. *Behav Res Ther.* 2008;46(1):5-27.
45. Craske MG, Treanor M, Conway CC, Zbozinek T, Vervliet B. Maximizing exposure therapy: an inhibitory learning approach. (1873-622X (Electronic)).
46. Garcia-Palacios A, Hoffman HG, See SK, Tsai A, Botella C. Redefining therapeutic success with virtual reality exposure therapy. *Cyberpsychol Behav.* 2001;4(3):341-8.
47. Burns LE. The epidemiology of fears and phobias in general practice. *J Int Med Res.* 1980;8 Suppl 3:1-7.
48. Eichenberg C, Wolters C. Virtual Realities in the Treatment of Mental Disorders: A Review of the Current State of Research. 2012:35-64.
49. Renner V, Witthöft M, Hardt J, Conrad R, Petrowski K. Potential fearful situations in virtual reality – A pilot study assessing the effects of exposure in virtual reality and in vivo on anxious healthy participants in narrow rooms. *Journal of Behavioral and Cognitive Therapy.* 2024;34(3):100500.
50. Cygankiewicz I, Zareba W. Heart rate variability. *Handb Clin Neurol.* 2013;117:379-93.
51. Brenner B. Physiologie. 8. unveränderte Auflage ed. Pape H-C, Silbernagl S, Kurtz A, editors. Stuttgart2018.
52. Kim HG, Cheon EJ, Bai DS, Lee YH, Koo BH. Stress and Heart Rate Variability: A Meta-Analysis and Review of the Literature. *Psychiatry Investig.* 2018;15(3):235-45.
53. Rajendra Acharya U, Paul Joseph K, Kannathal N, Lim CM, Suri JS. Heart rate variability: a review. *Med Biol Eng Comput.* 2006;44(12):1031-51.
54. Sammito S, Thielmann B, Seibt R, Klusmann A, Weippert M, Böckelmann I. AWMF Leitlinie: Nutzung der Herzschlagfrequenz und der Herzfrequenzvariabilität in der Arbeitsmedizin und der Arbeitswissenschaft2014.
55. Zhang Y, Zhou B, Qiu J, Zhang L, Zou Z. Heart rate variability changes in patients with panic disorder. *J Affect Disord.* 2020;267:297-306.
56. Sammito S, Böckelmann I. Analyse der Herzfrequenzvariabilität. *Herz.* 2015;40(1):76-84.

57. Schöniger CA-O, Pyrc J, Siepmann M, Herhaus B, Petrowski K. Continuous HRV analysis of HEMS emergency physicians to specify the work load over the different working days. 2019(1432-1246 (Electronic)).
58. Karas M, Lacourciere Y, LeBlanc AR, Nadeau R, Dube B, Florescu M, et al. Effect of the renin-angiotensin system or calcium channel blockade on the circadian variation of heart rate variability, blood pressure and circulating catecholamines in hypertensive patients. *J Hypertens*. 2005;23(6):1251-60.
59. Petrowski K, Wichmann S, Siepmann T, Wintermann GB, Bornstein SR, Siepmann M. Effects of Mental Stress Induction on Heart Rate Variability in Patients with Panic Disorder. *Appl Psychophysiol Biofeedback*. 2017;42(2):85-94.
60. Castaldo R, Melillo P, Bracale U, Caserta M, Triassi M, Pecchia L. Acute mental stress assessment via short term HRV analysis in healthy adults: A systematic review with meta-analysis. *Biomedical Signal Processing and Control*. 2015;18.
61. Visnovcova Z, Mestanik M Fau - Javorka M, Javorka M Fau - Mokra D, Mokra D Fau - Gala M, Gala M Fau - Jurko A, Jurko A Fau - Calkovska A, et al. Complexity and time asymmetry of heart rate variability are altered in acute mental stress. (1361-6579 (Electronic)).
62. Steffen PR, Austin T, DeBarros A, Brown T. The Impact of Resonance Frequency Breathing on Measures of Heart Rate Variability, Blood Pressure, and Mood. *Front Public Health*. 2017;5:222.
63. Yasuma F, Hayano J. Respiratory sinus arrhythmia: why does the heartbeat synchronize with respiratory rhythm? *Chest*. 2004;125(2):683-90.
64. Sevoz-Couche C, Laborde S. Heart rate variability and slow-paced breathing: when coherence meets resonance. *Neurosci Biobehav Rev*. 2022;135:104576.
65. Berntson GG, Bigger JT, Jr., Eckberg DL, Grossman P, Kaufmann PG, Malik M, et al. Heart rate variability: origins, methods, and interpretive caveats. *Psychophysiology*. 1997;34(6):623-48.
66. Dawson MA, Hamson-Utley JJ, Hansen R, Olpin M. Examining the effectiveness of psychological strategies on physiologic markers: evidence-based suggestions for holistic care of the athlete. *J Athl Train*. 2014;49(3):331-7.
67. Dziembowska I, Izdebski P, Rasmus A, Brudny J, Grzelczak M, Cysewski P. Effects of Heart Rate Variability Biofeedback on EEG Alpha Asymmetry and Anxiety Symptoms in Male Athletes: A Pilot Study. *Appl Psychophysiol Biofeedback*. 2016;41(2):141-50.
68. Jester DJ, Rozek EK, McKelley RA. Heart rate variability biofeedback: implications for cognitive and psychiatric effects in older adults. *Aging Ment Health*. 2019;23(5):574-80.
69. Paul M, Garg K. The effect of heart rate variability biofeedback on performance psychology of basketball players. *Appl Psychophysiol Biofeedback*. 2012;37(2):131-44.

70. Mumm JLM, Pyrkosch L, Plag J, Nagel P, Petzold MB, Bischoff S, et al. Heart rate variability in patients with agoraphobia with or without panic disorder remains stable during CBT but increases following in-vivo exposure. *Journal of Anxiety Disorders*. 2019;64:16-23.
71. Fagioli S, Watanabe DK, Koenig J, Free M, Fazio RH, Vasey MW, et al. Heart Rate Variability Predicts Therapy Outcome in Anxiety Disorders: The Role of Inhibitory Learning. *Appl Psychophysiol Biofeedback*. 2025.
72. Pappens M, Schroijen M, Sütterlin S, Smets E, Van den Bergh O, Thayer JF, et al. Resting heart rate variability predicts safety learning and fear extinction in an interoceptive fear conditioning paradigm. (1932-6203 (Electronic)).
73. Battaglia SA-OX, Orsolini S, Borgomaneri S, Barbieri R, Diciotti S, di Pellegrino G. Characterizing cardiac autonomic dynamics of fear learning in humans. (1469-8986 (Electronic)).
74. Cohen DC. Comparison of self-report and overt-behavioral procedures for assessing acrophobia. *Behavior Therapy*. 1977;8(1):17-23.
75. Knössel S. Hypnosetherapie bei Höhenangst (Akrophobie) [Diplomarbeit]. Konstanz: Universität Konstanz, Sozialwissenschaftliche Fakultät, Fachgruppe Psychologie ; 1999.
76. Baker BL, Cohen DC, Saunders JT. Self-directed desensitization for acrophobia. *Behaviour Research and Therapy*. 1973;11(1):79-89.
77. Schubert T, Friedmann F, Regenbrecht H. The Experience of Presence: Factor Analytic Insights. *Presence*. 2001;10:266-81.
78. Kennedy RS, Lane NE, Berbaum KS, Lilienthal MG. Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness. *The International Journal of Aviation Psychology*. 1993;3(3):203-20.
79. Carl E, Stein AT, Levihn-Coon A, Pogue JR, Rothbaum B, Emmelkamp P, et al. Virtual reality exposure therapy for anxiety and related disorders: A meta-analysis of randomized controlled trials. *J Anxiety Disord*. 2019;61:27-36.
80. Wechsler TF, Kumpers F, Muhlberger A. Inferiority or Even Superiority of Virtual Reality Exposure Therapy in Phobias?-A Systematic Review and Quantitative Meta-Analysis on Randomized Controlled Trials Specifically Comparing the Efficacy of Virtual Reality Exposure to Gold Standard in vivo Exposure in Agoraphobia, Specific Phobia, and Social Phobia. *Front Psychol*. 2019;10:1758.
81. Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. 2. ed. ed. Hillsdale, NJ [u.a.]: Erlbaum; 1988. XXI, 567 S. p.

82. Scheveneels S, Carpentier N. Underlying Working Mechanisms of Virtual Reality Exposure: Exploring the Role of Fearful Expectancies and Habituation. (1878-1888 (Electronic)).
83. Krijn M, Emmelkamp Pm Fau - Biemond R, Biemond R Fau - de Wilde de Ligny C, de Wilde de Ligny C Fau - Schuemie MJ, Schuemie Mj Fau - van der Mast CAPG, van der Mast CA. Treatment of acrophobia in virtual reality: the role of immersion and presence. (0005-7967 (Print)).
84. Eichenberg C, Kienzle K. Psychotherapeuten und Internet. *Psychotherapeut*. 2013;58(5):485-93.
85. Lindner P. Better, Virtually: the Past, Present, and Future of Virtual Reality Cognitive Behavior Therapy. *International Journal of Cognitive Therapy*. 2021;14(1):23-46.
86. Medizinprodukte BfAu. Invirto - Die Therapie gegen Angst [Internet]. Letzte Aktualisierung: 25.02.2025. Zitiert am 24.05.2025. URL: <https://diga.bfarm.de/de/verzeichnis/003002025>.

8 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich herzlich bei den unterschiedlichsten Menschen bedanken, die mich im Rahmen meines Promotionsvorhabens auf verschiedene Art und Weise unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt Frau Vanessa Renner, die mich als Betreuerin während der gesamten Promotionszeit mit außergewöhnlichem Engagement begleitet hat. Sie stand mir jederzeit mit fachlichem Rat zur Seite, unterstützte mich tatkräftig bei der Einarbeitung in die Studie, der statistischen Auswertung und dem Schreiben dieser Dissertation mit großer Hilfsbereitschaft. Ihre Unterstützung war für den erfolgreichen Verlauf dieses Projekts von unschätzbarem Wert.

Ebenso danke ich Frau Prof. Dr. Katja Petrowski, der Betreuerin meiner Dissertation, die dieses Promotionsvorhaben überhaupt erst ermöglicht hat. Mit ihre kontinuierliche Unterstützung durch ihr Wissen und ihre offene Kommunikation hat sie maßgeblich zur Realisierung dieser Arbeit beigetragen. Ihr Vertrauen in mein Forschungsvorhaben und ihre konstruktive Begleitung haben zur Fertigstellung dieser Arbeit maßgeblich beigetragen.

Ich möchte ebenfalls meinen Eltern danken, die durch ihre unermüdliche Unterstützung und ihren Einsatz den Weg für mein Studium und diese Promotion geebnet haben. Sie standen mir jederzeit mit Rat zur Seite und haben stets an mich geglaubt. Ihr Vertrauen in mich und ihre beständige Ermutigung haben mir in entscheidenden Momenten die nötige Sicherheit gegeben. Dafür bin ich ihnen zutiefst dankbar.

9 Lebenslauf