

Aus der Klinik und Poliklinik für Psychosomatische Medizin und Psychotherapie der
Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

*Was sind mögliche Auswirkungen einer Intervention durch eine VR-Brille in Stress-
Situationen auf die Herzratenvariabilität*

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

Vorgelegt von

Kai Torben Göbig
aus Mainz

Mainz, 2023

Wissenschaftlicher Vorstand: Univ.-Prof. Dr. Hansjörg Schild

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

2.Gutachter: Prof. Dr. Hendrik Berth

Tag der Promotion 05.Mai 2025

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	4
1. Einführung.....	5
2. Theoretische Grundlagen.....	6
2.1 Vorbemerkung Herzratenvariabilität und Physiologie.....	6
2.1.1 Das vegetative Nervensystem.....	7
2.1.2 Einflussfaktoren der Herzratenvariabilität	9
2.1.3 Herzratenvariabilitätsparameter und ihre Bedeutung.....	10
2.2 Stress	13
2.2.1 Biologischer Stress und der Trier Social Stress Test.....	13
2.2.2 Das psychologische Stressmodell	15
2.2.3 Umgang mit Stress.....	16
2.2.4 Wirkung von Entspannungsverfahren	18
2.2.5 Psychologische Effekte von Entspannungsverfahren.....	19
2.2.6 Herzratenvariabilität und psychische Belastungen	19
2.3 Virtuelle Realität	19
3. Material und Methoden.....	20
3.1 Design und Stichprobe.....	20
3.2 Ziele der vorliegenden Dissertation	21
3.3 Probandenkollektiv.....	22
3.4 Studienbeschreibung.....	24
3.5 Virtuelle Brille.....	28
3.6 Trier Social Stress Test (TSST)	29
4. Datenaufbereitung	30
4.1 EKG-Analyse und verwendetes Programm	30
4.2 Datenanalysesoftware LabChart.....	31
4.2.1 Arbeitsschritte in LabChart.....	31

4.2.2 Statistische Datenanalyse.....	34
5. Ergebnisse.....	35
5.1 RMSSD.....	35
5.2 RR-Differenz (pNN50%).....	38
5.3 Low Frequency (LF).....	41
5.4 High Frequency (HF).....	44
5.5 ELF/HF.....	46
5.6 SD1.....	49
5.7 SDNN.....	53
6. Diskussion.....	55
6.1 Material und Methode.....	56
6.1.1 Studiendesign und Probandenkollektiv.....	56
6.1.2 HRV-Messung.....	57
6.2. Betrachtung der Ergebnisse.....	57
6.2.1 Ergebnisse der Gruppen.....	57
6.2.2 Herzratenvariabilität als Nachweis für Stress.....	58
6.3 Betrachtung der Hypothesen.....	59
6.4 Klinische Implikation.....	60
6.5 Empfehlungen für weiterführende Forschung.....	60
7. Zusammenfassung.....	61
7.1 Hintergrund.....	61
7.2 Grundlagen.....	62
7.3 Zielsetzung.....	62
7.4 Methoden.....	62
7.5 Ergebnisse.....	62
7.6 Diskussion und Fazit.....	63
8. Literaturverzeichnis.....	64
Abbildungsverzeichnis.....	71

Tabellenverzeichnis	72
Danksagung	73
Lebenslauf	74

Abkürzungsverzeichnis

Abb.....	<i>Abbildung</i>
ACTH	adrenocorticotropes Hormon
BMI	<i>Body-Mass-Index</i>
bzw.....	<i>beziehungsweise</i>
COPD	Chronic Obstructive Lung Disease
EKG.....	<i>Elektrokardiogramm</i>
GSR	<i>Skin Conductance Response</i>
HF	high frequency
HFV	<i>Herzfrequenzvariabilität</i>
HMD	Head-Mounted Displays
HPA-Achse.....	Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenachse
HPT-Achse	Hypothalamus-Hypophysen-Schilddrüsen-Achse
HR	<i>Herzrate</i>
HRV.....	<i>Herzratenvariabilität</i>
Hz.....	<i>Hertz (Einheit)</i>
LF	low frequency
LF/HF	Quotient der „low frequency“ und der „high frequency“
ms	<i>Millisekunden</i>
MS.....	<i>Multiple Sklerose</i>
NN50	Anzahl der RR-Intervalle, die eine Abweichung von mehr als 50ms aufweisen
Nr.	<i>Nummer</i>
PTBS	posttraumatische Belastungsstörungen
RAAS	Renin-Angiotension-Aldosteronsystem
RMSSD	Root Mean Square of successive Differences
RR-Intervalle	<i>Abstand zwischen zwei R-Zacken</i>
RSA.....	Respiratorische Sinusarrhythmie
SAM-Achse	sympathisch-adrenalmeduläre Achse
SD1	Standardabweichung der Punktabstände zum Querdurchmesser
SDNN	Standard deviation of NN intervals
TSST	Trier Social Stress Test
Veg.....	<i>vegetativ</i>
VR	<i>virtuelle Realität</i>
VRET.....	Virtual Reality Exposure Therapy

1. Einführung

Die medizinische Wissenschaft beschäftigt sich seit geraumer Zeit mit „Virtual-Reality-Exposure-Therapy“ (VRET). Dabei handelt es sich um eine Immersionstherapie, bei der spezielle, am Kopf befestigte visuelle Ausgabegeräte, so genannte „Head-Mounted Displays“ (HMD), genutzt werden, um psychologische Erkrankungen zu behandeln. Nicht zuletzt der rasante technologische Fortschritt in der Entwicklung von HMDs hat den Markt für eine immer größere Zielgruppe geöffnet (Tsai et al. 2018).

Einige Programme, hier vor allem Applikationen, versprechen gesundheitliche Vorteile, ohne wissenschaftlich bewiesen zu sein. Bisher wurden hauptsächlich Patientengruppen untersucht, wobei Virtual Reality angewendet wurde, so bereits 1995 in Bezug auf die Wirksamkeit von VRET bei Angststörungen, insbesondere bei posttraumatischen Belastungsstörungen (PTBS) (Altenhofer 2021). Wissenschaftlich fundierte Daten zu gesunden Probanden, die HMDs mit virtuellen Umgebungen verwenden, wurden in der empirischen Forschung weitgehend nicht erhoben. (Altenhofer 2021; Riches et al. 2021). Unerforschte Gebiete sind mögliche Anpassungsprozesse auf neurologischer Ebene, sowie ein möglicher gesundheitlicher Nutzen eines wiederholt dargebotenen immersiven visuellen Reizes (Altenhofer 2021). Ziel ist es daher, die Auswirkungen eines standardisierten wiederholten VR-Entspannungstrainings auf die Stressreaktivität und Entspannung bei gesunden Erwachsenen zu untersuchen, um ein effektives Stressresilienztraining zu fördern.

Genauer soll diese Dissertation einen Zusammenhang zwischen der Herzratenvariabilität als Parameter für Stress und einer Intervention mit einer Virtual-Reality-Brille gesteuerten Applikation darstellen. In Kapitel 2 werden die Grundlagen der Herzratenvariabilität veranschaulicht, außerdem Stress und deren Beziehung sowie das Verhältnis zur virtuellen Realität eingeführt. Im Kapitel 3 werden Material und Methoden, sowie die Ziele der vorliegenden Dissertation und der Eigenanteil dieser Arbeit beschrieben. Kapitel 4 behandelt die Datenaufbereitung. Ergebnisse und die graphische Darstellung von diesen werden in Kapitel 5 dargestellt. Im Kapitel 6 folgt die Interpretation und Auswertung, woran sich eine Diskussion anschließt.

2. Theoretische Grundlagen

2.1 Vorbemerkung Herzratenvariabilität und Physiologie

Zu jeder Zeit werden Informationen über das innere Milieu des Körpers an das Gehirn gesendet (Eller-Berndl 2015, 17). Dies geschieht über zahlreiche komplexe Vorgänge, die schließlich auch als parasympathische und sympathische Efferenz an das Herz weitergeleitet werden (Eller-Berndl 2015, 17). Die Schrittmacheraktivitäten der Sinusknotenzellen werden stark durch das autonome Nervensystem beeinflusst, was sich auf die Herzfrequenz auswirkt (Eller-Berndl 2015, 17). Dabei erreicht der Sympathikus das ganze Herz und wirkt positiv inotrop, chronotrop und dromotrop, der Parasympathikus erreicht dagegen nur Vorhöfe (Huppelsberg und Walter 2013, 253). Durch die Messung der Herzfrequenzvariabilität (HFV) oder Herzratenvariabilität (heart rate variability, HRV) kann diese Beeinflussung kenntlich gemacht werden (Eller-Berndl 2015, 17). Die Messung der Herzfrequenz, genauer die zeitliche Auflösung der RR-Intervalle im EKG, stehen hier im Vordergrund und spiegeln die Variabilität des Herzens wider (Eller-Berndl 2015; Böckelmann und Sammito 2020, 30). Die HRV nimmt in parasympathisch dominierenden Situationen zu und in sympathisch dominierenden Situationen ab. Die starke Variabilität des Herzschlags ist als Zeichen einer guten Physiologie bzw. einer guten Anpassung des Organismus an seine eigene Regulation zu werten (Böckelmann und Sammito 2020, 30). „Würde die Herzfrequenz von Zyklus zu Zyklus unverändert bleiben, wäre die Arbeit des Herzens so stetig wie ein Pendel. Dabei würde es sich aber um einen völlig unphysiologischen Zustand (...) handeln“ (Eller-Berndl 2015, 14). Die HRV und somit auch die Herzfrequenz stellen daher Parameter dar, die im Verlauf zahlreicher Veränderungen unterliegen (Eller-Berndl 2015, 17). Der Zusammenhang von HRV-Messungen und dem vegetativ autonomen Nervensystem wurde bereits in zahlreichen Studien nachgewiesen (Eller-Berndl 2015, 18).



Abbildung 1: RR-Abstand

(Quelle: Eigene Darstellung)

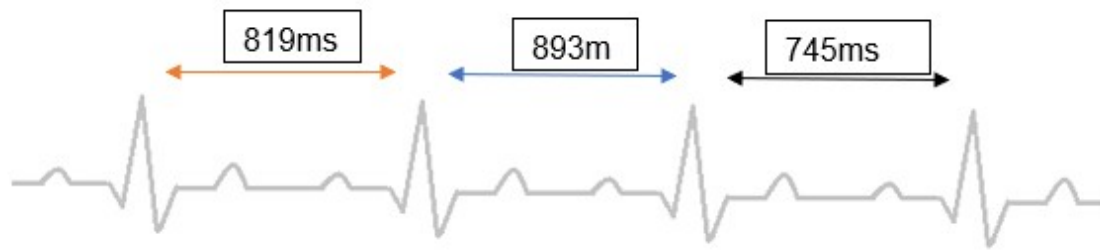


Abbildung 2: Herzratenvariabilität

(Quelle: Eigene Darstellung)

2.1.1 Das vegetative Nervensystem

Das autonome oder vegetative Nervensystem, ist ein Kommunikationssystem zum Austausch und zur Anpassung von Informationen zwischen einzelnen Organen des Körpers (Pape et al. 2018, 865). Dieses System regelt unter anderem lebenswichtige Funktionen wie die Atmung, die Einstellung des Kreislaufs, die Regulation der Verdauung und des Stoffwechsels sowie die Steuerung von Drüsenfunktionen und die Feinabstimmung der Körpertemperatur (Pape et al. 2018, 865). Im Gegensatz zum somatischen Nervensystem lässt sich das autonome Nervensystem nur sehr rudimentär willkürlich kontrollieren, weswegen es als autonom bezeichnet wird (Pape et al. 2018, 865).

Man unterscheidet zwischen sympathischem, parasympathischem und enterischem Nervensystem. Zur besseren Darstellung und zur Vereinfachung dieses komplexen Themas wurde dieses etablierte Konzept gewählt. Die Aktivität des autonomen Nervensystems wird als Hauptbestandteil der emotionalen Reaktion angesehen (Kreibig 2010).

Der Sympathikus passt durch gesteigerte Herzfrequenz, Puls, Herzkontraktilität, Dilatation der Bronchien und Hemmung der Darmaktivität den Organismus an den Bedarf einer gesteigerten Leistung an (Aumüller und Wurzinger 2010, 179). Es wird eine ergotrope Wirkung ausgeübt, die Neurotransmitter Acetylcholin und Noradrenalin spielen hierbei eine starke Rolle (Huppelsberg und Walter 2013, 249). Bei belastenden, stressigen oder angsterzeugenden Reaktionen wird eine Aktivierung des Körpers erreicht und gleichzeitig die Leistungsbereitschaft erhöht (Huppelsberg und Walter 2013, 249). Der Parasympathikus hat eine gegensätzliche, trophotrope Wirkung auf den Organismus. So verlangsamt er die Herzfrequenz, kontrahiert die Bronchien und steigert die Darmaktivität (Aumüller und Wurzinger 2010, 179). Der Parasympathikus dient der Erholung und Regeneration des Körpers (Huppelsberg und Walter 2013, 249). Eine

Regulation findet unter anderem über den Nervus Vagus (10. Hirnnerv) statt (Huppelsberg und Walter 2013, 249f; Pape et al. 2018, 865). Eine Aktivierung des Parasympathikus findet in Phasen der Ruhe und Erholung statt und wird über den Neurotransmitter Acetylcholin in seiner Wirkung reguliert (Huppelsberg und Walter 2013, 250f). Wenn sich sowohl der Sympathikus als auch der Parasympathikus im Gleichgewicht befinden, hat dies einen positiven Einfluss auf den menschlichen Körper. Dagegen kann dazu führen, wenn es zu außergewöhnlich stressigen Situationen kommt, dass Sympathikus und Parasympathikus gleichzeitig aktiviert werden, was beispielsweise einen nicht willkürlichen Stuhl- und Harnabgang bedingt (Aumüller und Wurzinger 2010, 179). Das autonome Nervensystem lässt sich nicht nur in seiner Funktion beschreiben, sondern auch anatomisch.

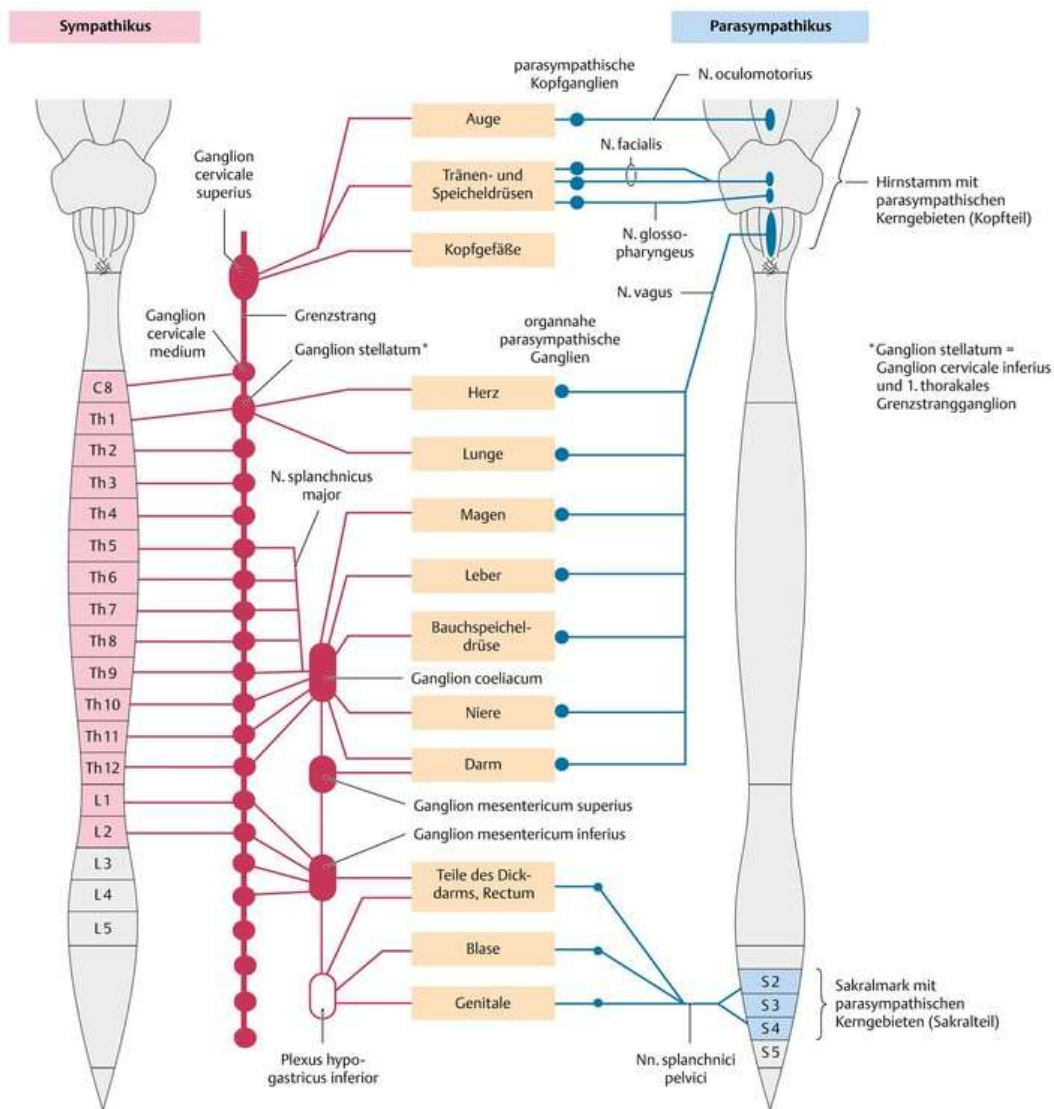


Abbildung 3: Aufbau des vegetativen Nervensystems

(Schünke et al. 2022, 296) (Aumüller und Wurzinger 2010, 180)

2.1.2 Einflussfaktoren der Herzratenvariabilität

Die Herzfrequenz und die Herzratenvariabilität sind keinesfalls als komplett autonom zu verstehen, vielmehr haben zahlreiche Faktoren einen starken Einfluss auf diese Parameter (Sammito 2021; Böckelmann und Sammito 2020, 274). Im Folgenden lassen sich diese Einflussfaktoren in vier Kategorien einordnen (Sammito 2021; Böckelmann und Sammito 2020, 274).

1. **Unbeeinflussbare physiologische Faktoren** – Genetik, Geschlecht, Lebensalter, zirkadianer Rhythmus (Böckelmann und Sammito 2020, 274)
2. **Krankheiten** – Angststörungen, chronische Niereninsuffizienz, COPD, PTBS, ... (Böckelmann und Sammito 2020, 274)
3. **Beeinflussbare Lebensstilfaktoren** – Alkoholismus, Rauchen, Fitness, Körpergewicht, ... (Böckelmann und Sammito 2020, 274)
4. **Äußere Faktoren** – Atmung, Temperatur, Schichtarbeit, ... (Böckelmann und Sammito 2020, 274)

Die Einteilung in vier Kategorien ist nicht als abschließend zu betrachten. Für zahlreiche Erkrankungen liegt derzeit keine ausreichende Evidenz dafür vor, ob sie einen Einfluss auf die HRV und ihre Parameter haben (Böckelmann und Sammito 2020, 23). Im Folgenden wird auf die wichtigsten Einflussfaktoren genauer eingegangen.

Geschlecht als Einflussfaktor

Einen großen Einfluss auf die Herzratenvariabilität hat der so genannte Gender-Unterschied (Eller-Berndl 2015, 148) bedingt durch die unterschiedliche hormonelle Ausstattung der Geschlechter (Eller-Berndl 2015, 148). So wurde in einer Meta-Analyse (Koenig und Thayer 2016) gezeigt, dass Frauen im Vergleich zu Männern eine höhere mittlere Herzfrequenz (kleinere RR-Intervalle) und niedrigere SDNN- und SDNN-Indexwerte generierten (Koenig und Thayer 2016). Besonders signifikant zeigt sich der Gendereffekt bei HRV-Kurzzeitmessungen (Woo und Kim 2015). In Anbetracht dieser Tatsache ist es sehr wichtig, die geschlechtsspezifischen Unterschiede zu berücksichtigen.

Lebensalter als Einflussfaktor

Ein weiterer Einflussfaktor auf die Herzratenvariabilität und die verschiedenen Parameter ist das Lebensalter. So postulierten 2010 Frenzel und Schlegel: „Es besteht eine signifikante, negative Alterskorrelation, die sich am besten als eine quadratische Funktion beschreiben lässt“ (Fenzl 2010, 1).

2.1.3 Herzratenvariabilitätsparameter und ihre Bedeutung

Die Herzfrequenz und die Herzratenvariabilität lassen sich als „(...) Indikator für psychophysische Zustände des Organismus und als Indikator für Einschränkungen einer Adaptations- und Anpassungsfähigkeit für biopsychosoziale Fragestellungen einsetzen“ (Sammito 2021, 47). Auf der Grundlage der einzelnen Parameter kann eine Aussage darüber getroffen werden, ob der Sympathikus oder der Parasympathikus des autonomen vegetativen Nervensystems zum Zeitpunkt der Messung überwiegt (1996b). Als HRV-Parameter eignen sich RMSSD, LF, HF, LF/HF und SD1 (Sammito 2021, 47) (Böckelmann und Sammito 2020, 273). Diese werden in `Zeitbereich (time domain)`, `Frequenzbereich (frequency domain)` und `Phasenbereich (nonlinearer Bereich)` eingeteilt (Böckelmann und Sammito 2020, 269). Für eine Analyse der Time-Domain-Parameter werden „Intervalle der Herzaktion über die Zeit gemessen“ (Eller-Berndl 2015, 26), bei den frequenzbezogenen Parametern „werden Frequenzanalysen mittels einer mathematischen Transformation durch einen spektralen Schätzer auf Basis eines autonomen regressiven Modells“ durchgeführt (Eller-Berndl 2015, 26). Für die Analyse des nichtlinearen Bereichs (nonlineare Analyse) wird ein Poincare-Plot oder Lorenz-Plot verwendet (Eller-Berndl 2015, 42). Im Folgenden werden diese Parameter genauer erläutert.

Parameter	Definition	Veg. Nervensystem	Verfahren
RMSSD	Quadratwurzel des Mittelwerts der Summe aller quadrierten Differenzen zwischen benachbarten RR-Intervallen	Parasympathikus	Zeitbereich
NN50	Anzahl der Paare benachbarter RR-Intervalle, die mehr als 50 ms voneinander abweichen	Parasympathikus	Zeitbereich

pNN50	Prozentsatz aufeinanderfolgender RR-Intervalle, die mehr als 50 ms voneinander abweichen	Parasympathikus	Zeitbereich
SDNN	Standard deviation of NN intervals: Standardabweichung der NN-Intervalle im Messzeitbereich	Sympathikus und Parasympathikus	Zeitbereich
SD1	Standardabweichung der Punktabstände zum Querdurchmesser des Poincaré-Streudiagramms	Parasympathikus	Phasenbereich
HF	High frequency power: Leistungsdichtespektrum im Frequenzbereich von 0,15 bis 0,40 Hz	Parasympathikus	Frequenzbereich
LF	Low frequency power: Leistungsdichtespektrum im Frequenzbereich von 0,04 bis 0,15 Hz	Sympathikus und Parasympathikus, wobei der Anteil des Sympathikus überwiegt	Frequenzbereich
LF/HF	Quotient der sympatho-vagalen Balance; als Wert des Zusammenspiels von Parasympathikus (HF) und Sympathikus (LF)	Sympathikus und Parasympathikus	Frequenzbereich

Tabelle 1: HRV-Parameter

Die Tabelle wurde erstellt nach „Nutzung der Herzschlagfrequenz und der Herzfrequenzvariabilität in der Arbeitsmedizin und der Arbeitswissenschaft S2k-Leitlinie“ (Sammito 2021, 18ff).

2.1.3.1 Zeitbasierte Parameter

Zeitbasierte Parameter geben Auskunft über die Herzrate und RR-Intervalle zu den gemessenen Zeitpunkten (Lohninger 2017, 60). Parasympathikus und Sympathikus finden sich in den zeitbasierten Parametern der Herzratenvariabilität wieder (Sammito und Böckelmann 2015, 77f). Einige Parameter der HRV im Zeitbereich (RMSSD, NN50, pNN50) werden mit parasymphathischer Aktivität verbunden (Sammito und Böckelmann 2015, 78). Die anderen Parameter, die im Folgenden genauer beschrieben werden, können nicht klar zugeordnet werden – hier wird sowohl eine sympathische als auch eine parasymphathische Aktivität diskutiert (Sammito und Böckelmann 2015, 78).

RMSSD

RMSSD steht für Root Mean Square of successive Differences und ist „(...) die Quadratwurzel des Mittelwertes der Summe der quadrierten Differenz zwischen benachbarten RR-Intervallen (...)“ (Eller-Berndl 2015, 31). Dieser Parameter entspricht dem Standardmaß zur Messung parasympathischer Aktivität (Eller-Berndl 2015, 31). Je höher dieser Wert, desto eher spiegelt sich die parasympathische Aktivität darin wider (Lohninger 2017, 60).

SDNN

SDNN steht für standard deviation of NN intervals und ist die Standardabweichung aller RR-Intervalle. Dieser Wert spiegelt in seiner Gesamtheit die Aktivität des autonomen Nervensystems wider (Eller-Berndl 2015, 29). Mit steigendem Aktivitätslevel wächst auch der SDNN-Wert (Eller-Berndl 2015, 29).

NN50 oder pNN 50%

NN50 beschreibt die Anzahl der RR-Intervalle, die eine Abweichung von mehr als 50 ms aufweisen (Eller-Berndl 2015, 30). Der pNN 50% beschreibt, wie hoch der prozentuale Anteil der RR-Intervalle ist, die eine Abweichung von mehr als 50 ms aufweisen (Ewing et al. 1984). Je größer die gemessenen Werte, desto eher spiegelt dieser Wert den Einfluss des Parasympathikus wider (Eller-Berndl 2015, 31).

2.1.3.2 Frequenzbasierte Parameter

„Die Frequenzanalyse zeigt an, wie häufig das Signal in einer bestimmten Zeiteinheit auftritt bzw. wie groß der Anteil einer Frequenz an einem Signal ist“ (Lohninger 2017, 61). Somit wird eine Aussage über die Intensität und Beschaffenheit einer sich wiederkehrenden ändernden Herzschlagfrequenz getroffen (Lohninger 2017, 61).

LF („low frequency“)

Es wird im Bereich von 0,04 bis 0,15 Hz gemessen (Böckelmann und Sammito 2020, 272). Die Sympathikusaktivität wird durch diesen Parameter dargestellt, wobei auch der Parasympathikus abgebildet werden kann (Eller-Berndl 2015, 37f). Je größer der Parameter, desto deutlicher wird der Sympathikus dargestellt (Eller-Berndl 2015, 37f). Dieser Bereich kommt zum Tragen, wenn Personen Stress ausgesetzt werden (Bernardi et al. 2000).

HF („high frequency“)

Darunter wird die HRV im Bereich von 0,15 bis 0,40 Hz verstanden (Böckelmann und Sammito 2020, 272). Darin enthalten sind Schwingungen zwischen zwei und sieben Sekunden, zu beachten ist, dass in dieser Zeitspanne die sogenannte respiratorische Sinusarrhythmie fallen kann, also der durch die Atmung beeinflusste Herzschlag (Lohninger 2017, 66). Dieser Einfluss kann durch eine vorherige Taktatmung ausgeglichen werden (Brown et al. 1993). Hier zeigt sich zudem deutlich die Aktivität des Parasympathikus (Baumert et al. 1995). Je größer dieser Wert bei gleichmäßiger, ruhiger Atmung, desto ausgeprägter die Aktivität des Parasympathikus (Lohninger 2017, 66).

LF/HF

Dieser Wert ist der Quotient der low und der high frequency und spiegelt die sympathovagale Balance als Wert des Zusammenspiels von Parasympathikus (HF) und Sympathikus (LF) wider (Sammito und Böckelmann 2015, 79). Eine Erhöhung des LF/HF-Quotienten zeigt eine erhöhte sympathische, eine Erniedrigung eine gesteigerte parasympathische Aktivität an.

2.1.3.3 Phasenbereich Parameter und nichtlineare Aspekte

SD1

„Die Standardabweichung der Punktabstände zum Querdurchmesser quantifiziert die spontane (kurzzeitige) Variabilität“ (Sammito und Böckelmann 2015, 80). Zu beachten ist, dass häufig zur Quantifizierung RMSSD und SD1 verwendet wird (Ciccone et al. 2017). In der Regel wird jedoch nicht erkannt, dass RMSSD und SD1 identische Metriken der HRV sind (Ciccone et al. 2017). Die unangemessene Verwendung solcher redundanten Daten kann die Interpretation von HRV-Studien beeinträchtigen (Ciccone et al. 2017).

2.2 Stress

2.2.1 Biologischer Stress und der Trier Social Stress Test

Unter Stress wird im Alltag meist eine psychosoziale Situation verstanden, die mit einer Störung des Wohlbefindens der betroffenen Person einhergeht (Weißbuch 2006, 3). Bereits 1936 stellte Hans Selyes, der als Pionier der Stressforschung gilt, diese

Definition auf, die im Laufe der Zeit immer wieder bearbeitet wurde (Heinrichs et al. 2015, 4). Allgemein anerkannt ist, dass Stress die Reaktion einer Person auf eine Situation ist, die für dieses Individuum belastend ist (Faller und Lang 2019, 26). Ausgelöst wird dieser Stress durch einen Faktor, den so genannten Stressor (Faller und Lang 2019, 26). Die Antwort des Körpers auf diesen Stressor ist sehr inhomogen und bringt das Gleichgewicht zwischen Umwelt und Körper (Homöostase) stark durcheinander (Faller und Lang 2019, 26). Der Körper reagiert keinesfalls gleich auf die verschiedenen Stressoren und zeigt auch beim gleichen Stressor nicht immer die gleiche Reaktion (Faller und Lang 2019, 26). Allgemein wird die Störung der Homöostase in drei Phasen eingeteilt: Alarm-, Widerstands- und Erschöpfungsphase (Faller und Lang 2019, 26). In der Alarmphase wird das adrenocorticotrope Hormon (ACTH) im Rahmen der Aktivierung des sympathischen Nervensystems ausgeschüttet (Faller und Lang 2019, 26). Der Körper schüttet in dieser Phase Cortisol aus der Nebennierenrinde und Adrenalin und Noradrenalin aus dem Nebennierenmark aus. Dies hat die Widerstandsphase zur Folge, in welcher der Körper versucht, sich an die erhöhte Hormonkonzentration anzupassen (Faller und Lang 2019, 26). In der Erschöpfungsphase kann es zu einer Dekompensation bei langanhaltendem Stress kommen (Faller und Lang 2019, 26).

Aktuell geht die Wissenschaft von einer deutlich differenzierteren Reaktion des Körpers auf Stress aus. Neben den oben genannten Komponenten der allgemeinen Stressantwort, wie der Aktivierung der Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenachse (HPA-Achse) und der sympathisch-adrenalmedulären Achse (SAM-Achse) sind auch andere Hormonachsen beteiligt (Mazurek et al. 2010, 163f). So spielen das Arginin-Vasopressin-System, das Renin-Angiotensin-Aldosteron-System (RAAS), die Hypothalamus-Hypophysen-Schilddrüsen-Achse (HPT-Achse) und die Wachstumshormonachse eine entscheidende Rolle (Mazurek et al. 2010, 163f). Zusätzlich bestehen Verbindungen zum limbischen System (Mazurek et al. 2010, 163f). Durch die Entwicklung eines Tests wurden die Bedingungen erfüllt, um diese Komponenten zu beeinflussen. Die wirksame Induktion eines Stressors und die Messung der Stressreaktivität sind für die Stressforschung von großer Bedeutung.

Der Trier Social Stress Test (TSST) ist ein solches Standardverfahren zur Induktion von Stress. Er wurde 1993 von Kirschbaum, Pirke und Hellmann zum ersten Mal vorgestellt (Kirschbaum et al. 1993). Durch ein simuliertes Interview wird im Rahmen des TSST Stress beim Teilnehmer ausgelöst. Nach der Präsentation vor einer

ausgewählten Gruppe folgt ein überraschendes Kopfrechnen, ohne dem Teilnehmer Feedback oder Hilfestellung anzubieten. Dies macht den TSST zum Standard für die experimentelle Induktion von psychosozialen Stress bei gesunden Erwachsenen und zum wertvollen Instrument bei klinischen Stichproben (Hoyer und Knappe 2020, 231). Eine detaillierte Beschreibung des TSST findet sich in Kapitel 3.6.

2.2.2 Das psychologische Stressmodell

Nach dem Modell von Lazarus und Folkman aus dem Jahr 1984 empfindet eine Person eine Situation als stressig, wenn sie nicht unmittelbar mit dem herausfordernden Ereignis umgehen kann (Ernst et al. 2022). Daher kann fast jede Situation Stress auslösen (Ernst et al. 2022). Stress ist ubiquitär in unserer Umgebung zu finden und trotzdem fällt es schwer, Stress aus psychologischer Sicht zu definieren, da große Unterschiede bei seiner Wahrnehmung bestehen. Was der eine als bereichernd und herausfordernd ansieht, kann den anderen an seine Grenzen führen. In Abbildung 4 sind dieser Bewertungsprozess und der anschließende Bewältigungsprozess dargestellt.

Der Bewertungsprozess im transaktionalen Stressmodell (Lazarus und Folkman 1984; Folkman 1984) ist in zwei Phasen unterteilt:

1. Primäre Bewertung (*primary appraisal*)

Der dargebotene Reiz kann für die Person ohne Bedeutung sein, er kann positiv oder als Stress interpretiert werden. Nur wenn sich der Reiz als stressig darstellt, wird anschließend beurteilt, ob bereits ein Schaden entstanden ist, ein Schaden droht oder die Situation als Herausforderung angesehen wird (Ernst et al. 2022).

2. Sekundäre Bewertung (*secondary appraisal*)

In dieser Phase wird beurteilt, inwiefern Ressourcen genutzt werden können, um den in der primären Bewertung dargebotenen Reiz zu bewältigen. Dazu werden Erfahrungen mit ähnlichen Situationen, das eigene Selbstvertrauen, materielle Ressourcen und der soziale Hintergrund genutzt (Ernst et al. 2022). Je mehr von diesen Bewältigungsoptionen zur Verfügung stehen, desto besser ist der Umgang mit Stress.

Die primäre und sekundäre Bewertung folgen nicht, wie hier zum besseren Verständnis beschrieben, einer strikten Reihenfolge. Vielmehr ist dieser Prozess sehr individuell und wird von jeder Person auf unterschiedliche Art und Weise verarbeitet. Nach der

Bewertung folgt die Bewältigung. Unter Coping wird dieser Prozess in Kapitel 2.2.3 dargestellt. Daraufhin wird die Situation neu bewertet als entweder wenig bedrohlich, neu und gut zu bewältigende Herausforderung oder als weiterhin bestehende Bedrohung (Ernst et al. 2022). Aus dem hier beschriebenen Modell werden Methoden zur Prävention von Stress und Stressbewältigung abgeleitet.

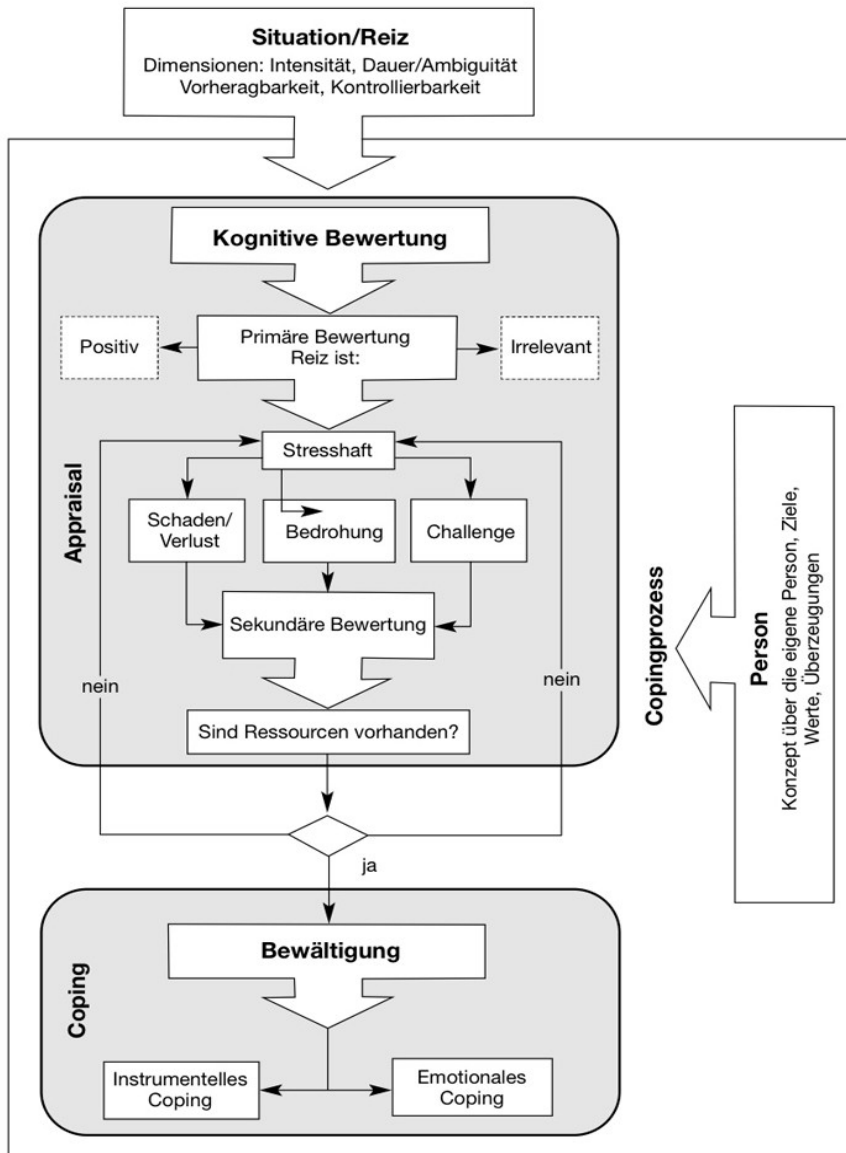


Abbildung 4: Transaktionales Stressmodell nach Lazarus (nach Franke 2012; Ernst et al. 2022)

2.2.3 Umgang mit Stress

Resilienz umfasst die menschliche Widerstandsfähigkeit gegenüber belastenden Lebensumständen. Im Zusammenhang mit psychischer Gesundheit bezieht sich

Resilienz auf einen besseren Umgang mit Problemen, Stress und Krisen (Lyssenko und Bengel 2016).

Coping gilt als protektiver Faktor der Widerstandsfähigkeit (Resilienz). Das englische *to cope* kann übersetzt werden mit „etwas schaffen, bekämpfen oder bewältigen“. Somit handelt es sich bei Coping um Bewältigungsstrategien. Sie bestehen aus verschiedenen Aspekten, um belastenden oder stressigen Situationen zu begegnen, die auf fünf Ebenen unterschieden werden können (Klauer 2012, 271).

Ebene 1: Stimuluskontrolle

Ebene 2: problemzentrierte (instrumentelle) Bewältigung

Ebene 3: kognitive Neueinschätzung

Ebene 4: emotionszentrierte (palliative) Bewältigung

Ebene 5: Mobilisierung sozialer Unterstützung

Ebene 1 der Situations- bzw. Stressorkontrolle hat zum Ziel, die Exposition von Stress zu reduzieren und so von Beginn an das Problem zu lösen. Hier spielen Priorisierung von Anforderungen und individuelles Zeitmanagement eine entscheidende Rolle (Klauer 2012, 272).

Auf Ebene 2, die oft als Königsweg der Stressbewältigung angesehen wird, soll das auslösende Problem beseitigt werden (Klauer 2012, 272). Oft wird das auslösende Ereignis mit Hilfe eines Kompromisses bewältigt.

Ebene 3 geht allgemein davon aus, dass Stress, wie im transaktionalen Stressmodell nach Lazarus (Ernst et al. 2022) beschrieben, im Gehirn entsteht und dort auch verändert werden kann. Zur Umstrukturierung stehen Techniken der kognitiven Verhaltensmodifikation im Fokus (Klauer 2012, 273).

Ebene 4 wird in kurzfristige und langfristige Bewältigungsstrategien unterteilt. Damit wird das Ziel verfolgt, den Einfluss auf Emotionen wie Angst, Erregung und Anspannung zu reduzieren. Kurzfristig werden hier vor allem Medikamente und körperliche Aktivität eingesetzt (Klauer 2012, 274). Langfristig werden sportliche Aktivität und Freizeitbeschäftigungen als zielführend beschrieben (Klauer 2012, 274).

Ebene 5 enthält die Mobilisierung des sozialen Umfelds wie Freunde und Angehörige. Durch deren Einbeziehen wird eine stark schützende Komponente für die individuelle Gesundheit hinzugewonnen (Klauer 2012, 274). Zu beachten ist, dass es keinen

individuellen Standard zur Bewältigung der belastenden Situation gibt. So ist weder die instrumentelle oder emotionale noch die regenerative Copingstrategie zu bevorzugen (Kaluzka 2018, 67). Vielmehr sind das Zusammenspiel aller Strategien und die individuelle persönliche Strategie für die Belastungsbewältigung ausschlaggebend (Kaluzka 2018, 67). Copingversuche sind dabei keinesfalls als nur nützlich anzusehen. So kann beispielsweise Alkohol-, Medikamenten- oder Drogenkonsum selbst zu Stress oder Krankheit führen. Je mehr unterschiedliche Bewältigungsstrategien einer Person zu Verfügung stehen, desto erfolgreicher die Bewältigung und somit die Erhöhung eines gesundheitlichen Vorteils (Ernst et al. 2022).

2.2.4 Wirkung von Entspannungsverfahren

Entspannung ist ein Zustand der Gelassenheit, um Körper und Geist von Spannungen zu befreien (Klainin-Yobas et al. 2015). Entspannungsverfahren gelten als Grundlagen im medizinischen, klinisch-psychologischen und psychotherapeutischen Umfeld (Bengel und Mittag 2016, 174). Systematische Übersichtsarbeiten konnten aufzeigen, dass Entspannungstechniken kostengünstig, sicher und leicht anzuwendende Elemente in der Stressbewältigung sind (Li et al. 2020). Folgende Kategorien von Entspannungsverfahren, die allesamt eine Reaktion von Entspannung herbeiführen, können unterschieden werden: Hypnose, autogenes Training, Meditationsverfahren, progressive Muskelentspannung, imaginative Verfahren und Biofeedback (Bengel und Mittag 2016, 174f). Entspannungsverfahren dienen dazu, das Arousalniveau zu reduzieren, das heißt den allgemeinen Grad der Aktivierung des zentralen Nervensystems zu beeinflussen (Hoyer und Knappe 2020, 271). Die herbeigeführte Entspannung vollzieht sich auf körperlicher, emotionaler und kognitiver Ebene (Hoyer und Knappe 2020, 271). Einflüsse werden somit auf das kardiovaskuläre System, die Motorik und die Stimmung einer Person beobachtet (Schneider und Margraf 2009, 245). Zu unterscheiden sind kurzfristige Effekte und solche mit langfristiger Auswirkung. Während eines Entspannungsverfahrens ist mit einem Effekt auf einer oder mehreren Ebenen zu rechnen, wohingegen langfristige Effekte erst durch regelmäßiges Anwenden von Entspannungsverfahren zustande kommen (Hoyer und Knappe 2020, 271). Das fehlende Ansprechen dieser Art von Intervention ist häufig auf die unzureichende Anzahl von Übungen und fehlerhafte Integration in den Alltag zurückzuführen (Hoyer und Knappe 2020, 271).

Emotion	Kognition	Verhalten
Reduzierung der inneren Erregung und Anspannung	Förderung der Konzentration, Verarbeitung von Informationen und Gedächtnisprozessen	Senken des Arousalniveaus

Tabelle 2: Veränderungen nach Entspannungsverfahren

(nach Schneider und Margraf 2009, 245)

2.2.5 Psychologische Effekte von Entspannungsverfahren

Neben den oben genannten Prozessen haben Entspannungsverfahren zahlreiche Auswirkungen auf die Psyche. Kontinuierliche Übung zieht Verbesserungen nach sich und hat einen positiven Einfluss auf körperliche Reaktionen (Hoyer und Knappe 2020, 721). Zudem fördert ein geeignetes Entspannungsverfahren die Entwicklung von Strategien zur Kontrolle von körperlichen und psychischen Vorgängen (Hoyer und Knappe 2020, 721). Ebenso wird der Körper sensibler und imaginative Entwicklungen werden individuell gefördert (Hoyer und Knappe 2020, 721).

2.2.6 Herzratenvariabilität und psychische Belastungen

Durch die Herzratenvariabilitätsmessung wird eine Veränderung der psychischen Belastung dargestellt (Lohninger 2017, 194). Vor allem die Parameter RMSSD, LF und HF spiegeln die psychischen Zustände wider (Lohninger 2017, 194). Anhand des LF-Bereichs können Aussagen zur kognitiven und mentalen Beanspruchung getroffen werden. Der RMSSD als Repräsentant für den Parasympathikus ist ein Zeichen für Ermüdung, ein reduzierter Parasympathikus deutet auf mentalen Stress (Lohninger 2017, 194). Die erhöhte sympathische Aktivität lässt auf Anspannung schließen (Lohninger 2017, 195).

2.3 Virtuelle Realität

Virtuelle Realität ist nicht eindeutig definiert. Meist wird sie als eine künstliche Erfahrung zur Erzeugung eines Gefühls von Anwesenheit bezeichnet (Steuer 1992). Virtuelle Realität erzeugt eine Anregung der Wahrnehmung beziehungsweise deren Stimulation (Altenhofer 2021), wobei der Nutzer in die künstlich erzeugte Realität eingebettet wird (Immersion). Wenn die virtuelle Realität möglichst realistisch dargestellt wird, ist es möglich, eine Illusion zu schaffen, die der Nutzer neurobiologisch als tatsächliches

Geschehen wahrnimmt (Altenhofer 2021; Chicchi Giglioli et al. 2017). Die aktuelle Fachliteratur lässt vermuten, dass Darstellungen von virtuellen Naturkulissen einen stressreduzierenden Effekt haben (Altenhofer 2021, 5; Annerstedt et al. 2013). So können mit der Virtual Reality Exposure Therapy (VRET) bereits psychotherapeutisch belastende negative Einflüsse verbessert werden, ohne jedoch genau den Hintergrund dieses Effekts zu verstehen (Altenhofer 2021). Ursprüngliche Verfahren zur Anregung der Wahrnehmung, die hauptsächlich auf Vorstellungen des Nutzers basieren, sind eben davon abhängig (Altenhofer 2021). Um diesen störenden Einfluss zu minimieren, bedient man sich der virtuellen Realität (Altenhofer 2021). Zudem werden virtuelle Aufgaben als interessanter und angenehmer empfunden als traditionell verwendete Verfahren (Laver et al. 2017). Dies spiegelt sich in einer großen Compliance bei der Anwendung wider (Laver et al. 2017). Wenn vom Gebrauch der virtuellen Realität als Instrument in der Forschung die Rede ist, bezieht sich dies in der Regel auf immersive und interaktive Head-Mounted-Display (HMD)-Technologie. So genannte „Head-Mounted Displays“ (HMD) bieten im Vergleich zur VR auf einem herkömmlichen Computerbildschirm oder Tablet ein verstärktes Gefühl des Eintauchens in die virtuelle Realität (Juliano et al. 2020; Ventura et al. 2019). Es gibt nicht viele empirische psychophysiologische Daten über gesunde Personen, die Head-Mounted Devices (HMDv) für virtuelle Umgebungen einsetzen, den möglichen Anpassungsprozess der wiederholten Anwendung, die neurologischen Auswirkungen dieses immersiven visuellen Reizes oder gesundheitsfördernde Wirkungen von VR-Interventionen (Altenhofer 2021). Zudem zeigt der rasche technologische Fortschritt in der Entwicklung von HMD den enormen Bedarf an weiterführender Forschung zum Nutzen dieser Geräte (Cipresso et al. 2018).

3. Material und Methoden

3.1 Design und Stichprobe

Die vorliegende Studie ist eine Pilotstudie, basierend auf einem quasi-experimentellen Forschungsdesign.

Der praktische Teil der Studie fand in Räumlichkeiten der Johannes Gutenberg-Universität Mainz (Medizinische Psychologie und Medizinische Soziologie) statt. Die Studie wurde bei der Ethikkommission beantragt und genehmigt. Folgender Ablauf war Teil der wissenschaftlichen Arbeit: Untersucht wurde der emotionale und physische

Stress von gesunden männlichen Probanden im Rahmen eines TSST. Die Studie beabsichtigte, durch virtuelle Realität diesen erzeugten Stress nachweislich zu reduzieren. Ein Teil der Probanden wurde nur dem TSST, ein weiterer Teil sowohl dem TSST als auch der virtuellen Realität ausgesetzt. Gemessen wurden die Herzfrequenz durch ein EKG und die Cortisolwerte durch Speichelproben, da anzunehmen ist, dass in stressigen Situationen diese Parameter erhöht sind. Der Fokus der vorliegenden Dissertation liegt auf der Auswertung und der Interpretation der Herzratenvariabilität.

3.2 Ziele der vorliegenden Dissertation

Es wird erwartet, dass die Probanden durch den VR-Entspannungszustand höhere HRV-Werte und eine signifikant geringere Stressreaktivität entwickeln als die Probanden, die nur eine Stressbelastung bekommen. Auf der Baseline, die beide Bedingungen vergleicht, sollte kein Unterschied gefunden werden.

Ziel dieser Dissertation ist es einen möglichen Effekt einer wiederholten standardisierten VR-Exposition auf das Stresslevel von Probanden zu untersuchen. Dabei liegt der Schwerpunkt auf der Untersuchung von gesunden Erwachsenen. Als Messgröße dienen die Herzratenvariabilität und ihre verschiedenen Parameter, welche mittels Elektrokardiogramm (EKG) bestimmt werden. Ein möglicher stressreduzierender Effekt auf die Reaktivität und Entspannung könnte dazu genutzt werden Stressresilienztraining zu unterstützen und auszubauen.

Daraus ergibt sich folgende Fragestellung:

Lässt sich induzierter Stress bei gesunden Probanden mittels HRV-Parametern nachweisen und lässt sich dieser Stress möglicherweise durch eine geeignete virtuelle Intervention reduzieren?

Folgende Hypothesen werden aufgestellt:

Hypothese 1: Induzierter Stress lässt sich bei gesunden Probanden mittels HRV-Parameter nachweisen.

Hypothese 2: Induzierter Stress lässt sich durch geeignete virtuelle Intervention reduzieren.

Eigenanteil der Arbeit

Der Eigenanteil dieser Arbeit zur Beantwortung der zentralen Frage umfasst zahlreiche Schritte. Zu sieben Zeitpunkten wurden abgeleitete EKGs der teilnehmenden Probanden im Programm LabChart ausgewertet und auf dieser Basis HRV-Parameter ermittelt. Der **Schwerpunkt** lag auf den **Sitzungen 1, 2, 8 und 9**, sowohl bei der Kontroll- als auch bei der Interventionsgruppe. Die Ergebnisse wurden in Tabellen zusammengefasst. Statistisch ausgewertet wurde unter Anleitung von Mitarbeitern des Instituts für Medizinische Psychologie und Medizinische Soziologie der Johannes Gutenberg-Universität Mainz mit dem Programm Jamovi. Anschließend wurden die Ergebnisse zusammengetragen, bewertet und diskutiert.

3.3 Probandenkollektiv

Gesunde männliche Teilnehmer aus Deutschland wurden über Anzeigen in einem Zeitraum von 2019 bis 2022 an der Universität Mainz und der Uniklinik Mainz rekrutiert. Insgesamt sechzig Personen erfüllten die folgenden telefonisch abgefragten Vorabscreening-Kriterien: BMI zwischen 19 und 27 kg/m², Alter zwischen achtzehn und dreißig Jahren, keine akuten oder chronischen somatischen oder psychiatrischen Erkrankungen, keine regelmäßige Einnahme von Medikamenten, keine psychotherapeutische Behandlung in den letzten zwölf Monaten und bei Rauchern nicht mehr als neun Zigaretten pro Tag. Die Teilnehmer wurden gebeten, mindestens zwölf Stunden vor dem Test auf körperliche Betätigung und den Konsum alkoholischer Getränke zu verzichten. Innerhalb der letzten zwei Stunden vor dem Test sollte außer Wasser nichts mehr zu sich genommen werden. Für diese Pilotuntersuchung wurde eine rein männliche Stichprobe getestet, um geschlechtsabhängige Variationen der Stressreaktionen der HPA-Achse aufgrund der Auswirkungen hormoneller Parameter zu vermeiden (Eller-Berndl 2015, 148; Antelmi et al. 2004). Für die statistische Power-Analyse wurde G*Power Version 3.1.9.7 verwendet. Die Gesamtstichprobengröße wurde mit G*Power auf eine Probandengröße von mindestens 36, für eine Varianzanalyse mit wiederholten Messungen mit einer Effektgröße von .25 und einem α -Fehler von .05 geschätzt. Das Studienprotokoll wurde von der Ethikkommission der Landesärztekammer Rheinland-Pfalz, Deutschland (2019-14433) und in Übereinstimmung mit der Erklärung von Helsinki (1964) (Wiesing und Parsa-Parsi 2014) genehmigt. Vor der Studie wurden alle Teilnehmer über das Verfahren ausführlich informiert und sie gaben eine schriftliche Einverständniserklärung ab.

Einschlusskriterien

Die Versuchspersonen mussten sich in einem guten körperlichen und geistigen Gesundheitszustand befinden. Die Beherrschung der deutschen Sprache war ein wichtiges Einschlusskriterium, um den Ablauf des TSST nicht zu verfälschen. Die Probanden waren angehalten, in der Zeit der laufenden Studie keinen Alkohol zu sich zunehmen. Medikamente wie Psychopharmaka sollten nicht eingenommen werden.

Ausschlusskriterien

Zu den Ausschlusskriterien und zu den abgefragten Eigenschaften zählten die folgenden Erkrankungen und Gegebenheiten, wobei die mit einem Stern (*) markierten zu den relativen Ausschlusskriterien zählten:

(Geplante) Impfungen* (nicht kurz vor Beginn und während der Studie)
Erfahrung mit Stressforschung* / Studienteilnahme im Bereich Stress* (falls TSST bekannt, war dies ein Ausschlusskriterium)
Erfahrung mit gespieltem Bewerbungsgespräch* (falls TSST bekannt, war dies ein Ausschlusskriterium)
Allergien* (Heuschnupfen war kein Ausschlusskriterium, wenn Dauermedikation und Testung nicht in Saison stattfand)
Eine Sehschwäche*, die eine Behinderung für das Nutzen einer virtuellen Realitätsbrille darstellt, war ein Ausschlusskriterium, Kontaktlinsen waren kein Ausschlusskriterium.
Erfahrungen mit Entspannungsverfahren* (z. B. autogenes Training, progressive Muskelentspannung o. a.)
Erfahrungen mit Virtual Reality*
Ein BMI von über 27 (BMI = Körpergewicht : (Körpergröße) ²)
Eine aktuelle Covid-19-Infektion oder ein Aufenthalt in einem Corona-Risikogebiet
Skelett- oder Muskelerkrankung
Stoffwechselerkrankung (Diabetes, Hypercholesterinämie etc.)
Chronische Erkrankung des Verdauungstrakts (Magen, Darm etc.)
Lungen- und Atemwegserkrankungen (Lungenentzündung, Asthma, Bronchitis etc.)
Lebererkrankung (Hepatitis, Gelbsucht, Leberverfettung)
Nieren-, Harnwegserkrankung

Kreislauf- und Gefäßerkrankungen (Durchblutungsstörung, Bluthochdruck)
Herzerkrankungen (Herzfehler, Angina Pectoris, Herzinsuffizienz etc.)
Infektionskrankheiten (HIV, Hepatiden, Nierenentzündung etc.)
Chronische Autoimmunerkrankungen (Rheuma, Neurodermitis, Schilddrüsenerkrankungen, MS etc.)
Rauchen von über neun Zigaretten pro Tag

Tabelle 3: Ausschlusskriterien

(Quelle: Eigene Darstellung)

Abgefragt wurden die Einschluss- und Ausschlusskriterien in einem telefonischen Interview ca. zwei bis drei Wochen vor der eigentlichen Studie.

3.4 Studienbeschreibung

Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf die Auswertung und Interpretation der Herzratenvariabilität. Die sechzig Probanden wurden zufällig in zwei Gruppen aufgeteilt. Für die Interventionsgruppe (Gruppe mit virtueller Intervention mit dreißig Probanden) wurden neun Testtage innerhalb eines standardisierten Zeitraums von sieben Wochen anberaumt. Mehrere Tests wurden an den ersten zwei Testtagen und an den letzten zwei Testtagen vorgenommen, mit einem Zeitaufwand von jeweils ca. 120 Minuten. Die fünf Trainingseinheiten dazwischen dauerten ca. 30 Minuten und sahen einen auf das Institut zugeschnittenen „Entspannungsfilm“ durch eine virtuelle Realitätsbrille vor, um eine Reduktion des durch den TSST induzierten Stresses zu erzielen. Während der Untersuchung waren folgende Tests zu diagnostischen Zwecken vorgesehen:

- Mentale Belastungs- und/oder Entspannungssituation (Virtual Reality)
- Messung der Herzratenvariabilität (HRV)
- Messung der Hautleitfähigkeit (GSR) und Körpertemperatur
- Speichel-Kortisol-Test
- Psychologische Selbstbeurteilung durch Fragebögen

Der Ablauf wird in Abbildung 5 dargestellt:

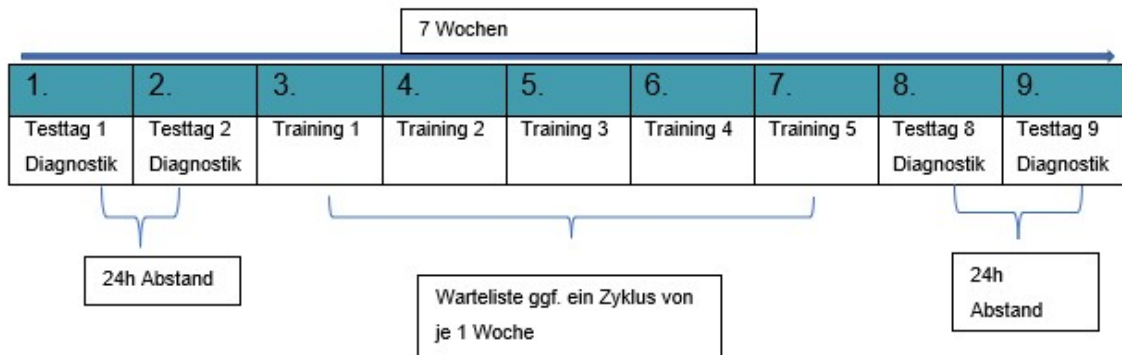


Abbildung 5: Ablauf Interventionsgruppe

(Quelle: Eigene Darstellung)

Für die Kontrollgruppe (dreißig Personen) wurden vier Testtage angesetzt, wobei Tag 1 und 2 sowie Tag 8 und 9 zum selben Zeitpunkt im Abstand von sieben Wochen stattfand wie bei der Interventionsgruppe. Den Probanden der Kontrollgruppe (ohne virtuelle Intervention) wurde der „Entspannungsfilm“ nicht gezeigt.

Der Ablauf der Kontrollgruppe geht aus Abbildung 6 hervor:

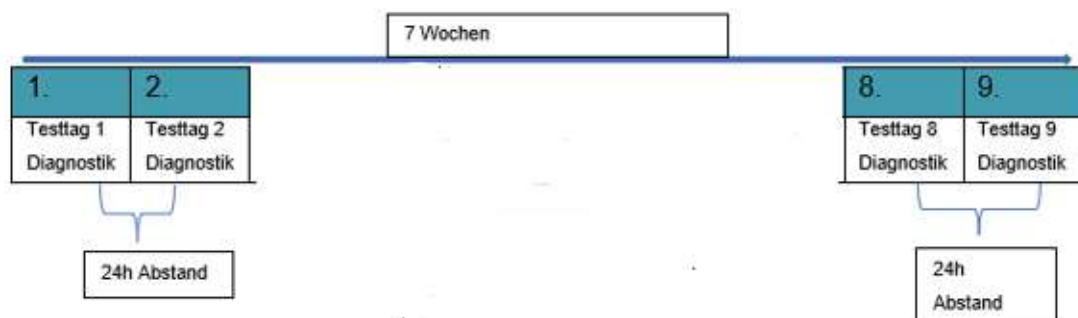


Abbildung 6: Ablauf Kontrollgruppe

(Quelle: Eigene Darstellung)

Für die Testtermine Tage 1/2 und Tage 8/9 wurde festgesetzt, dass sie frühestens um 13.30 Uhr und spätestens um 15.00 Uhr beginnen mussten und frühestens um 15.30 Uhr, spätestens 17.00 Uhr beendet sein mussten. Damit sollten zeitliche Einflussfaktoren auf die Studie verringert werden. Die Raumtemperatur betrug zwischen 20 und 26°C.

a) Detaillierter Ablauf der Testtage 1, 2, 8 und 9

Zunächst wurden die Teilnehmer ausführlich über die Studie informiert und nach ihrer Bereitschaft zur Teilnahme befragt. Vor Beginn der Untersuchung wurden die Probanden gebeten, sich den tragbaren Gürtel des Equivitalsystems zur kontinuierlichen Überwachung des EKG anzuziehen. Zusätzlich wurde die Hautleitfähigkeit gemessen. Danach mussten die Probanden eine erste Speichelprobe abgeben, es folgte nach vorheriger Anleitung eine dreiminütige Taktatmung mit anschließender fünfminütiger Ruhephase. Kurz vor Beginn des TSST wurden die Teilnehmer gebeten, ein Fragebogenpaket am Computer auszufüllen und erneut eine Speichelprobe abzugeben. Daraufhin absolvierten die Probanden im Rahmen der psychosozialen Stresssituation den TSST. Unmittelbar danach und nach 10, 20, 30, 45 und 60 Minuten wurden weitere Speichelproben zur Cortisolbestimmung entnommen. Nach dem TSST wurden erneut Fragen am Computer beantwortet. 60 Minuten nach dem TSST konnten die Probanden verabschiedet und die gesammelten Daten gespeichert werden.

Den genauen Ablauf der Testtage 1, 2, 8 und 9 zeigt folgende Tabelle.

Zeit bis zum TSST	Inhalt
ca. 45 Minuten vor TSST	Vorbereitung
ca. 20 Minuten vor TSST	1. Speichelprobe, Anlegen der EKG-Livemessung, GSR-Messung
ca. 15 Minuten vor TSST	Start dreiminütige Taktatmung, Anschließend fünfminütige Ruhephase und Ausfüllen von Fragebögen
ca. 1 Minute vor TSST	2. Speichelprobe, GSR-Messung wird beendet
Start TSST	Inhalt
+3 Minuten	Probandeninformation
+2 Minuten	Fragebögen, 3. Speichelprobe
+5 Minuten	Vortrag
+5 Minuten	Rechenaufgabe
Post-TSST-Phase	Inhalt
+1 Minute	Fragebögen und 4. Speichelprobe
+10 Minuten	5. Speichelprobe
+10 Minuten	6. Speichelprobe
+10 Minuten	7. Speichelprobe
+15 Minuten	8. Speichelprobe
+15 Minuten	9. Speichelprobe

Tabelle 4: Ablauf Tage 1, 2, 8 und 9

(Quelle: Eigene Darstellung)

Die Abbildung zeigt die Messzeitpunkte vor, während und nach dem TSST. Zusätzlich sind die Verteilung des Fragebogens, die Ruhephasen vor dem TSST für die Baseline-Evaluation und die EKG- (für HRV) und GSR-Messungen angegeben.

Folgende Bereiche der Tage 1, 2, 8 und 9 wurden für die HRV-Messung erhoben, ausgewertet wurden die rot markierten Zeitpunkte (T1 bis T6).

Zeitfenster	Bezeichnung	Länge	Anmerkung
1	Taktatmung	3 Minuten	Sitzend
2 (T1)	Ruhephase vor TSST	5 Minuten	Sitzend in Ruhe
3 (T2)	Vorbereitung TSST	5 Minuten	
4 (T3)	Vortrag TSST	5 Minuten	Ab Vortrag
5 (T4)	Rechnung TSST	5 Minuten	Bewegung möglich
6 (T5)	Post-TSST 1	5 Minuten	Sitzend in Ruhe unmittelbar nach TSST
7 (T6)	Post-TSST 2	5 Minuten	30 Minuten nach TSST

Tabelle 5: Zeitpunkte T1 bis T6 Tag 1, 2, 8 und 9

(Quelle: Eigene Darstellung)

b) Detaillierter Ablauf der Interventionstage 3 bis 7

Die Probanden wurden zunächst begrüßt. Vor Beginn des Entspannungstrainings wurden auch sie gebeten, sich den tragbaren Gürtel des Equivitalsystems zur kontinuierlichen Überwachung des EKG anzuziehen. Es folgte nach vorheriger Anleitung eine dreiminütige Taktatmung. Daraufhin wurde mit Hilfe der Pico-Golbin-VR-Brille ein ca. sechsminütiges Naturentspannungstraining eingeleitet, wobei folgende HRV-Parameter erhoben wurden.

Zeitfenster	Bezeichnung	Länge	Anmerkung
1	Taktatmung	3 Minuten	Sitzend
2	VR-Entspannungs- training	6 Minuten	Während Exposi- tion sitzend

Tabelle 6: Zeitpunkte 1 und 2 an den Tagen 3 bis 7

(Quelle: Eigene Darstellung)

c) Inhalt des Interventionsfilms für das VR-Entspannungstraining

Der Interventionsfilm für das VR-Entspannungstraining wurde individuell für das Institut erstellt und zeigt eine immersive 360°-Darstellung der Wineglass-Bay in Tasmanien. Zusätzlich wurde dem Probanden ein meditativer Text durch die Applikation vorgelesen.



Abbildung 7: Wineglass-Bay in Tasmanien

(ähnlich der immersiven Darstellung in der virtuellen Brille nach: <https://www.pinterest.com.mx/pin/38421403041396076/>, aufgerufen am 25.07.2022 um 17.28 Uhr)

3.5 Virtuelle Brille

Beim VR-Entspannungstrainings wurde das Virtual-Reality-Headset Pico Goblin Relax eingesetzt, eine gebräuchliche Ausführung eines Head-Mounted Displays. Dieses

Gerät hat einen 5,5-Zoll-TFT-LCD-Bildschirm mit einer Auflösung von 2.560×1.440 Pixeln und wird mit nur einem Controller gesteuert. Die Immersion wurde durch zwei Linsen für die Augen dargestellt, die dem Probanden simulierte, in der gewünschten Umgebung zu sein. Zudem sorgte eine am Kopf des Probanden befestigte Halterung dafür, dass sich der virtuelle Raum der Bewegung des Kopfes anpasste. Somit konnte sich der Proband um 360° in der virtuellen Umgebung umsehen. Zusätzlich trug der Proband während der VR-Entspannung einen Kopfhörer.

3.6 Trier Social Stress Test (TSST)

Zur Erzeugung von Stress und seinen Reaktionen ist ein zuverlässiger Standard erforderlich. Seit einigen Jahren steht hierfür der so genannte Trier Social Stress Test (TSST) zur Verfügung (Allen et al. 2016), der in der Vergangenheit wiederholt von Ethikkommissionen im In- und Ausland als ethisch unbedenklich eingestuft wurde. Er dient der Erzeugung moderaten Stresses und wurde 1993 von Kirschbaum et al. zum ersten Mal beschrieben (Kirschbaum et al. 1993).

Die Probanden dürfen den TSST noch nie durchgeführt haben und es wird ihnen vorher nicht mitgeteilt, dass sie solch einer Situation ausgesetzt werden. Der Test folgt einem festen Ablauf: eine fünfminütige Antizipationsphase, um sich auf die folgenden Situationen einzustellen, eine fünfminütige Aufgabe zum freien Sprechen und eine fünfminütige Aufgabe zum Kopfrechnen (Kirschbaum et al. 1993).

Bei der Aufgabe des freien Sprechens handelt es sich um ein Rollenspiel, in dem der Proband sich vorstellt, sich auf eine Stelle seiner Wahl beworben zu haben. Nach der fünfminütigen Rede ist eine Rechenaufgabe (serielle Subtraktion) zu lösen. Das Komitee besteht aus zwei neutralen Versuchspersonen in weißen Laborkitteln. Die dem Probanden unbekannt zwei Versuchsleiter sitzen hinter einem Tisch, auf dem eine Videokamera, ein Mikrofon und ein Laptop platziert sind. Der Teilnehmer wird darüber informiert, dass es sich bei den beiden Versuchsleitern um Experten für nonverbale Verhaltensanalyse handelt und dass sein Verhalten zu Analysezwecken auf Video aufgezeichnet wird. Am Ende der Versuchsreihe wird der Proband über die wahre Absicht des TSST und seine stressinduzierenden Eigenschaften aufgeklärt.

Folgt der TSST seinem festen Ablaufprotokoll, lässt sich in etwa 70 bis 85 % aller Fälle (Kudielka und Kirschbaum 2007; Dickerson und Kemeny 2004) ein Anstieg in der Aktivität der Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrinden-Achse feststellen. Des Weiteren hat der TSST einen entscheidenden Einfluss auf die sympathisch-

adrenalmeduläre Achse (SAM-Achse) mit signifikanten Reaktionen von Noradrenalin, Epinephrin, Herzfrequenz, Blutdruck und elektrodermale Aktivität.

Die experimentellen Bedingungen während des TSST sind hochgradig standardisiert, zudem geht auf umfangreicher Fachliteratur hervor, wie eine mögliche Beeinflussung identifiziert und beseitigt werden kann (Allen et al. 2016). Diese Kontrollierbarkeit ermöglicht es, den TSST für zahlreiche Studien zur Stressforschung zu nutzen. Zwar wird mit dem TSST ein experimentelles, simulierendes Verfahren eingesetzt, aber mit dem verwendeten Interview wird ein Szenario geschaffen, in dem sich viele Personen in ihrem Leben wiederfinden. Dies verleiht dem Test eine hohe externe Validität. Ein weiterer Vorteil ist der relativ geringe finanzielle und materielle Aufwand: Benötigt werden eine Videokamera, ein Mikrofon und nur wenige weitere kleinere Materialien (Allen et al. 2016). Dies bietet auch Studien mit geringeren finanziellen Ressourcen einen enormen Vorteil.

4. Datenaufbereitung

4.1 EKG-Analyse und verwendetes Programm

Die Daten dieser Studie wurden mit Hilfe des Equivital-Systems (EQ02) erhoben, einem Multiparameter-Telemetriegerät, das sowohl eine Echtzeitüberwachung als auch eine retrospektive, synchronisierte Überwachung von EKG, HR und HRV, Atmung, Aktivität und Temperatur bietet. Das Equivitalsystem überwachte kontinuierlich das EKG über Elektroden, die sich im Gewebe eines tragbaren Gürtels befanden.

Dargestellt wurde das EKG auf zwei Kanälen über drei Elektroden. Das Equivital-Überwachungssystem bestand aus einem Sensorelektronikmodul (SEM), Lifemonitor-Gürteln unterschiedlicher Größe, einem SEM-Kabel und einer Ladestation, einem Bluetooth-USB-Dongle für Laptop/PC und einem Equivitalmanager zur Konfiguration der SEMs und zum Herunterladen und Exportieren von Daten. Für diese Studie wurden die Daten in Echtzeit zur Ortszeit erfasst. Die textilbasierten Elektroden wurden mit Wasser befeuchtet, bevor sie mit der Haut des Teilnehmers in Kontakt kamen. Nach Abschluss der einzelnen Probanden wurden die SEM-Daten in den Equivitalmanager hochgeladen. Die mit Datum und Uhrzeit versehenen EKG-, Intervall- und die zusammengefassten Daten der Vitalparameter wurden extrahiert und exportiert.

4.2 Datenanalysesoftware LabChart

Die durch das Equivitalsystem aufgezeichneten Daten wurden in das Analyseprogramm LabChart 8 übertragen. Mit Hilfe dieser Software wurden die gespeicherten Daten importiert und zur Analyse konvertiert. LabChart analysierte zunächst die R-Zacken der EKG-Aufzeichnung automatisch, die später händisch korrigiert wurden. Dadurch war es möglich, die benötigten HRV-Parameter durch die R-R-Abstände zu ermitteln. Die betreffenden Bereiche wurden bereits beim Erheben der Daten markiert (siehe Tabelle: 5) und gekennzeichnet. Um einen einheitlichen Standard zu schaffen, die Compliance der Probanden zu erhöhen und um die Artefakte zu reduzieren, wurden sechsmal fünf Minuten und einmal drei Minuten der EKG-Aufzeichnung analysiert (siehe Tabelle:5). Die HRV-Ableitung erfolgte hauptsächlich im Sitzen und während des TSST auch im Stehen. Um hinsichtlich der respiratorischen Beeinflussung des Herzens standardisierte Bedingungen zu schaffen, wurde zu Beginn jeder Testung eine Taktatmung durchgeführt, wobei eine Atemfrequenz von ca. zehn Atemzügen pro Minute angestrebt wurde. Die Probanden wurden zu Beginn der Testung zur Taktatmung instruiert und ihnen wurde Zeit gelassen, sie vor der eigentlichen Testung zu üben.

4.2.1 Arbeitsschritte in LabChart

Die Auswertung eines fünf- bzw. dreiminütigen EKG-Abschnitts wird im Folgenden exemplarisch dargestellt.

Schritt 1

Zunächst ist das genaue HRV-Setting einzustellen. Dies entscheidet darüber, wie die Beats von den RR-Intervallen erkannt werden. Falsche Einstellungen hätten zur Folge, dass Daten nicht genutzt werden könnten.

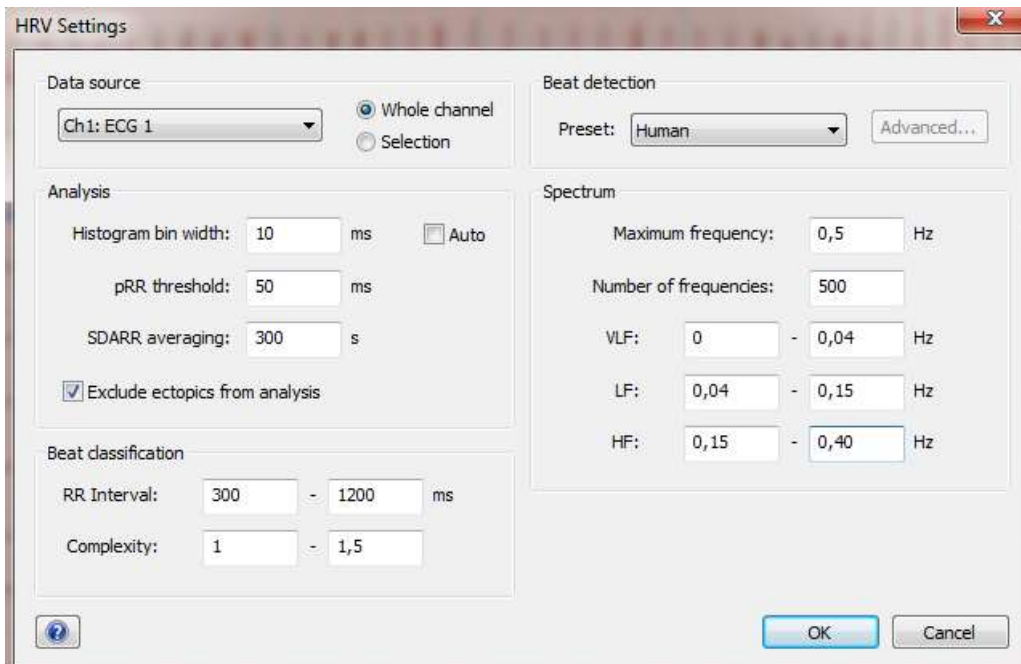


Abbildung 8: HRV-Setting

(Quelle: Eigene Darstellung)

Schritt 2

Nachdem das HRV-Setting zur Beat-Erkennung vorbereitet wurde, muss der zu analysierende Bereich ausgewählt werden. Bei fehlerfreier Aufzeichnung werden währenddessen Zeitmarker gesetzt, z. B. von „Start Taktatmung“ zu „Stopp Taktatmung“. Bei fehlenden Zeitmarkern wird der zu analysierende Bereich anhand des parallel zur Datenaufzeichnung geführten Protokolls bestimmt.

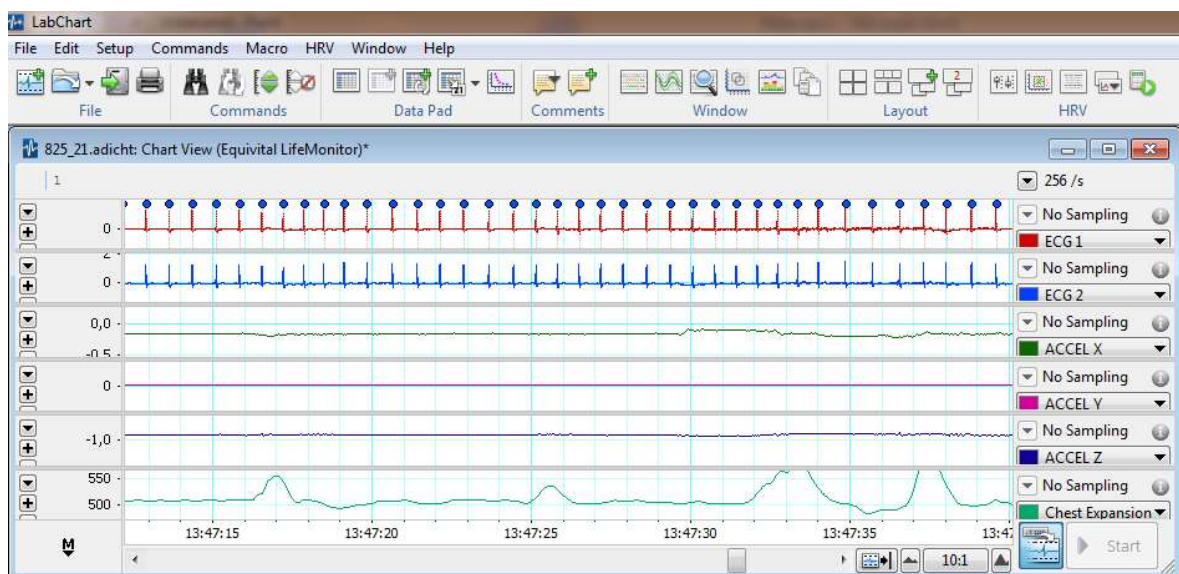


Abbildung 9: Beat-Erkennung

(Quelle: Eigene Darstellung)

Beim Auswerten ist darauf zu achten, dass möglichst saubere Zeitfenster zur Datenanalyse verwendet werden. Eventuell muss der Bereich manuell korrigiert werden, indem Beats hinzugefügt oder entfernt werden müssen. Deren Anzahl wird schriftlich vermerkt.

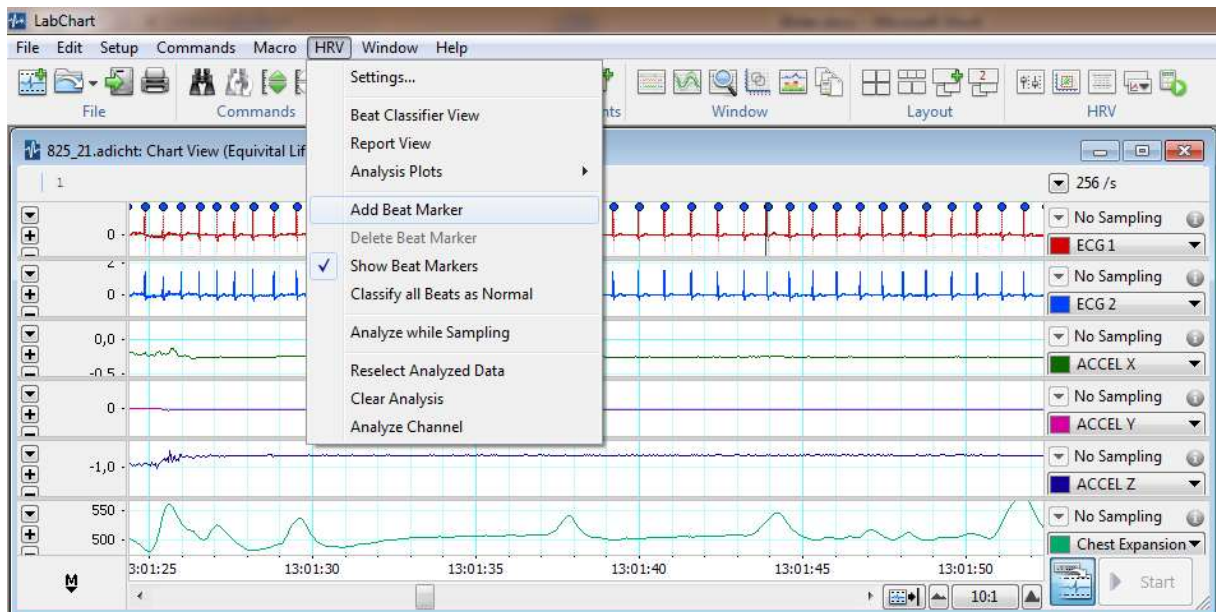


Abbildung 10: Beat-Korrektur

(Quelle: Eigene Darstellung)

Schritt 3

Nach der manuellen Durchsicht des Bereichs und der Beat-Bereinigung (löschen/hinzufügen) muss der entsprechende Datenbereich markiert werden. Durch Klicken auf „Add to Data Pad“ werden die Werte für den entsprechenden Bereich in das Data-Pad exportiert. Nun können die HRV-Parameter und die Herzfrequenz genutzt und einer statistischen Auswertung zugeführt werden.

	A ECG 1 Mean mV	B ECG 2 Mean mV	C ACCEL X Mean g	D ACCEL Y Mean g	E ACCEL Z Mean g	F Chest Expansion Mean	G Chest Expansion Standard Deviation	H Chest Expansion Standard Error	I Patch Temp Mean °C	J Skin Temp Mean °C	K Select Start UT
1	-0.0058	-0.0002	-0.2578	0.4379	-0.8733	510,8155	11,0863	0,04	35,8404	36,261	13:16:00
2	ECG 1	ECG 2	ACCEL X	ACCEL Y	ACCEL Z	Chest Expans	Chest Expans	Chest Expans	Patch Temp	Skin Temp	
3	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Std Dev	Std Error	Mean	Mean	Sel Start
4	mV	mV	g	g	g				°C	°C	UT
5	-0.0045	0.0006	-0.1954	0.2014	-0.9558	510,9404	42,2653	0,1956	35,8404	32,0551	12:11:44
6	-0.0055	-0.0018	-0.2263	0.4097	-0.8941	509,0387	16,6898	0,0601	35,8404	32,9757	12:14:57
7	-0.0061	0.0001	-0.237	-0.0587	-0.9429	509,3987	18,4911	0,0659	35,8404	34,8195	12:26:22
8	-0.0066	0.0	-0.0806	0.218	-0.9712	509,009	39,3037	0,1343	35,8404	35,2818	12:32:00
9	-0.0075	-0.0015	-0.1105	0.1868	-0.9761	510,1116	30,8951	0,1125	35,8404	35,8343	12:37:34
10	-0.0058	-0.0002	-0.3059	0.2921	-0.8939	510,1226	17,2412	0,0622	35,8404	36,3374	12:47:59
11	-0.0058	-0.0002	-0.2578	0.4379	-0.8733	510,8155	11,0863	0,04	35,8404	36,261	13:16:00

Abbildung 11: Gesammelte Daten

(Quelle: Eigene Darstellung)

4.2.2 Statistische Datenanalyse

Die Daten wurden mit dem Computerprogramm Jamovi in der Version 2.2.5.0 statistisch analysiert. Zur Varianzanalyse der Gesamtheit wurden Omnibustests verwendet. Zur Analyse der einzelnen Faktoren wurden gemischte Modelle (mixed models) als statistische Modelle genutzt. Folgende Faktoren wurden verwendet: Testtage 1, 2, 8 und 9 sowie die Faktoren Gruppe 0 (mit Intervention), Gruppe 1 (ohne Intervention) und die Messzeitpunkte T1, T2, T3, T4, T5 und T6 (siehe Tabelle unten), wobei T für die festgelegten Messzeitpunkte steht, an denen die HRV genauer betrachtet wurde. Die Messzeitpunkteffekte pro Gruppe (0 und 1) wurden über t-Tests für verbundene Stichproben ermittelt. Das Signifikanzniveau lag bei Alpha = 5 %.

Folgende Bereiche der Tage 1, 2, 8 und 9 wurden für die HRV-Messung erhoben, ausgewertet wurden die rot markierten Zeitpunkte (T1 bis T6).

Zeitfenster	Bezeichnung	Länge	Anmerkung
1	Taktatmung	3 Minuten	Sitzend
2 (T1)	Ruhephase vor TSST	5 Minuten	Sitzend in Ruhe

3 (T2)	Vorbereitung TSST	5 Minuten	
4 (T3)	Vortrag TSST	5 Minuten	Ab Vortrag
5 (T4)	Rechnung TSST	5 Minuten	Bewegung möglich
6 (T5)	Post-TSST 1	5 Minuten	Sitzend in Ruhe unmittelbar nach TSST
7 (T6)	Post-TSST 2	5 Minuten	30 Minuten nach TSST

Tabelle 7: Ausgewertete Messzeitpunkte T1 bis T6

(Quelle: Eigene Darstellung)

5. Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Studie in tabellarischer Form dargestellt und bewertet. Die erwähnten Herzratenvariabilitätsparameter und ihre Bedeutung wurden bereits im Kapitel 2.1.3 beschrieben. Measurement stellt hier die Tage 1, 2, 3 = 8 und 4 = 9 dar. Condition sind die Probandengruppe ohne Intervention (Notation 1) und mit Intervention (Notation 0). Section bezieht sich auf die verschiedenen Zeitfenster T1 bis T6.

5.1 RMSSD

In Tabellen 8 und 9 werden die Ergebnisse veranschaulicht. Sowohl die Zeitfenster T1 bis T6 $F(5.1349)=45.532;p<.001$ als auch die Gruppen (0 und 1) $F(1.1353)=7.041;p=.009$ zeigten im Omnibustest einen signifikanten Unterschied. Bei den Testtagen 1, 2, 8 und 9 war das nicht der Fall: $F(3.1351)=.153;p=.928$. Auch ergaben sich keine signifikanten Interaktionen zwischen den verschiedenen Tagen mit den Gruppen $F(3.1351)=.166;p=.919$. Das statistische Maß „R-squared Marginal“ beträgt $R^2=.109$.

Model Results

Fixed Effect Omnibus tests

	F	Num df	Den df	p
Section	45.532	5	1129	< .001
Measurement	0.153	3	227	0.928
condition	7.041	1	227	0.009
Measurement * condition	0.166	3	227	0.919

Tabelle 8: RMSSD-Omnibustest

(Quelle: Eigene Darstellung)

Das Mixed-Model für die Zeitfenster T1 bis T6 zeigte signifikante Unterschiede bei T1 zu T3 $t(1130)=-6.190;p<.001$, T1 zu T4 $t(1130)=-6.181;p<.001$, T1 zu T5 $t(1130)=4.335;p<.001$ und T1 zu T6 $t(1130)=4.288;p<.001$. Bei T1 zu T2 $t(1130)=1.007;p=.314$ ist dies nicht feststellbar. Des Weiteren ergaben sich keine signifikanten Unterschiede bei den Testtagen Tag 1 zu Tag 2 $t(228)=-.540;p=.589$, Tag 1 zu Tag 8 $t(228)=-.586;p=.558$ und Tag 1 zu Tag 9 $t(228)=-.520;p=.604$. Auch beim Vergleich Testtag 1 mit den Gruppen (0 und 1) zu Testtag 2 mit den Gruppen (0 und 1) $t(228)=-.239;p=.811$, beim Vergleich Testtag 1 mit den Gruppen (0 und 1) zu Testtag 8 mit den Gruppen (0 und 1) $t(228)=-.379;p=.705$ und beim Vergleich Testtag 1 mit den Gruppen (0 und 1) zu Testtag 9 mit den Gruppen (0 und 1) $t(228)=-.689;p=.491$ gab es keinen signifikanten Unterschied.

Fixed Effects Parameter Estimates

Names	Effect	Estimate	SE	95% Confidence Interval		df	t	p
				Lower	Upper			
(Intercept)	(Intercept)	37.29	1.02	35.30	39.28	227	36.682	< .001
Section1	2 - 1	1.63	1.62	-1.55	4.81	1130	1.007	0.314
Section2	3 - 1	-10.04	1.62	-13.22	-6.86	1130	-6.190	< .001
Section3	4 - 1	-10.03	1.62	-13.21	-6.85	1130	-6.181	< .001
Section4	5 - 1	7.03	1.62	3.85	10.21	1130	4.335	< .001
Section5	6 - 1	6.97	1.62	3.78	10.15	1130	4.288	< .001
Measurement1	2 - 1	-1.53	2.84	-7.10	4.03	228	-0.540	0.589
Measurement2	3 - 1	-1.71	2.91	-7.42	4.00	228	-0.586	0.558
Measurement3	4 - 1	-1.49	2.86	-7.10	4.12	228	-0.520	0.604
condition1	1 - 0	5.40	2.03	1.41	9.38	227	2.653	0.009
Measurement1 * condition1	2 - 1 * 1 - 0	-1.36	5.68	-12.49	9.77	228	-0.239	0.811
Measurement2 * condition1	3 - 1 * 1 - 0	-2.21	5.82	-13.62	9.21	228	-0.379	0.705
Measurement3 * condition1	4 - 1 * 1 - 0	-3.94	5.72	-15.16	7.27	228	-0.689	0.491

Tabelle 9: RMSSD-Mixed-Model

(Quelle: Eigene Darstellung)

Wie aus Abbildung 12 hervorgeht, liegen alle RMSSD-Werte der Gruppe ohne Intervention weit über den RMSSD-Werten der Gruppe mit Intervention. Die Werte der Interventionsgruppe haben ihren höchsten Punkt am Tag 1 und nehmen über die Tage 2, 8 und 9 kontinuierlich ab, zunächst stark von Tag 1 zu Tag 2 und dann weniger stark bis Tag 9. Die RMSSD-Werte der Kontrollgruppe sind über die Tage 1, 2, 8 und 9 annähernd gleich und erreichen ihren Höhepunkt an Tag 9, wobei alle RMSSD-Werte stets unter denen der Interventionsgruppe liegen.

Effects Plots

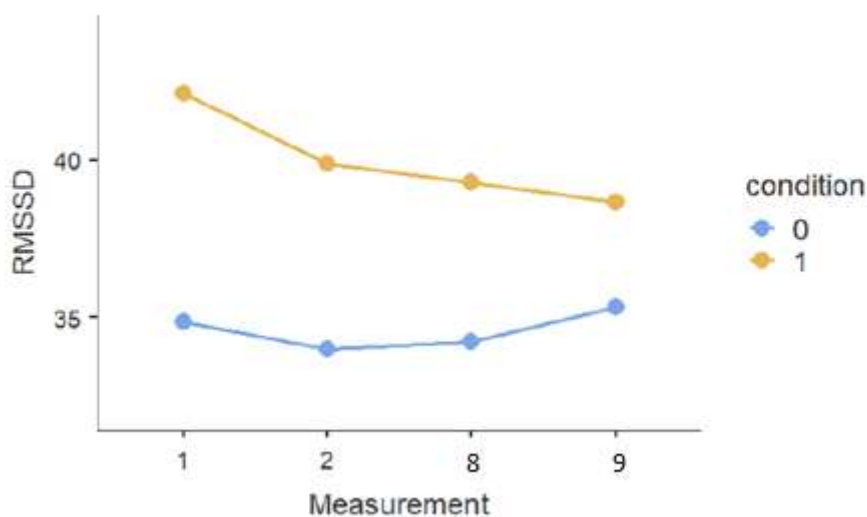


Abbildung 12: RMSSD-Measurement: Tage 1, 2, 8 und 9

(Quelle: Eigene Darstellung)

Wie in Abbildung 13 zu sehen ist, liegen alle RMSSD-Werte der Gruppe ohne Intervention weit über denen der Gruppe mit Intervention. Sowohl in der Interventionsgruppe als auch in der Kontrollgruppe zeigt sich eine Erhöhung der RMSSD-Werte von T1 zu T2, dagegen fällt der Wert von T3 zu T4 stark ab. Von T3 zu T4 verändert sich der RMSSD-Wert in beiden Gruppen nicht, um dann seinen Höchstwert bei T5 zu erreichen. Bei T6 bleibt der Wert konstant zu T5.

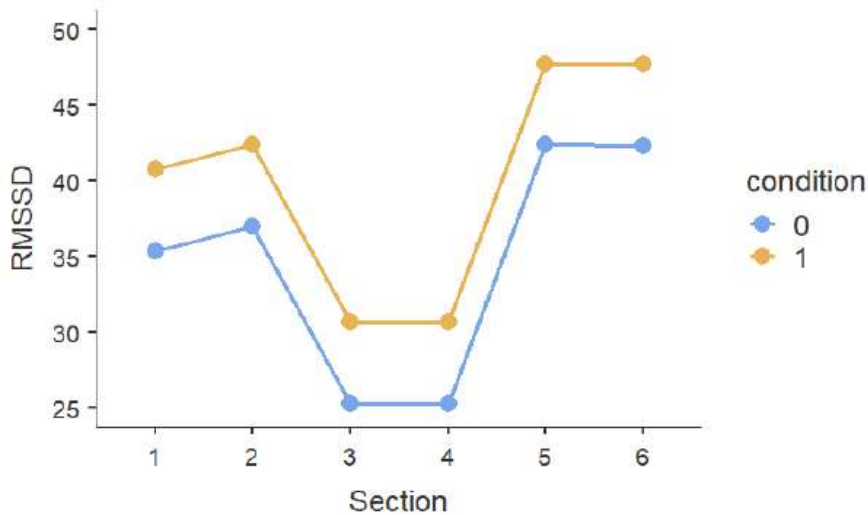


Abbildung 13: RMSSD-Section: Zeitfenster T1 bis T6

(Quelle: Eigene Darstellung)

5.2 RR-Differenz (pNN50%)

In Tabellen 10 und 11 werden die Ergebnisse veranschaulicht. Die Zeitfenster T1 bis T6 $F(5.1349)=107.201; p<.001$ zeigten im Omnibustest einen signifikanten Unterschied. Sowohl die Testtage 1, 2, 8 und 9 $F(3.1351)=.989; p=.397$ als auch die Gruppen (Intervention und Kontrolle) $F(1.1353)=1.665; p=.202$ wiesen keinen signifikanten Unterschied auf. Auch ergaben sich keine signifikanten Interaktionen zwischen den verschiedenen Tagen mit den Gruppen $F(3.1351)=1.304; p=.272$.

Das statistische Maß „R-squared Marginal“ beträgt $R^2=.178$.

Model Results

Fixed Effect Omnibus tests

	F	Num df	Den df	p
Section	107.201	5	1294.2	<.001
Bedingung	1.665	1	60.2	0.202
Measurement	0.989	3	1297.2	0.397
Bedingung * Measurement	1.304	3	1297.2	0.272

Tabelle 10: pNN50%-Omnibustest

(Quelle: Eigene Darstellung)

Das Mixed-Model für die Zeitfenster T1 bis T6 weist signifikante Unterschiede auf bei T1 zu T3 $t(1294.3)=-8.521;p<.001$, T1 zu T4 $t(1294.3)=-9.086;p<.001$, T1 zu T5 $t(1294.3)=6.880;p<.001$ und T1 zu T6 $t(1294.3)=7.983;p<.001$. Bei T1 zu T2 $t(1294.3)=1.276;p=.202$ ist dies nicht feststellbar. Des Weiteren ergaben sich keine signifikanten Unterschiede bei den Testtagen Tag 1 zu Tag 2 $t(1295.5)=-1.431;p=.153$, Tag 1 zu Tag 8 $t(1299)=-1.453;p=.147$ und Tag 1 zu Tag 9 $t(1297.5)=-.616;p=.538$. Auch bei den Vergleichen Testtag 1 mit den Gruppen (VR und Control) zu Testtag 2 mit den Gruppen (VR und Control) $t(1295.6)=-.161;p=.872$, Testtag 1 mit den Gruppen (VR und Control) zu Testtag 8 mit den Gruppen (VR und Control) $t(1299)=-1.080;p=.280$ und Testtag 1 mit den Gruppen (VR und Control) zu Testtag 9 mit den Gruppen (VR und Control) $t(1297.5)=-1.479;p=.139$ wurde kein signifikanter Unterschied ermittelt.

Fixed Effects Parameter Estimates								
Names	Effect	Estimate	SE	95% Confidence Interval		df	t	p
				Lower	Upper			
(Intercept)	(Intercept)	13.560	1.176	11.254	15.865	60.2	11.527	< .001
Section1	2 - 1	1.069	0.838	-0.573	2.712	1294.3	1.276	0.202
Section2	3 - 1	-7.142	0.838	-8.785	-5.499	1294.3	-8.521	< .001
Section3	4 - 1	-7.616	0.838	-9.259	-5.973	1294.3	-9.086	< .001
Section4	5 - 1	5.767	0.838	4.124	7.410	1294.3	6.880	< .001
Section5	6 - 1	6.699	0.839	5.055	8.344	1294.3	7.983	< .001
Bedingung1	Control - VR	3.035	2.353	-1.576	7.647	60.2	1.290	0.202
Measurement1	2 - 1	-0.976	0.682	-2.312	0.361	1295.6	-1.431	0.153
Measurement2	3 - 1	-1.026	0.706	-2.410	0.358	1299.0	-1.453	0.147
Measurement3	4 - 1	-0.426	0.691	-1.780	0.928	1297.5	-0.616	0.538
Bedingung1 * Measurement1	Control - VR * 2 - 1	0.220	1.364	-2.453	2.893	1295.6	0.161	0.872
Bedingung1 * Measurement2	Control - VR * 3 - 1	-1.526	1.412	-4.295	1.242	1299.0	-1.080	0.280
Bedingung1 * Measurement3	Control - VR * 4 - 1	-2.044	1.382	-4.753	0.664	1297.5	-1.479	0.139

Tabelle 11: pNN50%-Mixed-Model

(Quelle: Eigene Darstellung)

Wie aus Abbildung 14 hervorgeht, liegen alle pNN50%-Werte der Gruppe mit Intervention unter den mittleren pNN50%-Werten der Gruppe ohne Intervention. In der Kontrollgruppe fallen die Werte vom Höchstwert an Tag 1 kontinuierlich bis zu Tag 8, um

dann an Tag 9 wieder leicht zu steigen. In der Interventionsgruppe fällt der Wert zunächst von Tag 1 zu Tag 2, um dann kontinuierlich bis zum Höhepunkt an Tag 9 zu steigen.

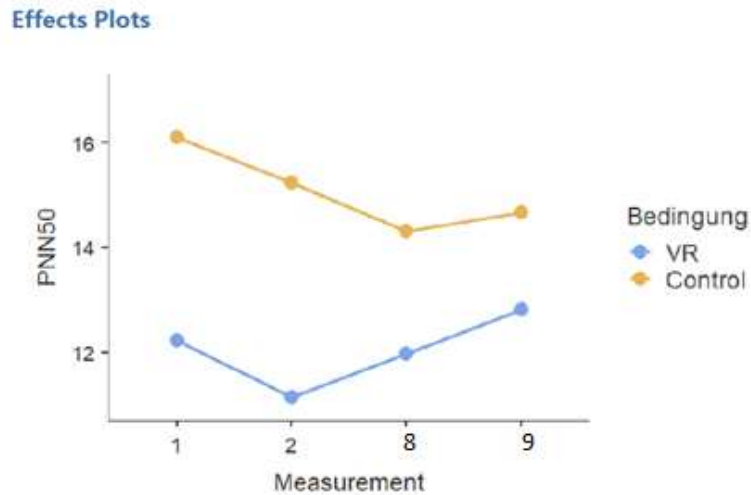


Abbildung 14: pNN50%-Measurement: Tage 1, 2, 8 und 9

(Quelle: Eigene Darstellung)

In Abbildung 15 ist ersichtlich, dass alle pNN50%-Werte der Gruppe ohne Intervention über den pNN50%-Werten der Gruppe mit Intervention liegen. Sowohl in der Interventionsgruppe als auch in der Kontrollgruppe zeigt sich eine Erhöhung der pNN50%-Werte von T1 zu T2, darauf fällt der Wert von T3 zu T4 stark ab. Von T3 zu T4 verändert sich der pNN50%-Wert in beiden Gruppen kaum, um dann bei T5 stark zu steigen. In der Interventionsgruppe bleibt T6 konstant zu T5. In der Kontrollgruppe wird bei T6 der Höchstwert erreicht.

Effects Plots

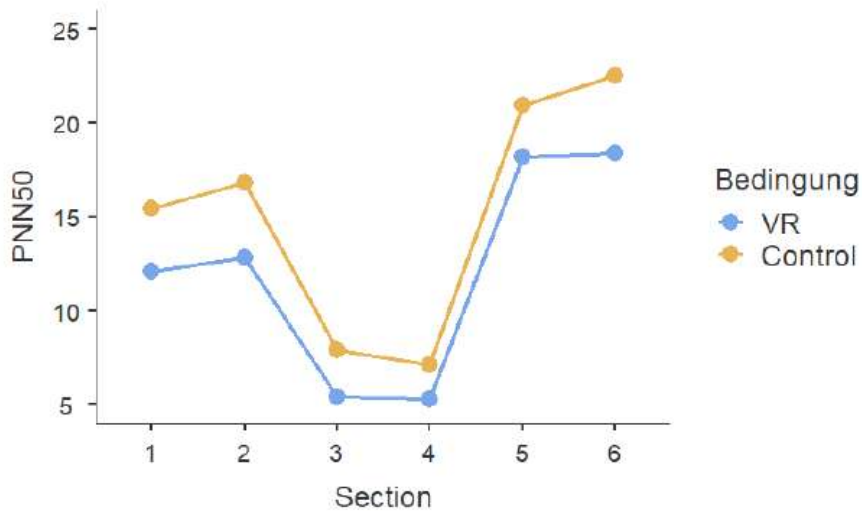


Abbildung 15: pNN50%n-Section: Zeitfenster T1 bis T6

(Quelle: Eigene Darstellung)

5.3 Low Frequency (LF)

In Tabellen 12 und 13 werden die Ergebnisse veranschaulicht. Die Zeitfenster T1 bis T6 $F(5.1349)=26.827; p<.001$ zeigten im Omnibustest einen signifikanten Unterschied. Sowohl bei den Testtagen 1, 2, 8 und 9 $F(3.1351)=1.325; p=.265$ als auch bei den Gruppen (Intervention und Kontrolle) $F(1.1353)=.874; p=.354$ war das nicht der Fall. Auch ergaben sich keine signifikanten Interaktionen zwischen den verschiedenen Tagen mit den Gruppen $F(3.1351)=.588; p=.623$. Das statistische Maß „R-squared Marginal“ beträgt $R^2=.0725$.

Model Results

Fixed Effect Omnibus tests

	F	Num df	Den df	p
Section	26.827	5	1294.4	< .001
Bedingung	0.874	1	60.3	0.354
Measurement	1.325	3	1300.7	0.265
Bedingung * Measurement	0.588	3	1300.7	0.623

Tabelle 12: LF-Omnibustest

(Quelle: Eigene Darstellung)

Das Mixed-Model für die Zeitfenster T1 bis T6 wies signifikante Unterschiede auf bei T1 zu T2 $t(1294.5)=-4.896;p<.001$, T1 zu T3 $t(1294.5)=-5.328;p<.001$, T1 zu T4 $t(1294.5)=-4.854;p<.001$ und T1 zu T6 $t(1294.5)=3.813;p<.001$. Dies galt nicht für T1 zu T5 $t(1294.5)=-.725;p=.469$. Des Weiteren werden keine signifikanten Unterschiede bei den Testtagen Tag 1 zu Tag 2 $t(1297.5)=-.351;p=.726$, Tag 1 zu Tag 8 $t(1304.7)=-1.617;p=.309$ und Tag 1 zu Tag 9 $t(1301.3)=.932;p=.351$ festgestellt. Auch die Vergleiche Testtag 1 mit den Gruppen (VR und Control) zu Testtag 2 mit den Gruppen (VR und Control) $t(1297.5)=.464;p=.643$, Testtag 1 mit den Gruppen (VR und Control) zu Testtag 8 mit den Gruppen (VR und Control) $t(1304.7)=-1.263;p=.207$ und Testtag 1 mit den Gruppen (VR und Control) zu Testtag 9 mit den Gruppen (VR und Control) $t(1301.3)=.278;p=.781$ ergaben keine signifikanten Unterschiede.

Fixed Effects Parameter Estimates

Names	Effect	Estimate	SE	95% Confidence Interval		df	t	p
				Lower	Upper			
(Intercept)	(Intercept)	1894.4	121	1657	2132	60.3	15.645	< .001
Section1	2 - 1	-641.5	131	-898	-385	1294.5	-4.896	< .001
Section2	3 - 1	-698.0	131	-955	-441	1294.5	-5.328	< .001
Section3	4 - 1	-636.0	131	-893	-379	1294.5	-4.854	< .001
Section4	5 - 1	-95.0	131	-352	162	1294.5	-0.725	0.469
Section5	6 - 1	500.1	131	243	757	1294.5	3.813	< .001
Bedingung1	Control - VR	226.3	242	-248	701	60.3	0.935	0.354
Measurement1	2 - 1	-37.4	107	-246	171	1297.5	-0.351	0.726
Measurement2	3 - 1	-112.1	110	-328	104	1304.7	-1.017	0.309
Measurement3	4 - 1	100.6	108	-111	312	1301.3	0.932	0.351
Bedingung1 * Measurement1	Control - VR * 2 - 1	98.8	213	-319	516	1297.5	0.464	0.643
Bedingung1 * Measurement2	Control - VR * 3 - 1	278.5	221	-154	711	1304.7	1.263	0.207
Bedingung1 * Measurement3	Control - VR * 4 - 1	60.0	216	-363	483	1301.3	0.278	0.781

Tabelle 13: LF-Mixed-Model

(Quelle: Eigene Darstellung)

Abbildung 16 zeigt, dass alle LF-Werte der Gruppe ohne Intervention weit über den LF-Werten der Gruppe mit Intervention liegen. Die Werte der Interventionsgruppe nehmen vom Tag 1 bis zu Tag 8 stark ab, um dann an Tag 9 deutlich bis zu ihrem

Höhepunkt anzusteigen. Die LF-Werte der Kontrollgruppe wachsen leicht über die Tage 1, 2 und 8. An Tag 9 nimmt der Wert zu und erreicht seinen Höhepunkt.

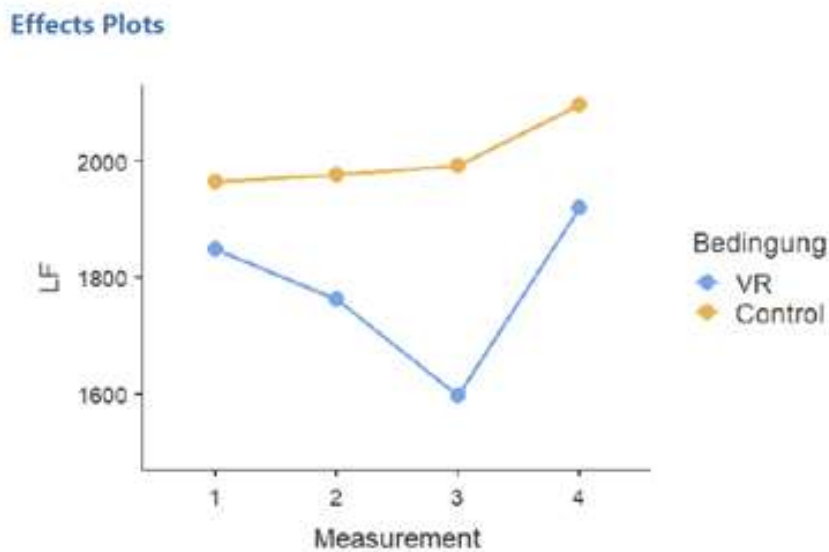


Abbildung 16: LF-Measurement: Tage 1, 2, 8 und 9

(Quelle: Eigene Darstellung)

Wie in Abbildung 17 zu sehen, liegen fast alle LF-Werte der Gruppe ohne Intervention über denen der Gruppe mit Intervention. Sowohl in der Interventionsgruppe als auch in der Kontrollgruppe sinkt der Wert von T1 zu T2, danach fällt er in der Kontrollgruppe bei T3, in der Interventionsgruppe bleibt der Wert unverändert zu T2. Von T3 zu T4 und T4 zu T5 steigt der LF-Wert in beiden Gruppen, um in beiden Gruppen bei T6 den sich überschneidenden Höhepunkt zu erreichen.

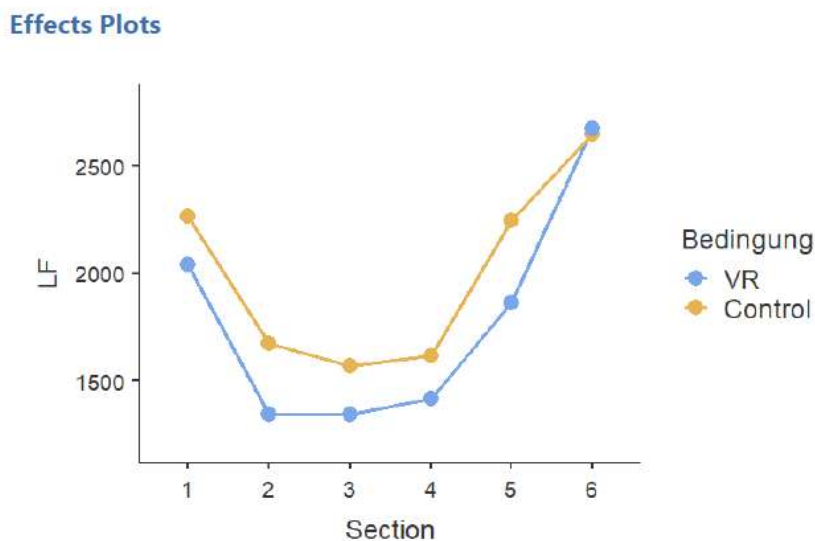


Abbildung 17. LF-Section: Zeitfenster T1 bis T6

(Quelle: Eigene Darstellung)

5.4 High Frequency (HF)

Tabellen 14 und 15 stellen die Ergebnisse dar. Die Zeitfenster T1 bis T6 $F(5.1349)=10.663;p<.001$ zeigten im Omnibustest einen signifikanten Unterschied, nicht jedoch die Testtage 1, 2, 8 und 9 $F(3.1351)=.109;p=.955$ oder die Gruppen (Intervention und Kontrolle) $F(1.1353)=1.047;p=.310$. Auch ergaben sich keine signifikanten Interaktionen zwischen den verschiedenen Tagen mit den Gruppen $F(3.1351)=.502;p=.681$. Das statistische Maß „R-squared Marginal“ beträgt $R^2=.0364$.

Model Results

Fixed Effect Omnibus tests

	F	Num df	Den df	p
Section	10.663	5	1295.3	< .001
Bedingung	1.047	1	61.0	0.310
Measurement	0.109	3	1306.2	0.955
Bedingung * Measurement	0.502	3	1306.2	0.681

Tabelle 14: HF-Omnibustest

(Quelle: Eigene Darstellung)

Das Mixed-Model für die Zeitfenster T1 bis T6 ergab signifikante Unterschiede bei T1 zu T3 $t(1295.4)=-3.687;p<.001$ und T1 zu T4 $t(1295.4)=-3.941;p<.001$. Bei T1 zu T2 $t(1295.4)=.650;p=.516$, T1 zu T5 $t(1295.4)=1.239;p=.216$ und T1 zu T6 $t(1295.5)=.442;p=.658$ war das nicht der Fall. Des Weiteren werden keine signifikanten Unterschiede bei den Testtagen Tag 1 zu Tag 2 $t(1301)=.527;p=.596$, Tag 1 zu Tag 8 $t(1312.9)=.106;p=.916$ und Tag 1 zu Tag 9 $t(1307)=.110;p=.912$ festgestellt. Auch beim Vergleich Testtag 1 mit den Gruppen (VR und Control) zu Testtag 2 mit den Gruppen (VR und Control) $t(1301)=-1.030;p=.303$, beim Vergleich Testtag 1 mit den Gruppen (VR und Control) zu Testtag 8 mit den Gruppen (VR und Control) $t(1312.9)=-.765;p=.444$ und beim Vergleich Testtag 1 mit den Gruppen (VR und Control) zu Testtag 9 mit den Gruppen (VR und Control) $t(1307)=-.118;p=.906$ wurde kein signifikanter Unterschied ermittelt.

Names	Effect	Estimate	SE	95% Confidence Interval		df	t	p
				Lower	Upper			
(Intercept)	(Intercept)	710.8	74.6	564.6	857	61.0	9.531	< .001
Section1	2 - 1	73.5	113.2	-148.3	295	1295.4	0.650	0.516
Section2	3 - 1	-417.2	113.2	-639.1	-195	1295.4	-3.687	< .001
Section3	4 - 1	-446.1	113.2	-667.9	-224	1295.4	-3.941	< .001
Section4	5 - 1	140.2	113.2	-81.6	362	1295.4	1.239	0.216
Section5	6 - 1	50.1	113.3	-172.0	272	1295.5	0.442	0.658
Bedingung1	Control - VR	152.6	149.1	-139.7	445	61.0	1.023	0.310
Measurement1	2 - 1	48.5	92.0	-131.8	229	1301.0	0.527	0.598
Measurement2	3 - 1	10.0	95.1	-176.3	196	1312.9	0.106	0.916
Measurement3	4 - 1	10.3	93.1	-172.2	193	1307.0	0.110	0.912
Bedingung1 * Measurement1	Control - VR * 2 - 1	-189.6	184.0	-550.2	171	1301.0	-1.030	0.303
Bedingung1 * Measurement2	Control - VR * 3 - 1	-145.5	190.1	-518.2	227	1312.9	-0.765	0.444
Bedingung1 * Measurement3	Control - VR * 4 - 1	-21.9	186.2	-386.8	343	1307.0	-0.118	0.906

Tabelle 15: HF-Mixed-Model

(Quelle: Eigene Darstellung)

Aus Abbildung 18 geht hervor, dass alle HF-Werte der Gruppe ohne Intervention über den HF-Werten der Gruppe mit Intervention liegen. In der Interventionsgruppe wird an Tag 1 der niedrigste Wert gemessen, wobei an Tag 2 der Höchstwert erreicht wird. An Tagen 8 und 9 fällt der Wert wieder stark ab. In der Kontrollgruppe fällt der Wert von T1 über Tag 2 zu Tag 8 kontinuierlich ab, um dann an Tag 9 wieder anzusteigen.

Effects Plots

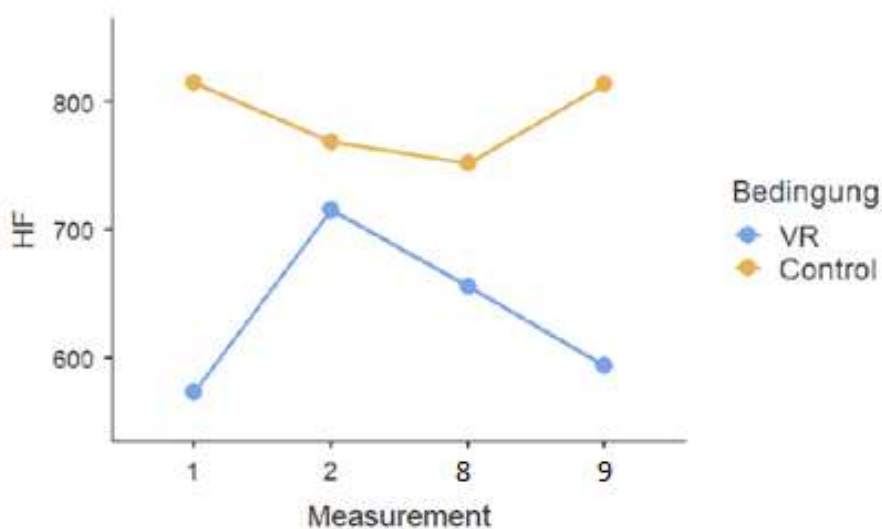


Abbildung 18: HF Measurement: Tage 1, 2, 8 und 9

(Quelle: Eigene Darstellung)

In Abbildung 19 wird dargestellt, dass mit Ausnahme von T1 alle HF-Werte der Gruppe ohne Intervention über den HF-Werten der Gruppe mit Intervention liegen. In der Kontrollgruppe steigt der Wert bei T1 zu T2 stark an, in der Interventionsgruppe sinkt er von T1 zu T2. In beiden Gruppen sinken die Werte von T2 zu T3, wobei der Wert von T3 zu T4 in der Kontrollgruppe fällt und in der Interventionsgruppe ansteigt. Von T4 zu T5 wächst der HF-Wert in beiden Gruppen stark, um dann bei T6 wieder leicht zu fallen.

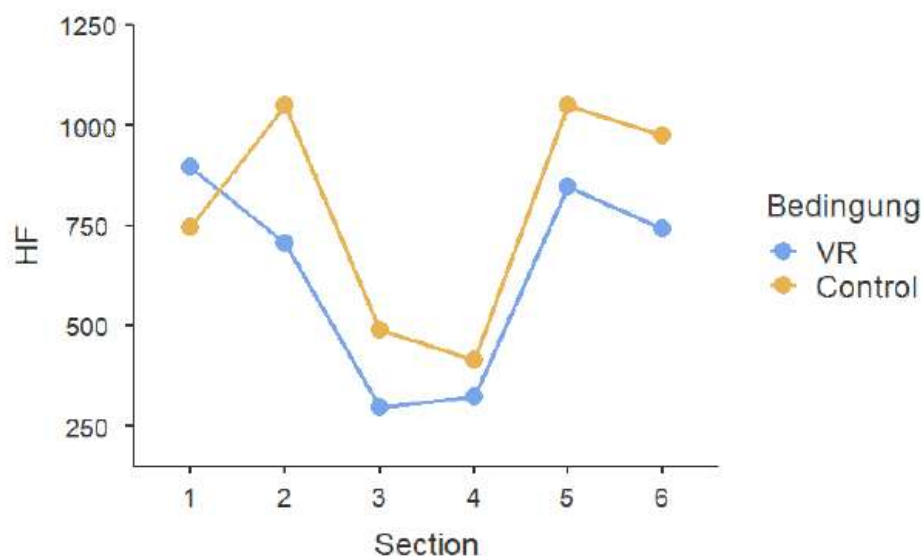


Abbildung 19: HF-Section: Zeitfenster T1 bis T6

(Quelle: Eigene Darstellung)

5.5 ELF/HF

Die Ergebnisse werden in den Tabellen 16 und 17 veranschaulicht. Die Zeitfenster T1 bis T6 $F(5.1349)=37.4240; p<.001$ wiesen im Omnibustest einen signifikanten Unterschied auf. Sowohl bei den Testtagen 1, 2, 8 und 9 $F(3.1351)=.0983; p=.961$ als auch bei den Gruppen (Intervention und Kontrolle) $F(1.1353)=.9279; p=.336$ zeichnete sich dies nicht ab. Auch ergaben sich keine signifikanten Interaktionen zwischen den verschiedenen Tagen mit den Gruppen $F(3.1351)=.1404; p=.936$. Das statistische Maß „R-squared Marginal“ beträgt $R^2=.0851$.

Model Results

Fixed Effect Omnibus tests

	F	Num df	Den df	p
Section	37.4240	5	1129	< .001
Measurement	0.0983	3	227	0.961
condition	0.9279	1	227	0.336
Measurement * condition	0.1404	3	227	0.936

Tabelle 16: LF/HF-Omnibustest

(Quelle: Eigene Darstellung)

Das Mixed-Model für die Zeitfenster T1 bis T6 zeigte signifikante Unterschiede bei T1 zu T3 $t(1130)=-3.8453;p<.001$, T1 zu T4 $t(1130)=-5.6617;p<.001$ und T1 zu T6 $t(1130)=6.4945;p<.001$. Dies galt nicht bei T1 zu T2 $t(1130)=.9739;p=.33$ und bei T1 zu T5 $t(1130)=1.8338;p=.067$ und bei den Testtagen Tag 1 zu Tag 2 $t(228)=-.0239;p=.981$, Tag 1 zu Tag 8 $t(228)=-.4831;p=.629$ und Tag 1 zu Tag 9 $t(228)=-.1575;p=.875$. Keine signifikanten Unterschiede ergaben sich ebenso bei den Vergleichen Testtag 1 mit den Gruppen (VR und Control) zu Testtag 2 mit den Gruppen (VR und Control) $t(228)=-.1178;p=.906$, Testtag 1 mit den Gruppen (VR und Control) zu Testtag 8 mit den Gruppen (VR und Control) $t(228)=.4766;p=.634$ und Testtag 1 mit den Gruppen (VR und Control) zu Testtag 9 mit den Gruppen (VR und Control) $t(228)=-.0241;p=.981$.

Names	Effect	Estimate	SE	95% Confidence Interval		df	t	p
				Lower	Upper			
(Intercept)	(Intercept)	4420.3	179	4069.1	4771	227	24.6716	< .001
Section1	2 - 1	292.8	301	-296.4	882	1130	0.9739	0.330
Section2	3 - 1	-1155.9	301	-1745.0	-567	1130	-3.8453	< .001
Section3	4 - 1	-1701.9	301	-2291.0	-1113	1130	-5.6617	< .001
Section4	5 - 1	551.2	301	-37.9	1140	1130	1.8338	0.067
Section5	6 - 1	1954.7	301	1364.8	2545	1130	6.4945	< .001
Measurement1	2 - 1	-12.0	500	-992.8	969	228	-0.0239	0.981
Measurement2	3 - 1	-248.0	513	-1253.9	758	228	-0.4831	0.629
Measurement3	4 - 1	-79.4	504	-1067.9	909	228	-0.1575	0.875
condition1	1 - 0	345.2	358	-357.1	1047	227	0.9633	0.336
Measurement1 * condition1	2 - 1 * 1 - 0	-117.9	1001	-2079.5	1844	228	-0.1178	0.906
Measurement2 * condition1	3 - 1 * 1 - 0	489.2	1026	-1522.6	2501	228	0.4766	0.634
Measurement3 * condition1	4 - 1 * 1 - 0	-24.3	1009	-2001.3	1953	228	-0.0241	0.981

Tabelle 17: LF/HF-Mixed-Model

(Quelle: Eigene Darstellung)

Wie aus Abbildung 20 hervorgeht, liegen alle LF/HF-Werte der Gruppe ohne Intervention weit über den LF/HF-Werten der Gruppe mit Intervention. Die Werte der Interventionsgruppe nehmen von Tag 1 zu Tag 2 leicht zu, sinken an Tag 8 deutlich und nehmen an Tag 9 wieder zu. Die LF/HF-Werte der Kontrollgruppe fallen leicht von Tag 1 zu Tag 2, wachsen zwischen Tag 2 und Tag 8 und fallen an Tag 9 wieder leicht.

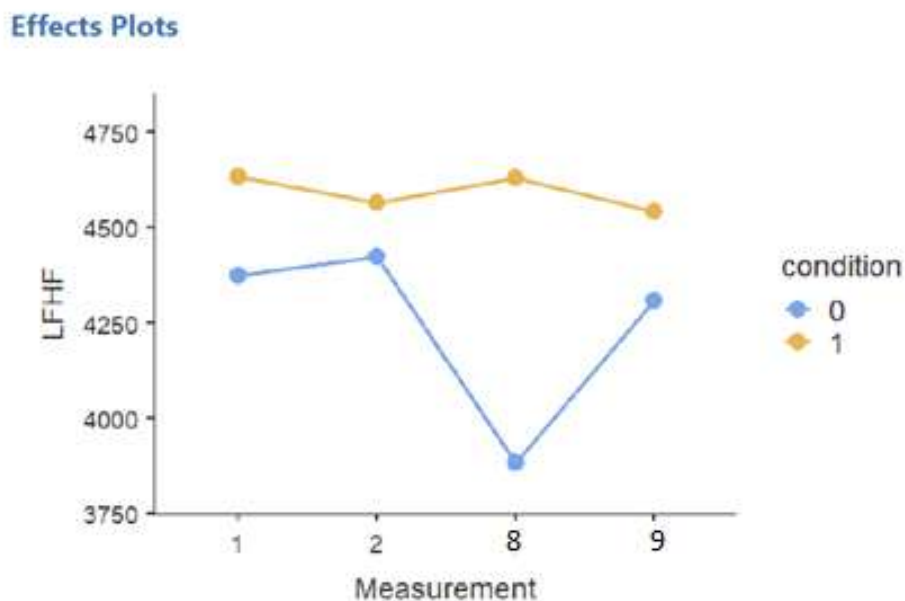


Abbildung 20: LF/HF-Measurement: Tage 1, 2, 8 und 9

(Quelle: Eigene Darstellung)

Alle LF/HF-Werte der Gruppe ohne Intervention übersteigen die LF/HF-Werte der Gruppe mit Intervention (vgl. Abbildung 21). In beiden Gruppen zeigt sich eine Erhöhung der LF/HF-Werte von T1 zu T2, wobei der Wert von T2 zu T3 stark sinkt. Von T3 zu T4 fällt der LF/HF-Wert in beiden Gruppen weiter, um dann bei T5 deutlich zuzunehmen. Bei T6 wird in beiden Gruppen der Höchstwert erreicht.

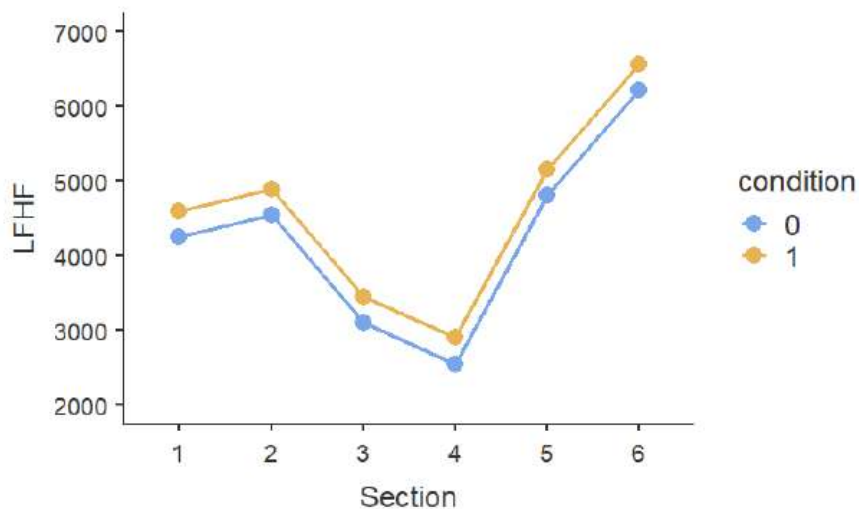


Abbildung 21: LF/HF-Section: Zeitfenster T1 bis T6

(Quelle: Eigene Darstellung)

5.6 SD1

Die Übersicht der Ergebnisse ist den Tabellen 18 und 19 zu entnehmen. Der Omnibustest ergab für die Zeitfenster T1 bis T6 $F(5.1349)=39.626; p<.001$ einen signifikanten Unterschied, was bei sowohl bei den Testtagen 1, 2, 8 und 9 $F(3.1351)=.644; p=.587$ als auch bei den Gruppen (Intervention und Kontrolle) $F(1.1353)=2.942; p=.091$ nicht der Fall war. Auch ergaben sich keine signifikanten Interaktionen zwischen den verschiedenen Tagen mit den Gruppen $F(3.1351)=.673; p=.569$. Das statistische Maß „R-squared Marginal“ beträgt $R^2=.110$.

Model Results

Fixed Effect Omnibus tests

	F	Num df	Den df	p
Section	39.626	5	1294.8	< .001
Bedingung	2.942	1	60.7	0.091
Measurement	0.644	3	1301.2	0.587
Bedingung * Measurement	0.673	3	1301.2	0.569

Tabelle 18: SD1-Omnibustest

(Quelle: Eigene Darstellung)

Das Mixed-Model für die Zeitfenster T1 bis T6 zeigte signifikante Unterschiede bei T1 zu T3 $t(1294.8)=-5.840;p<.001$, T1 zu T4 $t(1294.8)=-5.831;p<.001$, T1 zu T5 $t(1294.8)=4.001;p<.001$ und T1 zu T6 $t(1294.9)=3.917;p<.001$. Bei T1 zu T2 $t(1294.8)=.885;p=.376$ lässt sich wie bei den Testtagen Tag 1 zu Tag 2 $t(1297.9)=-1.240;p=.215$, Tag 1 zu Tag 8 $t(1365.2)=-1.124;p=.261$ und Tag 1 zu Tag 9 $t(1301.8)=-.979;p=.328$ kein signifikanter Unterschied darstellen. Dies galt auch bei den Vergleichen Testtag 1 mit den Gruppen (VR und Control) zu Testtag 2 mit den Gruppen (VR und Control) $t(1297.9)=-.699;p=.484$, Testtag 1 mit den Gruppen (VR und Control) zu Testtag 8 mit den Gruppen (VR und Control) $t(1305.2)=-0.904;p=.366$ und Testtag 1 mit den Gruppen (VR und Control) zu Testtag 9 mit den Gruppen (VR und Control) $t(1301.8)=-1.398;p=.162$.

Names	Effect	Estimate	SE	95% Confidence Interval		df	t	p
				Lower	Upper			
(Intercept)	(Intercept)	26.439	1.124	24.236	28.642	60.7	23.522	< .001
Section1	2 - 1	1.088	1.229	-1.321	3.498	1294.8	0.885	0.376
Section2	3 - 1	-7.180	1.229	-9.590	-4.770	1294.8	-5.840	< .001
Section3	4 - 1	-7.168	1.229	-9.578	-4.759	1294.8	-5.831	< .001
Section4	5 - 1	4.918	1.229	2.509	7.328	1294.8	4.001	< .001
Section5	6 - 1	4.821	1.231	2.409	7.234	1294.9	3.917	< .001
Bedingung1	Control - VR	3.856	2.248	-0.550	8.262	60.7	1.715	0.091
Measurement1	2 - 1	-1.239	1.000	-3.199	0.720	1297.9	-1.240	0.215
Measurement2	3 - 1	-1.163	1.035	-3.191	0.865	1305.2	-1.124	0.261
Measurement3	4 - 1	-0.991	1.013	-2.976	0.993	1301.8	-0.979	0.328
Bedingung1 * Measurement1	Control - VR * 2 - 1	-1.399	2.000	-5.318	2.521	1297.9	-0.699	0.484
Bedingung1 * Measurement2	Control - VR * 3 - 1	-1.871	2.069	-5.926	2.184	1305.2	-0.904	0.366
Bedingung1 * Measurement3	Control - VR * 4 - 1	-2.830	2.025	-6.799	1.139	1301.8	-1.398	0.162

Tabelle 19: SD1-Mixed-Model

(Quelle: Eigene Darstellung)

Wie in Abbildung 22 dargestellt, liegen alle SD1-Werte der Gruppe ohne Intervention weit über den SD1-Werten der Gruppe mit Intervention. Die Werte der Kontrollgruppe haben ihren höchsten Punkt an Tag 1 und nehmen über die Tage 2, 8 und 9 ab, zunächst stark von Tag 1 zu Tag 2 und dann weniger stark bis Tag 9. Die SD1-Werte der Interventionsgruppe fallen zunächst von Tag 1 zu Tag 2 und nehmen leicht zu von Tag 2 bis Tag 9, wo sie ihren Höhepunkt erreichen.

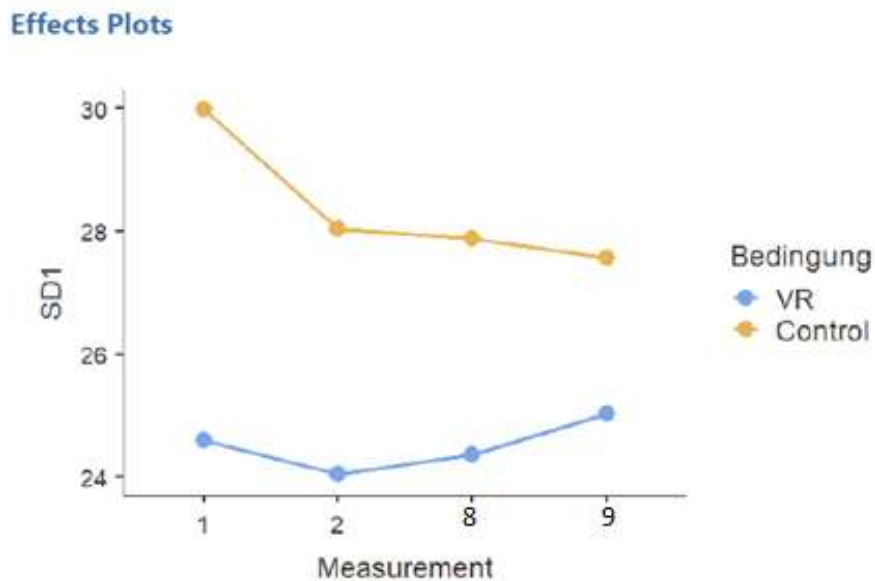


Abbildung 22: SD1-Messung: Tage 1, 2, 8 und 9
(Quelle: Eigene Darstellung)

Aus Abbildung 23 geht hervor, dass alle SD1-Werte der Gruppe ohne Intervention über den SD1-Werten der Gruppe mit Intervention liegen. In der Kontrollgruppe zeigt sich eine Erhöhung der SD1-Werte von T1 zu T2, in der Interventionsgruppe bleibt dieser Wert konstant zu T1. Daraufhin fällt der Wert in beiden Gruppen von T2 zu T3 stark ab. Von T3 zu T4 verändert sich der SD1-Wert in beiden Gruppen kaum, um dann stark bei T5 zu steigen und bei T6 konstant zu bleiben.

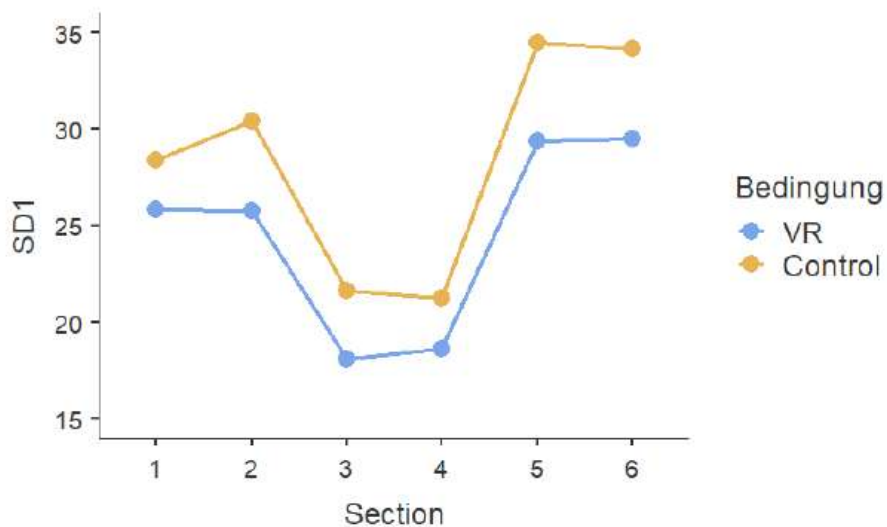


Abbildung 23: SD1-Section: Zeitfenster T1 bis T6

(Quelle: Eigene Darstellung)

5.7 SDNN

Die Ergebnisse finden sich in den Tabellen 20 und 21. Die Zeitfenster T1 bis T6 $F(5.1349)=61.367;p<.001$ zeigten im Omnibustest einen signifikanten Unterschied. Sowohl die Testtage 1, 2, 8 und 9 $F(3.1351)=.230;p=.875$ als auch die Gruppen (Intervention und Kontrolle) $F(1.1353)=3.110;p=.079$ wiesen keinen signifikanten Unterschied auf. Gleiches gilt für die Interaktionen zwischen den verschiedenen Tagen mit den Gruppen $F(3.1351)=.195;p=.9$. Das statistische Maß „R-squared Marginal“ beträgt $R^2=.110$.

Model Results

Fixed Effect Omnibus tests

	F	Num df	Den df	p
Section	61.367	5	1128	< .001
Measurement	0.230	3	227	0.875
condition	3.110	1	227	0.079
Measurement * condition	0.195	3	227	0.900

Tabelle 20: SDNN-Omnibustest

(Quelle: Eigene Darstellung)

Das Mixed-Model für die Zeitfenster T1 bis T6 zeigt signifikante Unterschiede bei T1 zu T2 $t(1129)=6.7522;p<.001$, T1 zu T4 $t(1129)=-7.3781;p<.001$, T1 zu T5 $t(1129)=2.5734;p=.01$ und T1 zu T6 $t(1130)=7.3417;p<.001$. Bei T1 zu T3 $t(1129)=-1.5325;p=.126$ sind keine signifikanten Abweichungen feststellbar, ebenso bei den Testtagen Tag 1 zu Tag 2 $t(228)=-.5252;p=.6$, Tag 1 zu Tag 8 $t(228)=-.8197;p=.413$ und Tag 1 zu Tag 9 $t(228)=-.4477;p=.655$. Auch die Vergleiche Testtag 1 mit den Gruppen (VR und Control) zu Testtag 2 mit den Gruppen (VR und Control) $t(228)=.3613;p=.718$, Testtag 1 mit den Gruppen (VR und Control) zu Testtag 8 mit den Gruppen (VR und Control) $t(228)=.6046;p=.546$ und Testtag 1 mit den Gruppen (VR und Control) zu Testtag 9 mit den Gruppen (VR und Control) $t(228)=-.061;p=.951$ ergaben keine signifikanten Unterschiede.

Names	Effect	Estimate	SE	95% Confidence Interval		df	t	p
				Lower	Upper			
(Intercept)	(Intercept)	67.487	1.26	65.018	69.957	227	53.5701	< .001
Section1	2 - 1	11.003	1.63	7.809	14.197	1129	6.7522	< .001
Section2	3 - 1	-2.497	1.63	-5.691	0.697	1129	-1.5325	0.126
Section3	4 - 1	-12.023	1.63	-15.217	-8.829	1129	-7.3781	< .001
Section4	5 - 1	4.193	1.63	1.000	7.387	1129	2.5734	0.010
Section5	6 - 1	11.979	1.63	8.781	15.177	1130	7.3417	< .001
Measurement1	2 - 1	-1.847	3.52	-8.741	5.047	228	-0.5252	0.600
Measurement2	3 - 1	-2.957	3.61	-10.028	4.114	228	-0.8197	0.413
Measurement3	4 - 1	-1.587	3.54	-8.534	5.360	228	-0.4477	0.655
condition1	1 - 0	4.443	2.52	-0.495	9.382	227	1.7635	0.079
Measurement1 * condition1	2 - 1 * 1 - 0	2.542	7.03	-11.246	16.330	228	0.3613	0.718
Measurement2 * condition1	3 - 1 * 1 - 0	4.362	7.22	-9.780	18.504	228	0.6046	0.546
Measurement3 * condition1	4 - 1 * 1 - 0	-0.432	7.09	-14.327	13.462	228	-0.0610	0.951

Tabelle 21: SDNN-Mixed-Model

(Quelle: Eigene Darstellung)

Auch hier liegen alle SDNN-Werte der Gruppe ohne Intervention weit über den SDNN-Werten der Gruppe mit Intervention, wie aus Abbildung 24 hervorgeht. Die Werte der Interventionsgruppe haben ihren höchsten Punkt an Tag 1 und nehmen über die Tage 2 und 8 kontinuierlich ab. An Tag 9 nehmen sie wieder stark zu. Die SDNN-Werte der Kontrollgruppe sinken über die Tage 1, 2, 8 und 9 kontinuierlich leicht und erreichen ihren niedrigsten Wert an Tag 9.

Effects Plots

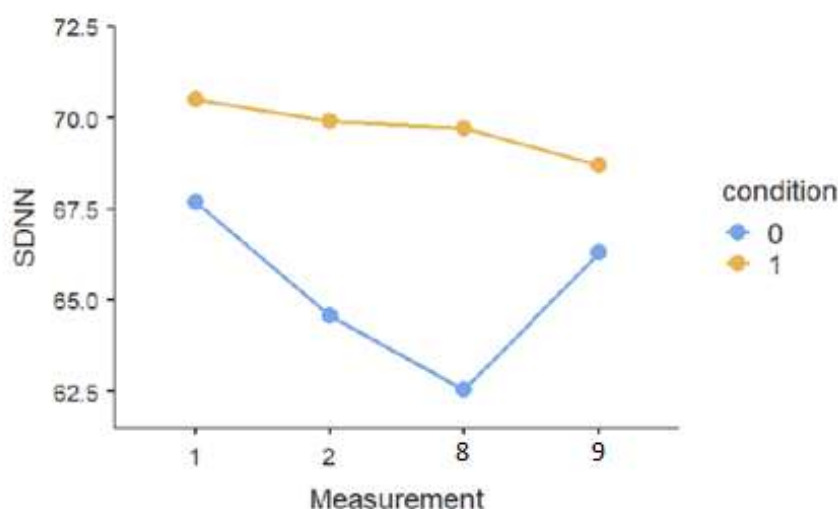


Abbildung 24: SDNN-Measurement: Tage 1, 2, 8 und 9

(Quelle: Eigene Darstellung)

Wie in Abbildung 25 ersichtlich, liegen alle SDNN-Werte der Gruppe ohne Intervention weit über den SDNN-Werten der Gruppe mit Intervention. Bei beiden zeigt sich eine Erhöhung der SDNN-Werte von T1 zu T2, daraufhin fällt der Wert von T2 zu T3 und von T3 zu T4 stark ab. Von T4 zu T5 steigt der SDNN-Wert in beiden Gruppen deutlich und nimmt von T5 bis zum Höchstwert bei T6 abermals zu.

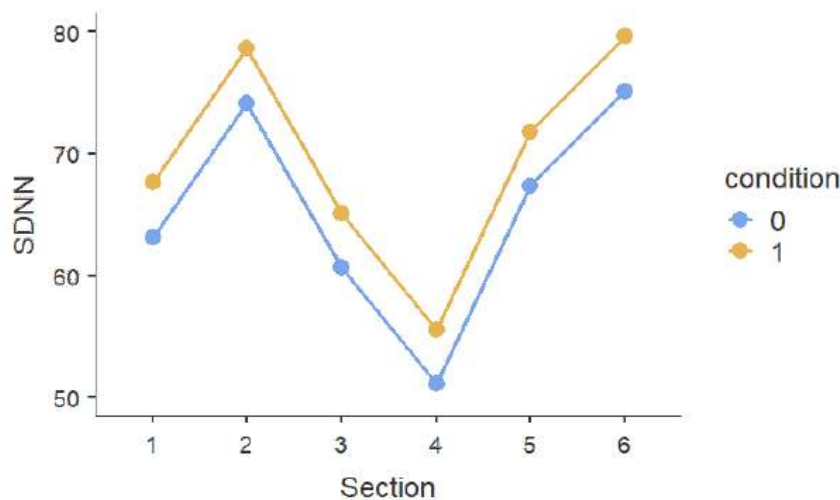


Abbildung 25: SDNN-Section: Zeitfenster T1 bis T6

(Quelle: Eigene Darstellung)

6. Diskussion

In den Kapiteln 2.1.1 und 2.1.3 wurde bereits ein Zusammenhang des vegetativen Nervensystems und der Herzratenvariabilität erläutert. Untersucht werden sollte ein Zusammenhang von Stress auf die Herzratenvariabilität und mögliche Auswirkungen einer durch virtuelle Realität gestützten Präventionsmaßnahme auf die stressbedingte Veränderung des vegetativen Nervensystems. Den Schwerpunkt bildete die Betrachtung der gängigen HRV-Parameter (Sammito und Böckelmann 2015). Da sich aktuell nur sehr wenige Studien mit virtueller Realität im Zusammenhang mit gesunden Personen beschäftigen, ergab sich ein interessantes Gebiet zur weiteren Erforschung.

6.1 Material und Methode

6.1.1 Studiendesign und Probandenkollektiv

Basierend auf einem experimentellen Forschungsdesign wurde eine Pilotstudie ange­stellt. Grundsätzlich wurden die Standards der empirischen Forschung eingehalten (Döring und Bortz 2016). Alle Probanden erhielten nach einem vorher festgelegten Protokoll die gleichen mündlichen Anweisungen für die Erhebung der Daten. Ebenso unterlag die Auswertung einem standardisierten Verfahren. Die Studie fand ausschließlich in den Räumlichkeiten der Johannes Gutenberg-Universität Mainz statt, was sich zwar begrenzend auf die Studie auswirkte, aber aufgrund personell und finanziell begrenzter Ressourcen nicht anders umsetzbar war. Dennoch würde sich durch einen multizentrischen Aufbau der Studie die Generalisierbarkeit der Ergebnisse erhöhen und die externe Validität könnte gesteigert werden (Röhrig et al. 2009). Die Probanden wurden über einen längeren Zeitpunkt von mehreren Wochen einbestellt, was sich negativ auf Motivation und Compliance der Teilnehmer auswirkte, aber zugleich einen längeren Beobachtungszeitraum zuließ. Auch die Anzahl der Testtage und der damit verbundene Aufwand ließen Motivation und Compliance der Probanden sinken. Eine mögliche Störgröße auf die Ergebnisse ist die fehlende Verblindung der Studienleiter (Kleindienst 2013), die sich aufgrund des Aufbaus und der begrenzten personellen Ressourcen bei der Intervention nicht realisieren ließ. Bei den Teilnehmern handelte es sich vor allem um Studierende, da die Rekrutierung hauptsächlich über Aushänge auf dem Campus der Johannes Gutenberg-Universität Mainz stattfand. Daher können die Ergebnisse möglicherweise nicht mit Blick auf Personen eines anderen Bildungsgrads verallgemeinert werden. Der Zeitraum der Studie betrug etwa zwei Jahre und betraf ebenso vorlesungsfreie Zeiten wie Vorlesungszeiten und Prüfungsphasen. Somit wurden die Probanden in unterschiedlichen Belastungsphasen getestet. Auch fiel die Studie in den Beginn der Covid-19-Pandemie, was sich möglicherweise ausgewirkt hat, aber zugleich die allgemeine Situation der Bevölkerung widerspiegelte (Horesh und Brown 2020). Ein möglicher Einfluss des Alters wurde zwar durch die Festlegung der Einschlusskriterien auf ein Alter von achtzehn bis dreißig Jahren gesenkt, dennoch ist diese Altersgruppe den Umgang mit digitalen Geräten eher gewohnt als andere Generationen (Tully 2018). Daher wäre eine Überarbeitung der Ergebnisse mit anderen Altersgruppen wünschenswert. Zu beachten ist, dass mit sechzig Probanden eine kleine Gruppe untersucht wurde. Um die statistische

Aussagekraft der Studie zu erhöhen, sollte die Arbeit mit einer größeren Stichprobe im Rahmen einer randomisiert kontrollierten Studie wiederholt werden.

6.1.2 HRV-Messung

Die Studie hielt sich grundsätzlich an die Empfehlungen der Task Force (Task Force 1996a). Daher wurde stets in fünfminütigen Intervallen bei allen Probanden mit dem gleichen Gerät gemessen. Daher wird von einer uneingeschränkten Vergleichbarkeit der immer zur gleichen Tageszeit erhobenen Daten ausgegangen. Die Elimination von Aufzeichnungsartefakten ist als mögliche Fehlerquelle zu nennen. Zwar gilt die visuelle Begutachtung als ein mögliches und etabliertes Verfahren, um die bei körperlicher Tätigkeit im Vergleich zur Ruhemessung vermehrt auftretenden Störungen im EKG zu korrigieren, sie ist aber zugleich auch sehr fehleranfällig (Sammito und Böckelmann 2015, 77). Nach längerer Begutachtung nimmt die Konzentration ab, weswegen Fehler auftreten können.

6.2. Betrachtung der Ergebnisse

6.2.1 Ergebnisse der Gruppen

Hinsichtlich ihres Ausgangswerts zeigte sich kein signifikanter Unterschied in den Gruppen, was auf eine gute Vergleichbarkeit der Interventions- und Kontrollgruppe schließen lässt. Die Ergebnisse der Studie weisen einen signifikanten Unterschied beim Betrachten der verschiedenen Testzeitpunkte T1 bis T6 in allen Gruppen aus. Damit steht das Ergebnis im Einklang mit der aktuellen Studienlage (Dorn et al. 2020; Sammito 2021; Sammito und Böckelmann 2015; Kirschbaum et al. 1993; Task Force 1996b).

Entgegen der Erwartung konnten keine signifikanten Unterschiede in den Herzratenvariabilitätsparametern zwischen der Interventions- und der Kontrollgruppe in Bezug auf die Testtage 1, 2, 8 und 9 festgestellt werden. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie deuten auf ein weitaus vielschichtiger aufgebautes Feld beim Betrachten, Messen und Interpretieren der Herzratenvariabilität hin, als bei der Formulierung der Hypothesen ursprünglich angenommen wurde. So ist bei Anwendung von virtueller Realität aufgrund der hohen Immersivität bekannt, dass diese eine zunächst anregende Wirkung hat und somit neutralisierend auf einen möglichen entspannenden Effekt wirkt (Felnhofer et al. 2015). Dies würde sich auch in der Herzratenvariabilität

widerspiegeln. Es ist zu erwarten, dass ein solch unterdrückter Effekt bei wiederholter Intervention mit virtueller Realität abnimmt. In der vorliegenden Arbeit lag der Schwerpunkt nur auf der Auswertung und Interpretation der Herzratenvariabilität und ihrer Parameter. Im Gegensatz zur zugrundeliegenden Studie beschäftigten sich die meisten anderen Studien zu virtueller Realität und Entspannung mit erkrankten Personen (Kothgassner et al. 2022; Blum et al. 2019). Dies ist insofern wichtig, als keine direkte Vergleichbarkeit besteht. Mit Blick auf die Fachliteratur und die Ergebnisse der vorliegenden Studie kann zusammenfassend gesagt werden, dass letztere nur einen Teil dieses komplexen Themas widerspiegelt und eine gute Grundlage für weiterführende Forschung bietet.

6.2.2 Herzratenvariabilität als Nachweis für Stress

Wie in Kapitel 2.1 beschrieben, kann die Herzratenvariabilität einen Teil des vegetativen Nervensystems mit den Anteilen des Sympathikus und Parasympathikus abbilden. Ein Absinken der Herzratenvariabilität ist mit einem Anstieg des sympathischen und mit dem Abfallen des parasympathischen Anteils des autonomen Nervensystems verbunden (Bläsing 2017, 272). Belastende Zustände lassen sich so zuverlässig darstellen. Die Ergebnisse dieser Arbeit sprechen für einen Zusammenhang von Stress und der Herzratenvariabilität. Vor allem der Vergleich der Ruhephasen mit den Phasen, in denen die Aufgaben gestellt wurden (Vortrag und Rechenaufgabe) zeigen deutlich, dass die Stresssituationen tatsächlich Stress erzeugen. Dabei ist zu beachten, dass die vorher durchgeführte Taktatmungsphase nicht in die Betrachtung mit einbezogen werden sollte, da eine vertiefte Atmung einen erheblichen Einfluss auf die Herzratenvariabilität haben kann (Frass und Krenner 2019, 182). Die vorliegende Arbeit steht somit im Einklang mit der aktuellen Forschungsliteratur (Laborde et al. 2017; Berntson et al. 1997).

6.2.3 Beeinflussung von Stress durch geeignete virtuelle Intervention

Wie aus Kapitel 2.3 hervorgeht, können mit der VRET (Virtual Reality Exposure Therapy) bereits psychotherapeutisch belastende negative Einflüsse verbessert werden, ohne jedoch genau den Hintergrund dieses Effekts zu verstehen (Altenhofer 2021). Insbesondere die in den letzten Jahren erzielten Leistungsverbesserungen bei der neuesten Generation von HMDs in Bezug auf Auflösung, Sichtfeld und Immersionsgrad sowie der Rückgang ihres Preises haben ein weites Feld in der Erforschung

der virtuellen Realität gefördert (Tsai et al. 2018). Dies steht im Einklang mit der zunehmenden Anwendung von VR in den letzten Jahren in anderen Bereichen, wie Rehabilitation, Neurochirurgie und Therapie (Cipresso et al. 2018). Ziel war es, induzierten Stress durch geeignete virtuelle Intervention zu reduzieren. Das VR-Entspannungsverfahren fand fünfmal statt, wobei die Probanden genau angeleitet wurden. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen keinen signifikanten Einfluss eines virtuellen Entspannungsverfahrens auf die Herzratenvariabilität und somit keinen signifikant messbaren Effekt auf die Reduktion von Stress bei gesunden Probanden. Frühere Untersuchungen zum Umgang mit immersiver virtueller Umgebung ergaben jedoch, dass Entspannung (Shah et al. 2014), Stressabbau (Tyrväinen et al. 2014) und positive Stimmung (Pritchard et al. 2020) gefördert werden konnten. Allerdings schränkt die Heterogenität der Konzepte einen Vergleich zwischen den Arbeiten stark ein. Insbesondere die Verwendung unterschiedlicher Entspannungsbilder lassen einen Vergleich nur bedingt zu.

6.3 Betrachtung der Hypothesen

Stress hat einen unmittelbaren Einfluss auf die Herzratenvariabilität und ihre Parameter, ein Sinken der Herzratenvariabilität deutet auf eine Erhöhung des Stresslevels hin, wie in Kapitel 2.1.3 gezeigt. Folgende Hypothesen wurden aufgestellt:

Hypothese 1: Induzierter Stress lässt sich bei gesunden Probanden mittels HRV-Parameter nachweisen.

Hypothese 2: Induzierter Stress lässt sich durch geeignete virtuelle Intervention reduzieren.

Um die Hypothesen zu beweisen, wurden die teilnehmenden Probanden zufällig in zwei Gruppen eingeteilt, eine Interventionsgruppe und eine Kontrollgruppe. Die Herzratenvariabilität wurde mittels EKG an mehreren Tagen zu vorher festgelegten Zeitpunkten T1 bis T6 aufgezeichnet.

Die Interventionsgruppe erhielt im Gegensatz zur Kontrollgruppe eine VR-Entspannungsintervention. Es konnte gezeigt werden, dass sich induzierter Stress mittels HRV bei gesunden Probanden nachweisen lässt. Hieraus konnte abgeleitet werden, dass Hypothese H1 somit angenommen werden kann. Allerdings wurde ebenfalls

festgestellt, dass geeignete virtuelle Intervention in Form eines VR-Entspannungstrainings keinen signifikanten Einfluss auf die Herzratenvariabilität und somit keinen Effekt einer Stressreduktion hat. Hypothese H2 konnte nicht bestätigt werden und musste daher verworfen werden. Anzumerken ist, dass diese Ergebnisse einen Effekt des VR-Entspannungstrainings nicht ausschließen, sondern lediglich ein einzelner Aspekt widergespiegelt wurde.

6.4 Klinische Implikation

Die Anwendung von virtueller Realität mit HMD im klinischen Alltag und in der Routineversorgung von Patienten ist noch kein fester Bestandteil (Tsamitros et al. 2022). Erforscht wird virtuelle Realität zur Bewältigung von Ängsten und Schmerzen, sowie beim Einsatz in Schulungen von Patienten (Machulska et al. 2021). In der Psychiatrie und Psychotherapie wird der Einsatz von virtueller Realität schon seit längerer Zeit untersucht und für spezielle Fragestellungen eingesetzt (Machulska et al. 2021). So ist virtuelle Realität ein Bestandteil in der Leitlinie „Angststörung“ von 2021 (Tsamitros et al. 2022). Die früher herrschende Skepsis wird zunehmend von einer positiven Einstellung der Kliniker zur virtuellen Realität verdrängt (Anderson und Molloy 2020). Die hier vorgestellte Arbeit und ihre Fragestellung trägt wesentlich zum Verständnis der Grundlagen von virtueller Realität bei und ermöglicht eine kritische Betrachtung. Auch wenn die Zukunft für virtuelle Realität im klinischen Alltag vielversprechend ist, sind noch viele Fragen zu diesem Thema unbeantwortet.

6.5 Empfehlungen für weiterführende Forschung

Stress ist eine „Alarmreaktion“, die sich als Folge auf das autonome Nervensystem mit sympathischem und parasympathischem Anteil auswirkt. Als Messinstrument eignet sich die Herzratenvariabilität. Eine mögliche Beeinflussung von Stress und seiner Wirkung auf den Körper bieten Entspannungsverfahren mit virtueller Realität. Bisherige Studien beschäftigten sich hauptsächlich mit bereits erkrankten Patienten und der Wirkung von virtueller Realität. In der vorliegenden Studie erforschten wir daher gesunde Probanden im Umgang mit Stress und virtueller Realität. Um einer Beeinflussung verschiedener Variablen entgegenzuwirken, wurden rein männliche Probandengruppen rekrutiert. Ausgeschlossen wurden Probanden mit akuten und chronischen Erkrankungen, Medikamenteneinnahme und Nikotinabusus. Hinsichtlich ihres Ausgangswerts zeigte sich kein signifikanter Unterschied in den Gruppen.

Erkenntnisse aus der aktuellen Literatur und die Beobachtungen anderer Studien bei verschiedenen Entspannungsverfahren lassen vermuten, dass eine Intensivierung der VR-Entspannungsverfahren auf mindestens einmal pro Tag über eine Dauer von mehreren Wochen einen möglichen Effekt zeigen (Wittchen und Hoyer 2011, 590). Eine Vergrößerung der Stichprobe und eine Erweiterung des Rekrutierungsradius wären wünschenswert, um tiefere Erkenntnisse in diesem Forschungsgebiet zu erlangen. Ideal wäre eine kontinuierliche EKG-Überwachung über einen längeren Zeitraum, um auch geringe Unterschiede festzustellen. Von Bedeutung ist die Klärung, ob eine Verbesserung des verwendeten Head-Mounted-Displays bezüglich seiner Displayqualität und seines Tragekomforts die Anwenderfreundlichkeit sowie das Gefühl der Immersion steigern kann. Außerdem sollte über eine individuelle Simulation nachgedacht werden, um die Entspannung zu steigern (Anderson et al. 2017). Hierfür ist eine Bereitstellung mehrerer landschaftlicher Simulationen geeignet, aus denen die Probanden individuell und entsprechend ihren persönlichen Neigungen wählen könnten. So kann die immersive Darstellung eines Waldes individuell anders ansprechen als von Strand und Meer. Insgesamt zeigt sich, dass virtuelle Realität im Zusammenhang mit Stress viel Raum für weitere Forschung auf diesem Gebiet bietet und noch viele Entdeckungen und Entwicklungen bevorstehen.

7. Zusammenfassung

7.1 Hintergrund

Stress ist ein bedeutendes Phänomen, das mit individuellen physiologischen und psychologischen Symptomen und mit Verhaltenssymptomen in Verbindung gebracht werden kann. Da sich jeder Mensch mit Stress in seinem Leben auseinandersetzen muss, sind Maßnahmen zur Prävention ein wichtiges gesellschaftliches Thema. Eine mögliche präventive Maßnahme kann die HMD-gesteuerte virtuelle Realität sein. Bisherige Forschungsarbeiten fokussierten sich hauptsächlich auf Patientenpopulationen, die Virtual Reality anwendeten. Psychophysiologische Daten über gesunde Personen, bei denen HMDs für virtuelle Umgebungen eingesetzt werden, sind kaum untersucht (Riches et al. 2021). In der Gesamtheit zeigt sich die aktuelle Studienlage sehr wenig aussagekräftig in Bezug auf gesunde Personen. Im Rahmen dieser Arbeit sollte daher unter standardisierten Bedingungen die Wirkung von HMD-gesteuerter virtueller Realität hinsichtlich ihrer Auswirkung auf induzierten Stress untersucht werden.

7.2 Grundlagen

Die für die Datenerhebung genutzte Herzratenvariabilität spiegelt die Aktivität des Sympathikus und Parasympathikus des autonomen Nervensystems wider. Der im Rahmen dieser Studie verwendete Trier Social Stress Test ist eine anerkannte Methode, um Stress zu induzieren, der wiederum über die Herzratenvariabilitätsparameter gemessen werden kann. Das hier zur Entspannung genutzte HMD mit virtueller Realität erzeugt beim Anwender eine Illusion, die der Nutzer als tatsächliches Geschehen wahrnimmt.

7.3 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit war es, induzierten Stress bei gesunden Probanden mittels HRV-Parametern darzustellen. Als Stressinduktion diente der Trier Social Stress Test.

Die Herzratenvariabilität, gemessen anhand von RMSSD, mittlerer Herzrate, SDNN, SD1, LF/HF, LF, HF und pNN50%, die zu je verschiedenen Zeitabschnitten untersucht wurden, dienten als Parameter.

Zudem sollte in der vorliegenden Arbeit der Nachweis erbracht werden, dass induzierter Stress durch geeignete virtuelle Intervention reduziert wird. Dazu wurde ein individuell erstelltes VR-Entspannungstraining über ein HMDs verwendet. Gemessen wurde dies über die Herzratenvariabilitätsparameter.

7.4 Methoden

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden sechzig gesunde rein männliche Probanden im Alter zwischen achtzehn und dreißig Jahren untersucht. Die Eignung für die Teilnahme an der Studie wurde durch ein telefonisches Interview geprüft. Eingeschlossen wurden nur gesunde Teilnehmer, ohne akute oder chronische Erkrankungen. Die Probanden wurden randomisiert in zwei verschiedene Gruppen eingeteilt. Jede Gruppe musste an vier Tagen (Tage 1, 2, 8 und 9) den Trier Social Stress Test durchlaufen. Die Interventionsgruppe hatte zusätzlich an den Tagen 3 bis 7 ein Entspannungstraining mit HMD-gesteuerter virtueller Realität.

7.5 Ergebnisse

Sowohl die Zeitfenster T1 bis T6 als auch die Gruppen im Vergleich zeigen im Omnibustest der verschiedenen Herzratenvariabilitätsparameter einen signifikanten Unterschied. Bei den Testtagen 1, 2, 8 und 9 war das nicht der Fall. Auch ergaben sich

keine signifikanten Interaktionen an den verschiedenen Tagen zwischen den Gruppen.

7.6 Diskussion und Fazit

Induzierter Stress lässt sich mittels HRV bei gesunden Probanden nachweisen. Hypothese H1 kann damit angenommen werden: „Induzierter Stress lässt sich bei gesunden Probanden mittels HRV-Parameter nachweisen.“ Die Ergebnisse unserer Studie zeigen, dass keine signifikanten Unterschiede in den Herzratenvariabilitätsparametern zwischen der Interventions- und der Kontrollgruppe in Bezug auf die Testtage 1, 2, 8 und 9 festgestellt werden kann. Daraus ist zu schließen, dass geeignete virtuelle Intervention in Form eines VR-Entspannungstrainings keinen signifikanten Einfluss auf die Herzratenvariabilität und somit keinen Effekt einer Stressreduktion hat. Hypothese H2, „Induzierter Stress lässt sich durch geeignete virtuelle Intervention reduzieren“, konnte nicht bestätigt werden. Mit Blick auf die Ergebnisse dieser Arbeit und die aktuelle Literatur sind eine Vergrößerung der Stichprobe und Erweiterung des Rekrutierungsradius wünschenswert, um tiefere Erkenntnisse in diesem Forschungsgebiet zu erlangen. Insgesamt bieten die Verbindungen von virtueller Realität und Stress erhebliches Potenzial für weiterführende Forschung auf diesem Gebiet.

8. Literaturverzeichnis

- Allen, Andrew P./Kennedy, Paul J./Dockray, Samantha/Cryan, John F./Dinan, Timothy G./Clarke, Gerard (2016). The Trier Social Stress Test: Principles and practice. *Neurobiology of Stress* 6, 113–126.
<https://doi.org/10.1016/j.ynstr.2016.11.001>.
- Altenhofer, Michael (2021). *Virtual-Reality-Therapie. Anwendung in Klinischer Psychologie und Psychotherapie*. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin / Heidelberg.
- Anderson, Allison P./Mayer, Michael D./Fellows, Abigail M./Cowan, Devin R./Hegel, Mark T./Buckey, Jay C. (2017). Relaxation with Immersive Natural Scenes Presented Using Virtual Reality. *Aerospace medicine and human performance* 88 (6), 520–526. <https://doi.org/10.3357/AMHP.4747.2017>.
- Anderson, Page L./Molloy, Anthony (2020). Maximizing the impact of virtual reality exposure therapy for anxiety disorders. *Current opinion in psychology* 36, 153–157. <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2020.10.001>.
- Annerstedt, Matilda/Jönsson, Peter/Wallergård, Mattias/Johansson, Gerd/Karlson, Björn/Grahn, Patrik/Hansen, Ase Marie/Währborg, Peter (2013). Inducing physiological stress recovery with sounds of nature in a virtual reality forest--results from a pilot study. *Physiology & behavior* 118, 240–250.
<https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2013.05.023>.
- Antelmi, Ivana/Paula, Rogério Silva de/Shinzato, Alexandre R./Peres, Clóvis Araújo/Mansur, Alfredo José/Grupi, Cesar José (2004). Influence of age, gender, body mass index, and functional capacity on heart rate variability in a cohort of subjects without heart disease. *The American journal of cardiology* 93 (3), 381–385. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2003.09.065>.
- Aumüller, Gerhard/Wurzinger, Laurenz J. (2010). *Anatomie*. 208 Tabellen. 2. Aufl. Stuttgart, Thieme.
- Baumert, J. H./Frey, A. W./Adt, M. (1995). Analyse der Herzfrequenzvariabilität. Grundlagen, Methodik und mögliche Anwendungen in der Anästhesie. *Der Anaesthesist* 44 (10), 677–686. <https://doi.org/10.1007/s001010050201>.
- Bengel, Jürgen/Mittag, Oskar (2016). *Psychologie in der medizinischen Rehabilitation*. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg.

- Bernardi, Luciano/Wdowczyk-Szulc, Joanna/Valenti, Cinzia/Castoldi, Stefano/Passino, Claudio/Spadacini, Giammario/Sleight, Peter (2000). Effects of controlled breathing, mental activity and mental stress with or without verbalization on heart rate variability. *Journal of the American College of Cardiology* 35 (6), 1462–1469. [https://doi.org/10.1016/s0735-1097\(00\)00595-7](https://doi.org/10.1016/s0735-1097(00)00595-7).
- Berntson, G. G./Bigger, J. T./Eckberg, D. L./Grossman, P./Kaufmann, P. G./Malik, M./Nagaraja, H. N./Porges, S. W./Saul, J. P./Stone, P. H./van der Molen, M. W. (1997). Heart rate variability: origins, methods, and interpretive caveats. *Psychophysiology* 34 (6), 623–648. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1997.tb02140.x>.
- Bläsing, Dominic (2017). Erfassung von individuellem Beanspruchungserleben am Arbeitsplatz über Herzratenvariabilität im Pflegebereich. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 71 (4), 269–278. <https://doi.org/10.1007/s41449-017-0082-7>.
- Blum, Johannes/Rockstroh, Christoph/Göriz, Anja S. (2019). Heart Rate Variability Biofeedback Based on Slow-Paced Breathing With Immersive Virtual Reality Nature Scenery. *Frontiers in psychology* 10, 2172. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02172>.
- Böckelmann, I./Sammito, S. (2020). Herzfrequenzvariabilitätsanalyse in der betriebsärztlichen Praxis. *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie* 70 (6), 269–277. <https://doi.org/10.1007/s40664-020-00401-x>.
- Brown, T. E./Beightol, L. A./Koh, J./Eckberg, D. L. (1993). Important influence of respiration on human R-R interval power spectra is largely ignored. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)* 75 (5), 2310–2317. <https://doi.org/10.1152/jappl.1993.75.5.2310>.
- Chicchi Giglioli, Irene Alice/Pravettoni, Gabriella/Sutil Martín, Dolores Lucia/Parra, Elena/Raya, Mariano A. (2017). A Novel Integrating Virtual Reality Approach for the Assessment of the Attachment Behavioral System. *Frontiers in psychology* 8, 959. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00959>.
- Cicccone, Anthony B./Siedlik, Jacob A./Wecht, Jill M./Deckert, Jake A./Nguyen, Nhu-quynh D./Weir, Joseph P. (2017). Reminder: RMSSD and SD1 are identical heart rate variability metrics. *Muscle & nerve* 56 (4), 674–678. <https://doi.org/10.1002/mus.25573>.

- Cipresso, Pietro/Giglioli, Irene Alice Chicchi/Raya, Mariano Alcañiz/Riva, Giuseppe (2018). The Past, Present, and Future of Virtual and Augmented Reality Research: A Network and Cluster Analysis of the Literature. *Frontiers in psychology* 9, 2086. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02086>.
- Dickerson, Sally S./Kemeny, Margaret E. (2004). Acute stressors and cortisol responses: a theoretical integration and synthesis of laboratory research. *Psychological Bulletin* 130 (3), 355–391. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.130.3.355>.
- Döring, Nicola/Bortz, Jürgen (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg.
- Dorn, Annegret/Minow, Annemarie/Darius, Sabine/Böckelmann, Irina (2020). Auswirkungen von Aufmerksamkeitstests unterschiedlicher kognitiver Anforderungen auf die Auslenkung der HRV-Parameter. *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie* 70 (3), 99–108. <https://doi.org/10.1007/s40664-019-00374-6>.
- Eller-Berndl, Doris (2015). *Herzratenvariabilität*. 2. Aufl. Wien, Verlagshaus der Ärzte.
- Ernst, Gundula/Franke, Alexa/Franzkowiak, Peter (2022). Stress und Stressbewältigung. <https://doi.org/10.17623/BZGA:Q4-i118-2.0>.
- Ewing, D. J./Neilson, J. M./Travis, P. (1984). New method for assessing cardiac parasympathetic activity using 24 hour electrocardiograms. *British heart journal* 52 (4), 396–402. <https://doi.org/10.1136/hrt.52.4.396>.
- Faller, Hermann/Lang, Hermann (Hg.) (2019). *Medizinische Psychologie und Soziologie*. 5. Aufl. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg.
- Felnhofer, Anna/Kothgassner, Oswald D./Schmidt, Mareike/Heinzle, Anna-Katharina/Beutl, Leon/Hlavacs, Helmut/Kryspin-Exner, Ilse (2015). Is virtual reality emotionally arousing? Investigating five emotion inducing virtual park scenarios. *International Journal of Human-Computer Studies* 82, 48–56. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2015.05.004>.
- Fenzl, Schlegel (2010). Herzratenvariabilität—Diagnosemittel für die Gesundheit: altersbezogene Effektgrößen. *schweizerische Zeitschrift für «Sportmedizin und Sporttraumatologie»* 58 (4), 134–140.
- Folkman, S. (1984). Personal control and stress and coping processes: a theoretical analysis. *Journal of personality and social psychology* 46 (4), 839–852. <https://doi.org/10.1037//0022-3514.46.4.839>.

- Frass, Michael/Krenner, Lothar (2019). *Integrative Medizin*. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg.
- Heinrichs, Markus/Stächele, Tobias/Domes, Gregor (2015). *Stress und Stressbewältigung*. Göttingen/Bern/Wien, Hogrefe.
- Horesh, Danny/Brown, Adam D. (2020). Traumatic stress in the age of COVID-19: A call to close critical gaps and adapt to new realities. *Psychological trauma : theory, research, practice and policy* 12 (4), 331–335.
<https://doi.org/10.1037/tra0000592>.
- Hoyer, Jürgen/Knappe, Susanne (2020). *Klinische Psychologie & Psychotherapie*. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg.
- Huppelsberg, Jens/Walter, Kerstin (2013). *Kurzlehrbuch Physiologie*. 4. Aufl. Stuttgart, Thieme.
- Juliano, Julia M./Spicer, Ryan P./Vourvopoulos, Athanasios/Lefebvre, Stephanie/Jann, Kay/Ard, Tyler/Santaracchi, Emiliano/Krum, David M./Liew, Sook-Lei (2020). Embodiment Is Related to Better Performance on a Brain-Computer Interface in Immersive Virtual Reality: A Pilot Study. *Sensors (Basel, Switzerland)* 20 (4). <https://doi.org/10.3390/s20041204>.
- Kaluza, Gert (2018). *Stressbewältigung*. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg.
- Kirschbaum, C./Pirke, K. M./Hellhammer, D. H. (1993). The 'Trier Social Stress Test'-a tool for investigating psychobiological stress responses in a laboratory setting. *Neuropsychobiology* 28 (1-2), 76–81. <https://doi.org/10.1159/000119004>.
- Klainin-Yobas, Piyanee/Oo, Win Nuang/Suzanne Yew, Pey Ying/Lau, Ying (2015). Effects of relaxation interventions on depression and anxiety among older adults: a systematic review. *Aging & mental health* 19 (12), 1043–1055.
<https://doi.org/10.1080/13607863.2014.997191>.
- Klauer, Thomas (2012). *Stressbewältigung*. *Psychotherapeut* 57 (3), 263–278.
<https://doi.org/10.1007/s00278-012-0908-x>.
- Kleindienst, Nikolaus (2013). Verblindung, Matching, Randomisierung in Psychotherapiestudien. *Psychotherapie, Psychosomatik, medizinische Psychologie* 63 (3-4), 161–162. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1332977>.

- Koenig, Julian/Thayer, Julian F. (2016). Sex differences in healthy human heart rate variability: A meta-analysis. *Neuroscience and biobehavioral reviews* 64, 288–310. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.03.007>.
- Kothgassner, Oswald D./Goreis, Andreas/Bauda, Ines/Ziegenaus, Amelie/Glenk, Lisa M./Felnhofer, Anna (2022). Virtual reality biofeedback interventions for treating anxiety : A systematic review, meta-analysis and future perspective. *Wiener klinische Wochenschrift* 134 (Suppl 1), 49–59. <https://doi.org/10.1007/s00508-021-01991-z>.
- Kreibig, Sylvia D. (2010). Autonomic nervous system activity in emotion: a review. *Biological psychology* 84 (3), 394–421. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2010.03.010>.
- Kudielka, Brigitte M./Kirschbaum, Clemens (2007). Biological Bases of the Stress Response. In: *Stress and Addiction*. Elsevier, 3–19.
- Laborde, Sylvain/Mosley, Emma/Thayer, Julian F. (2017). Heart Rate Variability and Cardiac Vagal Tone in Psychophysiological Research - Recommendations for Experiment Planning, Data Analysis, and Data Reporting. *Frontiers in psychology* 8, 213. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00213>.
- Laver, Kate E./Lange, Belinda/George, Stacey/Deutsch, Judith E./Saposnik, Gustavo/Crotty, Maria (2017). Virtual reality for stroke rehabilitation. *The Cochrane database of systematic reviews* 11, CD008349. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD008349.pub4>.
- Li, Min/Wang, Lei/Jiang, Meina/Di Wu/Tian, Tian/Huang, Weixin (2020). Relaxation techniques for depressive disorders in adults: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *International journal of psychiatry in clinical practice* 24 (3), 219–226. <https://doi.org/10.1080/13651501.2020.1764587>.
- Lohninger, Alfred (Hg.) (2017). *Herzratenvariabilität. Das HRV-Praxis-Lehrbuch*. Wien, facultas.
- Lyssenko, Lisa/Bengel, Jürgen (2016). *Resilienz und Schutzfaktoren*. <https://doi.org/10.17623/BZGA:224-i101-1.0>.
- Machulska, Alla/Roesmann, Kati/Eiler, Tanja Joan/Grünwald, Armin/Brück, Rainer/Klücken, Tim (2021). *Der Einsatz von Virtueller Realität in der Psychotherapeutischen Praxis: Aktueller Forschungsstand, Chancen, Risiken und*

Herausforderungen. *Psychotherapie Forum* 25 (3-4), 169–176.

<https://doi.org/10.1007/s00729-021-00185-2>.

Mazurek, B./Stöver, T./Haupt, H./Klapp, B. F./Adli, M./Gross, J./Szczepek, A. J.

(2010). Bedeutung von Stress : Seine Rolle im auditorischen System und bei der Tinnitusentstehung. *HNO* 58 (2), 162–172. <https://doi.org/10.1007/s00106-009-2001-5>.

Pape, Hans-Christian/Kurtz, Armin/Silbernagl, Stefan (2018). *Physiologie*. 8. Aufl. Stuttgart, Thieme.

Pritchard, Alison/Richardson, Miles/Sheffield, David/McEwan, Kirsten (2020). The Relationship Between Nature Connectedness and Eudaimonic Well-Being: A Meta-analysis. *Journal of Happiness Studies* 21 (3), 1145–1167.

<https://doi.org/10.1007/s10902-019-00118-6>.

Riches, Simon/Azevedo, Lisa/Bird, Leanne/Pisani, Sara/Valmaggia, Lucia (2021).

Virtual reality relaxation for the general population: a systematic review. *Social psychiatry and psychiatric epidemiology* 56 (10), 1707–1727.

<https://doi.org/10.1007/s00127-021-02110-z>.

Röhrig, Bernd/Du Prel, Jean-Baptist/Blettner, Maria (2009). Study design in medical research: part 2 of a series on the evaluation of scientific publications. *Deutsches Arzteblatt international* 106 (11), 184–189. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2009.0184>.

Sammito, Böckelmann (2021). 002/042 – S2k-Leitlinie: Nutzung der Herzschlagfrequenz und der Herzfrequenzvariabilität in der Arbeitsmedizin und der Arbeitswissenschaft aktueller Stand: 07/2021 2021.

Sammito, S./Böckelmann, I. (2015). Analyse der Herzfrequenzvariabilität. *Mathematische Basis und praktische Anwendung*. *Herz* 40 Suppl 1, 76–84.

<https://doi.org/10.1007/s00059-014-4145-7>.

Schneider, Silvia/Margraf, Jürgen (Hg.) (2009). *Lehrbuch der Verhaltenstherapie*. Band 3: Störungen im Kindes- und Jugendalter. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg.

Schünke, Michael/Schulte, Erik/Schumacher, Udo/Voll, Markus/Wesker, Karl H. (2022). *PROMETHEUS Kopf, Hals und Neuroanatomie*. Stuttgart, Georg Thieme Verlag KG.

- Shah, Lubna Bte Iskhandar/Klainin-Yobas, Piyanee/Torres, Samantha/Kannusamy, Premarani (2014). Efficacy of psychoeducation and relaxation interventions on stress-related variables in people with mental disorders: a literature review. *Archives of psychiatric nursing* 28 (2), 94–101.
<https://doi.org/10.1016/j.apnu.2013.11.004>.
- Steuer, Jonathan (1992). Defining Virtual Reality: Dimensions Determining Telepresence. *Journal of Communication* 42 (4), 73–93.
<https://doi.org/10.1111/j.1460-2466.1992.tb00812.x>.
- Task Force (1996a). Heart Rate Variability. *Circulation* 93 (5), 1043–1065.
<https://doi.org/10.1161/01.CIR.93.5.1043>.
- Task Force (1996b). Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *European heart journal* 17 (3), 354–381.
- Tsai, Chai-Fen/Yeh, Shih-Ching/Huang, Yanyan/Wu, Zhengyu/Cui, Jianjun/Zheng, Lirong (2018). The Effect of Augmented Reality and Virtual Reality on Inducing Anxiety for Exposure Therapy: A Comparison Using Heart Rate Variability. *Journal of healthcare engineering* 2018, 6357351.
<https://doi.org/10.1155/2018/6357351>.
- Tsamitros, N./Beck, A./Sebold, M./Schouler-Ocak, M./Berpohl, F./Gutwinski, S. (2022). Die Anwendung der Virtuellen Realität in der Behandlung psychischer Störungen. *Der Nervenarzt*. <https://doi.org/10.1007/s00115-022-01378-z>.
- Tully, Claus (2018). *Jugend – Konsum – Digitalisierung*. Wiesbaden, Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Tyrväinen, Liisa/Ojala, Ann/Korpela, Kalevi/Lanki, Timo/Tsunetsugu, Yuko/Kagawa, Takahide (2014). The influence of urban green environments on stress relief measures: A field experiment. *Journal of Environmental Psychology* 38, 1–9.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2013.12.005>.
- Ventura, Sara/Brivio, Eleonora/Riva, Giuseppe/Baños, Rosa M. (2019). Immersive Versus Non-immersive Experience: Exploring the Feasibility of Memory Assessment Through 360° Technology. *Frontiers in psychology* 10, 2509.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02509>.

Weißbuch (Hg.) (2006). Weißbuch Prävention 2005/2006. Berlin/Heidelberg, Springer-Verlag.

Wiesing, Urban/Parsa-Parsi, Ramin (2014). Die neue Deklaration von Helsinki, verabschiedet in Fortaleza 2013. *Ethik in der Medizin* 26 (2), 161–166.
<https://doi.org/10.1007/s00481-014-0299-3>.

Wittchen, Hans-Ulrich/Hoyer, Jürgen (Hg.) (2011). *Klinische Psychologie & Psychotherapie (Lehrbuch mit Online-Materialien)*. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg.

Woo, Jong-Min/Kim, Tae-Suk (2015). Gender plays significant role in short-term heart rate variability. *Applied psychophysiology and biofeedback* 40 (4), 297–303. <https://doi.org/10.1007/s10484-015-9295-8>.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 RR-Abstand.....	6
Abbildung 2 Herzratenvariabilität.....	7
Abbildung 3 Aufbau des vegetativen Nervensystems	8
Abbildung 4 Transaktionales Stressmodell nach Lazarus	16
Abbildung 5 Ablauf Interventionsgruppe.....	25
Abbildung 6 Ablauf Kontrollgruppe	25
Abbildung 7 Wineglass Bay in Tasmanien	28
Abbildung 8 HRV-Setting	32
Abbildung 9 Beat Erkennung.....	32
Abbildung 10 Beat Korrektur	33
Abbildung 11 Gesammelte Daten.....	34
Abbildung 12 RMSSD Measurement: Tag 1,2,8 und 9.....	37
Abbildung 13 RMSSD Section: Zeitfenster T1 bis T6.....	38
Abbildung 14 pNN50% Measurement: Tag 1,2,8 und 9	40
Abbildung 15 pNN50%n Section: Zeitfenster T1 bis T6	41
Abbildung 16 LF Measurement: Tag 1,2,8 und 9	43
Abbildung 17 LF Section: Zeitfenster T1 bis T6.....	43
Abbildung 18 HF Measurement: Tag 1,2,8 und 9.....	45
Abbildung 19 HF Section: Zeitfenster T1 bis T6	46
Abbildung 20 LF/HF Measurement: Tag 1,2,8 und 9.....	48

Abbildung 21 LF/HF Section: Zeitfenster T1 bis T6.....	49
Abbildung 22 SD1 Measurement: Tag 1,2,8 und 9.....	52
Abbildung 23 SD1 Section: Zeitfenster T1 bis T6.....	52
Abbildung 24 SDNN Measurement: Tag 1,2,8 und 9	54
Abbildung 25 SDNN Section: Zeitfenster T1 bis T6.....	55

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 HRV-Parameter	11
Tabelle 2 Veränderungen nach Entspannungsverfahren	19
Tabelle 3 Ausschlusskriterien.....	24
Tabelle 4 Ablauf Tag 1,2,8 und 9	26
Tabelle 5 Zeitpunkte T1 bis T6 Tag 1,2,8 und 9.....	27
Tabelle 6 Zeitpunkte 1,2 an Tag 3,4,5,6 und 7	28
Tabelle 7 Ausgewertete Messzeitpunkte T1 bis T6	35
Tabelle 8 RMSSD Omnibus Test	36
Tabelle 9 RMSSD Mixed-Model	36
Tabelle 10 pNN50% Omnibus Test.....	38
Tabelle 11 pNN50% Mixed-Model.....	39
Tabelle 12 LF Omnibus Test.....	41
Tabelle 13 LF-Mixed-Model.....	42
Tabelle 14 HF Omnibus Test.....	44
Tabelle 15 HF Mixed-Model	45
Tabelle 16 LF/HF Omnibus Test	47
Tabelle 17 LF/HF Mixed-Model	48
Tabelle 18 SD1 Omnibus Test	50
Tabelle 19 SD1 Mixed-Model	51
Tabelle 20 SDNN Omnibus Test	53
Tabelle 21 SDNN-Mixed-Model.....	54

Danksagung

Hiermit möchte ich mich bei all den zahlreichen Menschen bedanken, die mich bei diesem Projekt unterstützt haben.

Besonders möchte ich mich bei meiner Doktormutter Uni.-Prof. Dr. Katja Petrowski für die freundliche Unterstützung bedanken.

Danke an Herrn Prof. Dr. Hendrik Berth für die Korrektur dieser Arbeit.

Einen besonderen Dank dem ganzen Team der Studie.

Danke auch meinen Eltern Irmhild und Wolf-Dieter Göbig für die immer sehr großzügige Unterstützung.

Danke auch meinem Schwiegervater Dipl.-Ing. Klaus Gerth für seine Tipps.

Natürlich danke ich besonders meiner Frau Ann-Kathrin für jede Unterstützung!
Ohne sie und ihre unendliche Geduld mit mir, hätte ich dieses Projekt nicht verfolgen können.

Lebenslauf

Kai Torben Göbig

07. Oktober 1992, in Mainz

Berufserfahrung

05/2014-10/2016

Retungsassistent

DRK Rheinhessen-Nahe gGmbH
Tätigkeit: Vollzeit Springer

07/2013-05/2014

Rettungssanitäter

DRK Rheinhessen-Nahe gGmbH
Tätigkeit: Vollzeit Springer

07/2012-07/2013

Freiwilliges Soziales Jahr

DRK Rheinhessen-Nahe gGmbH
Tätigkeit: Rettungssanitäter

Ausbildung

01.06.2023

Approbation als Arzt

05/2022-05/2023

Praktisches Jahr

Universitätsmedizin der Johannes Gutenberguniversität Mainz

Einsatzschwerpunkte:

- Schwerpunkte in der inneren Medizin: Nephrologie, Hämatonkologie
- Schwerpunkte in der Chirurgie: Unfallchirurgie, Kinderchirurgie
- Schwerpunkte in der Allgemeinmedizin: Gesundheitszentrum Mainz (Praxis Dr. Regner/Dr. Schmitt)

10/2016-06/2023

Studium der Humanmedizin, an der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberguniversität Mainz

04/2013-05/2014

Ausbildung zum Rettungsassistenten bei DAA Bad Kreuznach

Abschluss
staatl. geprüfter Rettungsassistent

2004-2012

Gymnasium Nieder-Olm

Abschluss
Allgemeine Hochschulreife

Nebentätigkeiten

2018

Ehrenamtlicher Mentor für beruflich qualifizierte
Studienanfänger der Human- und Zahnmedizin an der
Universitätsmedizin Mainz

Sprachen

Deutsch-Muttersprache
Englisch Wort und Schrift

Mainz, 20.06.2023