

# MASTERARBEIT | MASTER'S THESIS

Titel | Title

Stressreaktionen im Cold Pressor Test: Validierung und  
Vergleich psychologischer und physiologischer Stressparameter

verfasst von | submitted by

Paulo Alberto Werner BSc

angestrebter akademischer Grad | in partial fulfilment of the requirements for the degree of  
Master of Science (MSc)

Wien | Vienna, 2025

Studienkennzahl lt. Studienblatt | Degree  
programme code as it appears on the  
student record sheet:

UA 066 840

Studienrichtung lt. Studienblatt | Degree  
programme as it appears on the student  
record sheet:

Masterstudium Psychologie

Betreut von | Supervisor:

Univ.-Prof. Dr. Urs Markus Nater

## **Danksagung**

Mein besonderer Dank gilt Markus Foramitti, dem Projektverantwortlichen, für seine Unterstützung und die hilfreichen Rückmeldungen während der Anfertigung dieser Masterarbeit. Ebenso möchte ich Prof. Urs M. Nater für die Betreuung und Begleitung meines Themas danken.

Ein großer Dank geht an Alexander Tanzer für das sorgfältige Korrekturlesen sowie an Franziska Holzmann für ihre geduldige Hilfe bei der Formatierung der Arbeit.

Besonders danken möchte ich meiner Schwester Olivia, die mir in einer entscheidenden Phase dieser Arbeit Mut gemacht hat.

Ein weiterer Dank gilt meiner Tante Martha und meinem Onkel Peter, die für mich nicht nur im akademischen Sinn große Vorbilder sind.

Zuletzt gilt mein tief empfundener Dank meinen Eltern, die mich auf meinem Weg immer unterstützt und ermutigt haben.

## Inhaltsverzeichnis

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| 1. Einleitung und theoretischer Hintergrund .....             | 1  |
| 1.1. Theorien und Effekte von Stress .....                    | 2  |
| 1.1.1. Definition und Entstehung von Stress .....             | 2  |
| 1.1.2. Physiologischer und psychologischer Stress .....       | 4  |
| 1.1.3. Gesundheitliche Auswirkungen von Stress .....          | 6  |
| 1.2. Der Cold Pressor Test .....                              | 6  |
| 1.3. Zusammenfassung und Ableitung der Forschungsfragen ..... | 9  |
| 2. Methoden .....                                             | 11 |
| 2.1. Verwendete Datensätze .....                              | 11 |
| 2.1.1. MINTREP .....                                          | 11 |
| 2.1.2. PSYKOM .....                                           | 15 |
| 2.1.3. ASMR .....                                             | 15 |
| 2.2. Stichprobe Gemeinsame Ein- und Ausschlusskriterien ..... | 16 |
| 2.3. Operationalisierung .....                                | 18 |
| 2.3.1. Physiologische Stressparameter .....                   | 18 |
| 2.3.2. Psychologische Stressparameter .....                   | 19 |
| 2.3.3. Ablauf des CPT .....                                   | 20 |
| 2.4. Datenanalyse .....                                       | 21 |
| 3. Ergebnisse .....                                           | 23 |
| 3.1. Ergebnisse physiologischer Stress .....                  | 24 |
| 3.2. Ergebnisse psychologischer Stress .....                  | 29 |
| 4. Diskussion .....                                           | 31 |
| 4.1 Limitationen .....                                        | 36 |
| 4.2 Implikationen für zukünftige Forschung .....              | 37 |
| 4.3 Fazit .....                                               | 39 |
| 5. Literaturverzeichnis .....                                 | 40 |
| Abbildungsverzeichnis .....                                   | 54 |
| Tabellenverzeichnis .....                                     | 54 |
| Abkürzungsverzeichnis .....                                   | 55 |
| Anhang .....                                                  | 56 |
| Anhang A: Abstract .....                                      | 56 |

|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Deutsch .....                                                                           | 56 |
| Englisch.....                                                                           | 57 |
| Anhang B: Prüfung der Modellannahmen .....                                              | 58 |
| Prüfung der Linearität: .....                                                           | 58 |
| Anhang C: Standard Operating Procedure (SOP) zur Vorbereitung des CPT<br>(MINTREP)..... | 64 |
| Anhang D: SOP zur Durchführung des CPT (MINTREP).....                                   | 67 |
| Anhang E: Rekrutierungsflyer MINTREP .....                                              | 69 |

## **1. Einleitung und theoretischer Hintergrund**

Stress ist längst nicht nur ein Thema der psychologischen Forschung, sondern fest im alltäglichen Sprachgebrauch verankert. Ob im Berufsleben, in Ausbildungssituationen oder im privaten Umfeld, viele Menschen beschreiben Belastungen unterschiedlicher Art als stressig. Diese Allgegenwärtigkeit macht Stress zu einem zentralen Phänomen moderner Lebenswelten (Hutmacher, 2021). Veränderungen wie eine zunehmende Beschleunigung des Alltags, ständige Erreichbarkeit und wachsende Unsicherheiten durch gesellschaftliche Krisen tragen dazu bei (Farivar et al., 2024; Kalaitzaki et al., 2024). Parallel dazu zeigen Studien einen deutlichen Anstieg des berichteten Stresserlebens in der Bevölkerung (Piao et al., 2024).

Die Bedeutung dieses Befunds reicht über die subjektive Wahrnehmung hinaus: Stress gilt in der medizinischen und psychologischen Forschung als zentraler Risikofaktor für Gesundheit. Er spielt eine wichtige Rolle bei der Entstehung und Aufrechterhaltung psychischer Störungen wie Depressionen, Angst- oder Anpassungsstörungen (Shchaslyvyi et al., 2024). Gleichzeitig zeigen Ergebnisse aus der somatischen Medizin, dass chronische Belastungen eng mit kardiovaskulären Erkrankungen, Stoffwechselstörungen und Immundefiziten verbunden sind (Shchaslyvyi et al., 2024). Stress wirkt damit transdiagnostisch und verbindet psychische und körperliche Gesundheitsrisiken.

Vor dem Hintergrund der weitreichenden gesundheitlichen Implikationen, der Prävalenz von Stress/stressbedingten Erkrankungen und der enormen resultierenden Kosten (Melnzer & Kröger, 2024) wird die Notwendigkeit effektiver stressreduzierender Interventionen deutlich. Ihre Entwicklung und wissenschaftliche Evaluation setzt voraus, dass Stress in einem experimentellen Kontext reliabel und valide induziert werden kann. Ein äußerst verbreitetes Instrument hierfür ist der Cold Pressor Test (CPT), der 1932 von Hines und Brown entwickelt wurde, um Blutdruckreaktionen sowie kardiovaskuläre Anpassungen an Stress und Schmerz zu erfassen. Die vorliegende Arbeit untersucht den CPT als Instrument zur Induktion von Stressreaktionen und setzt dabei gleichermaßen auf physiologische und psychologische Indikatoren. Über die erneute Validierung des CPT hinaus liegt der

Schwerpunkt der Arbeit auf dem direkten Vergleich psychologischer und physiologischer Stressreaktionen auf einer gemeinsamen, standardisierten Skala. Dazu werden prä-post z-standardisierte Veränderungen der physiologischen Stressreaktionen den psychologischen Stressbewertungen gegenübergestellt. Die zugrundeliegenden Forschungsfragen lauten dabei: Eignet sich der CPT als verlässliches Instrument zur Induktion akuter Stressreaktionen in physiologischen und psychologischen Maßen? Und: Wie unterscheiden sich die z-standardisierten Reaktionsstärken dieser Maße im direkten Vergleich? Ziel ist es zu prüfen, ob der CPT sowohl subjektives Stresserleben als auch biophysiologische Stressparameter zuverlässig induziert und in welchem Verhältnis diese Reaktionen zueinanderstehen. Darüber hinaus wird explorativ untersucht, ob demografische Faktoren wie Alter, Geschlecht und Body Mass Index (BMI) die Stressreaktion moderieren. Im weiteren Verlauf wird zunächst ein Überblick über theoretische Grundlagen und zentrale Modelle der Stressforschung gegeben. Anschließend werden die Methodik und Durchführung der untersuchten Studien sowie die dazugehörige Datenanalyse beschrieben. Es folgt die Darstellung und Auswertung der Ergebnisse, die im Kontext bestehender Forschung diskutiert und hinsichtlich ihrer Implikationen, Limitationen und Perspektiven für zukünftige Forschung eingeordnet werden.

## **1.1. Theorien und Effekte von Stress**

### **1.1.1. Definition und Entstehung von Stress**

Stress ist ein relativ junges Gebiet der wissenschaftlichen Forschung und es herrscht Uneinigkeit über seine exakte Definition. Hans Selye, der 1936 das generelle Adaptions-Syndrom vorgestellt hat (general adaptation syndrome; GAS; Selye, 1936) wird von vielen als der Urvater des Stresskonzepts angesehen (Hutmacher, 2021). Als GAS beschreibt er ein unspezifisches, einheitliches physiologisches Reaktionsmuster, mit dem Organismen auf unterschiedliche Stressoren (z.B. Kälte, Hitze, Verletzungen) reagieren. Erst ab den 1950er Jahren taucht der Begriff "Stress" vermehrt in wissenschaftlichen Publikationen auf (z.B. Selye, 1956). Selye selbst revidierte und modifizierte jedoch seine Stressdefinitionen mehrfach, was die Dynamik des Konzepts verdeutlicht (Viner, 1999).

Ein oft zitierter und einflussreicher Meilenstein in der psychologischen

Stressforschung stellt das transaktionale Stressmodell dar (Lazarus & Folkman, 1984). Laut diesem entsteht Stress nicht automatisch durch den Stressor, sondern durch die individuelle Bewertung (*appraisal*) einer Situation. Zwischen einer Person und ihrer Umwelt findet ein wechselseitiger Prozess (Transaktion) statt, bei dem sowohl Umweltanforderungen als auch persönliche Ressourcen entscheidend sind. Das Modell wird in zwei Phasen eingeteilt: während der ersten Phase, der primären Bewertung (*primary appraisal*), erfolgt die erste Einschätzung einer Person, ob eine Situation für sie irrelevant, positiv, oder stressrelevant ist. Im Rahmen der zweiten Phase, der sekundären Bewertung (*secondary appraisal*), schätzt eine Person schließlich ein, ob sie über notwendige Bewältigungsressourcen verfügt, welche intern (z.B. Selbstwirksamkeit, Wissen) oder extern (z.B. soziale Unterstützung, Zeit) sein können. Ob nun aus einer Situation Stress entsteht und welche Folgen er hat, hängt von der Balance zwischen Anforderungen und Ressourcen und vom Versuch der Bewältigung (*coping*) ab. Lazarus & Folkman (1984) unterscheiden vor allem die problemorientierte von der emotionsorientierten Bewältigung. Eine gelungene Bewältigung führt zu einer positiven Anpassung und idealerweise zu Wachstumsprozessen, während eine misslungene Bewältigung zur Stressreaktion führt.

Sowohl Selye als auch Lazarus wurden für ihre Beiträge zur Stressforschung kritisiert. Neuere Forschungsansätze zeigten differenzierte Aktivierungsmuster (z.B. psychosoziale vs. physikalische Stressoren) statt der von Selye postulierten, immer gleichen physiologischen Reaktion im Rahmen des GAS, das eine Abfolge von Alarm-, Widerstands- und Erschöpfungsphase beschreibt (Selye, 1936). So können unterschiedliche Stressoren über verschiedene Aktivierungsmuster unterschiedliche neuroendokrine Muster erzeugen (Mason, 1971; Sterling & Eyer, 1988). Lazarus wurde vor allem für die Subjektivität der kognitiven Bewertung im Rahmen des transaktionalen Stressmodells sowie für dessen Zirkularität kritisiert. Das Modell ist stark von Selbstberichten abhängig, was die empirische Erfassung von Bewertungen und Bewältigungen methodisch herausfordernd macht (Sommerfield & McCrae, 2000). Definiert man Stress über die subjektive Bewertung einer Situation, entsteht ein logisches Problem: Die Bewertung soll erklären, warum Stress entsteht, ist aber gleichzeitig Teil dessen, was erklärt werden soll. Wenn Stress und Bewertung

allerdings nicht klar voneinander getrennt sind, wird eine objektive Messung von Stress schwierig (Sommerfield & McCrae, 2000; Lazarus, 1990).

In der modernen psychologischen Forschung gilt Stress als multidimensionales Konstrukt (Nater, 2018). Hutmacher (2021) identifiziert drei wesentliche Komponenten, die das heutige Verständnis von Stress prägen:

- (1) Stress entsteht, wenn Anforderungen oder Ereignisse die Ressourcen einer Person übersteigen und ihr Wohlbefinden bedrohen.
- (2) Die Stressreaktion umfasst ein komplexes Zusammenspiel von psychologischen, emotionalen, kognitiven und Verhaltenskomponenten.
- (3) Stress ist Teil des menschlichen Lebens, ausgelöst durch große Lebensereignisse wie auch durch kleine Alltagsbelastungen.

Neben diesen Entstehungstheorien und Versuchen einer einheitlichen Definition ist es wichtig zu betonen, dass viele verschiedene Unterformen von Stress unterschieden werden. So ist Stress nicht immer schädlich und negativ konnotiert (*Distress*), sondern kann auch als herausfordernd und positiv wahrgenommen werden (*Eustress*) (Maltseva, 2024). Stress kann außerdem *akut* sein und führt so zu einer kurzfristigen Aktivierung der Stresssysteme, insbesondere des sympathischen Nervensystems und der Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrinden-Achse (HHN-Achse). Akuter Stress ist in der Regel adaptiv und ermöglicht eine erhöhte Aufmerksamkeit, Energiebereitstellung und kurzfristige Leistungssteigerung (McEwen, 2004; Maltseva, 2024). Daneben kann Stress auch chronisch sein und tritt dann auf, wenn Belastungen dauerhaft oder wiederholt auftreten und die physiologischen Regulationssysteme nicht ausreichend entlastet werden können. Während akuter Stress kurzfristig funktional ist, führt chronischer Stress zu einer Überlastung und damit zu strukturellen sowie funktionalen und potentiell schädlichen Veränderungen in Gehirn und Körper (McEwen, 2004; Maltseva, 2024). Für die vorliegende Arbeit ist insbesondere die Unterscheidung zwischen physiologischem und psychologischem Stress entscheidend, weshalb im Folgenden detaillierter darauf eingegangen wird.

### **1.1.2. Physiologischer und psychologischer Stress**

Unter *physiologischem Stress* werden körperliche Reaktionen des Organismus auf belastende Reize verstanden. Im Zuge dieser Reaktionen werden durch Aktivierung

des sympathischen Nervensystems, welches durch eine schnellere Adaption gekennzeichnet ist (Wehrwein et al., 2016), und der HHN-Achse, welche sich eher langsamer anpasst (Ali & Pruessner, 2012), diverse Biomarker moduliert.

Zu den Biomarkern des sympathischen Nervensystems zählen (unter anderem):

- *die Herzrate (HR) oder Herzfrequenz*: Sie gibt die durchschnittliche Anzahl der Herzschläge pro Minute an. Kommt es zur Stressreaktion, wird der Sympathikus aktiviert und die Herzrate steigt (Bachmann et al., 2019; Benarroch, 2001).
- *die Herzratenvariabilität (HRV)*: Sie gibt die Schwankungen der Zeitintervalle zwischen zwei aufeinanderfolgenden Herzschlägen (R-R-Intervalle) an. Sie gilt als Marker für das Zusammenspiel von Sympathikus und Parasympathikus und sinkt im Rahmen einer Stressreaktion. Sowohl HR als auch HRV werden häufig mithilfe eines Elektrokardiogramms (EKG) gemessen (Thomas et al., 2019; Koenig et al., 2014)
- *der Blutdruck*: Er gibt den Druck an, den das Blut auf die Gefäßwände ausübt; systolisch (Kontraktion) und diastolisch (Erschlaffung). Kommt es zur Stressreaktion, führt dies zu einer Vasokonstriktion und systolischer sowie diastolischer Blutdruck steigen. Er wird entweder manuell (Stethoskop) oder mithilfe automatisierter Messgeräte gemessen (Bachmann et al., 2019; Benarroch, 2001).
- *die elektrodermale Aktivität (EDA)*: Sie gibt die elektrische Leitfähigkeit der Haut, die durch Aktivität der Schweißdrüsen beeinflusst wird, an. Kommt es zur Stressreaktion steigt die Schweißsekretion und die Hautleitfähigkeit nimmt zu. Sie wird typischerweise über Elektroden an den Finger- oder Handflächen gemessen (Ziemssen et al., 2019).
- *die Alpha-Amylase Aktivität*: Hierbei handelt es sich um ein Enzym im Speichel, welches den Abbau von Stärke einleitet. Bei akutem Stress steigt die Konzentration der Speichel-Alpha-Amylase als Marker der sympathischen Aktivierung. Sie wird über Speichelproben, die im Labor untersucht werden, erhoben (Nater & Rohleder, 2009).

Zu den Biomarkern der HHN-Achse zählen verschiedene Hormone, von denen Cortisol eines der wichtigsten ist. Als zentrales Endprodukt der HHN-Aktivierung wird es in der Nebennierenrinde freigesetzt. Der Cortisolspiegel lässt sich über Speichel-, Blut-, Urin-, oder Haarproben bestimmen, je nachdem, wie genau die Messung sein soll und ob eher akuter oder chronischer Stress untersucht wird (Stalder et al., 2012; Nater et al., 2020).

*Psychologischer Stress* entsteht durch die subjektive Bewertung einer Situation, wenn Anforderungen als bedrohlich oder überwältigend erlebt werden und die eigenen Ressourcen als unzureichend erscheinen. Dabei spielen kognitive, emotionale und soziale Faktoren eine zentrale Rolle, sodass psychologischer Stress auch ohne akute körperliche Bedrohung auftreten kann (Cohen et al., 2007). Er beeinflusst nicht nur das Wohlbefinden, sondern steht in enger Wechselwirkung mit den physiologischen Stressreaktionen (Schneiderman et al., 2005). Psychologischer Stress wird typischerweise mithilfe von Selbstberichtverfahren erhoben. Dazu zählen die Perceived Stress Scale (Cohen et al., 1983), welche erfasst, inwieweit Situationen im letzten Monat als unkontrollierbar, unvorhersehbar und überfordernd erlebt wurden, sowie die Visual Analog Scale (VAS), welche eine Momentaufnahme der Stressintensität liefern kann (z.B. "Wie gestresst fühlen Sie sich gerade?"; Lesage et al., 2012; Nater & Rohleder, 2009).

### **1.1.3. Gesundheitliche Auswirkungen von Stress**

Vor allem chronischer Stress gilt als Risikofaktor für körperliche und psychische Gesundheitsbeeinträchtigungen (Gerber & Schilling, 2017). Kardiovaskuläre Erkrankungen gelten als Hauptursache für einen vorzeitigen Tod. Es zeigte sich einerseits, dass Stress die Wahrscheinlichkeit für gesunde Personen erhöhen kann, diese Krankheiten zu entwickeln. Andererseits kann sich dadurch der Krankheitsverlauf bereits erkrankter Personen beschleunigen (Uchino et al., 2009). In einer Metaanalyse von Richardson et al. (2012) zeigte sich ein Zusammenhang zwischen hohen wahrgenommenen Stresswerten und einem moderat erhöhten Risiko für koronare Herzerkrankungen. Es lassen sich zahlreiche weitere Zusammenhänge zwischen Stress und diversen Symptomen, Erkrankungen und Störungen wie Bluthochdruck (Sparrenberger et al., 2008), metabolischem Syndrom (Bergmann et al., 2014), Übergewicht (Tenk et al., 2018) und Depressionen (Siegrist, 2008) nachweisen. Die Prävalenzen vieler dieser Erkrankungen scheinen im Allgemeinen zu steigen (z.B. Zhu et al., 2015).

### **1.2. Der Cold Pressor Test**

Der CPT wurde 1932 von Hines und Brown entwickelt, um experimentell Blutdrucksteigerungen zu induzieren und kardiovaskuläre Reaktionen auf Stress und Schmerz zu untersuchen. In der ursprünglichen Standardprozedur bestand die

Aufgabe darin, eine Hand bis zum Handgelenk in 4 °C kaltes Eiswasser zu tauchen, um so eine Blutdruckreaktion zu provozieren. Der Blutdruck wurde während der Exposition in Abständen von 30 Sekunden mithilfe eines Sphygmomanometers gemessen und nach Beendigung des Tests in zweiminütigen Abständen weiter kontrolliert, bis sich die Werte wieder normalisierten (Hines & Brown, 1936).

Die heute am weitesten verbreitete Version des CPT, die eine einhändige Exposition vorsieht, ähnelt in ihrem Ablauf stark der ursprünglichen Standardprozedur. Viele Autor\*innen betonen jedoch die Bedeutung standardisierter Protokolle, um die Vergleichbarkeit zwischen Studien zu gewährleisten (Modir & Wallace, 2010). Zu diesen Empfehlungen gehört insbesondere der Einsatz einer Pumpe, die das Wasser in Bewegung hält und dadurch eine konstante Temperatur sicherstellt. Idealerweise sollte diese im Bereich von 1 bis 4 °C liegen, da in diesem Spektrum zuverlässige Stress- und Schmerzreaktionen hervorgerufen werden können. Zudem wird aus Sicherheitsgründen empfohlen, die Expositionsdauer auf maximal 120-180 Sekunden zu begrenzen.

Bezüglich der Schmerzwahrnehmung scheint es keine signifikanten Unterschiede zwischen der dominanten/nicht-dominanten Hand zu geben (Pud et al., 2009). Dennoch empfehlen Von Baeyer et al. (2005), die Handwahl zu dokumentieren und für die Exposition bevorzugt die nicht-dominante Hand zu nutzen, damit die dominante Hand für Angaben auf mechanischen Skalen wie der VAS frei bleibt. In Studiendesigns mit mehrfacher Exposition sollte zudem ein Handwechsel vorgesehen werden. In der Literatur variieren die gewählten Temperaturen häufig zwischen -2 und 12 °C (Fanninger et al., 2023). Niedrigere Temperaturen führen zu stärkeren physiologischen und subjektiven Stressreaktionen, gehen jedoch mit einer verringerten Toleranzzeit einher (Mitchell et al., 2004; Fanninger et al., 2023). Auch die Dauer der Exposition beeinflusst die Stressreaktion: Sehr kurze Eintauchzeiten führen in manchen Studien zu weniger stabilen physiologischen und subjektiven Stressantworten. Gleichzeitig führen niedrigere Temperaturen und längere Belastungszeiten dazu, dass nicht alle Teilnehmenden die volle Dauer tolerieren können (Goreis et al., 2025; Fanninger et al., 2023).

Im Folgenden soll kurz der Forschungsstand bzgl. der beschriebenen physiologischen

und psychologischen Stressparameter im Rahmen des CPT wiedergegeben werden.

- *Herzrate (HR)*: Die HR scheint bei der Immersion in kaltes Wasser initial deutlich anzusteigen und sich nach diesem ersten Peak auf einem leicht erhöhten Niveau zu stabilisieren (Sebastião et al., 2022; Korhonen 2006). Nach diesem Plateau sinkt die HR weiter, bleibt jedoch über dem Baseline-Niveau (Kakon et al., 2021). Nach dem Herausnehmen der Hand normalisiert sich die HR wieder relativ schnell.

- *Herzratenvariabilität (HRV)*: Die HRV, gemessen über die rMSSD (Root Mean Square of Successive Differences), scheint hingegen eher monoton abzufallen und anhaltend niedrig über die Dauer des CPT zu bleiben (Sebastião et al., 2022; Ghiasi et al., 2020). Peng et al. (2015) berichten von zwei charakteristischen Abfällen zu Beginn und Ende des Reizes, die sie jedoch primär auf den abrupten Temperaturwechsel zurückführen.

- *Elektrodermale Aktivität (EDA)*: Die phasische EDA steigt unmittelbar mit Beginn der Exposition an, zeigt im Verlauf multiple Peaks und bleibt während des CPT erhöht. Nach Ende der Kältereizexposition sinkt sie graduell zurück zum Ausgangsniveau (Sebastião et al., 2022; Ghiasi et al., 2020).

- *Visual Analog Scale (VAS)*: Selbstberichtete Maße wie die VAS zeigen konsistent deutliche Anstiege während des CPT, die nach Reizende wieder sinken (Koenig et al., 2013, Minkley et al., 2014).

Koenig et al. (2013) untersuchten die Reliabilität des CPT in einem Test-Retest-Design. Über einen Zeitraum von zwei Wochen wurde eine hohe Stabilität der Stressreaktionen gefunden (Intraklassenkorrelation  $> .75$ ). Auch Bullock et al. (2023) berichten von nur geringen Habituationseffekten, was den CPT möglicherweise zu einem geeigneten Instrument für Studiendesigns mit Messwiederholungen macht. Bezüglich der konvergenten Validität konnte Ruscheweyh et al. (2010) nachweisen, dass der CPT im Vergleich zu einem durch Kontakt-Thermoden induzierten Kälteschmerz zu signifikant höheren Schmerzintensitätsbewertungen führte. Gleichzeitig zeigten die Intensitätsbewertungen beider Methoden eine starke Korrelation ( $r = .70$ ), was die Aussagekraft des CPT im Hinblick auf die Erfassung von Schmerzreaktionen unterstreicht. Auch die Konstruktvalidität ist empirisch gut belegt: Simoes et al. (2013) fanden, dass der CPT deutlich stärkere Blutdruckanstiege auslöste als der Stroop-Test oder der Handgrip-Test, und Bachmann et al. (2017) konnten zeigen, dass der bilaterale Fuß-CPT sowohl kardiovaskuläre als auch

subjektive Stressparameter signifikant erhöhte. In einer Übersichtsarbeit von Schwabe und Schächinger (2018), die 21 Studien ihres Forschungslabors inkludierte, kommen die Forschenden ebenfalls zu dem Schluss, dass insbesondere der Socially Evaluated Cold Pressor Test zuverlässig physiologische und psychologische Stressreaktionen induziert.

Direkte Vergleiche der Stärke subjektiver und physiologischer Stressreaktionen im CPT sind bislang selten. Aus anderen etablierten Paradigmen liegen jedoch klare Hinweise vor, dass physiologische Reaktionen deutlicher und konsistenter ausfallen als Selbstberichte: In einer Meta-Analyse von Gu et al. (2025) zum Trier Social Stress Test (TSST) mit 171 Studien ( $N = 8452$ ) fielen die physiologischen Stressreaktionen deutlich stärker aus als die psychologischen (Hedges'  $g = 1.25$  vs.  $0.93$ ). Innerhalb der physiologischen Parameter zeigten kardiovaskuläre Maße des autonomen Nervensystems stärkere Reaktionen als hormonelle Indikatoren (HNN-Achse oder Cortisol). Zudem fanden sich starke Interkorrelationen zwischen den Maßen des autonomen Nervensystems, jedoch nur schwache Zusammenhänge zwischen physiologischen und selbstberichteten Stressindikatoren. Ähnliche Befunde zeigen der Socially Evaluated Cold Pressor Test (Schwabe & Schächinger, 2018) und der Maastricht Acute Stress Test (Smeets et al., 2012): Beide erzeugen klare autonome und endokrine Reaktionen (Herzrate, Blutdruck, Cortisol), während Selbstberichte zwar ansteigen, aber zwischen Studien weniger konsistent ausfallen. Zusammengenommen spricht dies dafür, dass physiologische Marker (z. B. Herzrate, Blutdruck, HRV, Cortisol) in Stressinduktionstests deutlichere und stabilere Stressantworten liefern als Selbstberichte.

### **1.3. Zusammenfassung und Ableitung der Forschungsfragen**

Der CPT wird seit Jahrzehnten als etabliertes Verfahren zur Stress- und Schmerzinduktion in der psychologischen Forschung eingesetzt (Modir & Wallace, 2010; Schwabe & Schächinger, 2018). Trotz seiner weiten Verbreitung mangelt es jedoch an Studien, die physiologische und psychologische Stressreaktionen systematisch, direkt und auf einer gemeinsamen Skala miteinander vergleichen. In bisherigen Arbeiten konzentrieren sich Forschende häufig auf einzelne Parameter, sodass die Wechselwirkungen und Übereinstimmungen zwischen subjektivem Stresserleben und objektiven physiologischen Indikatoren bislang nur begrenzt

berücksichtigt wurden (Koenig et al., 2013; Ruscheweyh et al., 2010). An dieser Forschungslücke setzt die vorliegende Arbeit an: Ziel ist es, den CPT als Instrument zur Induktion psychischer und physiologischer Stressreaktionen zu validieren, die relative Stärke der Reaktionen über beide Ebenen hinweg zu quantifizieren (HR, HRV, EDA vs. VAS-Stress) und gleichzeitig deren direkten Vergleich anhand z-standardisierter Prä-Post-Veränderungen zu ermöglichen. Darüber hinaus wird untersucht, in welchem Verhältnis diese Indikatoren zueinanderstehen und ob demografische Variablen wie Alter, Geschlecht und BMI die Stressreaktion moderieren. In der vorliegenden Arbeit wird keine Kontrollbedingung einbezogen, da das Ziel nicht in der Prüfung kausaler Effekte des CPT im Vergleich zu einer Nicht-Stress-Bedingung liegt, sondern in der Validierung des CPT als Stressinduktionsparadigma durch den Vergleich der Reaktionsstärken verschiedener psychologischer und physiologischer Parameter innerhalb derselben Bedingung. Durch die Standardisierung der Veränderungen über die Parameter hinweg kann deren relative Sensitivität gegenüber der Stressinduktion unabhängig von einer Kontrollgruppe bewertet werden. Daraus ergibt sich die zentrale Forschungsfrage: In welchem Ausmaß lässt sich der CPT als valides Instrument zur Induktion akuter Stressreaktionen bestätigen, und wie unterscheiden sich die standardisierten physiologischen und psychologischen Reaktionsstärken im direkten Vergleich? Auf Grundlage des vorgestellten Forschungsstands und der dazugehörigen Fragestellung werden die folgenden Hypothesen aufgestellt:

#### Hypothese 1:

H0: Der CPT löst keine physiologischen Stressreaktionen aus. Weder Herzfrequenz, Herzratenvariabilität noch Hautleitwert zeigen eine signifikante Veränderung.

H1: Der CPT löst physiologische Stressreaktionen aus, sodass sich Herzfrequenz, und Hautleitwert signifikant erhöhen, während die Herzratenvariabilität signifikant abnimmt.

#### Hypothese 2:

H0: CPT löst keine psychologische Stressreaktion aus. Die VAS-Stresswerte verändern sich nicht signifikant.

H1: Der CPT löst psychologische Stressreaktionen aus, sodass sich die VAS-Stresswerte signifikant erhöhen.

Hypothese 3:

H0: Die durch den CPT induzierten physiologischen Stressreaktionen sind im Mittel nicht stärker ausgeprägt als die unmittelbar nach dem CPT erhobene psychologische Stressreaktion.

H1: Die durch den CPT induzierten physiologischen Stressreaktionen sind im Mittel stärker ausgeprägt als die unmittelbar nach dem CPT erhobene psychologische Stressreaktion.

## **2. Methoden**

### **2.1. Verwendete Datensätze**

Die vorliegende Arbeit ist im Rahmen der Studie “Music-Listening Interventions in Reducing Pain” (MINTREP) entstanden und um Datensätze der Studien “PSYKOM” und “ASMR” des Music & Health Labs, welche ebenfalls den CPT zur Stressinduktion verwenden, erweitert worden. Es sei darauf hingewiesen, dass im Rahmen von MINTREP weitere Masterarbeiten verfasst wurden und werden (zeitgleich mit vorliegender Arbeit von Roman Böswirth, Isabella Kiss, Nina Pylypiw und Leonie Zachhuber), sodass es (insbesondere im Methoden- und Anhangsteil) zu Überlappungen kommen kann. Forschungsfrage, Auswertung und Interpretation dieser Arbeit sind eigenständig.

#### **2.1.1. MINTREP**

Die MINTREP Studie (Feneberg et al., 2020), welche 2016 in Marburg (Deutschland) startete und seit 2018 in Wien läuft, ist eine doppelblinde, randomisiert-kontrollierte Laborstudie, die prüfen soll, inwiefern Auswahl und Frequenzmodulation von Musik die Schmerz- und Stressreaktionen der Teilnehmer\*innen beeinflussen und über welche biopsychologischen Mechanismen diese Effekte vermittelt werden. Die Studie will dabei nicht nur die akuten Schmerz- und Stressreaktionen betrachten, sondern ermitteln, ob die Musikinterventionen zu langfristigen, schmerz- und stressreduzierenden Effekten führen.

Die Proband\*innen der MINTREP Studie werden vor allem über Flyer, die sich in den Räumlichkeiten der Universität Wien befinden, rekrutiert (siehe Anhang E). Die Teilnahme erfolgt über ein zweistufiges Screening: Zunächst werden Interessent\*innen in einem telefonischen Kurzinterview zu zentralen Gesundheits- und Lebensstilfaktoren befragt. Fällt dieses unauffällig aus, erhalten sie per E-Mail die ausführliche Studieninformation mit der Möglichkeit zur Online-Einwilligung, welche die Freiwilligkeit der Teilnahme bestätigt, sowie im Anschluss einen Link zu einer Online-Fragebogenbatterie zur vertieften Eignungsprüfung. Erst wenn auch dieses Online-Screening keine Ausschlussgründe, die im Abschnitt 2.2. aufgeführt werden, ergibt, erfolgt die Randomisierung über ein geschlechtsstratifiziertes Verfahren, bei dem eine unabhängige Person die Bedingungen über versiegelte Umschläge zuteilt. Nach erfolgreichem Abschluss des zweistufigen Screenings wird der Baseline-Termin vereinbart, bei dem die online erteilte Einwilligung schriftlich durch Unterschrift bekräftigt wird. Mit der Terminbestätigung per E-Mail erhalten alle Teilnehmenden standardisierte Verhaltensanweisungen zur Vorbereitung: an Versuchstagen sollen sie keine Analgetika zu sich nehmen, keine Lotion im Brustbereich auftragen sowie bequeme Kleidung tragen. Eine Stunde vor den Terminen sollen sie keine alkoholischen oder energetisierenden Getränke zu sich nehmen, nicht Rauchen, sich nicht intensiv körperlich betätigen und keine Entspannungstechniken durchführen. Teilnehmende in der Selbstauswahl-Bedingung (siehe unten) werden zusätzlich gebeten, eine etwa 120-minütige persönliche Musikauswahl zum Baseline-Termin mitzubringen. Nach Baseline werden die zehn Musiksitzungen innerhalb von drei aufeinanderfolgenden Wochen terminiert.

Bei der Intervention werden drei Bedingungen verglichen: (1) von den Versuchsleiter\*innen ausgewählte, frequenzmodulierte Musik, (2) von den Versuchsleiter\*innen ausgewählte, unmodulierte Musik und (3) selbst ausgewählte, unmodulierte Musik. In den beiden Bedingungen, in denen die Versuchsleiter\*innen die Musikauswahl treffen, sind Teilnehmende und Untersuchende hinsichtlich der Frequenzmodulation verblindet. In der Selbstauswahl-Bedingung erwarten die Teilnehmenden zwar prinzipiell modulierter oder unmodulierter Musik zugeordnet zu werden, hören aber aus technischen Gründen ausschließlich unmodulierte Musik. Am Ende des Post-Termins erfolgt eine Überprüfung der Verblindung während im Debriefing unter anderem darüber aufgeklärt, dass in der Selbstwahl-Bedingung keine

Modulation stattfand. Die Zuteilung erfolgt randomisiert und nach Geschlecht stratifiziert; die Einrichtung der Abspielsysteme übernimmt ein\*e nicht mit den Teilnehmenden interagierende\*r, zusätzliche\*r Versuchsleiter\*in.

Der Studienablauf umfasst eine Baseline-Erhebung, zehn Musiksitzungen zu je 60 Minuten innerhalb von drei aufeinanderfolgenden Wochen, eine Post-Erhebung sowie eine Follow-up-Erhebung nach vier Wochen. Der CPT kommt jeweils zu Baseline, nach den Sitzungen 1, 3, 6 und 10 (jeweils nach dem Musikhören), sowie während des Post- und Follow-up-Termins zum Einsatz; die Sitzungen 2, 4, 5, 7, 8 und 9 bestehen ausschließlich aus Musikexposition. Vor und nach Musikhören sowie vor und nach dem CPT werden wiederholt subjektive Stress- und Schmerzratings erhoben; HRV und EDA werden teils in Ruhe (Baseline, Post, Follow-up) und zusätzlich in den Sitzungen 1, 3, 6 und 10 kontinuierlich aufgezeichnet. Vorbereitung und Durchführung des CPT sind detailliert in Anhang C und Anhang D beschrieben.

Die Frequenzmodulation im Rahmen der Musikintervention folgt dem Verfahren der *audiovisuellen Wahrnehmungsförderung* (Olbrich & Conrady, 2015): moduliert wird im hörbaren Bereich 50-4.000 Hz, zunächst durch sukzessives „Ausdünnen“ tieffrequenter Obertöne (Sitzungen 1-7), später zusätzlich im Hochfrequenzspektrum (Sitzungen 8-10), mit zunehmender Modulationsstärke über den Sitzungsverlauf. Die Modulation gilt bei normalem Hörvermögen als nicht oder kaum bewusst wahrnehmbar; eine Pilotprüfung zeigte keine systematische Identifikation der Modulation durch Hörer\*innen. Die Musik wird über zwei äußerlich identische, nicht-kommerzielle Abspielgeräte dargeboten, eines mit Modulations-Hardware, eines ohne, jeweils über Over-Ear-Kopfhörer und in Einzelbetreuung in zurückgelehnter Position. In der Fremdauswahl-Bedingung kommen festgelegte 60-Minuten-Musikmixe aus verschiedenen Genres zum Einsatz; in der Selbstauswahl-Bedingung hören Teilnehmende etwa 120 Minuten ihrer selbstgewählten Lieblingsmusik, die in zufälliger Reihenfolge wiedergegeben wird.

Als primäre Outcomes werden die Schmerztoleranz (Sekunden bis zum Herausziehen der Hand) sowie die Schmerzintensität via VAS (0-100) vor und nach dem CPT erfasst. Diese Messungen erfolgen zu Baseline, in den Musikterminen 1, 3, 6, 10, sowie zum Post- und Follow-up-Termin. Sekundär werden HRV und EDA erhoben: jeweils 10 Minuten in Ruhe (Baseline, Post, Follow-up) sowie zusätzlich kontinuierlich

in den Sitzungen 1, 3, 6 und 10. Außerdem wird Haarcortisol als Marker chronischen Stresses zu Baseline und im Follow-up analysiert. Da die MINTREP Studie noch läuft und die Cortisolproben erst nach Abschluss der Datenerhebung gesammelt ausgewertet werden, kann Haarcortisol nicht in der Datenanalyse berücksichtigt werden. Der subjektive momentane Stress wird per VAS vor und nach der Musikintervention in allen zehn Sitzungen sowie vor und nach dem CPT zu Baseline, 1/3/6/10, Post und Follow-up erhoben.

Zur Kontextualisierung und für explorative Analysen werden zudem diverse Tertiärvariablen erfasst: In jeder Musiksitzung werden unmittelbar vor und nach dem Hören die momentane Stimmung mit der Kurzskala des Multidimensional Mood Questionnaire (MDMQ-short; Wilhelm & Schoebi, 2007) erfasst. Anschließend folgt ein sitzungsbezogener Fragebogen zu musikbezogenen Wahrnehmungen (musikinduzierte Emotionen, Valenz und Erregungsniveau, musikinduzierte Erinnerungen), die auch als Kontrollfragen zu abschweifenden Gedanken oder Einschlafen fungieren sollen. Zwischen den Sitzungen wird die musikalische Involviertheit (*engagement*) als mögliche Kontrollvariable dokumentiert. Zu Baseline, nach Abschluss der Sitzungsserie und bei der Nachuntersuchung werden zusätzlich die Emotionsregulationsstrategien (deutsche Version des *Emotion Regulation Questionnaire*; ERQ; Abler & Kessler, 2009), Müdigkeit (*Multidimensional Fatigue Inventory*, MFI-20; Smets et al., 1995), Schlafqualität (*Pittsburgh Sleep Quality Index*, PSQI; Buysse et al., 1989) und depressive Symptome (*Beck Depression Inventory-II*, BDI-II; Hautzinger et al., 2009) erhoben. Zur Baseline wird einmalig außerdem der kognitive Stil des Musikhörens (*Music-Empathizing Music-Systemizing (ME-MS) Inventory*, Kreutz et al., 2008), Musikpräferenzen (überarbeitete Version des *Music Preference Questionnaire*, MPQ; Nater et al., 2005), Persönlichkeitsmerkmale im Fünf-Faktoren-Modell (*Big Five Inventory-10*, BFI-10; Rammstedt & John, 2007), wahrgenommene soziale Unterstützung (Subskala der *Berlin Social Support Scales*, BSSS; Schulz & Schwarzer, 2003) sowie die Phase des Menstruationszyklus (Selbstbericht). Zur Qualitätssicherung füllen die Teilnehmenden in den Sitzungen 1, 3, 6 und 10 kurze Protokolle aus, in denen Störungen der Sitzung und kognitive Strategien zur Schmerzbewältigung während des CPT angegeben werden. Am Abschlusstermin erfolgt eine Überprüfung der Verblindung (vermutete Bedingung und Sicherheit der Einschätzung) sowie eine Einschätzung, ob die Studienteilnahme die

Selbstaufmerksamkeit erhöhte, ob sich Wohlbefinden, Stimmung oder Gesundheit positiv oder negativ verändert haben und wie gut sich die Teilnahme mit dem Alltag vereinbaren ließ. Zuletzt werden in der Nachuntersuchung die musikalische Aktivität, die frühere Vertrautheit bzw. Nutzung von musikbezogenen Hörprogrammen sowie die Protokolltreue erfasst.

Für die gesamte Teilnahme erhielten die Teilnehmer\*innen ursprünglich 100 Euro, seit Frühjahr 2024 erhalten sie 120€. Wurde die Teilnahme zu einem früheren Zeitpunkt beendet, wurden die Teilnehmer\*innen aliquot entschädigt Für die vorliegende Arbeit werden zur Vermeidung von Behandlungs- oder Trainingseffekten ausschließlich Baseline-Daten verwendet.

### **2.1.2. PSYKOM**

Die Studie "Investigating the Effects of Historical Idiophones on Psychological and Physiological Stress" (Foramitti & Nater, 2024a) untersucht den Effekt von metallischen Idiophonen (Kugelschellen) auf den psychischen/physischen Stress von weiblichen Teilnehmerinnen ( $N=40$ ). Die Versuchspersonen durchlaufen den CPT dabei an zwei Terminen (Interventions- und Kontrolltermin) jeweils vor der Intervention. Die Durchführung des CPT, inklusive der erhobenen subjektiven und objektiven Stressparameter, deckt sich mit jener der MINTREP-Studie.

### **2.1.3. ASMR**

Im Rahmen der Studie "The effect of sound - Effects of ASMR on stress in a randomized control study" (Foramitti & Nater, 2024b) soll untersucht werden, ob das Hören von ASMR-Inhalten psychischen und physischen Stress reduzieren kann. Die Versuchspersonen absolvieren den CPT einmalig nach einer Baseline-Stressmessung, jedoch vor der eigentlichen Intervention (ASMR, Stille, nicht-musikalischer Stimulus, fremdgewählte Musik). Auch im Rahmen der ASMR-Studie decken sich die Durchführung des CPT und die erhobenen Stressparameter mit der MINTREP-Studie.

## **2.2. Stichprobe**

### *Gemeinsame Ein- und Ausschlusskriterien*

Für die Teilnahme an den drei Studien (MINTREP, ASMR, PSYKOM) mussten die Proband\*innen bestimmte allgemeine Einschlusskriterien erfüllen. Dazu zählten fließende Deutschkenntnisse sowie ein BMI im Normbereich ( $18,5\text{-}25/30\text{ kg/m}^2$ , abhängig von der jeweiligen Studie). Hörbeeinträchtigungen wie Hörverlust oder chronischer bzw. akuter Tinnitus führten in allen Studien zum Ausschluss. Ebenso ausgeschlossen wurden Personen mit kardiovaskulären Erkrankungen, arterieller Verschlusskrankheit, Hyper- oder Hypotonie, chronischen Schmerzerkrankungen, Raynaud-Syndrom sowie nicht korrigierbaren Sehbeeinträchtigungen. Weitere Ausschlusskriterien umfassten Schwangerschaft oder Stillzeit, exzessiven Alkoholkonsum oder Alkoholabhängigkeit, regelmäßigen Konsum psychoaktiver Substanzen (z. B. Marihuana mehr als zweimal pro Woche, synthetische Drogen mehr als zweimal pro Monat), die Einnahme von Schmerzmitteln oder Psychopharmaka sowie das Vorliegen psychischer Störungen wie schwere depressive Störung, Angststörung, Essstörungen, Substanzmissbrauchs- bzw. Abhängigkeitserkrankungen, Psychosen, Schizophrenie oder bipolare Störungen.

### *MINTREP*

Teilnahmeberechtigt waren gesunde Personen im Alter zwischen 18 und 35 Jahren mit einem BMI von  $18,5$  bis  $30\text{ kg/m}^2$ . Zusätzlich mussten sich die Proband\*innen eindeutig dem männlichen oder weiblichen Geschlecht zuordnen können. Frauen mit prämenstruellem Syndrom wurden ebenso ausgeschlossen wie Personen mit absolutem Gehör, musikbezogenem Studium oder Beruf, um eine Beeinflussung der Musikintervention zu vermeiden.

### *ASMR*

Für die ASMR-Studie lag die Altersgrenze höher: Eingeschlossen wurden Personen zwischen 18 und 45 Jahren mit einem BMI im Bereich von  $18,5$  bis  $25\text{ kg/m}^2$ . Zusätzlich war die Anwendung hormoneller Kontrazeptiva ein Ausschlusskriterium.

## PSYKOM

In der PSYKOM-Studie konnten ausschließlich Personen teilnehmen, die sich dem weiblichen Geschlecht zuordneten, zwischen 18 und 45 Jahre alt waren und einen BMI zwischen 18,5 und 25 kg/m<sup>2</sup> aufwiesen. Auch hier führte die Anwendung hormoneller Kontrazeptiva zum Ausschluss. Alle Ein- und Ausschlusskriterien wurden im Rahmen eines Selbstauskunftsfragebogens überprüft.

Die Gesamtstichprobe der MINTREP Studie soll 90 Teilnehmer\*innen umfassen, wobei für die vorliegende Arbeit jene Daten berücksichtigt wurden, die bis zum 31.03.2025 erhoben wurden. Im Rahmen der statistischen Analyse wurden einige Datenpunkte ausgeschlossen, bei denen es sich um physiologische oder statistische Artefakte handelte. Als physiologische Artefakte wurden, im Einklang mit Shaffer und Ginsberg (2017), eine Herzrate, die geringer als 50 bzw. größer als 180 ist sowie eine Herzratenvariabilität, die geringer als 10 bzw. größer als 150 ist, definiert. Als statistische Artefakte wurden jene Werte definiert, die mehr oder weniger als 3 Standardabweichungen vom Mittelwert entfernt lagen (Field, 2017). Da es sein kann, dass es sich hierbei um Messfehler handelt und die übrigen Datenpunkte der jeweiligen Versuchsperson gültig sind, wurde sich dagegen entschieden, Versuchspersonen, die physiologische oder statistische Artefakte aufweisen, komplett auszuschließen. Stattdessen wurden nur jene Datenpunkte, die die oben genannten Ausschlusskriterien erfüllen, ausgeschlossen, während die übrigen Datenpunkte berücksichtigt wurden. Eine Übersicht der gültigen Werte pro Messvariable vor und nach Ausschluss der Artefakte ist in Tabelle 1 dargestellt.

**Tabelle 1**

Anzahl der gültigen Datenpunkte pro Variable vor und nach Ausschluss von Artefakten

| Studie  | Variable   | Ursprüngliche Datenpunkte | Nach Ausschluss | Entfernte Datenpunkte |
|---------|------------|---------------------------|-----------------|-----------------------|
| MINTREP | HR         | 58                        | 58              | 0                     |
|         | HRV        | 58                        | 57              | 1                     |
|         | EDA        | 0                         | 0               | 0                     |
|         | VAS-Stress | 68                        | 65              | 3                     |
| PSYKOM  | HR         | 80                        | 79              | 1                     |
|         | HRV        | 80                        | 74              | 6                     |
|         | EDA        | 80                        | 79              | 1                     |
|         | VAS-Stress | 80                        | 78              | 2                     |
| ASMR    | HR         | 126                       | 126             | 0                     |
|         | HRV        | 126                       | 120             | 6                     |
|         | EDA        | 125                       | 121             | 4                     |
|         | VAS-Stress | 128                       | 128             | 0                     |
| Gesamt  |            |                           |                 | 24                    |

Anmerkung. HR = Herzrate, HRV = Herzratenvariabilität, EDA = elektrodermale Aktivität, VAS-Stress = visuelle Analogskala - Stress.

Es ergibt sich eine Teilstichprobe der MINTREP Studie von  $n = 36$ , wobei 4 Datenpunkte aufgrund von Messartefakten gemäß den oben beschriebenen Kriterien entfernt wurden. Analog zur MINTREP-Studie wurde bei der PSYKOM-Studie ( $n = 40$ ; 10 entfernte Datenpunkte) sowie der ASMR-Studie ( $n = 64$ ; 10 entfernte Datenpunkte) vorgegangen. Somit ergibt sich eine Gesamtstichprobe von  $N = 140$  mit insgesamt 24 entfernten Datenpunkten. Von den 140 Teilnehmer\*innen identifizierten sich 111 (79%) als weiblich und 29 (21%) als männlich. Das Durchschnittsalter lag bei 23.25 Jahren ( $SD = 3.67$ ). Der mittlere BMI betrug  $22.92 \text{ kg/m}^2$  ( $SD = 7.93$ ).

## 2.3. Operationalisierung

### 2.3.1. Physiologische Stressparameter

#### 2.3.1.1. Herzrate (HR) und Herzratenvariabilität (HRV)

HR und HRV der Teilnehmer\*innen wurden im Rahmen eines Elektrokardiogramms (EKG) zunächst mit dem EQ02 Life Monitor und dem Equival Life Shirt (Equival, Cambridge, Vereinigtes Königreich) aufgezeichnet. Aufgrund großer technischer Schwierigkeiten, die unter anderem zum Ausschluss sämtlicher EDA-Daten im Rahmen der MINTREP Studie führten, wurde im weiteren Verlauf auf einen

Sensorengurt (*EcgMove 4*; movisens GmbH, Karlsruhe, Deutschland) mit Trockenelektroden, den die Teilnehmer\*innen mittig der Brust anbrachten, umgestellt.

Die Berechnung der HR erfolgte über die durchschnittliche Anzahl der Herzschläge pro Minute, wobei jeweils vor und nach dem CPT zweiminütige Zeitfenster als Referenz dienten. Eine hohe HR wird dabei als hoher physiologischer Stress, eine niedrige HR als niedriger physiologischer Stress interpretiert. HRV wurde als rMSSD berechnet, wobei wieder das zweiminütige Fenster vor und nach dem CPT betrachtet wurde. rMSSD scheint, auch aufgrund bestimmter statistischer Eigenschaften (gute Sensitivität, geringer Einfluss von Artefakten) ein angemessenes Maß für die kurzzeitige HRV zu sein (Shaffer & Ginsberg, 2017), wobei kleine Werte als hoher physiologischer Stress und große Werte als geringer physiologischer Stress interpretiert werden.

#### **2.3.1.2. Elektrodermale Aktivität (EDA)**

EDA wurde mithilfe des *EdaMove 4* (movisens GmbH, Karlsruhe, Deutschland), der am Handgelenk der nicht-dominanten Hand angebracht wurde sowie dazugehörigen Gelelektroden (*EL507*; Biopac Systems, Inc., Goleta, Kalifornien, USA), die auf der Handinnenseite der nicht-dominanten Hand der Teilnehmer\*innen angebracht wurden, erhoben. Die Erfassung erfolgte zeitgleich mit jener der HR und HRV. Als Maß für die kurzfristige EDA wurde die mittlere Hautleitreaktions-Amplitude (Mean Skin Conductance Response (SCR) Amplitude) festgelegt. Dieses phasische Maß des EDA eignet sich als valider Indikator der sympathischen Reaktivität, da es die Intensität kurzfristiger Reaktionen auf den Stressor abbildet (Boucsein, 2012; Jukiewicz & Marcinkowska, 2025). Hohe Mean SCR Amplitude Werte werden dabei als starke sympathische Aktivierung und somit als hoher physiologischer Stress, niedrige Werte als niedriger physiologischer Stress interpretiert.

#### **2.3.2. Psychologische Stressparameter**

##### **2.3.2.1. Visual Analog Scale**

Psychologischer Stress wurde anhand der papiergestützten VAS erhoben, welche aufgrund ihrer Intuitivität und Einfachheit ein gängiges Instrument zur Bewertung des Stressempfindens darstellt. Den Teilnehmer\*innen wurde jeweils direkt vor und nach dem CPT ein Blatt Papier mit der Aussage "Ich fühle mich gestresst" präsentiert. Unter

den Aussagen befand sich eine 10cm lange Linie, die an ihren Enden jeweils mit 0 und 100 beschriftet war, wobei 0 für "kein Stress" und 100 für "maximaler Stress" stand. Mithilfe des Stiftes sollten die Teilnehmer\*innen die Stelle auf der Skala markieren, die ihrem eigenen Empfinden am ehesten entsprach. Durch relativ hohen Korrelationen mit etablierten Stressmaßen wie der Perceived Stress Scale weist die VAS eine gute Konstruktvalidität auf (Lesage & Deschamps, 2012), was sie gemeinsam mit ihrer hohen Praktikabilität zu einem geeigneten Maß für psychologischen Stress macht.

### **2.3.3. Ablauf des CPT**

Der Ablauf des CPT war in den in dieser Arbeit inkludierten Studien identisch (siehe Anhang C): nachdem die Teilnehmer\*innen die Sensoren zur Messung des EKG und der EDA anbrachten, bereiteten die Studienleiter\*innen einen Plastikeimer mit Eis und Wasser vor. Dabei gab es präzise Angaben darüber, wie viel Eis bzw. Wasser verwendet werden sollte, um eine konstante Wassertemperatur und damit eine reproduzierbare Versuchsdurchführung zu gewährleisten. Ein Gitter am Boden des Eimers verhinderte, dass das Eis aufstieg, während eine elektrische Pumpe für eine kontinuierliche Wasserzirkulation sorgte, um die Bildung eines wärmeren Wasserfilms um die Hand der Versuchsperson zu vermeiden und so die Wassertemperatur stabil zu halten. Diese sollte idealerweise zwischen 1-4°C betragen, wurde vor Durchführung des CPT regelmäßig mithilfe eines Thermometers kontrolliert und schriftlich dokumentiert.

Wie in der bereits beschriebenen, klassischen Variante des CPT war es nun Aufgabe der Teilnehmer\*innen der jeweiligen Studien, ihre dominante Hand bis zum Handgelenk in das kalte Wasser im Plastikeimer zu bewegen und sie so lange wie möglich unter Wasser zu behalten (maximal drei Minuten). Die Teilnehmer\*innen wurden dabei instruiert, die Hand ruhig zu halten und keine Faust zu bilden. Die Zeit, wie lange die Teilnehmer\*innen ihre Hand unter Wasser behalten konnten, wurde von den Versuchsleiter\*innen mithilfe einer Stoppuhr gemessen, wobei die Versuchsleiter\*innen den Blick von den Teilnehmer\*innen abwandten, um etwa soziale Erwünschtheitseffekte so gering wie möglich zu halten. Konnten die Teilnehmer\*innen ihre Hand nicht länger unter Wasser halten, sollten sie dies den Versuchsleiter\*innen durch ein lautes "Stop" signalisieren, bevor sie die Hand aus dem

Wasser nehmen. Kam nach Ablauf der drei Minuten kein Stoppsignal von den Teilnehmer\*innen, instruierten die Versuchsleiter\*innen, dass sie ihre Hand jetzt aus dem Wasser nehmen sollten. Die zeitliche Obergrenze des CPT war den Teilnehmer\*innen im Vorfeld nicht bekannt.

## **2.4. Datenanalyse**

Die statistischen Analysen wurden mit JASP (Version 0.19.3 für Apple Silicon) durchgeführt. Das Signifikanzniveau wurde auf  $\alpha = .05$  festgelegt (Field, 2018). Obwohl die Hypothesen inhaltlich gerichtet waren, wurden zweiseitige p-Werte berichtet, da dies der gängigen statistischen Praxis entspricht (Field, 2018). Effektstärken werden als standardisierte Regressionskoeffizienten ( $\beta$ ) ausgewiesen; zur Orientierung werden Beträge von etwa .10, .30 und .50 als klein, mittel und groß interpretiert (Cohen, 1988).

Zur Überprüfung der Hypothesen wurden lineare gemischte Modelle (LMMs) geschätzt. Diese kombinieren feste Effekte, die über alle Beobachtungen hinweg gelten, mit zufälligen Effekten, die die Abhängigkeit der Messungen innerhalb von Versuchspersonen berücksichtigen. Das Verfahren wurde gewählt, da es eine robuste Analyse komplexer Datenstrukturen erlaubt und insbesondere wiederholte Messungen adäquat abbilden kann (Field, 2018). Zur Sicherstellung der Vergleichbarkeit zwischen den drei Studien wurden alle abhängigen Variablen vor der Modellierung z-standardisiert. Die Standardisierung erfolgte studien- und parameterspezifisch: Für jede Studie und jede Variable (HR, HRV, EDA, VAS) wurden alle Beobachtungen über alle Messzeitpunkte und Bedingungen hinweg gemeinsam in die Berechnung einbezogen. Diese Vorgehensweise entfernt studienspezifische Skalierungs- und Niveauunterschiede (z. B. durch unterschiedliche Messgeräte oder Protokolle) und erlaubt eine gemeinsame LMM-Analyse, ohne zeitliche Veränderungen innerhalb der Studien auszumitteln. Die resultierenden Effekte sind innerhalb der Studien als Abweichungen in Standardabweichungseinheiten interpretierbar.

Als feste Effekte wurde der Messzeitpunkt berücksichtigt; die Versuchspersonen wurden als zufälliger Interzept modelliert. Für die Modelle mit explorativen Variablen (Studienzugehörigkeit, CPT-Dauer, CPT-Temperatur, Geschlecht, Alter, BMI) wurden

zusätzlich Interaktionseffekte spezifiziert, um Moderationseffekte zu prüfen. Pro Moderator wurde ein Haupteffektmodell (Messzeitpunkt als fester Effekt) einem Interaktionsmodell (Messzeitpunkt x Moderator) gegenübergestellt. Beide Modelle wurden mit Maximum-Likelihood geschätzt. Zur Beurteilung der Modellgüte wurden das Akaike-Informationskriterium (AIC) und das Bayessche Informationskriterium (BIC) herangezogen und zusätzlich Likelihood-Ratio-Tests ( $\chi^2$ ) berichtet. Neben den absoluten AIC/BIC der Interaktionsmodelle werden  $\Delta AIC/\Delta BIC$  relativ zum Haupteffektmodell berichtet. In Einklang mit Burnham & Anderson (2004) wird eine Verringerung von  $\leq 2$  Punkten als kleine Verbesserung, eine Verringerung von 4-7 Punkten als moderate Verbesserung und eine Verringerung um  $\geq 10$  Punkte als deutliche Verbesserung interpretiert.

Zur Sicherstellung der Modellannahmen wurden für alle abhängigen Variablen (HR, HRV, EDA, VAS) die zentralen Annahmen linearer gemischter Modelle mithilfe der Statistiksoftware *R* (Version 4.5.1 für Apple Silicon) und dem Paket „performance“ (Lüdtke et al., 2021) überprüft. Zunächst wurde die *Linearitätsannahme* betrachtet. Hierfür wurden die Residuen gegen die vorhergesagten Werte in Scatterplots dargestellt. Die Verteilung der Punkte um die horizontale Referenzlinie deutete in allen Modellen auf eine im Wesentlichen gegebene Linearität hin, auch wenn sich bei einzelnen Variablen leichte Abweichungen zeigten (siehe Anhang B, Abbildungen 1B-4B).

Die *Normalverteilung der Residuen* wurde mithilfe von Q-Q-Plots beurteilt. Für die Modelle zu HR, HRV und SCR-Amplitude lagen die Punkte überwiegend auf der Diagonalen, was eine hinreichende Annäherung an die Normalverteilung erkennen ließ (siehe Anhang B, Abbildungen 5B-8B). Beim Modell zu VAS zeigten sich hingegen einige Abweichungen. Eine logarithmische Transformation hätte die Normalität verbessert, wurde jedoch nicht durchgeführt, um die Vergleichbarkeit der z-standardisierten Variablen beizubehalten. Auf die Durchführung eines Shapiro-Wilk-Tests wurde verzichtet, da dieser stark von der Stichprobengröße abhängt und in kleinen wie großen Samples zu verzerrten Ergebnissen führen kann. Stattdessen erfolgte eine visuelle Inspektion der Datenverteilung zur Überprüfung der Normalverteilung.

Die *Homoskedastizität* wurde anhand von Residuenplots überprüft. In allen Fällen zeigte sich eine annähernd konstante Streuung der Residuen über die vorhergesagten Werte hinweg, ohne dass systematische Trichterformen erkennbar gewesen wären (siehe Anhang B, Abbildungen 9B-12B).

Die Annahme der geringen *Multikollinearität* wurde für alle Modelle überprüft, die Interaktionen beinhalteten. Dazu wurden Varianzinflationsfaktoren berechnet. Alle Werte lagen deutlich unter dem gängigen Schwellenwert von 5 (vgl. Bortz & Schuster, 2011) und bewegten sich zwischen 1.09 und 3.10. Damit ergaben sich keine Hinweise auf problematische Multikollinearität zwischen den Prädiktoren. Da es sich bei den vorliegenden Daten um wiederholte Messungen handelt, ist eine gewisse *Autokorrelation der Residuen* erwartbar. Diese Abhängigkeit zwischen den Messzeitpunkten stellt jedoch keinen methodischen Fehler dar, sondern wird im Rahmen des Linear Mixed Models durch die Berücksichtigung zufälliger Effekte (Random Intercepts bzw. Random Slopes) modelliert (Schielzeth et al., 2020). Der in klassischen linearen Regressionsanalysen häufig verwendete Durbin-Watson-Test (Field, 2018) zur Überprüfung serieller Autokorrelation ist in diesem Kontext daher nicht aussagekräftig und wurde nicht weiter herangezogen.

Ergänzend zu den klassischen Regressionsannahmen wurden auch die für LMM spezifischen Voraussetzungen berücksichtigt. Dazu zählt die Normalität der zufälligen Effekte, die anhand von Q-Q-Plots überprüft wurde und in allen Modellen weitgehend bestätigt werden konnte. Ebenso wurde die Angemessenheit der modellierten Varianzstruktur berücksichtigt, die sich im Rahmen der Modellierung als passend erwies (Schielzeth et al., 2020; Zhou & Chen, 2022).

### **3. Ergebnisse**

Im Folgenden werden die Ergebnisse in der Reihenfolge der untersuchten Parameter dargestellt. Die erhobenen Variablen wurden an zwei Messzeitpunkten erfasst: unmittelbar vor der Durchführung des CPT sowie direkt im Anschluss daran. Entsprechend beziehen sich Bezeichnungen wie HR1 oder VAS1 auf die Messwerte vor dem CPT und HR2 oder VAS2 auf die Messwerte nach dem CPT.

Die deskriptiven Statistiken für die physiologischen und psychologischen Parameter sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Die mittlere HR betrug zu Beginn 77.82 ( $SD = 10.21$ ) und sank nach der Stressinduktion auf 76.07 ( $SD = 10.97$ ). Für die HRV (rMSSD) zeigte sich ein Mittelwert von 49.47 ( $SD = 23.48$ ) vor dem CPT und 53.49 ( $SD = 26.53$ ) danach. Der mittlere Hautleitwert lag vor der Stressinduktion bei 1.95 ( $SD = 2.46$ ) und danach bei 2.37 ( $SD = 3.25$ ). Zuletzt lag der mittlere VAS-Stresswert bei 15.54 ( $SD = 14.64$ ), während er nach dem CPT auf 21.14 ( $SD = 19.56$ ) anstieg. Die durchschnittliche Dauer der Handimmersion im CPT betrug 104.46 Sekunden ( $SD = 65.24$ ), bei einer mittleren Wassertemperatur von 1.82 °C ( $SD = 0.91$ ).

**Tabelle 2**

*Deskriptive Ergebnisse der physiologischen und psychologischen Stressparameter*

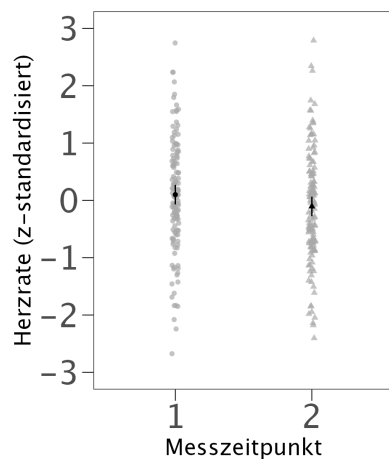
|                    | HR<br>(1) | HR<br>(2) | HRV<br>(1) | HRV<br>(2) | EDA<br>(1) | EDA<br>(2) | VAS<br>(1) | VAS<br>(2) |
|--------------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Gültig             | 131       | 132       | 127        | 124        | 99         | 101        | 137        | 134        |
| Fehlend            | 9         | 8         | 13         | 16         | 41         | 39         | 3          | 6          |
| Mittelwert         | 77.82     | 76.07     | 49.47      | 53.49      | 1.95       | 2.37       | 15.54      | 21.14      |
| Standardabweichung | 10.21     | 10.97     | 23.48      | 26.53      | 2.46       | 3.25       | 14.64      | 19.56      |
| Minimum            | 51.82     | 51.26     | 10.01      | 10.83      | .20        | .03        | .00        | .00        |
| Maximum            | 107.36    | 114.23    | 124.12     | 127.59     | 14.20      | 14.22      | 72.00      | 71.00      |

*Anmerkung.* HR = Herzrate (Schläge pro Minute); HRV = Herzratenvariabilität (rMSSD, in ms); EDA = elektrodermale Aktivität (Mikrosiemens); VAS = visuelle Analogskala (0-100).

### 3.1. Ergebnisse physiologischer Stress

#### *Herzrate (HR)*

Für die HR wurde ein lineares gemischtes Modell berechnet, in dem die Messzeitpunkte als fester Effekt und die Versuchspersonen als zufälliger Effekt berücksichtigt wurden. Es zeigte sich ein signifikanter Effekt des Messzeitpunkts ( $\chi^2(1) = 17.28$ ,  $p < .001$ ). Die Herzrate sank nach dem CPT im Mittel um 0.10 Standardabweichungen ( $SE = 0.02$ ,  $t(130.05) = 4.31$ ,  $p < .001$ ). Das Modell wies einen AIC von 583.10 und einen BIC von 597.39 auf. Abbildung 1 zeigt die Verteilung der HR vor und nach der CPT-Induktion.



**Abbildung 1.** Herzrate (z-standardisiert) zu den Messzeitpunkten vor (1) und nach (2) dem CPT

Im nächsten Schritt wurde überprüft, ob die Veränderung der HR durch weitere Faktoren moderiert wird. Eine Übersicht der Ergebnisse der Interaktionsanalysen für die HR ist in Tabelle 3 dargestellt. Keiner der Kovariaten CPT-Dauer ( $\chi^2(1) = 0.10$ ,  $p = .756$ ; AIC = 571.65, BIC = 592.99), CPT-Temperatur ( $\chi^2(1) = 0.01$ ,  $p = .933$ ; AIC = 567.40, BIC = 588.70), Alter ( $\chi^2(1) = 0.08$ ,  $p = .777$ ; AIC = 574.44, BIC = 595.83) oder BMI ( $\chi^2(1) = 1.77$ ,  $p = .184$ ; AIC = 571.88, BIC = 593.27) moderierte den Effekt des Messzeitpunkts auf die HR. Hingegen zeigte sich eine signifikante Interaktion zwischen Messzeitpunkt und Studie ( $\chi^2(2) = 27.80$ ,  $p < .001$ ; AIC = 563.30, BIC = 591.88). Für das Geschlecht ergab sich ein signifikanter Haupteffekt ( $\chi^2(1) = 12.42$ ,  $p < .001$ ), jedoch keine Interaktion mit dem Messzeitpunkt ( $\chi^2(1) = 0.49$ ,  $p = .486$ ; AIC = 574.20, BIC = 595.63).

**Tabelle 3**

*Ergebnisse der Moderatoranalysen für Kovariaten der HR-Veränderung*

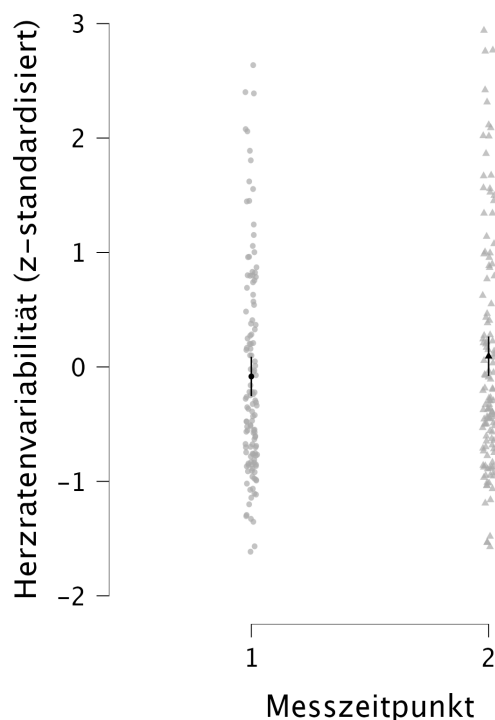
| Moderator      | $\chi^2$ | Signifikanz | AIC    | BIC    |
|----------------|----------|-------------|--------|--------|
| CPT-Dauer      | 0.10     | .756        | 571.65 | 592.99 |
| CPT-Temperatur | 0.01     | .933        | 567.40 | 588.70 |
| Studie         | 27.80    | < .001      | 563.30 | 591.88 |
| Alter          | 0.08     | .777        | 574.44 | 595.83 |
| BMI            | 1.77     | .184        | 571.88 | 593.27 |
| Geschlecht     | 0.49     | .486;       | 574.20 | 595.63 |

*Anmerkung.* Moderator = geprüfte Kovariate;  $\chi^2$  = Likelihood-Ratio-Chi-Quadrat-Test (Vergleich Interaktions- vs. Haupteffektmodell), df = 1 (für Studie df = 2); Signifikanz = zweiseitiger p-Wert; AIC = Akaike-Informationskriterium; BIC = Bayessches Informationskriterium.

Im Vergleich zum Haupteffektmodell (AIC = 583.10, BIC = 597.39) zeigten alle Interaktionsmodelle niedrigere AIC/BIC: CPT-Dauer  $\Delta\text{AIC} = -11.46$ ,  $\Delta\text{BIC} = -4.41$ ; CPT-Temperatur  $\Delta\text{AIC} = -15.70$ ,  $\Delta\text{BIC} = -8.69$ ; Studie  $\Delta\text{AIC} = -19.80$ ,  $\Delta\text{BIC} = -5.51$ ; Alter  $\Delta\text{AIC} = -8.66$ ,  $\Delta\text{BIC} = -1.56$ ; BMI  $\Delta\text{AIC} = -11.22$ ,  $\Delta\text{BIC} = -4.12$ ; Geschlecht  $\Delta\text{AIC} = -8.90$ ,  $\Delta\text{BIC} = -1.76$ . Die größte Verbesserung zeigt die Interaktion mit der Studienzugehörigkeit; statistisch war auch nur diese Interaktion signifikant.

### *Herzratenvariabilität (HRV)*

Für die HRV (rMSSD) wurde ebenfalls ein lineares gemischtes Modell mit Messzeitpunkt als festem Effekt und Versuchspersonen als zufälligem Effekt berechnet. Die Analyse ergab einen signifikanten Unterschied zwischen den Messzeitpunkten ( $\chi^2(1) = 11.06$ ,  $p < .001$ ). Nach der CPT-Induktion stieg die HRV im Mittel um 0.09 Standardabweichungen ( $SE = 0.03$ ,  $t(121.38) = -3.41$ ,  $p < .001$ ). Die Modellpassung lag bei einem AIC von 568.24 und einem BIC von 582.35. Abbildung 2 veranschaulicht die Verteilung der HRV vor und nach der CPT-Induktion.



**Abbildung 2.** Herzratenvariabilität (z-standardisiert) zu den Messzeitpunkten vor (1) und nach (2) dem CPT

Darüber hinaus wurde getestet, ob die HRV-Veränderung durch zusätzliche Faktoren moderiert wird. Eine Übersicht der Ergebnisse der Interaktionsanalysen für die HRV ist in Tabelle 4 dargestellt. Für die HRV zeigte sich weder bei der CPT-Dauer ( $\chi^2(1) = 0.40$ ,  $p = .528$ ; AIC = 564.11, BIC = 585.19) noch bei der CPT-Temperatur ( $\chi^2(1) = 0.03$ ,  $p = .863$ ; AIC = 546.58, BIC = 567.61), dem BMI ( $\chi^2(1) = 0.03$ ,  $p = .865$ ; AIC = 566.58, BIC = 587.71) oder dem Alter ( $\chi^2(1) = 0.01$ ,  $p = .930$ ; AIC = 564.56, BIC = 585.69) eine signifikante Interaktion mit dem Messzeitpunkt. Für das Alter ergab sich jedoch ein signifikanter Haupteffekt ( $\chi^2(1) = 5.47$ ,  $p = .019$ ), während sich für den BMI lediglich ein Trend zeigte ( $\chi^2(1) = 3.42$ ,  $p = .064$ ). Für die Studienzugehörigkeit ergab sich eine signifikante Interaktion mit dem Messzeitpunkt ( $\chi^2(2) = 17.74$ ,  $p < .001$ ; AIC = 558.50, BIC = 586.70), nicht jedoch ein Haupteffekt ( $\chi^2(2) = 0.01$ ,  $p = .996$ ). Außerdem zeigte sich für das Geschlecht eine signifikante Interaktion mit dem Messzeitpunkt ( $\chi^2(1) = 11.31$ ,  $p < .001$ ; AIC = 560.27, BIC = 581.42), ohne dass ein Haupteffekt vorlag ( $\chi^2(1) = 0.67$ ,  $p = .412$ ).

**Tabelle 4**

*Ergebnisse der Moderatoranalysen für Kovariaten der HRV-Veränderung*

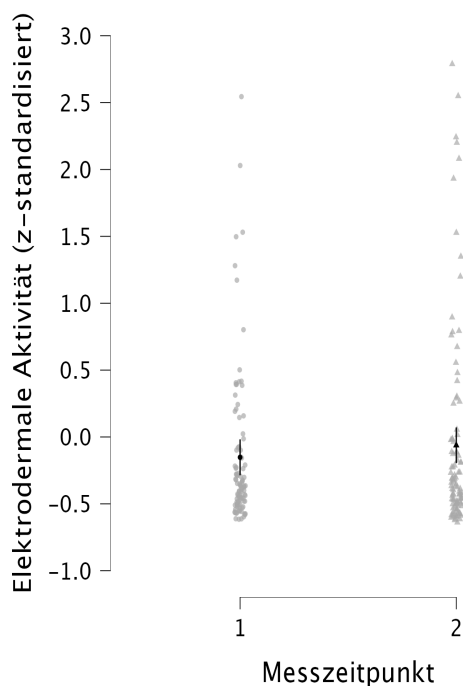
| Moderator      | $\chi^2$ | Signifikanz | AIC    | BIC    |
|----------------|----------|-------------|--------|--------|
| CPT-Dauer      | 0.40     | .528        | 564.11 | 585.19 |
| CPT-Temperatur | 0.03     | .863        | 546.58 | 567.61 |
| Studie         | 17.74    | < .001      | 558.50 | 586.70 |
| Alter          | 0.01     | .930        | 564.56 | 585.69 |
| BMI            | 0.03     | .865        | 566.58 | 587.71 |
| Geschlecht     | 11.31    | < .001      | 560.27 | 581.42 |

*Anmerkung.* Moderator = geprüfte Kovariate;  $\chi^2$  = Likelihood-Ratio-Chi-Quadrat-Test (Vergleich Interaktions- vs. Haupteffektmodell),  $df = 1$  (für Studie  $df = 2$ ); Signifikanz = zweiseitiger p-Wert; AIC = Akaike-Informationskriterium; BIC = Bayessches Informationskriterium.

Gegenüber dem Haupteffektmodell (AIC = 568.24, BIC = 582.35) ergaben sich gemischte Befunde. Der AIC spricht für Interaktionen mit der CPT-Temperatur ( $\Delta AIC = -21.67$ ), Studie ( $-9.75$ ), Geschlecht ( $-7.98$ ) sowie geringer für die CPT-Dauer ( $-4.13$ ) und Alter ( $-3.68$ ). Der BIC favorisiert hingegen nur die CPT-Temperatur ( $\Delta BIC = -14.74$ ) und Geschlecht ( $-0.93$ ), während Studie, CPT-Dauer, Alter und BMI höhere BICs aufweisen ( $\Delta BIC = +4.35 / +2.84 / +3.34 / +5.37$ ).

### *Elektrodermale Aktivität (EDA)*

Für die EDA wurde ein lineares gemischtes Modell mit Messzeitpunkt als festem Effekt und Versuchspersonen als zufälligem Effekt berechnet. Die Analyse ergab einen signifikanten Unterschied zwischen den Messzeitpunkten ( $\chi^2(1) = 4.41, p = .036$ ). Nach der CPT-Induktion erhöhte sich die elektrodermale Aktivität im Mittel um 0.05 Standardabweichungen ( $SE = 0.02, t(96.42) = -2.12, p = .036$ ). Das Modell wies einen AIC von 315.94 und einen BIC von 329.13 auf. Abbildung 3 zeigt die Verteilung der EDA-Werte vor und nach der CPT-Induktion.



**Abbildung 3.** Elektrodermale Aktivität (EDA) (z-standardisiert) zu den Messzeitpunkten vor (1) und nach (2) dem CPT

Im Anschluss wurde überprüft, ob die EDA-Veränderung durch zusätzliche Faktoren moderiert wird. Eine Übersicht der Ergebnisse der Interaktionsanalysen für die EDA ist in Tabelle 5 dargestellt. Weder die CPT-Dauer ( $\chi^2(1) = 0.24, p = .627$ ; AIC = 319.67, BIC = 339.46), die CPT-Temperatur ( $\chi^2(1) < 0.01, p = .991$ ; AIC = 318.19, BIC = 337.92), die Studienzugehörigkeit ( $\chi^2(1) < 0.01, p = .983$ ; AIC = 319.82, BIC = 339.61), der BMI ( $\chi^2(1) = 0.40, p = .526$ ; AIC = 319.43, BIC = 339.22) noch das Geschlecht ( $\chi^2(1) = 0.11, p = .744$ ; AIC = 317.83, BIC = 337.62) zeigten eine signifikante Interaktion mit dem Messzeitpunkt. Auch auf Ebene der Haupteffekte fanden sich

keine signifikanten Effekte dieser Variablen. Lediglich für das Alter ergab sich ein Trend zu einer Interaktion mit dem Messzeitpunkt ( $\chi^2(1) = 3.42, p = .064$ ; AIC = 315.11, BIC = 334.90), der jedoch die Signifikanzschwelle nicht erreichte.

**Tabelle 5**

*Ergebnisse der Moderatoranalysen für Kovariaten der EDA-Veränderung*

| Moderator      | $\chi^2$ | Signifikanz | AIC    | BIC    |
|----------------|----------|-------------|--------|--------|
| CPT-Dauer      | 0.24     | .627        | 319.67 | 339.46 |
| CPT-Temperatur | < 0.01   | .991        | 318.19 | 337.92 |
| Studie         | < 0.01   | .983        | 319.82 | 339.61 |
| Alter          | 3.42     | .064        | 315.11 | 334.90 |
| BMI            | 0.40     | .526        | 319.43 | 339.22 |
| Geschlecht     | 0.11     | .744        | 317.83 | 337.62 |

*Anmerkung.* Moderator = geprüfte Kovariate;  $\chi^2$  = Likelihood-Ratio-Chi-Quadrat-Test (Vergleich Interaktions- vs. Haupteffektmodell), df = 1 (für Studie df = 2); Signifikanz = zweiseitiger p-Wert; AIC = Akaike-Informationskriterium; BIC = Bayessches Informationskriterium.

Gegenüber dem Haupteffektmodell (AIC = 315.94, BIC = 329.13) verschlechterten sich fast alle Interaktionsmodelle: CPT-Dauer  $\Delta$ AIC = +3.73,  $\Delta$ BIC = +10.33; CPT-Temperatur +2.25 / +8.79; Studie +3.88 / +10.47; BMI +3.49 / +10.08; Geschlecht +1.89 / +8.49. Für das Alter ergab sich ein minimal niedriger AIC ( $\Delta$ AIC = -0.83) bei zugleich höherem BIC ( $\Delta$ BIC = +5.77).

### 3.2. Ergebnisse psychologischer Stress

Abschließend wurde die Veränderung des subjektiven Stresserlebens (VAS-Stress) betrachtet. Hierfür wurde ein lineares gemischtes Modell berechnet, das den Messzeitpunkt als festen Effekt und die Versuchspersonen als zufälligen Effekt einschloss. Die Analyse ergab einen signifikanten Unterschied zwischen den Messzeitpunkten ( $\chi^2(1) = 11.70, p < .001$ ). Nach der CPT-Induktion stieg der berichtete Stress im Mittel um 0.14 Standardabweichungen ( $SE = 0.04, t(129.03) = -3.50, p < .001$ ). Das Modell wies einen AIC von 675.04 und einen BIC von 689.45 auf. Abbildung 4 zeigt die Verteilung der VAS-Stresswerte vor und nach der CPT-Induktion.

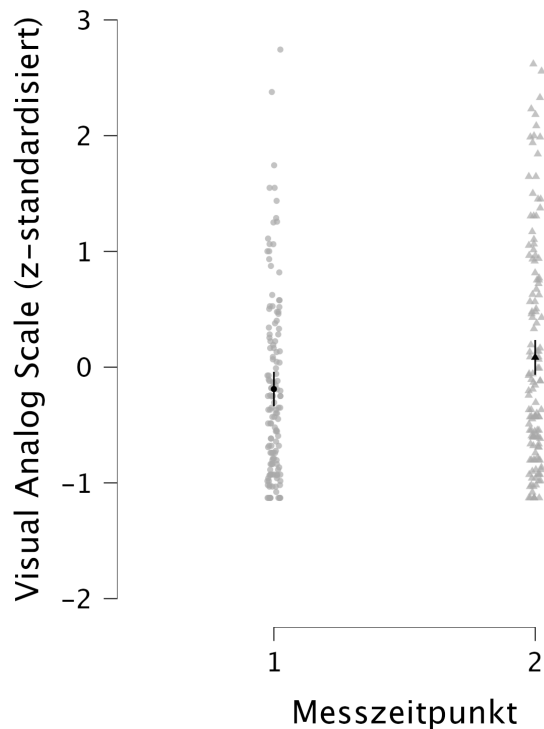


Abbildung 4. Visual Analog Scale (z-standardisiert) zu den Messzeitpunkten vor (1) und nach (2) dem CPT

Darüber hinaus wurde überprüft, ob die Veränderung der VAS-Stresswerte durch zusätzliche Faktoren beeinflusst wird. Eine Übersicht der Ergebnisse der Interaktionsanalysen für die VAS ist in Tabelle 6 dargestellt. Für die CPT-Dauer ( $\chi^2(1) = 0.59$ ,  $p = .444$ ; AIC = 671.71, BIC = 693.28), das Alter ( $\chi^2(1) = 0.11$ ,  $p = .741$ ; AIC = 677.11, BIC = 698.72), den BMI ( $\chi^2(1) = 0.49$ ,  $p = .483$ ; AIC = 676.22, BIC = 697.84) sowie das Geschlecht ( $\chi^2(1) = 0.60$ ,  $p = .438$ ; AIC = 676.40, BIC = 698.01) ergaben sich keine signifikanten Interaktionen mit dem Messzeitpunkt. Auch auf Ebene der Haupteffekte zeigten sich für diese Variablen keine signifikanten Effekte. Dagegen fanden sich signifikante Interaktionen für die CPT-Temperatur ( $\chi^2(1) = 4.84$ ,  $p = .028$ ; AIC = 665.42, BIC = 686.95) sowie die Studienzugehörigkeit ( $\chi^2(2) = 19.95$ ,  $p < .001$ ; AIC = 662.21, BIC = 691.03).

**Tabelle 6***Ergebnisse der Moderatoranalysen für Kovariaten der VAS-Veränderung*

| Moderator      | $\chi^2$ | Signifikanz | AIC    | BIC    |
|----------------|----------|-------------|--------|--------|
| CPT-Dauer      | 0.59     | .444        | 671.71 | 693.28 |
| CPT-Temperatur | 4.84     | .028        | 665.42 | 686.95 |
| Studie         | 19.95    | < .001      | 662.21 | 691.03 |
| Alter          | 0.11     | .741        | 677.11 | 698.72 |
| BMI            | 0.49     | .483        | 676.22 | 697.84 |
| Geschlecht     | 0.60     | .438        | 676.40 | 698.01 |

*Anmerkung.* Moderator = geprüfte Kovariate;  $\chi^2$  = Likelihood-Ratio-Chi-Quadrat-Test (Vergleich Interaktions- vs. Haupteffektmodell), df = 1 (für Studie df = 2); Signifikanz = zweiseitiger p-Wert; AIC = Akaike-Informationskriterium; BIC = Bayessches Informationskriterium.

Im Vergleich zum Haupteffektmodell (AIC = 675.04, BIC = 689.45) zeigte sich eine klare Verbesserung durch die CPT-Temperatur ( $\Delta$ AIC = -9.61;  $\Delta$ BIC = -2.50). Der Moderator Studie verbesserte den AIC ( $\Delta$ AIC = -12.83), nicht aber den BIC ( $\Delta$ BIC = +1.58). Die CPT-Dauer senkte den AIC nur geringfügig ( $\Delta$ AIC = -3.33) bei höherem BIC ( $\Delta$ BIC = +3.83). Alter, BMI und Geschlecht zeigten höhere AIC- und BIC-Werte ( $\Delta$ AIC = +2.07/+1.19/+1.36;  $\Delta$ BIC = +9.28/+8.39/+8.56).

#### 4. Diskussion

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, den CPT hinsichtlich seiner Eignung zur Induktion physiologischer (HR, HRV, EDA) und psychologischer (VAS-Stress) Stressreaktionen zu validieren und die standardisierten Stressparameter der MINTREP-, PSYKOM- und ASMR-Studie direkt miteinander zu vergleichen. Dabei wurde vorhergesagt, dass sowohl die physiologischen als auch psychologischen Stressparameter nach Durchführung des CPT eine Stressreaktion anzeigen würden und dass die physiologische Stressreaktion stärker ausfallen würde als die psychologische.

Auf physiologischer Ebene zeigte sich ein signifikanter Abfall der HR nach der Stressinduktion. Dieser Effekt entsprach einem Rückgang um 0.10 Standardabweichungen und ist somit als kleiner Effekt einzuordnen (vgl. Cohen, 1988). Entgegen den Erwartungen stieg die HR also nicht an, sondern sank. Im Gegensatz dazu stieg die HRV im selben Zeitraum signifikant um 0.09

Standardabweichungen an, was einem kleinen Effekt entspricht. Auch hier zeigte sich eine gegenläufige Reaktion zu den Hypothesen, die einen Abfall der HRV erwartet hatten. Für die EDA ergab sich dagegen ein signifikanter Anstieg um 0.05 Standardabweichungen, der ebenfalls in den Bereich kleiner Effekte fällt. Dieser Befund deckt sich mit den Erwartungen und weist auf eine erhöhte Aktivierung des sympathischen Nervensystems nach dem CPT hin. Hypothese 1 wird damit nur teilweise unterstützt.

Während frühere Studien zur physiologischen Stressreaktion im CPT typischerweise einen Anstieg der HR und einen Rückgang der HRV berichten (Sebastião et al., 2022; Korhonen 2006), zeigten sich in der vorliegenden Arbeit gegenläufige Muster. Der Rückgang der HR stellt dabei keinen singulären Befund dar, sondern wurde auch in früheren Studien im Zusammenhang mit dem CPT berichtet (Larra et al., 2015). So zeigten Mourot et al. (2009), dass nach einem anfänglichen Anstieg der HR bei einem Teil der Proband\*innen ein Abfall folgte. Sie argumentieren, dass der Abfall mit einer Baroreflex-vermittelten Gegenregulation zusammenhängen könnte. Da der CPT typischerweise mit einem deutlichen Blutdruckanstieg einhergeht, reagieren arterielle Barorezeptoren, indem sie den Herzfrequenzanstieg dämpfen oder sogar in eine Abnahme überführen. Auch die unerwartete Zunahme der HRV lässt sich möglicherweise im Zusammenhang mit baroreflexiven Anpassungsprozessen interpretieren (Lehrer et al., 2003).

Interindividuelle Unterschiede stellen einen weiteren möglichen Erklärungsfaktor für die abweichenden HR- und HRV-Ergebnisse dar. So konnten Voss et al. (1996) in einer Zwillingsstudie zeigen, dass die HRV in hohem Maße genetisch beeinflusst ist. Zudem scheinen diverse Faktoren wie körperliche Fitness (Johnson et al., 2020), Alter (Miller et al., 2019) und Geschlecht (Goreis et al., 2025) einen Einfluss auf die physiologische Stressreaktion einer Person zu haben. Einige dieser Interaktionseffekte werden im Folgenden dieser Arbeit noch exploriert.

Zuletzt wird die Interpretation der physiologischen Ergebnisse dadurch erschwert, dass in der bisherigen Literatur sehr unterschiedliche CPT-Protokolle eingesetzt wurden. Fanninger et al. (2023) zeigten in einer Analyse von rund 300 Studien, dass die verwendeten Wassertemperaturen erheblich variierten und Werte zwischen -2 °C

und 12 °C umfassten. Bereits kleine Abweichungen von etwa 2 °C können dabei einen relevanten Einfluss auf die kardiovaskulären Stressreaktionen haben (Mitchell et al., 2004). Zudem zeigte sich, dass in mehr als der Hälfte der Studien keine Pumpe zur Zirkulation eingesetzt wurde, sodass die Temperatur während der Handimmersion nicht konstant blieb. Die Studien unterschieden sich außerdem hinsichtlich der Dauer der Immersion, die entweder auf eine fixe Zeitspanne begrenzt oder bis zur maximalen Schmerz- bzw. Kältetoleranz der Teilnehmenden durchgeführt wurde (Fanninger et al., 2023). Zuletzt variiert auch die Eintauchregion, sodass in manchen Studien lediglich die Hand, in anderen hingegen auch der Unterarm oder beide Gliedmaßen gleichzeitig eingetaucht wurden (Allison et al., 2024). Derartige methodische Unterschiede stellen wesentliche konfundierende Faktoren dar und erschweren die Vergleichbarkeit der Ergebnisse über verschiedene Studien hinweg.

Im Gegensatz zu HR und HRV stieg die EDA erwartungsgemäß an. Dies könnte damit zusammenhängen, dass EDA als ein besonders sensibler und direkter Marker sympathischer Aktivierung gilt (Boucsein, 2012; Dawson et al., 2016). Im Unterschied zu kardiovaskulären Parametern unterliegt die EDA keiner parasympathischen Gegenregulation, sondern wird fast ausschließlich über cholinerge sympathische Fasern gesteuert, die die Aktivität der Schweißdrüsen modulieren (Dawson et al., 2016). Dementsprechend zeigt die EDA auch im Rahmen des CPT konsistente Anstiege, wohingegen HR und HRV stärker durch das Zusammenspiel von Sympathikus, Parasympathikus und Baroreflex beeinflusst werden könnten.

Auch auf psychologischer Ebene zeigte sich die erwartete Reaktion auf den CPT. Die berichteten VAS-Stresswerte nahmen zwischen den beiden Messzeitpunkten signifikant zu, was auf eine erhöhte subjektive Belastung hindeutet. Der Effekt entsprach einer Veränderung um 0.14 Standardabweichungen und ist damit im Bereich kleiner bis mittlerer Effekte einzuordnen (Cohen, 1988). Damit konnte Hypothese 2, die einen Anstieg des subjektiven Stresserlebens nach dem CPT vorhersagte, unterstützt werden. Die Ergebnisse fügen sich in die bestehende Literatur ein, die zeigt, dass selbstberichtete Maße wie die VAS während des CPT konsistent deutliche Anstiege erfassen, die sich nach Reizende wieder zurückbilden (Larra et al., 2015; Drost et al., 2024). Dieses Muster deckt sich mit Befunden, die zeigen, dass verschiedene Stresssysteme (subjektives Erleben, kardiovaskuläre

Reaktionen oder endokrine Marker) nicht zwangsläufig kohärent reagieren (Campbell & Ehlert, 2012). Subjektive Bewertungen scheinen vor allem die bewusste Wahrnehmung von Stress widerzuspiegeln und daher sensibel auf die CPT-Exposition zu reagieren, während physiologische Parameter stärker durch komplexe Regulationsmechanismen und individuelle Unterschiede moduliert werden könnten.

Hinsichtlich Hypothese 3, die annahm, dass der CPT stärkere physiologische als psychologische Stressreaktionen auslösen würde, ergaben sich abweichende Befunde. Zwei der drei physiologischen Parameter (HR und HRV) veränderten sich zwar signifikant, jedoch entgegen den Erwartungen. Lediglich die EDA zeigte den erwarteten Anstieg. Alle physiologischen Effekte bewegten sich im Bereich kleiner Effektstärken (HR: -0.10 SD, HRV: +0.09 SD, EDA: +0.05 SD). Demgegenüber wies der VAS-Stress einen Anstieg um 0.14 Standardabweichungen auf, der der Hypothese entsprach und im Bereich kleiner bis mittlerer Effekte lag. Durch die z-Standardisierung aller Messgrößen konnten physiologische und psychologische Reaktionen direkt miteinander verglichen werden. Dabei zeigte sich, dass selbst die EDA-Reaktion, welche als einziger physiologischer Parameter in erwarteter Richtung verlief, schwächer ausfiel als der Anstieg des subjektiven Stresserlebens. Dieser Vergleich verdeutlicht, dass die psychologische Stressreaktion in ihrer standardisierten Reaktionsstärke deutlicher ausfiel als die physiologischen Veränderungen. Hypothese 3 konnte somit nicht bestätigt werden; vielmehr weisen die Ergebnisse darauf hin, dass das subjektiv berichtete Stresserleben sensibler auf die Belastung reagierte als die physiologischen Marker.

Frühere Befunde zu anderen Stressparadigmen, insbesondere zum TSST, weisen darauf hin, dass physiologische Marker im Durchschnitt deutlichere Stressantworten liefern als psychologische Selbstberichte (Gu et al., 2025). Allerdings ist zu beachten, dass der CPT als vergleichsweise schwacher Auslöser autonomer Reaktion gilt. Skoluda et al. (2014) konnten im direkten intraindividuellen Vergleich zeigen, dass der CPT deutlich geringere kardiovaskuläre Reaktionen hervorruft als sozial-evaluativer Stress (TSST) oder körperliche Belastung (Ergometer). Der Befund steht im Einklang mit Studien, die nur eine begrenzte Kohärenz zwischen subjektivem Stresserleben und physiologischen Reaktionen berichteten (Campbell & Ehlert, 2012). Beim CPT könnte der kälteinduzierte Reiz, trotz sympathischer Aktivierung (EDA), die

kardiovaskuläre Reaktivität dämpfen, während die Belastung subjektiv als deutlich unangenehm wahrgenommen wird.

Die Interaktionsanalysen sind als explorativ zu verstehen und sollten entsprechend zurückhaltend interpretiert werden. Dennoch lassen sich einige interessante Muster erkennen: Die *Studienzugehörigkeit* erwies sich sowohl für HR als auch für HRV als bedeutsam. Gegenüber dem jeweiligen Haupteffektmodell verbessert die Aufnahme der Interaktion für HR die Modellpassung nach AIC deutlich ( $\Delta AIC = -19.80$ ) und nach BIC moderat ( $\Delta BIC = -5.51$ ), während bei HRV AIC eine spürbare Verbesserung ( $\Delta AIC = -9.75$ ) anzeigt, der BIC jedoch nicht folgt ( $\Delta BIC = +4.35$ ). Zusammen mit den signifikanten Interaktionstermen spricht dies für studienspezifische Muster, erfordert für HRV aber eine vorsichtige Einordnung. In der ASMR-Stichprobe nahm die Herzrate zwischen den Messzeitpunkten signifikant ab, während in den MINTREP- und PSYKOM-Stichproben ein geringer, aber signifikanter Anstieg erkennbar war. Für die HRV zeigte sich ein entgegengesetztes Muster. Hier zeigten die ASMR- und MINTREP-Daten einen leichten Anstieg, während in der PSYKOM-Stichprobe eine tendenzielle Abnahme zu beobachten war. Für diese Unterschiede kommen diverse Erklärungen infrage, wie beispielsweise Unterschiede in der Stichprobenzusammensetzung (vor allem bzgl. Alter und Geschlecht), der Studienkontext sowie Baseline-Unterschiede.

Für die HRV zeigte sich zudem eine *geschlechtsspezifische* Differenz, die zeigt, dass der HRV-Anstieg bei männlichen Probanden signifikant stärker ausgeprägt war als bei weiblichen Probandinnen. Gegenüber dem Haupteffektmodell verbessert die Aufnahme der Interaktion die Modellpassung nach AIC deutlich ( $\Delta AIC = -7.98$ ), während der BIC nur eine knappe Verbesserung anzeigt ( $\Delta BIC = -0.93$ ). Zusammen mit dem signifikanten Interaktionsterm spricht dies für einen Geschlechtsunterschied in der HRV-Veränderung. Goreis et al. (2025) betonen, dass die bisherige Datenlage zu Geschlechtsunterschieden bzgl. kardiovaskulärer Stressparameter im Rahmen des CPT heterogen ist und konnten in ihrer eigenen Übersichtsarbeit keine signifikanten Geschlechtsunterschiede für HR oder HRV finden. Darüber hinaus zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt des *Alters*: Mit zunehmendem Lebensalter war die HRV im Mittel geringer, unabhängig von anderen Faktoren. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit der gut dokumentierten altersbedingten Abnahme der HRV (Shaffer & Ginsberg,

2017).

Zuletzt zeigte sich ein signifikanter Interaktionseffekt zwischen subjektiver Stresswahrnehmung (VAS) und *Wassertemperatur*: Niedrigere Temperaturen gingen mit höheren Stressratings einher. Im Vergleich zum Haupteffektmodell verbessert die Aufnahme der Interaktion die Modellpassung nach AIC deutlich ( $\Delta AIC = -9.61$ ), während der BIC nur eine kleinere Verbesserung anzeigt ( $\Delta BIC = -2.50$ ). Zusammen mit dem signifikanten Interaktionsterm spricht dies für einen relativ robusten Moderationseffekt der Wassertemperatur. Dieses Muster entspricht der Annahme, dass eine stärkere physische Belastung zu einer intensiveren subjektiven Stresswahrnehmung führt. Auch Goreis et al. (2025) berichten in ihrer Übersichtsarbeit, dass die subjektive Stressreaktion im CPT eng mit der Intensität des Reizes sowie mit der wahrgenommenen Schmerz- und Belastungsstärke verknüpft ist. Die Ergebnisse weisen somit darauf hin, dass die Wassertemperatur ein zentraler Einflussfaktor für die subjektive Stressreaktion im CPT ist. Für die übrigen Moderatoren fanden sich keine Hinweise auf bedeutsame Effekte. Insgesamt deuten diese Ergebnisse auf potenzielle Einflussfaktoren hin, deren Rolle in zukünftigen Arbeiten gezielt untersucht werden sollte.

#### **4.1 Limitationen**

Die Ergebnisse dieser Arbeit sind unter mehreren Einschränkungen zu betrachten. Obwohl die Ausgangsstichprobe mit  $N = 140$  Personen vergleichsweise groß war, reduzierten sich die effektiven Fallzahlen je nach Parameter teils deutlich (z. B. 99-101 bei EDA). Dies könnte die statistische Power insbesondere für kleinere Effekte eingeschränkt haben. Zudem handelte es sich um eine homogene Stichprobe, die überwiegend aus jungen, gesunden und weiblichen Studierenden bestand. Dadurch konnten mögliche Alters- oder Geschlechtseffekte schlechter abgebildet werden, was die Generalisierbarkeit auf andere Bevölkerungsgruppen und Populationen begrenzt. Darüber hinaus ist eine mögliche Selbstselektion nicht auszuschließen, da eher psychologisch interessierte, weniger stark belastete oder besonders motivierte Personen zur Teilnahme bereit sind. Dies könnte die Spannbreite beobachteter Stressreaktionen zusätzlich eingeschränkt haben. Trotz Standardisierung der Durchführung können situative Einflüsse wie Tageszeit, Raumtemperatur oder subtile Unterschiede im Verhalten der Versuchsleitung die Ergebnisse beeinflusst haben. Zudem wurde der CPT im Rahmen unterschiedlicher Studien eingesetzt, auf die

jeweils verschiedene Interventionen folgten. Dies könnte Erwartungen und Verhalten der Teilnehmenden bereits während des CPT beeinflusst haben und damit zu einer zusätzlichen, schwer kontrollierbaren Varianzquelle geführt haben.

Eine weitere Einschränkung der vorliegenden Arbeit besteht darin, dass keine Kontrollbedingung ohne Stressinduktion einbezogen wurde. Dadurch können spontane Veränderungen (z. B. durch Habituation, Erwartung oder Zeitverlauf) nicht sicher von stressinduzierten Effekten getrennt und keine Aussagen über kausale Effekte des CPT im Vergleich zu einer Nicht-Stress-Bedingung gemacht werden. Für die hier verfolgte Fragestellung, die den relativen Vergleich zwischen verschiedenen Stressindikatoren zum Ziel hatte, ist das Fehlen einer Kontrollbedingung jedoch weniger kritisch, da alle Parameter unter denselben experimentellen Bedingungen erhoben wurden.

Auch die eingesetzten Stressmaße sind mit methodischen Grenzen verbunden. Physiologische Indikatoren wie HR und HRV gelten zwar als etablierte Parameter, unterliegen jedoch interindividuellen Schwankungen. Bei der EDA kam es zudem zu einem verhältnismäßig hohen Datenverlust, was auf die technische Sensitivität dieses Maßes hinweist. Subjektive Stressangaben über die VAS stellen ein valides Maß dar, sind jedoch anfällig für Verzerrungen durch Erwartungseffekte oder soziale Erwünschtheit. Zudem ist bekannt, dass subjektive Stresswerte eine gewisse Dynamik im Verlauf des CPT aufweisen können (Larra et al., 2015). Da in dieser Arbeit lediglich Messungen vor und nach dem CPT vorlagen, blieb die kurzfristige zeitliche Dynamik unberücksichtigt. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass es sich beim CPT um eine standardisierte Laborsituation handelt, die zwar eine hohe interne Validität aufweist, jedoch nicht in allen Aspekten mit realen, alltagsnahen Stressoren vergleichbar ist. Die externe bzw. ökologische Validität der Ergebnisse ist daher begrenzt. Zuletzt sind die durchgeführten Interaktionsanalysen explorativ und sollten daher mit Vorsicht interpretiert und vor allem als Hypothesen für zukünftige Studien verstanden werden.

#### **4.2 Implikationen für zukünftige Forschung**

Die vorliegenden Ergebnisse bieten verschiedene Anknüpfungspunkte für weiterführende Forschung. Zukünftige Studien sollten insbesondere prüfen, wie sich

die Befunde unter veränderten Rahmenbedingungen, in unterschiedlichen Populationen und mit erweiterten methodischen Ansätzen replizieren und vertiefen lassen. Während sich die Stichprobe dieser Arbeit aus jungen, gesunden Studierenden zusammensetzte, wäre es sinnvoll, auch Personen diversen Alters, Geschlechts sowie verschiedener kultureller und sozialer Hintergründe zu inkludieren. Auf diese Weise ließe sich untersuchen, inwiefern die hier gefundenen Stressreaktionen generalisierbar sind und ob sich alters- oder geschlechtsspezifische Unterschiede ergeben, die in der vorliegenden Arbeit nur explorativ berücksichtigt werden konnten. Die Untersuchung verschiedener Bildungshintergründe könnte zudem Aufschluss darüber geben, ob soziale Faktoren die Reaktivität im CPT beeinflussen.

Die gewählten Stressmaße machen deutlich, an welchen Stellen künftige Studien das methodische Vorgehen noch erweitern könnten. Künftige Untersuchungen könnten physiologische Parameter über längere Zeiträume hinweg kontinuierlich analysieren und so differenziertere Verläufe der Stressreaktion und -regulation erfassen. Auch die subjektiven Stressangaben sollten häufiger während des CPT erhoben werden, um die kurzfristige Dynamik erfassen und mit den physiologischen Parametern in Beziehung setzen zu können. Eine Kombination aus psychologischen, physiologischen und endokrinen Maßen, die im Rahmen der inkludierten Studien teilweise zwar erhoben, aber nicht berücksichtigt werden konnten, würde es ermöglichen, das Stressgeschehen umfassender und robuster zu erfassen.

Neben diesen methodischen Aspekten zeigt die Arbeit auch die Stärken des gewählten Vorgehens auf. Durch die standardisierte Laborsituation konnten Kontextfaktoren kontrolliert werden, und durch die parallele Erfassung von physiologischen und subjektiven Stressparametern entstand ein vielschichtiges Bild der Stressreaktion. An diese Grundlage kann zukünftige Forschung anschließen, indem sie den CPT gezielt in klinischen Kontexten einsetzt oder mit alternativen Stressoren wie dem TSST kombiniert. Auf diese Weise lassen sich die Mechanismen von Stressreaktionen weiter differenzieren und mögliche Implikationen für Prävention und Intervention ableiten.

### **4.3 Fazit**

Im Rahmen dieser Arbeit wurde untersucht, inwieweit der CPT geeignet ist, akute Stressreaktionen hervorzurufen, und wie sich die physiologischen und psychologischen Stressindikatoren in ihrer standardisierten Reaktionsstärke zueinander verhalten. Die Analysen zeigten, dass vor allem die subjektiv erfassten Stresswerte auf der VAS sowie die EDA auf den Stressor ansprachen, wenn auch nur mit kleinen bis mittleren Effektstärken. Für HR und HRV konnten dagegen keine klaren Veränderungen festgestellt werden. Der direkte Vergleich der z-standardisierten Prä-Post-Veränderungen verdeutlichte zudem, dass die psychologische Stressreaktion stärker ausfiel als die physiologische Gesamtreaktion. Die Ergebnisse weisen damit auf ein weniger einheitliches Bild hin, als es in Teilen der bisherigen Literatur beschrieben wird. Offenbar hängt die Stärke der Stressreaktion nicht nur vom eingesetzten Paradigma ab, sondern auch von der spezifischen Stichprobe und den Rahmenbedingungen der Untersuchung. Zugleich wird deutlich, dass die Wahl der Messparameter entscheidend ist, da nicht alle physiologischen Marker gleichermaßen sensitiv auf den CPT reagieren.

Aus den Befunden ergibt sich insgesamt ein differenziertes Bild des CPT: Er kann Stressreaktionen hervorrufen, tut dies jedoch nicht über alle Indikatoren hinweg in gleicher Weise. Für die Forschung bedeutet dies, dass zukünftige Arbeiten den Zusammenhang und die relative Sensitivität psychologischer und physiologischer Stressmaße gezielt weiter untersuchen sollten, um die Validität und Anwendungsbreite des CPT als Stressinduktionsparadigma besser zu verstehen und zu optimieren. Damit könnten wichtige Grundlagen geschaffen werden, um das Paradigma gezielt in klinischen und gesundheitspsychologischen Anwendungen einzusetzen.

## 5. Literaturverzeichnis

- Abler, B. & Kessler, H. (2009). Emotion Regulation Questionnaire – Eine deutschsprachige Fassung des ERQ von Gross und John. *Diagnostica*, 55(3), 144–152. <https://doi.org/10.1026/0012-1924.55.3.144>
- Ali, N. & Pruessner, J. C. (2011). The salivary alpha amylase over cortisol ratio as a marker to assess dysregulations of the stress systems. *Physiology & Behavior*, 106(1), 65–72. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2011.10.003>
- Allison, E. Y., Mei, Y., Coombs, G. B., Mizzi, V., Ismayilov, H. & Al-Khazraji, B. K. (2024). Effects of single and bilateral limb immersion on systemic and cerebral hemodynamic responses to the cold pressor test. *Journal Of Applied Physiology*, 137(4), 873–882. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00328.2024>
- Bachmann, P., Finke, J. B., Rebeck, D., Zhang, X., Larra, M. F., Koch, K. P., Turner, J. D. & Schächinger, H. (2019). Test-retest reproducibility of a combined physical and cognitive stressor. *Biological Psychology*, 148, 107729. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2019.107729>
- Bachmann, P., Zhang, X., Larra, M. F., Rebeck, D., Schönbein, K., Koch, K. P. & Schächinger, H. (2017). Validation of an automated bilateral feet cold pressor test. *International Journal Of Psychophysiology*, 124, 62–70. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2017.10.013>
- Benarroch, E. E. (2007). THE AUTONOMIC NERVOUS SYSTEM. *CONTINUUM Lifelong Learning in Neurology*, 13, 13–32. <https://doi.org/10.1212/01.con.0000299964.20642.9a>
- Bergmann, N., Gyntelberg, F. & Faber, J. (2014). The appraisal of chronic stress and the development of the metabolic syndrome: a systematic review of prospective

- cohort studies. *Endocrine Connections*, 3(2), R55–R80.  
<https://doi.org/10.1530/ec-14-0031>
- Bortz, J. & Schuster, C. (2010). Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler. In *Springer-Lehrbuch*. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-12770-0>
- Boucsein, W. (2012). Electrodermal activity. In *Springer eBooks*.  
<https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1126-0>
- Bullock, T., MacLean, M. H., Santander, T., Boone, A. P., Babenko, V., Dundon, N. M., Stuber, A., Jimmons, L., Raymer, J., Okafor, G. N., Miller, M. B., Giesbrecht, B. & Grafton, S. T. (2023). Habituation of the stress response multiplex to repeated cold pressor exposure. *Frontiers in Physiology*, 13.  
<https://doi.org/10.3389/fphys.2022.752900>
- Burnham, K. P. & Anderson, D. R. (2004). Multimodel inference. *Sociological Methods & Research*, 33(2), 261–304. <https://doi.org/10.1177/0049124104268644>
- Buyse, D. J., Reynolds, C. F., Monk, T. H., Berman, S. R. & Kupfer, D. J. (1989). The Pittsburgh sleep quality index: A new instrument for psychiatric practice and research. *Psychiatry Research*, 28(2), 193–213. [https://doi.org/10.1016/0165-1781\(89\)90047-4](https://doi.org/10.1016/0165-1781(89)90047-4)
- Campbell, J. & Ehlert, U. (2012). Acute psychosocial stress: Does the emotional stress response correspond with physiological responses? *Psychoneuroendocrinology*, 37(8), 1111–1134.  
<https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2011.12.010>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences (Vol. 2)*. Psychology Press.
- Cohen, S., Janicki-Deverts, D. & Miller, G. E. (2007). Psychological Stress and Disease. *JAMA*, 298(14), 1685. <https://doi.org/10.1001/jama.298.14.1685>

- Cohen, S., Kamarck, T. & Mermelstein, R. (1983). A Global Measure of Perceived Stress. *Journal Of Health And Social Behavior*, 24(4), 385.  
<https://doi.org/10.2307/2136404>
- Dawson, M. E., Schell, A. M. & Filion, D. L. (2016). The electrodermal system. In *Cambridge University Press eBooks* (S. 217–243).  
<https://doi.org/10.1017/9781107415782.010>
- Drost, L., Finke, J. B., Bachmann, P. & Schächinger, H. (2024). Cold pressor stress effects on cardiac repolarization. *Stress*, 27(1).  
<https://doi.org/10.1080/10253890.2024.2352626>
- Fanninger, S., Plener, P. L., Fischer, M. J. M., Kothgassner, O. D. & Goreis, A. (2023). Water temperature during the cold pressor test: A scoping review. *Physiology & Behavior*, 271, 114354. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2023.114354>
- Farivar, F., Eshraghian, F., Hafezieh, N. & Cheng, D. (2023). Constant connectivity and boundary management behaviors: the role of human agency. *The International Journal Of Human Resource Management*, 35(7), 1250–1282.  
<https://doi.org/10.1080/09585192.2023.2271835>
- Feneberg, A. C., Kappert, M. B., Maidhof, R. M., Doering, B. K., Olbrich, D. & Nater, U. M. (2020). Efficacy, Treatment Characteristics, and Biopsychological Mechanisms of Music-Listening Interventions in Reducing Pain (MINTREP): Study Protocol of a Three-Armed Pilot Randomized Controlled Trial. *Frontiers in Psychiatry*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2020.518316>
- Field, A. (2018). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics* (5th Edition). Sage Publications Ltd.

- Foramitti, M. & Nater, U. (2024a). Investigating the effects of historical idiophones on psychological and physiological stress (Preregistration). *OSF*. <https://osf.io/zx8ac>
- Foramitti, M. & Nater, U. (2024b). The effect of sound – Effects of ASMR on stress in a randomized control study (Preregistration). *OSF*. <https://osf.io/k7832>
- Gerber, M. & Schilling, R. (2017). Stress als Risikofaktor für körperliche und psychische Gesundheitsbeeinträchtigungen. In *Springer eBooks* (S. 93–122). [https://doi.org/10.1007/978-3-662-49322-9\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-662-49322-9_5)
- Ghiasi, S., Greco, A., Barbieri, R., Scilingo, E. P. & Valenza, G. (2020). Assessing Autonomic Function from Electrodermal Activity and Heart Rate Variability During Cold-Pressor Test and Emotional Challenge. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62225-2>
- Goreis, A., Fanninger, S., Lozar, A., Mayer, A., Pfatrish, N., Voracek, M., Plener, P. L. & Kothgassner, O. D. (2025). Water temperature and biological sex influence cold pressor pain in healthy adults: a randomized within-subjects trial. *Frontiers in Physiology*, 16. <https://doi.org/10.3389/fphys.2025.1628111>
- Gu, H., Lei, Y., Yao, Y., Chen, C. & Liu, C. (2025). Physiological and psychological responses to acute stress: A meta-analysis of the 171 studies of Trier Social Stress Test including 8452 healthy adults. *Psychoneuroendocrinology*, 180, 107566. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2025.107566>
- Hautzinger, M., Keller, F., Kühner, C. Beck Depressions-Inventar Revision (BDIII) Revision. 2nd ed. Frankfurt: Pearson Assessment (2009)
- Hines, E. A. & Brown, G. E. (1932). A standard stimulant for measuring vasomotor reactions: its application in the study of hypertension. *Proceedings Of The Staff Meetings Of The Mayo Clinic*, 7, 332–325.

- Hines, E. A. & Brown, G. E. (1936). The cold pressor test for measuring the reactivity of the blood pressure: Data concerning 571 normal and hypertensive subjects. *American Heart Journal*, 11(1), 1–9. [https://doi.org/10.1016/s0002-8703\(36\)90370-8](https://doi.org/10.1016/s0002-8703(36)90370-8)
- Hutmacher, F. (2021). Putting Stress in Historical Context: Why It Is Important That Being Stressed Out Was Not a Way to Be a Person 2,000 Years Ago. *Frontiers in Psychology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.539799>
- Johnson, B. D., Sackett, J. R., Schlader, Z. J. & Leddy, J. J. (2020). Attenuated Cardiovascular Responses to the Cold Pressor Test in Concussed Collegiate Athletes. *Journal Of Athletic Training*, 55(2), 124–131. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-573-18>
- Jukiewicz, M. & Marcinkowska, J. (2025). Analysis of Electrodermal Signal Features as Indicators of Cognitive and Emotional Reactions—Comparison of the Effectiveness of Selected Statistical Measures. *Sensors*, 25(11), 3300. <https://doi.org/10.3390/s25113300>
- Kakon, G., Mohamadi, A. K., Levtova, N., Maurice-Ventouris, M. E. I., Benoit, E., Chouchou, F., Darlington, P. J. & Dover, G. (2021). Elevated Heart Rate and Pain During a Cold Pressor Test Correlates to Pain Catastrophizing. *Applied Psychophysiology And Biofeedback*, 46(4), 359–366. <https://doi.org/10.1007/s10484-021-09520-4>
- Kalaitzaki, A., Goodwin, R., Kurapov, A., Vintila, M., Lazarescu, G., Lytvyn, S., Tsouvelas, G., Tamiolaki, A., Danyliuk, I., Ramos-Diaz, J., Gnisci, A., Sergi, I., Mottola, F., Stulnikova, L., Lopez-Calle, C., Salas, G., Helmy, M., Chen, Y., Yen, C., . . . Zhamuldinov, V. N. (2024). The mental health toll of the Russian-Ukraine war across 11 countries: Cross-sectional data on war-related stressors,

- PTSD and CPTSD symptoms. *Psychiatry Research*, 342, 116248.  
<https://doi.org/10.1016/j.psychres.2024.116248>
- Koenig, J., Jarczok, M., Ellis, R., Hillecke, T. & Thayer, J. (2013). Heart rate variability and experimentally induced pain in healthy adults: A systematic review. *European Journal Of Pain*, 18(3), 301–314. <https://doi.org/10.1002/j.1532-2149.2013.00379.x>
- Koenig, J., Jarczok, M. N., Ellis, R. J., Bach, C., Thayer, J. F. & Hillecke, T. K. (2013). Two-Week Test–Retest Stability of the Cold Pressor Task Procedure at two different Temperatures as a Measure of Pain Threshold and Tolerance. *Pain Practice*, 14(3). <https://doi.org/10.1111/papr.12142>
- Korhonen, I. (2006). Blood pressure and heart rate responses in men exposed to arm and leg cold pressor tests and whole-body cold exposure. *International Journal Of Circumpolar Health*, 65(2), 178–184.  
<https://doi.org/10.3402/ijch.v65i2.18090>
- Kreutz, G., Schubert, E. & Mitchell, L. A. (2008). Cognitive Styles of Music Listening. *Music Perception An Interdisciplinary Journal*, 26(1), 57–73.  
<https://doi.org/10.1525/mp.2008.26.1.57>
- Larra, M. F., Schilling, T. M., Röhrig, P. & Schächinger, H. (2015). Enhanced stress response by a bilateral feet compared to a unilateral hand Cold Pressor Test. *Stress*, 18(5), 589–596. <https://doi.org/10.3109/10253890.2015.1053452>
- Lazarus, R. S. (1990). Theory-Based stress Measurement. *Psychological Inquiry*, 1(1), 3–13. [https://doi.org/10.1207/s15327965pli0101\\_1](https://doi.org/10.1207/s15327965pli0101_1)
- Lazarus, R. S. & Folkman, S. (1984). *Stress, Appraisal, and Coping*. Springer Publishing Company.

- Lehrer, P. M., Vaschillo, E., Vaschillo, B., Lu, S., Eckberg, D. L., Edelberg, R., Shih, W. J., Lin, Y., Kuusela, T. A., Tahvanainen, K. U. O. & Hamer, R. M. (2003). Heart Rate Variability Biofeedback Increases Baroreflex Gain and Peak Expiratory Flow. *Psychosomatic Medicine*, 65(5), 796–805.  
<https://doi.org/10.1097/01.psy.0000089200.81962.19>
- Lesage, F. X., Berjot, S. & Deschamps, F. (2012). Clinical stress assessment using a visual analogue scale. *Occupational Medicine*, 62(8), 600–605.  
<https://doi.org/10.1093/occmed/kqs140>
- Lüdecke, D., Ben-Shachar, M., Patil, I., Waggoner, P. & Makowski, D. (2021). performance: An R Package for Assessment, Comparison and Testing of Statistical Models. *The Journal Of Open Source Software*, 6(60), 3139.  
<https://doi.org/10.21105/joss.03139>
- Maltseva, K. (2024). Stress exposure, perceived stress severity, and their effects on health. *Sociology Theory Methods Marketing*, 1, 187–197.  
<https://doi.org/10.15407/sociology2024.01.187>
- Mason, J. W. (1971). A re-evaluation of the concept of 'non-specificity' in stress theory. *Journal Of Psychiatric Research*, 8(3–4), 323–333.  
[https://doi.org/10.1016/0022-3956\(71\)90028-8](https://doi.org/10.1016/0022-3956(71)90028-8)
- Mcewen, B. S. (2004). Protection and Damage from Acute and Chronic Stress: Allostasis and Allostatic Overload and Relevance to the Pathophysiology of Psychiatric Disorders. *Annals Of The New York Academy Of Sciences*, 1032(1), 1–7. <https://doi.org/10.1196/annals.1314.001>
- Melzner, L. & Kröger, C. (2024). Incapacity to work due to mental disorders—economic, individual, and treatment-specific aspects. *Bundesgesundheitsblatt*

- *Gesundheitsforschung* - *Gesundheitsschutz*, 67(7), 751–759.  
<https://doi.org/10.1007/s00103-024-03894-6>
- Miller, A. J., Cui, J., Luck, J. C., Sinoway, L. I. & Muller, M. D. (2019). Age and sex differences in sympathetic and hemodynamic responses to hypoxia and cold pressor test. *Physiological Reports*, 7(2), e13988.  
<https://doi.org/10.14814/phy2.13988>
- Minkley, N., Schröder, T. P., Wolf, O. T. & Kirchner, W. H. (2014). The socially evaluated cold-pressor test (SECPT) for groups: Effects of repeated administration of a combined physiological and psychological stressor. *Psychoneuroendocrinology*, 45, 119–127.  
<https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2014.03.022>
- Mitchell, L. A., MacDonald, R. A. & Brodie, E. E. (2004). Temperature and the cold pressor test. *Journal Of Pain*, 5(4), 233–237.  
<https://doi.org/10.1016/j.jpain.2004.03.004>
- Modir, J. G. & Wallace, M. S. (2010). Human Experimental Pain Models 2: The Cold Pressor Model. *Methods in Molecular Biology*, 165–168.  
[https://doi.org/10.1007/978-1-60327-323-7\\_13](https://doi.org/10.1007/978-1-60327-323-7_13)
- Mourot, L., Bouhaddi, M. & Regnard, J. (2009). Effects of the cold pressor test on cardiac autonomic control in normal subjects. *Physiological Research*, 83–91.  
<https://doi.org/10.33549/physiolres.931360>
- Nater, U. M. (2018). The multidimensionality of stress and its assessment. *Brain Behavior And Immunity*, 73, 159–160. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2018.07.018>
- Nater, U. M., Ditzen, B. & Ehlert, U. (2020). Psychosomatische und stressabhängige körperliche Beschwerden. In *Springer eBooks* (S. 1221–1235).  
[https://doi.org/10.1007/978-3-662-61814-1\\_54](https://doi.org/10.1007/978-3-662-61814-1_54)

- Nater, U. M., Krebs, M. & Ehlert, U. (2005). Sensation Seeking, Music Preference, and Psychophysiological Reactivity to Music. *Musicae Scientiae*, 9(2), 239–254.  
<https://doi.org/10.1177/102986490500900205>
- Nater, U. & Rohleder, N. (2009). Salivary alpha-amylase as a non-invasive biomarker for the sympathetic nervous system: Current state of research. *Psychoneuroendocrinology*, 34(4), 486–496.  
<https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2009.01.014>
- Olbrich, D. & Conrady, U. (2015). Einsatz von AVWF in der Stressmedizin – Erfahrungen und erste Ergebnisse aus einer psychosomatischen Rehabilitationsklinik. *Ärztliche Psychotherapie*, 10, 39–45.  
<https://www.aerztliche-psychotherapie.de>
- Peng, R., Yan, W., Zhou, X., Zhang, N., Lin, W. & Zhang, Y. (2015). Time-frequency analysis of heart rate variability during the cold pressor test using a time-varying autoregressive model. *Physiological Measurement*, 36(3), 441–452.  
<https://doi.org/10.1088/0967-3334/36/3/441>
- Piao, X., Xie, J. & Managi, S. (2024). Continuous worsening of population emotional stress globally: universality and variations. *BMC Public Health*, 24(1).  
<https://doi.org/10.1186/s12889-024-20961-4>
- Pud, D., Golan, Y. & Pesta, R. (2009). Hand dominance—A feature affecting sensitivity to pain. *Neuroscience Letters*, 467(3), 237–240.  
<https://doi.org/10.1016/j.neulet.2009.10.048>
- Rammstedt, B. & John, O. P. (2006). Measuring personality in one minute or less: A 10-item short version of the Big Five Inventory in English and German. *Journal Of Research in Personality*, 41(1), 203–212.  
<https://doi.org/10.1016/j.jrp.2006.02.001>

- Ruscheweyh, R., Stumpenhorst, F., Knecht, S. & Marziniak, M. (2010). Comparison of the Cold Pressor Test and Contact Thermode-Delivered Cold Stimuli for the Assessment of Cold Pain Sensitivity. *Journal Of Pain*, 11(8), 728–736. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2009.10.016>
- Schielzeth, H., Dingemanse, N. J., Nakagawa, S., Westneat, D. F., Alaguela, H., Teplitsky, C., Réale, D., Dochtermann, N. A., Garamszegi, L. Z. & Araya-Ajoy, Y. G. (2020). Robustness of linear mixed-effects models to violations of distributional assumptions. *Methods in Ecology And Evolution*, 11(9), 1141–1152. <https://doi.org/10.1111/2041-210x.13434>
- Schneiderman, N., Ironson, G. & Siegel, S. D. (2004). Stress and Health: Psychological, Behavioral, and Biological Determinants. *Annual Review Of Clinical Psychology*, 1(1), 607–628. <https://doi.org/10.1146/annurev.clinpsy.1.102803.144141>
- Schulz, U. & Schwarzer, R. (2003). Soziale Unterstützung bei der Krankheitsbewältigung: Die Berliner Social Support Skalen (BSSS). *Diagnostica*, 49(2), 73–82. <https://doi.org/10.1026/0012-1924.49.2.73>
- Schwabe, L. & Schächinger, H. (2018). Ten years of research with the Socially Evaluated Cold Pressor Test: Data from the past and guidelines for the future. *Psychoneuroendocrinology*, 92, 155–161. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2018.03.010>
- Sebastião, R., Bento, A. & Brás, S. (2022). Analysis of Physiological Responses during Pain Induction. *Sensors*, 22(23), 9276. <https://doi.org/10.3390/s22239276>
- Selye, H. (1936). A Syndrome produced by Diverse Nocuous Agents. *Nature*, 138(3479), 32. <https://doi.org/10.1038/138032a0>

- Selye, H. (1956). *The Stress of Life*. McGraw-Hill.
- Shaffer, F. & Ginsberg, J. P. (2017). An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. *Frontiers in Public Health*, 5. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00258>
- Shchaslyvyi, A. Y., Antonenko, S. V. & Telegeev, G. D. (2024). Comprehensive Review of Chronic Stress Pathways and the Efficacy of Behavioral Stress Reduction Programs (BSRPs) in Managing Diseases. *International Journal Of Environmental Research And Public Health*, 21(8), 1077. <https://doi.org/10.3390/ijerph21081077>
- Siegrist, J. (2008). Chronic psychosocial stress at work and risk of depression: evidence from prospective studies. *European Archives Of Psychiatry And Clinical Neuroscience*, 258(S5), 115–119. <https://doi.org/10.1007/s00406-008-5024-0>
- Simoes, G. M. S., Campagnaro, B. P., Tonini, C. L., Meyrelles, S. S., Kuniyoshi, F. H. S. & Vasquez, E. C. (2013). Hemodynamic reactivity to laboratory stressors in healthy subjects: Influence of gender and family history of cardiovascular diseases. *International Journal Of Medical Sciences*, 10(7), 848–856. <https://doi.org/10.7150/ijms.5967>
- Skoluda, N., Strahler, J., Schlotz, W., Niederberger, L., Marques, S., Fischer, S., Thoma, M. V., Spoerri, C., Ehlert, U. & Nater, U. M. (2014). Intra-individual psychological and physiological responses to acute laboratory stressors of different intensity. *Psychoneuroendocrinology*, 51, 227–236. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2014.10.002>
- Smeets, T., Cornelisse, S., Quaedflieg, C. W., Meyer, T., Jellicic, M. & Merckelbach, H. (2012). Introducing the Maastricht Acute Stress Test (MAST): A quick and non-invasive approach to elicit robust autonomic and glucocorticoid stress

- responses. *Psychoneuroendocrinology*, 37(12), 1998–2008.  
<https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2012.04.012>
- Smets, E., Garssen, B., Bonke, B. & De Haes, J. (1995). The multidimensional Fatigue Inventory (MFI) psychometric qualities of an instrument to assess fatigue. *Journal Of Psychosomatic Research*, 39(3), 315–325.  
[https://doi.org/10.1016/0022-3999\(94\)00125-o](https://doi.org/10.1016/0022-3999(94)00125-o)
- Somerfield, M. R. & McCrae, R. R. (2000). Stress and coping research: Methodological challenges, theoretical advances, and clinical applications. *American Psychologist*, 55(6), 620–625. <https://doi.org/10.1037/0003-066x.55.6.620>
- Sommerfeldt, S. L., Schaefer, S. M., Brauer, M., Ryff, C. D. & Davidson, R. J. (2019). Individual Differences in the Association Between Subjective Stress and Heart Rate Are Related to Psychological and Physical Well-Being. *Psychological Science*, 30(7), 1016–1029. <https://doi.org/10.1177/0956797619849555>
- Stalder, T. & Kirschbaum, C. (2012). Analysis of cortisol in hair – State of the art and future directions. *Brain Behavior And Immunity*, 26(7), 1019–1029.  
<https://doi.org/10.1016/j.bbi.2012.02.002>
- Sterling, P. & Eyer, J. (1988). Allostasis: A new paradigm to explain arousal pathology. In S. Fisher & J. Reason (Hrsg.), *Handbook of life stress, cognition and health* (S. 629–649). John Wiley & Sons.
- Tenk, J., Mátrai, P., Hegyi, P., Rostás, I., Garami, A., Szabó, I., Hartmann, P., Pétervári, E., Czopf, L., Hussain, A., Simon, M., Szujó, S. & Balaskó, M. (2018). Perceived stress correlates with visceral obesity and lipid parameters of the metabolic syndrome: A systematic review and meta-analysis.

<https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2018.05.014>

- Thomas, B. L., Claassen, N., Becker, P. & Viljoen, M. (2019). Validity of Commonly Used Heart Rate Variability Markers of Autonomic Nervous System Function. *Neuropsychobiology*, 78(1), 14–26. <https://doi.org/10.1159/000495519>
- Uchino, B. N., Smith, T. W., Holt-Lunstad, J., Campo, R. & Reblin, M. (2009). Stress and illness. In *Cambridge University Press eBooks* (S. 608–632). <https://doi.org/10.1017/cbo9780511546396.026>
- Viner, R. (1999). Putting stress in life. *Social Studies Of Science*, 29(3), 391–410. <https://doi.org/10.1177/030631299029003003>
- Von Baeyer, C. L., Piira, T., Chambers, C. T., Trapanotto, M. & Zeltzer, L. K. (2005). Guidelines for the cold pressor task as an experimental pain stimulus for use with children. *Journal Of Pain*, 6(4), 218–227. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2005.01.349>
- Voss, A., Busjahn, A., Wessel, N., Schurath, R., Faulhaber, H. D., Luft, F. C. & Dietz, R. (1996). Familial and genetic influences on heart rate variability. *Journal Of Electrocardiology*, 29, 154–160. [https://doi.org/10.1016/s0022-0736\(96\)80045-8](https://doi.org/10.1016/s0022-0736(96)80045-8)
- Wehrwein, E. A., Orer, H. S. & Barman, S. M. (2016). Overview of the Anatomy, Physiology, and Pharmacology of the Autonomic Nervous System. *Comprehensive Physiology*, 1239–1278. <https://doi.org/10.1002/cphy.c150037>
- Wilhelm, P. & Schoebi, D. (2007). Assessing mood in daily life. *European Journal Of Psychological Assessment*, 23(4), 258–267. <https://doi.org/10.1027/1015-5759.23.4.258>

- Zhu, K., Wang, Y., Zhu, J., Zhou, Q. & Wang, N. (2015). National prevalence of coronary heart disease and its relationship with human development index: A systematic review. *European Journal Of Preventive Cardiology*, 23(5), 530–543. <https://doi.org/10.1177/2047487315587402>
- Ziemssen, T. & Siepmann, T. (2019). The Investigation of the Cardiovascular and Sudomotor Autonomic Nervous System—A Review. *Frontiers in Neurology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fneur.2019.00053>

## **Abbildungsverzeichnis**

|                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abbildung 1. Herzrate (z-standardisiert) zu den Messzeitpunkten vor (1) und nach (2) dem CPT .....                       | 25 |
| Abbildung 2. Herzratenvariabilität (z-standardisiert) zu den Messzeitpunkten vor (1) und nach (2) dem CPT .....          | 26 |
| Abbildung 3. Elektrodermale Aktivität (EDA) (z-standardisiert) zu den Messzeitpunkten vor (1) und nach (2) dem CPT ..... | 28 |
| Abbildung 4. Visual Analog Scale (z-standardisiert) zu den Messzeitpunkten vor (1) und nach (2) dem CPT .....            | 30 |

## **Tabellenverzeichnis**

|                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabelle 1 Anzahl der gültigen Datenpunkte pro Variable vor und nach Ausschluss von Artefakten ..... | 18 |
| Tabelle 2 Deskriptive Ergebnisse der physiologischen und psychologischen Stressparameter .....      | 24 |
| Tabelle 3 Ergebnisse der Moderatoranalysen für Kovariaten der HR-Veränderung .....                  | 25 |
| Tabelle 4 Ergebnisse der Moderatoranalysen für Kovariaten der HRV-Veränderung .....                 | 27 |
| Tabelle 5 Ergebnisse der Moderatoranalysen für Kovariaten der EDA-Veränderung .....                 | 29 |
| Tabelle 6 Ergebnisse der Moderatoranalysen für Kovariaten der VAS-Veränderung .....                 | 31 |

## Abkürzungsverzeichnis

AIC – Akaike-Informationskriterium

ASMR – *Autonomous Sensory Meridian Response* (Studienkürzel)

BIC – Bayessches Informationskriterium

BMI – *Body-Mass-Index*

CPT – *Cold Pressor Test*

EDA – Elektrodermale Aktivität

EKG – Elektrokardiogramm

GAS – *General Adaptation Syndrome* (Allgemeines Anpassungssyndrom)

HNN(-Achse) – Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrinden-Achse

HR – Herzrate

HRV – Herzratenvariabilität

ICC – Intraklassenkorrelation

LMM – *Linear Mixed Model* (Lineares gemischtes Modell)

MINTREP – *Music-Listening Interventions in Reducing Pain* (Studienkürzel)

PSYKOM – *Investigating the Effects of Historical Idiophones on Psychological and Physiological Stress* (Studienkürzel)

rMSSD – *Root Mean Square of Successive Differences* (zwischen aufeinanderfolgenden RR-Intervallen)

SCR – *Skin Conductance Response* (Hautleitreaktion)

SOP – *Standard Operating Procedure*

TSST – *Trier Social Stress Test*

VAS – Visuelle Analogskala (engl. *Visual Analog Scale*)

## Anhang

### Anhang A: Abstract

#### Deutsch

Der Cold Pressor Task (CPT) gilt als etabliertes Paradigma zur Induktion akuter Stressreaktionen; unklar ist jedoch, in welchem Ausmaß unterschiedliche Indikatoren konsistent reagieren und wie valide der CPT für unterschiedliche physiologische und psychologische Stressindikatoren ist. Zur Validierung und zum direkten Vergleich wurden gepoolte Daten aus drei Laborstudien ( $N = 140$ , überwiegend junge, gesunde, weibliche Erwachsene) analysiert. Herzrate (HR), Herzratenvariabilität (HRV; rMSSD), elektrodermale Aktivität (EDA) und subjektiver Stress (VAS) wurden z-standardisiert und als standardisierte Prä–Post-Änderungen verglichen. Der CPT erhöhte den subjektiv berichteten Stress signifikant ( $\Delta VAS = +0.14$  SD) und die EDA in erwarteter Richtung ( $\Delta EDA = +0.05$  SD), während sich HR ( $-0.10$  SD) und HRV ( $+0.09$  SD) entgegen der Hypothesen veränderten. Der direkte Vergleich über physiologische und psychologische Stressindikatoren hinweg zeigt, dass die psychologische Reaktion ausgeprägter ausfiel als alle physiologischen Marker. Explorativ zeigten sich zudem Unterschiede zwischen den Studien, geschlechtsspezifische Effekte in der HRV sowie ein altersabhängiger Rückgang der HRV; die Wassertemperatur moderierte die VAS-Reaktion. Insgesamt stützen die Befunde die Validität des CPT für psychologischen Stress, während physiologische Reaktionen parameterabhängig und weniger konsistent ausfallen. Die Wahl des Indikators ist somit entscheidend für die Sensitivität und Interpretierbarkeit von CPT-Effekten.

## Englisch

The Cold Pressor Task (CPT) is an established paradigm for inducing acute stress responses; however, it remains unclear to what extent different indicators respond consistently and how valid the CPT is across physiological and psychological stress measures. To validate and directly compare these responses, pooled data from three laboratory studies ( $N = 140$ , predominantly young, healthy female adults) were analyzed. Heart rate (HR), heart rate variability (HRV; rMSSD), electrodermal activity (EDA), and subjective stress (VAS) were z-standardized and compared as standardized pre–post changes. The CPT significantly increased self-reported stress ( $\Delta VAS = +0.14$  SD) and EDA in the expected direction ( $\Delta EDA = +0.05$  SD), whereas HR ( $-0.10$  SD) and HRV ( $+0.09$  SD) changed contrary to expectations. The cross-domain comparison revealed that the psychological response was more pronounced than all physiological markers. Exploratory analyses further indicated differences between studies, sex-specific effects in HRV, and an age-related decline in HRV; water temperature moderated the VAS response. Overall, the findings support the validity of the CPT for inducing psychological stress, while physiological responses appear to be parameter-dependent and less consistent. The choice of indicator is therefore crucial for the sensitivity and interpretability of CPT effects.

## Anhang B: Prüfung der Modellannahmen

Prüfung der Linearität:

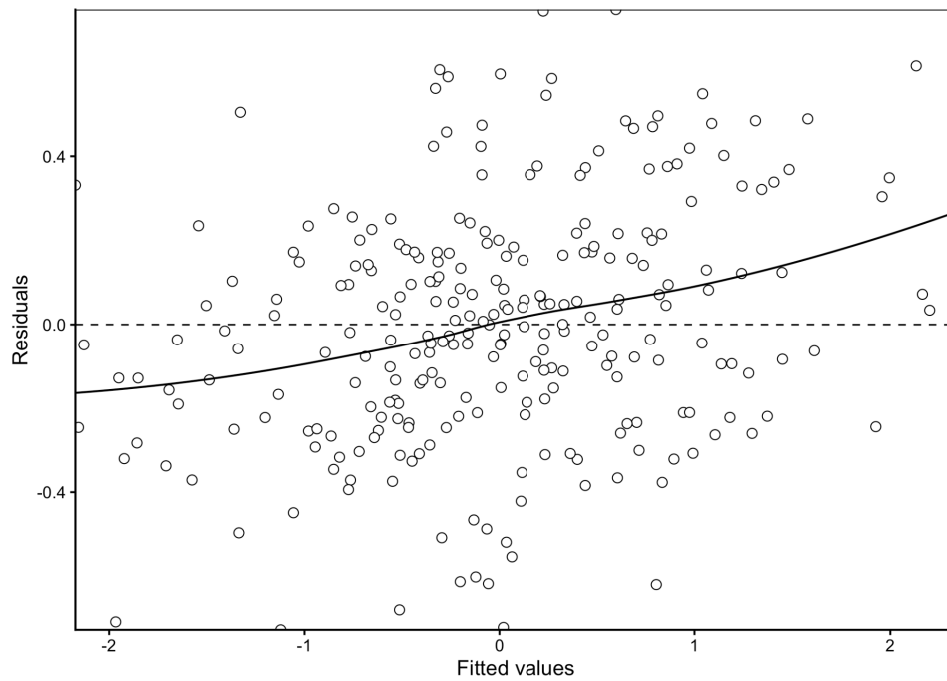


Abbildung 1B. Streudiagramm zur Überprüfung der Voraussetzung der Linearität für HR

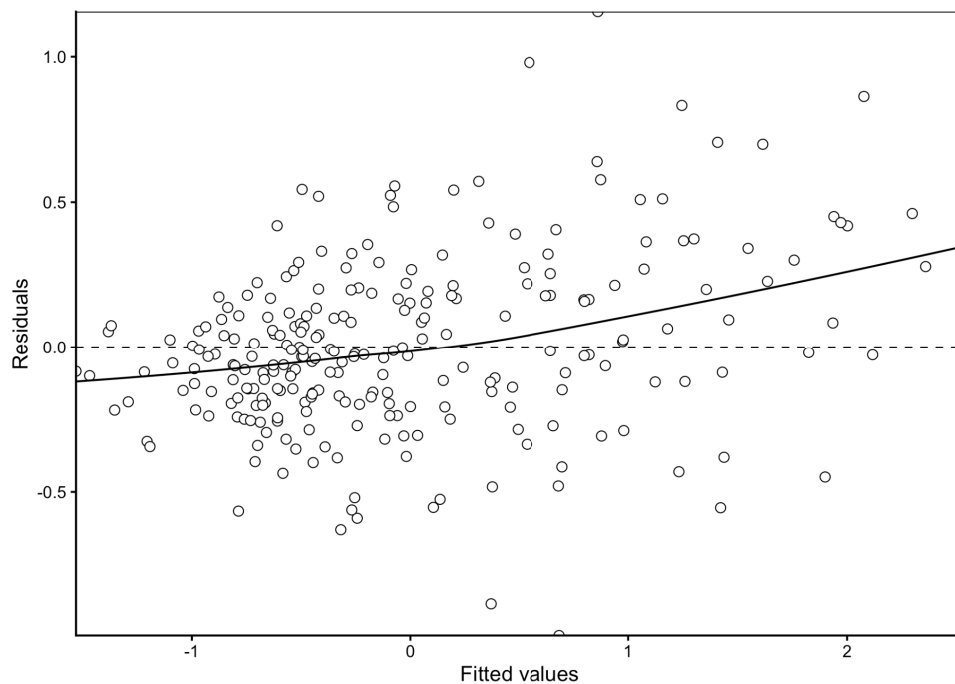


Abbildung 2B. Streudiagramm zur Überprüfung der Voraussetzung der Linearität für HRV

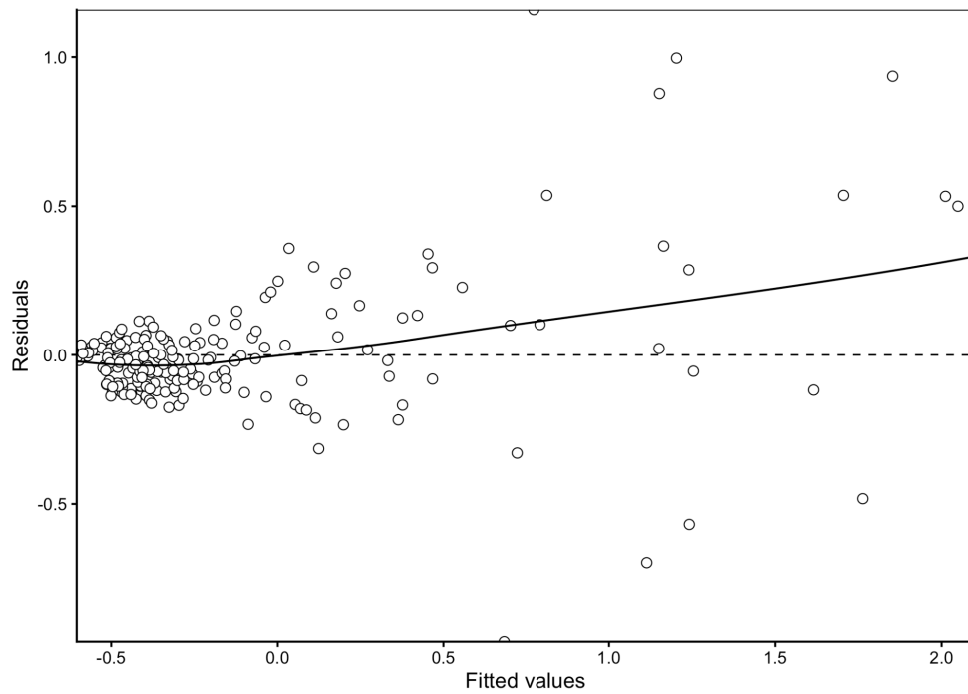


Abbildung 3B. Streudiagramm zur Überprüfung der Voraussetzung der Linearität für EDA

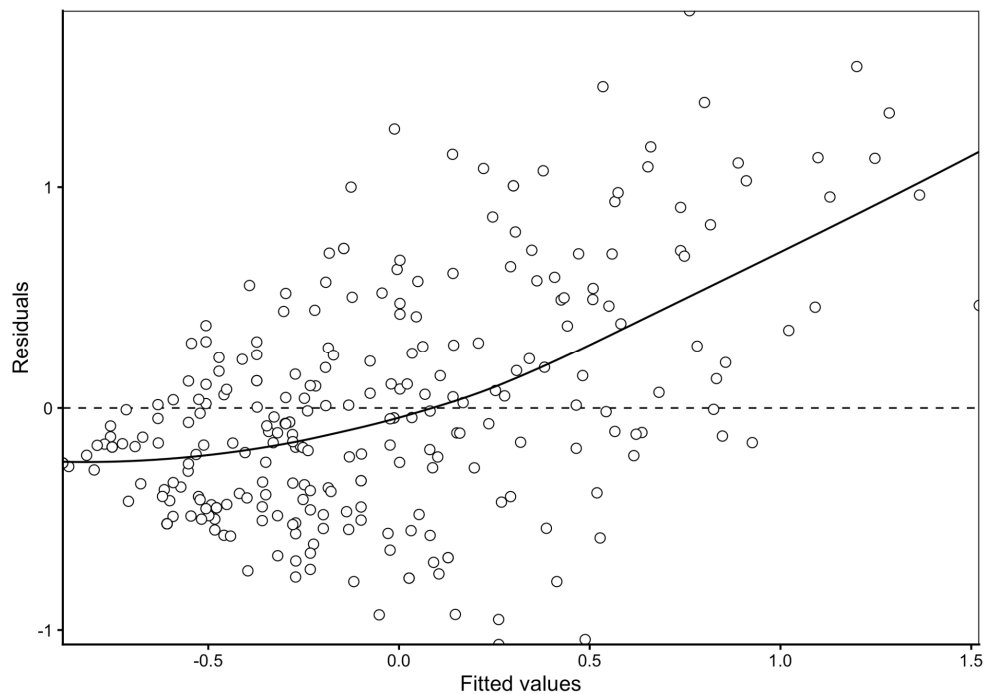


Abbildung 4B. Streudiagramm zur Überprüfung der Voraussetzung der Linearität für VAS

Prüfung der Normalverteilung der Residuen:

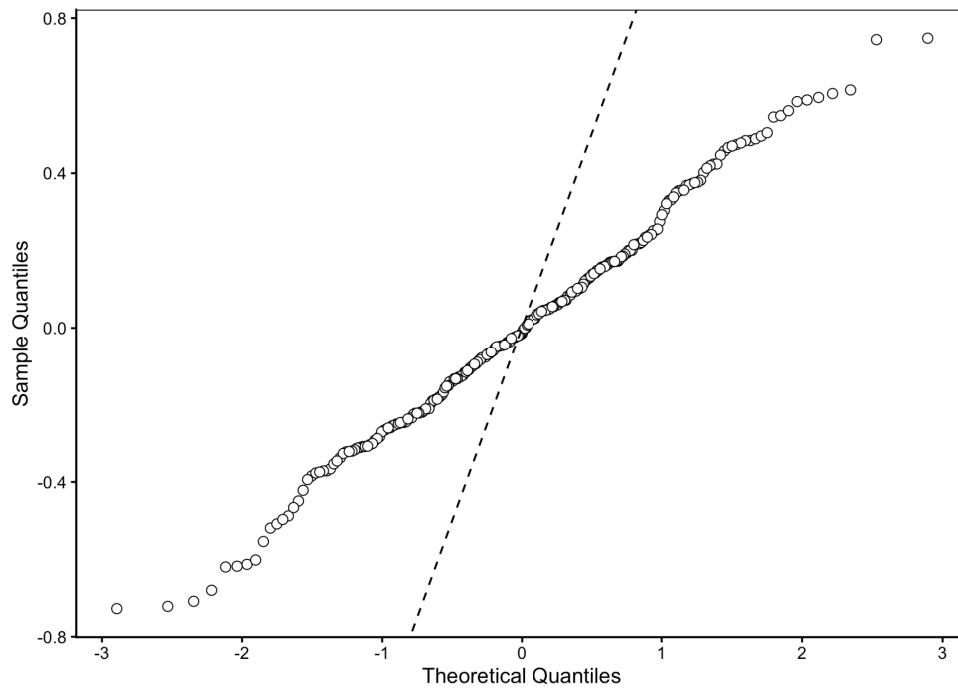


Abbildung 5B. Q-Q-Diagramm der Normalverteilung der Residuen für HR

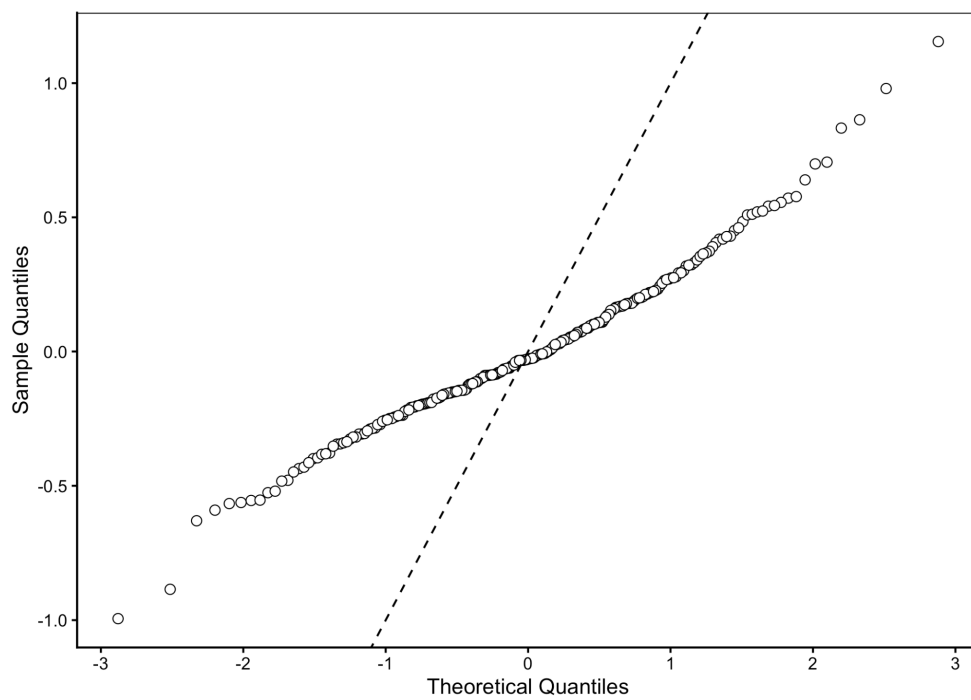


Abbildung 6B. Q-Q-Diagramm der Normalverteilung der Residuen für HRV

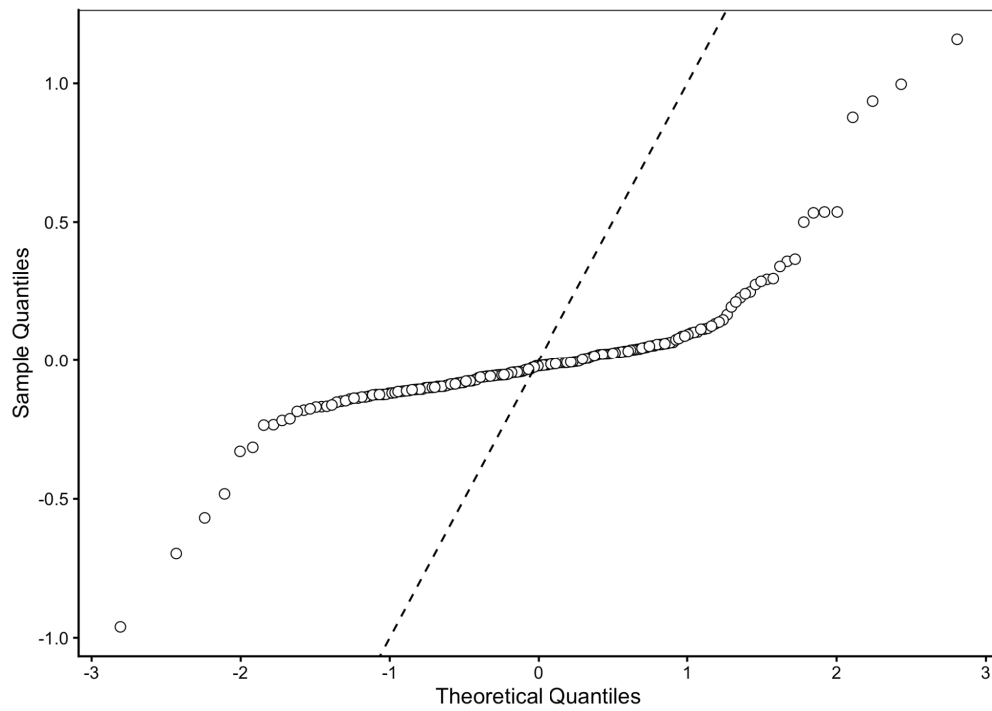


Abbildung 7B. Q-Q-Diagramm der Normalverteilung der Residuen für EDA

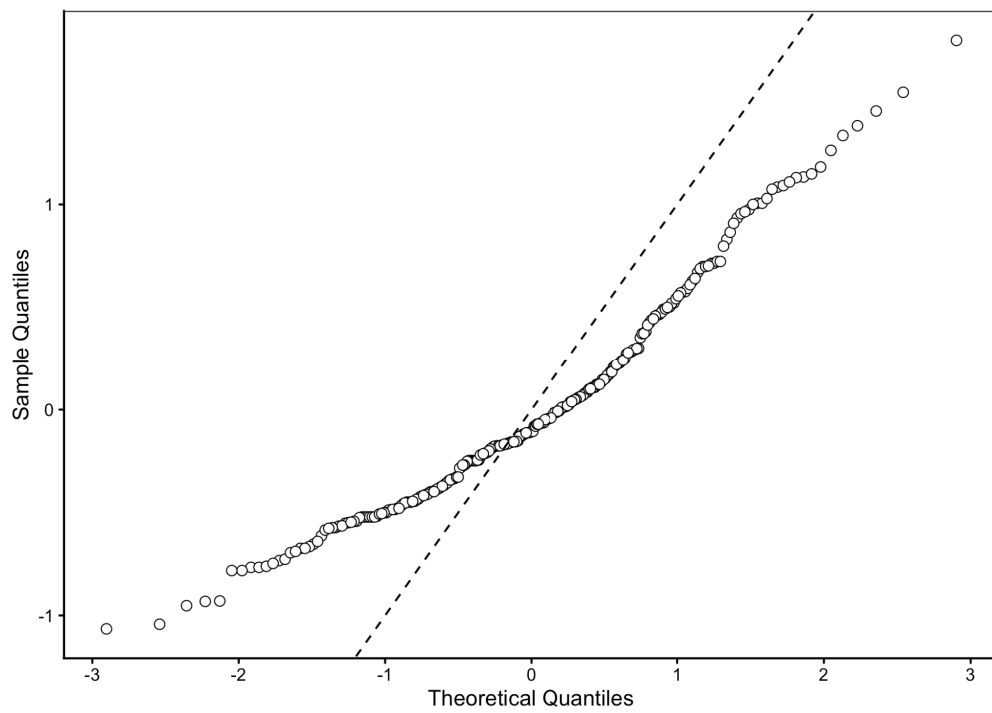


Abbildung 8B. Q-Q-Diagramm der Normalverteilung der Residuen für VAS

Prüfung der Homoskedastizität:

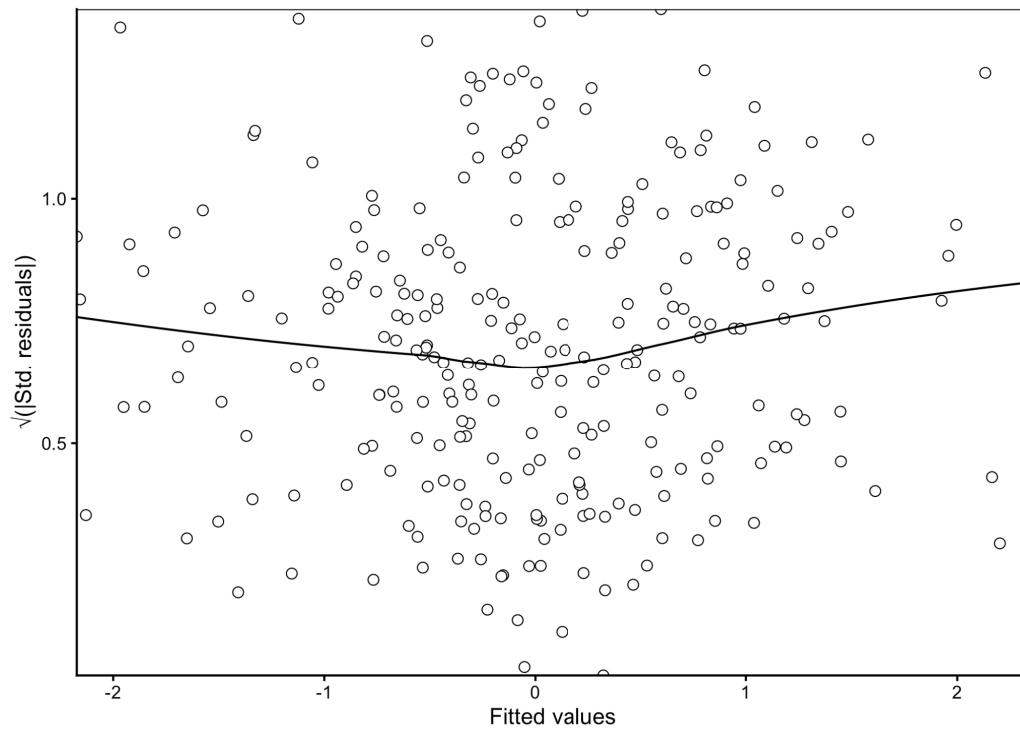


Abbildung 9B. Prüfung der Homoskedastizität (HR)

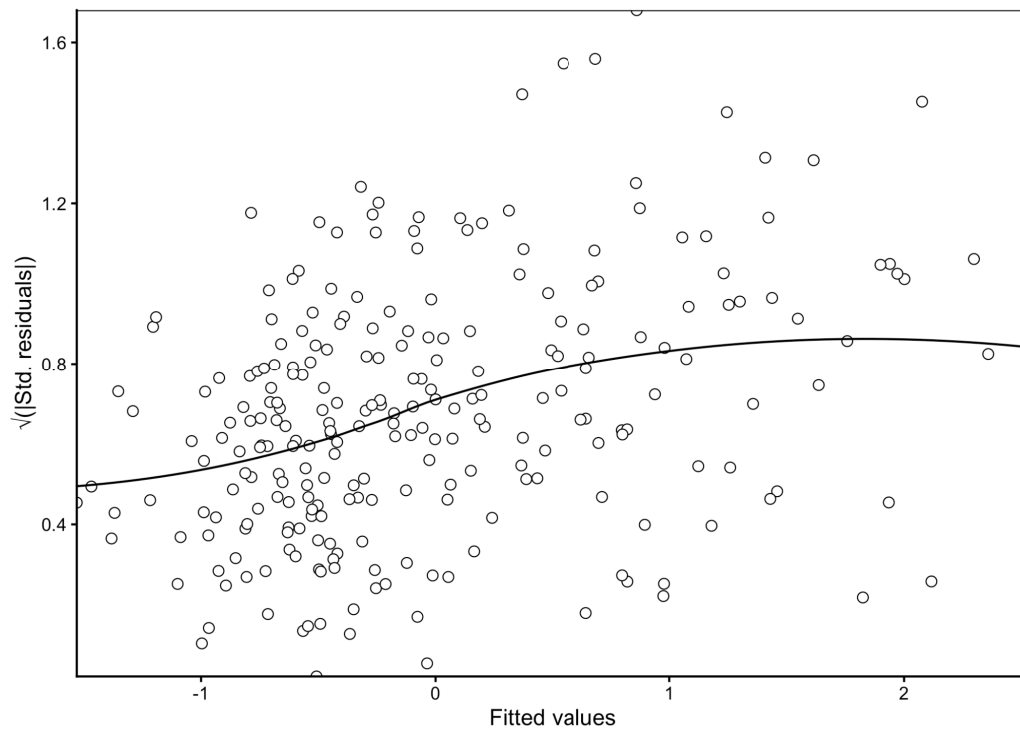


Abbildung 10B. Prüfung der Homoskedastizität (HRV)

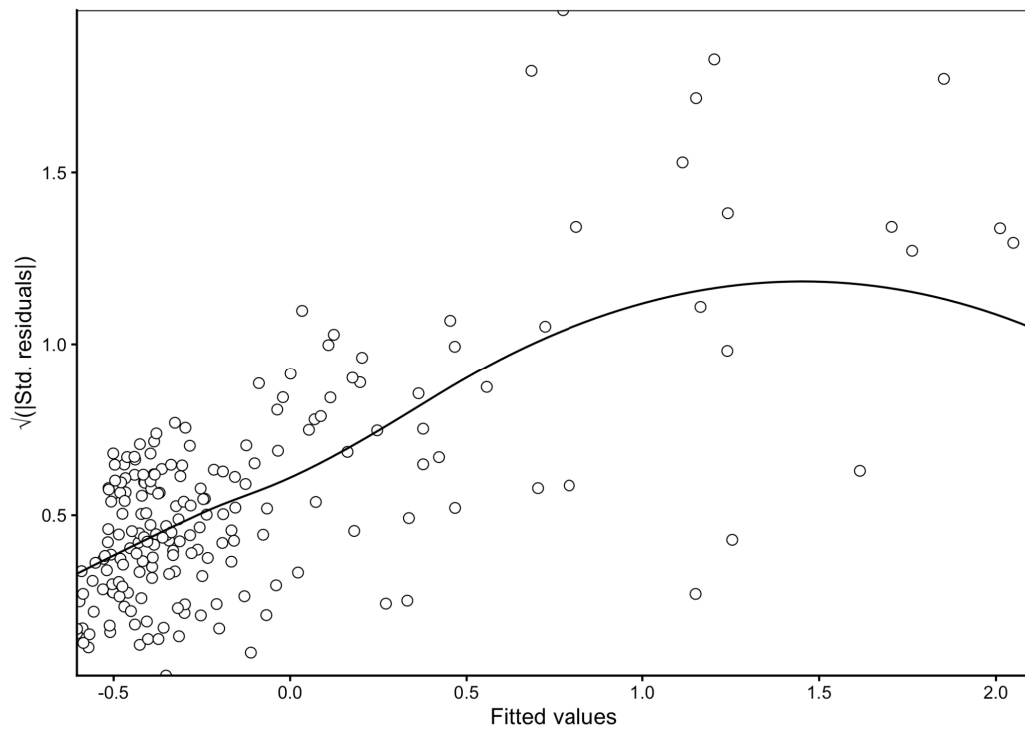


Abbildung 11B. Prüfung der Homoskedastizität (EDA)

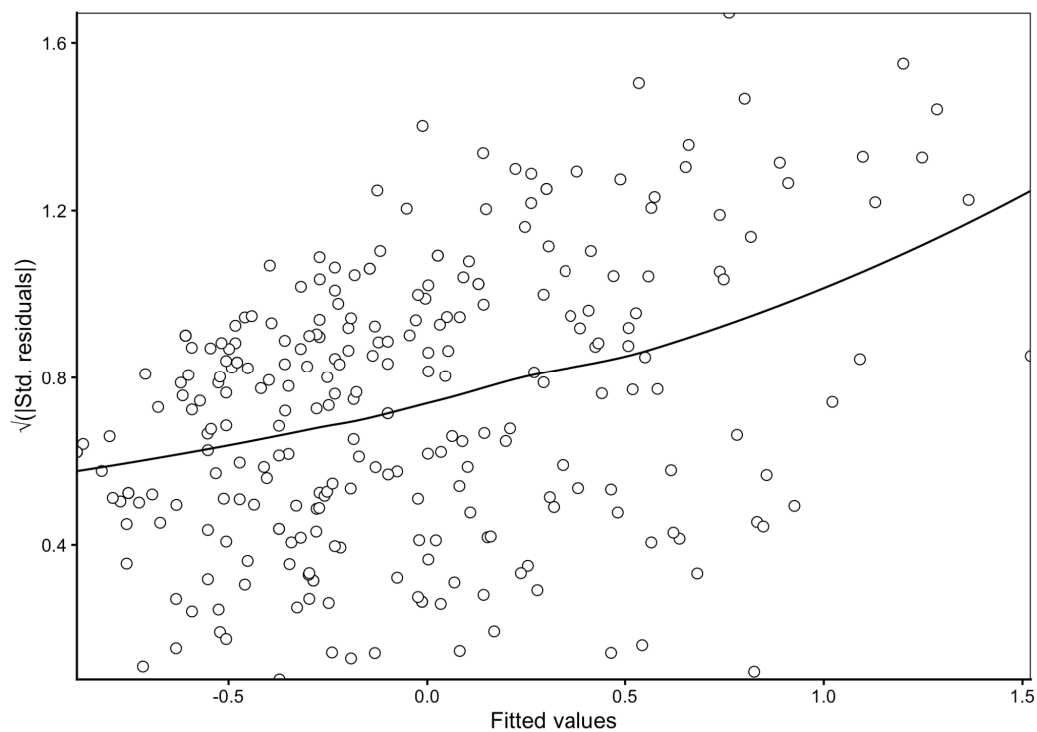


Abbildung 12B. Prüfung der Homoskedastizität (VAS)

## **Anhang C: Standard Operating Procedure (SOP) zur Vorbereitung des CPT (MINTREP)**

Der CPT kann mit 20 gestrichen vollen (grauen) Schaufeln ca. eine Stunde vor CPT-Durchführung vorbereitet werden und sollte dann bei CPT-Durchführung ca. 1°C haben (Im Notfall noch etwas Eis/warmes Wasser hinzugeben). Das bedeutet konkret:

- Bei Baseline, Post und Follow-Up sollte der CPT ca. 15 Minuten vor Erscheinen der VP vorbereitet werden. Der Eimer kann dann in Raum Mozart gestellt werden und dort ans Netz angeschlossen zirkulieren. Für den CPT gebt bitte die 20 Schaufeln in den Eimer, dann das Gitter mit schwarzer Kunststofftrennwand darüber und dann das Wasser bis zum unteren ersten (von unten ersten) Plastikrand hinzu. Während die VP Fragebögen ausfüllt oder das Video schaut, könnt ihr kurz in Raum Mozart gehen und die Temperatur checken und das Gitter runterdrücken, damit die VP dann genug Platz für ihre Hand hat.

- Bei den Musiksitzungen könnt ihr den CPT vorbereiten, nachdem ihr die VP in Raum Mozart zum Musikhören gelassen habt.

- Am besten schaut ihr generell, ob nach ca. 15 Minuten das Wasser schon bei 1°C ist. Wenn ja, ist alles gut und ihr könnt den Temperaturverlauf weiter beobachten (es sollte nicht über 1°C immer wärmer werden, sonst Eis dazu). Falls es nach 15 Minuten noch viel wärmer als 1°C ist, gebt am besten noch 1-2 Schaufeln Eis hinzu. Wenn es kurz vor CPT-Durchführung kälter als 0,5°C ist, dann gebt am besten etwas warmes Wasser hinzu und überprüft nochmal die Temperatur. Die letztendliche CPT-Temperatur könnt ihr dann auf dem ausgedruckten Ablaufzettel notieren (sollte ca. 1°C haben).

Ablauf CPT-Vorbereitung in Fotos (Beispiel Baseline):

|                                                                                                                                 |                                                                                                                 |                                                                                                                                                      |                                                                                                                                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>1. Eis aus der Eismaschine schaufeln</p>    | <p>2. Eis glatt streichen</p>  | <p>3. So sieht eine gestrichen volle graue Schaufel Eis aus 😊</p>  | <p>4. ... Und so von der Seite:</p>         |
| <p>5. Eimer mit 20 Schaufeln Eis füllen:</p>  | <p>6. Gitter obendrauf:</p>   | <p>7. Eimer mit Wasser füllen...</p>                              | <p>8. ...Bis zum unteren ersten Rand:</p>  |

Abbildung 1C. Eimerbefüllung des CPT

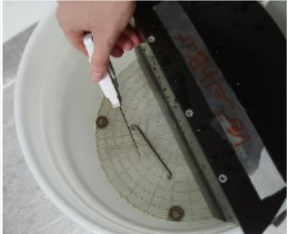
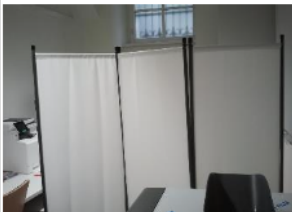
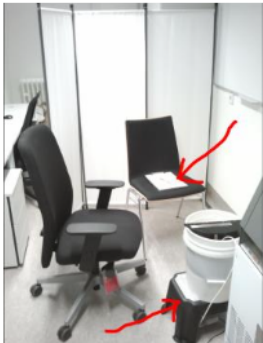
|                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                     |                                                                                                                                            |                                                                                                                                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>9. Netzteil anschließen, sollte leuchten</p>                    | <p>10. Zirkulieren lassen; evtl. Schalter betätigen:</p>           | <p>11. Gitter mit der Zeit weiter runterdrücken ...</p>  | <p>12. Bis genug Platz für eine Hand ist:</p>  |
| <p>13. ...Bis zum Handgelenk; locker lassen; nichts berühren</p>  | <p>14. CPT im Nebenraum verstecken</p>                                                                                                              | <p>15. Vor der Testung Schild umdrehen:</p>             | <p>16. Temp.checks zwischendurch:</p>         |
| <p>17. VP schaut Video =&gt; Trennwand</p>                       | <p>18. Stühle, Schemel, Klemmbrett und Stift bereitstellen:</p>  | <p>19. Kurz vor CPT: Temp.check<br/>⇒ Ca. 1°C</p>      |                                                                                                                                   |

Abbildung 2C. Eimerbefüllung des CPT (Fortsetzung)

## **Anhang D: SOP zur Durchführung des CPT (MINTREP)**

In den folgenden Minuten werden wir mit Ihnen/dir einen kleinen, völlig harmlosen Versuch durchführen. Hierfür bitte ich Dich/Sie, auf mein Zeichen hin, wenn ich „Los“ sage, Ihre dominante Hand bis zum Handgelenk in das kalte Wasser zu führen. Lasse deine/Lassen Sie Ihre Hand so lange im Wasser, wie du kannst. Wenn es für Sie/für dich zu kalt wird, kannst du/können Sie sie wieder aus dem Wasser nehmen. Sage bitte laut „Jetzt“, sobald Du Deine Hand wieder aus dem Wasser ziehst. Bitte fülle davor und auch direkt im Anschluss mit der anderen Hand, (die nicht ins Wasser getaucht wird), diese Fragen hier auf dem Stuhl aus. Auf diesen Skalen sollst Du einzeichnen, wie schmerzhaft sich deine Hand gerade anfühlt. Bitte fülle die Skalen auch direkt aus, sobald du die Hand aus dem Wasser gezogen hast, danach kannst du die Hand abtrocknen.

Konzentriere dich hierbei nur auf das Gefühl in der Hand und gib bitte ein ehrliches, deinen Empfindungen entsprechendes Urteil ab.

Machen Sie/Mache bitte keine Faust und berühre nicht den Wasserbehälter-Boden mit deiner Hand.

Ich bitte Sie/dich, während des Tests nicht zu sprechen.

Alles klar. Denke bitte daran, laut „Jetzt“ zu sagen, sobald du die Hand nicht mehr länger im Wasser halten kannst und direkt danach die Skalen auszufüllen.

Wenn alles klar ist, kannst du auf mein Zeichen hin loslegen/können Sie loslegen.  
**UND LOS! (Zeit stoppen)**

Bitte mit im Blick haben und beobachten, wann Vpn Hand in Wasser steckt, Zeit stoppen und hinter die Vpn treten, so weit weg, dass VL nicht mehr im Blickfeld der Vpn steht. Die Vpn schaut zur Wand. Aus dem Augenwinkel kann VL noch beurteilen, wann genau Vpn die Hand herauszieht Zeit stoppen bzw. nach 3 Minuten Vpn ansprechen: s.u.)

Bei Nachfragen wie lange das geht: **NICHT 3 MINUTEN GRENZE NENNEN!!**

Sondern: das werden Sie sehen, das wirst du sehen. Halte deine Hand einfach so lange in das Wasser, wie es dir möglich erscheint.

(Nicht sagen: „bis zum ersten Schmerz, oder bis Sie es überhaupt nicht mehr erträglich finden“) Sobald Vpn Hand ins Wasser tut -> Zeit stoppen

Sobald Vpn Hand aus Wasser nimmt -> Zeit stoppen, 1. Marker setzen 2.VAS post CPT + MDBF -> auf Klemmbrett, Vpn soll ggf. mit nicht-dominanter Hand unmittelbar nach dem Herausziehen die Kreuzchen setzen!!! „Bitte mache jetzt direkt Angaben zu den folgenden drei Fragen“ 3. Handtuch reichen 4. Sec auf eigenem Blatt Dokumentieren

Falls 3 Minuten Grenze erreicht:

Bitte nimm nun deine Hand jetzt wieder aus dem Wasser und fülle die Skala und die Fragen auf dem Stuhl neben die aus.

-> Handtücher zum Abtrocknen reichen



## ProbandInnen gesucht!



### Musik und Stressmanagement: Eine musikalische Interventionsstudie



**120 Euro  
Aufwandsentschädigung**

**Die Studie umfasst insgesamt 13 Termine:**

- 1 Vortermine & 2 Nachtermine (à ca. 60 min.)
- 10 Musikhörtermine (à ca. 75 min.) innerhalb von drei aufeinanderfolgenden Wochen
- Erhebung biologischer Maße und Ausfüllen von Fragebögen
- Zusätzlich bei einigen Terminen: Durchführung eines (völlig unbedenklichen) Schmerztests

**Teilnahmevoraussetzungen:**

- Zeit, innerhalb von 3 Wochen 10 Termine wahrzunehmen
- Alter: 18 bis 35 Jahre
- Normalgewicht
- Ausreichende Deutschkenntnisse
- Psychische und körperliche Gesundheit
- Keine regelmäßige Einnahme von Schmerzmedikamenten
- Keine momentane Schwangerschaft oder Stillen

**Studienleitung:** Univ.-Prof. Dr. Urs M. Nater  
Markus Foramitti

**Studienkoordination:**  
Csenge Isabella Kiss  
Nina Pylypiw  
Roman Böswirth

Für Ihren zeitlichen Aufwand erhalten Sie eine Aufwandsentschädigung über 120,- €.  
Bei Interesse melden Sie sich bitte unter  
**[music10healthlab@univie.ac.at](mailto:music10healthlab@univie.ac.at)** mit Angabe von  
**Name, Telefonnummer und Erreichbarkeit.**