

Vergleich eines realen und virtuellen Trier Sozialer Stress Test für
Kinder (TSST-C) – Multimodale Stressreaktion sowie Blickverhalten
als Stressparameter



Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Humanwissenschaften
(Dr. sc. hum.)

der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Angelika Ecker
aus
Landshut

im Jahr
2024

Vergleich eines realen und virtuellen Trier Sozialer Stress Test für
Kinder (TSST-C) – Multimodale Stressreaktion sowie Blickverhalten
als Stressparameter



Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Humanwissenschaften
(Dr. sc. hum.)

der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Angelika Ecker
aus
Landshut

im Jahr
2024

Dekan: Prof. Dr. Dirk Hellwig

Betreuer: Prof. Dr. Romuald Brunner

Tag der mündlichen Prüfung: 11.07.2024

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|----|
| 1. Einleitung | 6 |
| 1.1 Stress - Einordnung und Konzepte..... | 6 |
| 1.2 Biologische Grundlagen der Stressreaktion | 7 |
| 1.3 Gesundheitliche Folgen von Stress..... | 7 |
| 1.4 Stressforschung | 9 |
| 1.4.1 Stressparameter..... | 10 |
| 1.4.2 Stressparadigma..... | 14 |
| 1.5 Forschungsfragen | 19 |
| 1.6 Hypothesen | 20 |
| 1.6.1 Stressreaktion VR-TSST-C und IV-TSST-C..... | 20 |
| 1.6.2 Einflussfaktoren auf die Stressreaktion | 21 |
| 1.6.3 Explorative Analyse des Blickverhaltens..... | 21 |
| 2. Methode | 22 |
| 2.1 Design | 22 |
| 2.2 Stichprobe | 22 |
| 2.3 Material | 25 |
| 2.3.1 Grundintelligenztest Skala 2-Revision (CFT 20-R)..... | 25 |
| 2.3.2 Mini Internationales Neuropsychiatrisches Interview für Kinder und Jugendliche (M.I.N.I. Kid 6.0)..... | 25 |
| 2.3.3 Childhood Trauma Questionnaire - Kurzversion (CTQ-SF)..... | 26 |
| 2.3.4 Pubertal Development Scale (PDS) | 26 |
| 2.3.5 Big-Five-Inventory (BFI-10)..... | 27 |
| 2.3.6 Junior-Temperament und Charakter-Inventar (JTCl 12-18 R) | 28 |
| 2.3.7 Deutsche Schulalter-Formen der Child Behavior Checklist (CBCL/6-18R, YSR/11-18R)..... | 28 |
| 2.3.8 Beck-Angst-Inventar (BAI) | 30 |
| 2.3.9 State-Trait-Angst-Depressions-Inventar (STADI) | 30 |

| | |
|--|-----------|
| 2.3.10 Fragebogen zur Erhebung von Stress und Stressbewältigung im Kindes- und Jugendalter - Revision (SSKJ 3-8 R) | 31 |
| 2.3.11 Alexithymia Questionnaire for Children - German version (AQC-G) | 32 |
| 2.3.12 Virtual Reality Sickness Questionnaire (VRSQ) | 33 |
| 2.3.13 IGroup Presence Questionnaire (IPQ) | 34 |
| 2.4 Stressinduktion..... | 34 |
| 2.4.1 Realer Trier Sozialer Stress Test für Kinder (IV-TSST-C)..... | 36 |
| 2.4.2 Virtueller Trier Sozialer Stress Test für Kinder (VR-TSST-C)..... | 37 |
| 2.5 Stressparameter und deren Vorverarbeitung | 38 |
| 2.5.1 Psychologische Stressparameter..... | 41 |
| 2.5.2 Physiologische Stressparameter..... | 42 |
| 2.5.3 Behaviorale Stressparameter..... | 47 |
| 2.6 Ablauf..... | 49 |
| 2.7 Statistische Analyse | 50 |
| 3. Ergebnisse | 52 |
| 3.1 Überprüfung der Kontrollvariablen..... | 52 |
| 3.1.1 Demografische Vergleiche | 52 |
| 3.1.2 Psychometrische Vergleiche | 52 |
| 3.2 Stressreaktionen auf den TSST-C..... | 54 |
| 3.2.1 Physiologische Stressparameter..... | 56 |
| 3.2.2 Psychologische Stressparameter..... | 60 |
| 3.3 Zusammenhänge der Stressreaktion mit VR-spezifischen Faktoren..... | 66 |
| 3.4 Explorative Untersuchungen des Blickverhaltens als Stressparameter..... | 67 |
| 4. Diskussion | 70 |
| 4.1 Vergleich der Stressreaktionen | 70 |
| 4.1.1 Physiologische Stressreaktionen | 70 |
| 4.1.2 Psychologische Stressreaktionen | 75 |

| | |
|--|-----------|
| 4.2 Einflussfaktoren in VR | 78 |
| 4.2.1 Erlebte Präsenz..... | 78 |
| 4.2.2 Ausgelöste VR-Krankheit | 80 |
| 4.3 Behaviorale Stressreaktionen..... | 81 |
| 4.4 Stärken und Limitationen..... | 86 |
| 4.5 Ausblick..... | 90 |
| 4.6 Fazit | 92 |
| 5. Zusammenfassung | 93 |
| 6. Anhang | 94 |
| Anhang A – Abkürzungsverzeichnis..... | 94 |
| Anhang B – Abbildungsverzeichnis | 97 |
| Anhang C – Tabellenverzeichnis..... | 98 |
| 7. Literaturverzeichnis | 99 |
| 8. Lebenslauf | |
| 9. Selbstständigkeitserklärung | |

1. Einleitung

1.1 Stress - Einordnung und Konzepte

Jeder Mensch kennt Stress, ist von ihm betroffen und kann ihn überall erleben. Die psychologische Definition von Stress ist, wenn sich ein Individuum Anforderungen seiner Umwelt gegenüber sieht, die die eigene Anpassungsfähigkeit überfordern (Cohen et al., 1995). Diese Erklärung ist gut nachvollziehbar, doch wird der Begriff "Stress" oft auch schon vor der Überforderung verwendet. Bessere Arbeitsbegriffe bietet der Vorschlag des "National Scientific Council for the Developing Child" der Harvard University (Center on the Developing Child, 2024). Hier werden drei Arten von Stress unterschieden: "Guter Stress" tritt bei Herausforderung auf, die wir ergreifen und erreichen wollen, beispielsweise ein Vorstellungsgespräch oder ein Vortrag vor Fremden. "Tolerierbarer Stress" tritt auf, wenn etwas Schlechtes passiert, wie der Verlust des Arbeitsplatzes oder eines geliebten Menschen. Das ist negativ, doch durch Ressourcen und Unterstützung bewältigbar. "Toxischer Stress" entspricht dann der Situation, dass etwas Schlechtes passiert und wir nicht die Ressourcen oder Unterstützungssysteme zur Bewältigung haben. Bei toxischem Stress fehlt besonders das Gefühl der Kontrolle (McEwen, 2018). Diese drei Stufen des Stressses können zugleich auf ein biologisches Konzept von Stress übertragen werden.

Als biologisches Stresskonzept galt anfangs die Idee der Homöostase (= ideales inneres Gleichgewicht, im Sinne von Canon (1932)), welche inzwischen von der "Allostase" abgelöst wurde. Die Allostase entspricht dem Aktivitätsniveau, das der Mensch braucht, um "Stabilität durch Veränderung" aufrechtzuerhalten, also Anpassungen des Körpers an Anforderungen durch internen und externen Stress (McEwen, 1998b, 2013; McEwen & Stellar, 1993; Sterling, 1988), entsprechend dem guten Stress. Die Konsequenz der Anpassung ist die allostatische Belastung (McEwen & Stellar, 1993), die sich aus der langen oder unausgewogenen Beanspruchung der allostatischen Systeme ansammelt (= tolerierbarer Stress). Die allostatische Belastung kann sich wiederum zur allostatischen Überlastung (McEwen, 2018) steigern, dem toxischen Stress, der die allostatischen Systeme durch die Über- oder Fehlbelastung schädigt. Im Sinne der Allostase stellt der Körper über verschiedene Wege Energie bereit, um die Stabilität beizubehalten. Dies wird als biologische Stressreaktion beschrieben.

1.2 Biologische Grundlagen der Stressreaktion

Mediatoren, die zur Aufrechterhaltung der Allostase bei Stress aktiviert werden, können als physiologische Stressreaktion beschrieben werden. Hierbei gibt es zwei vorrangige Systeme, das Sympathikus-Nebennierenmark-System (engl. "sympathetic-adrenal-medullary-system" = SAM-System) und die Hypothalamus-Hypophysen-Nebennieren-Achse (engl. "hypothalamic-pituitary-adrenal" = HPA). Bei Bedrohung oder Schreck aktiviert das Gehirn das autonome Nervensystem (ANS), das Nebennierenmark wird zur Ausschüttung von Noradrenalin veranlasst, was wiederum die inneren Organe aktiviert. Zeitgleich schüttet das Nebennierenmark auch Adrenalin über den Blutfluss aus, um den Körper auf eine Reaktion vorzubereiten. Dies entspricht dem SAM-System: Adrenalin und Noradrenalin versetzen den Körper in Alarmbereitschaft, die sogenannte "Kampf-oder-Flucht"-Reaktion. Dabei ist die Atmung und der Herzschlag beschleunigt, die Augen weiten sich, um mehr Licht einzulassen und das Verdauungssystem wird heruntergefahren, um mehr Blut für die Muskeln zur Verfügung zu stellen. Diese Aktivierung ist auf der physiologischen Ebene die Erste, schnell und intensiv. Neben der Reaktion des SAM-Systems veranlasst der wahrgenommene Stress auf der HPA-Achse die Ausschüttung von Corticotropin Releasing Faktor (CRF) durch den Hypothalamus. Über das Blut gelangt der CRF zur Hypophyse, die daraufhin das adrenokortikotrope Hormon (ACTH) ausschüttet. Das ACTH stößt in der Nebennierenrinde wiederum die Ausschüttung des Glukokortikoids Cortisol an, das sogenannte Stresshormon. Dadurch werden, neben anderen Funktionen, Energiereserven mobilisiert und Entzündungen verringert (O'Connor et al., 2021).

1.3 Gesundheitliche Folgen von Stress

Die Stressreaktion an sich ist somit etwas Adaptives, um sich den Anforderungen entsprechend anzupassen. Gesundheitlich gefährlich wird es, wenn ein Individuum sich vielen oder langanhaltenden Stressoren gegenüber sieht. Beispielsweise kommt es bei wiederholter Aktivierung der HPA-Achse zu einer erhöhten Cortisolausschüttung, der der Körper ausgesetzt ist (Lovallo, 2015; McEwen, 1998a). Eine solche Überbeanspruchung kann langfristig, im Sinne der allostatischen Überbelastung, zu einer Gewebeschädigung führen, die wiederum weitere gesundheitliche Folgen nach sich ziehen kann (McEwen, 1998a). Eine Meta-Analyse fand hierzu entsprechend einen abgeflachten Cortisol-Anstieg über den Tag, wobei

Stress an sich eine durchschnittlich kleine Effektstärke aufwies und insbesondere immunologische bzw. entzündliche Ergebnisse (z. B. erhöhte Entzündungswerte) eine höhere, aber weiterhin niedrige Effektstärke aufwiesen (Adam et al., 2017).

Im somatischen Bereich wurden bereits viele Zusammenhänge zwischen Stress und körperlichen Erkrankungen gefunden. Eine frühe Studie zeigt die Assoziation zwischen psychischem Stress und dem Risiko einer Erkältung auf (Cohen et al., 1991). Die Auswirkungen von Stress auf das Immunsystem wurden in Studien zu verschiedenen Bereichen gezeigt, wie Larzelere & Jones, 2008 in ihrem Überblicksartikel darstellten. Beispielsweise zeigte sich bei Stress eine schlechtere Wundheilung (Marucha et al., 1998), eine verringerte Antikörperreaktion bei einer Impfung (Glaser et al., 1992) bis hin zu einer eingeschränkten Immunantwort bei Frauen mit einem Risiko für Brustkrebs (Fang et al., 2008). Ein anderer Zusammenhang zwischen Körper und Stress liegt beim Verdauungssystem; die Prävalenzen von gastrointestinalen Symptomen nach Stress sind hoch (Sternbach, 1986). Darüber hinaus kann Stress, und insbesondere chronischer Stress, durch die Überlastung des SAM-Systems und der HPA-Achse zu Bluthochdruck (McEwen, 1998a) und langfristig sogar zu degenerativen Veränderungen der Gefäßwände von Arterien führen (Larzelere & Jones, 2008) und erhöht somit letztendlich sogar das Risiko eines myokardialen Infarktes (Yusuf et al., 2004). Doch Stress hat nicht nur Auswirkungen auf die körperliche, sondern auch auf die psychische Gesundheit.

Im Bereich der psychischen Erkrankungen gibt es konkret die Stress- und Traumafolgeerkrankungen, die eine Folge von toxischem Stress sein können, wie beispielsweise die Posttraumatische Belastungsstörung (PTBS) (Shern et al., 2014). Eine andere Auswirkung zeigt sich beispielsweise durch die langfristige allostatistische Überbelastung, so fördert womöglich eine anhaltende Unterdrückung des Immunsystems die Entwicklung einer depressiven Erkrankung (Danner et al., 2003; Fassbender et al., 1998). Stress und besonders chronischer Stress haben also verschiedene negative Auswirkungen auf das Leben vieler Menschen. Beginnt der toxische Stress nicht erst im Erwachsenenalter, sondern schon in sensiblen Entwicklungsphasen der Kindheit und Jugend, so kann das langfristige Folgen haben (Fox et al., 2010).

Es wurden starke Zusammenhänge zwischen dem Ausmaß an stressreichen Erfahrungen in der Kindheit und dem Auftreten verschiedener Erkrankungen im

Erwachsenenalter gefunden (Johnson et al., 2013; Shonkoff & Garner, 2012). Darunter sind körperliche Erkrankungen wie Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Atemwegserkrankungen, Übergewicht, Diabetes, Schmerzerkrankungen und Autoimmunerkrankungen (Johnson et al., 2013; Shonkoff & Garner, 2012). Auch psychisch haben frühe Stressoren langfristige Konsequenzen, so gab es auch starke Zusammenhänge mit Depression, Angsterkrankungen, Substanzabhängigkeit und Persönlichkeitsstörungen (Levine & Ursin, 1991). Doch auch schon für die Kinder oder Jugendlichen selbst hat toxischer Stress eine negative Wirkung auf die psychische Gesundheit. Der Zusammenhang zwischen Stress und internalisierenden Problemen (depressive oder ängstliche Stimmung) bei Jugendlichen ist recht gut belegt (Compas & Phares, 2014; Menaghan, 1999). In den USA liegt beispielsweise die Prävalenz von stressbedingten Störungen wie Angsterkrankungen und Depression bei bis zu 10 % bei den Jugendlichen (Malter Cohen et al., 2013). Zudem wurden in einer Studie bei Jugendlichen über mehrere Monate in mehreren Wellen hinweg Stressoren und depressive Symptome abgefragt und es zeigte sich, dass Stressoren bei den Jugendlichen zu einer höheren depressiven Belastung und diese wiederum zu mehr Stressoren führt (Shapero et al., 2013). In einer Langzeitstudie über sechs Jahre wurde diese Reziprozität von Stress und Symptomen auch im Bereich von externalisierenden Auffälligkeiten bei Jugendlichen gefunden (K. J. Kim et al., 2003). Es zeigt sich also, dass Stress schon in jungen Jahren eine wichtige Rolle für die physische und psychische Gesundheit der Menschen spielt.

1.4 Stressforschung

Die Erforschung von Stress umfasst neben der lang- und kurzfristigen Folgen auch die verschiedenen Reaktionsebenen eines Menschen auf Stress: physiologisch, subjektives Erleben und kognitive Funktionen (psychologisch), sowie behavioral (Levine & Ursin, 1991). Aus diesem Grund ist eine entsprechend multimodale Stresserfassung von großer Bedeutung (Allen et al., 2014). Außerdem hängen manche Parameter zusammen, andere beeinflussen sich gegenseitig (Het et al., 2012; Schlotz et al., 2008b). Dies kann nur durch die multimodale Erfassung kontrolliert und aufgedeckt werden.

1.4.1 Stressparameter

Die multimodale Stressantwort lässt sich grob in die drei Dimensionen physiologische, psychologische und behaviorale Stressparameter aufteilen.

1.4.1.1 Physiologische Stressparameter

Physiologisch können ohne größeren Aufwand die Stressantworten des SAM-Systems und der HPA-Achse als Indikatoren auf eine akute Stressreaktion herangezogen werden.

Als Marker des SAM-Systems und somit des autonomen Nervensystems werden meist die Herzrate (HR), die Herzratenvariabilität (HRV) und Alpha Amylase Konzentration im Speichel (Berntson & Cacioppo, 2004; Granger et al., 2007; Nater & Rohleder, 2009; Porges, 1995) herangezogen. Als das am schnellsten reagierende Stresssystem zeichnen sich die Marker des SAM-Systems in ihrer Unmittelbarkeit aus. Die Alpha Amylase Konzentration im Speichel steigt mit der Erhöhung der sympathischen Aktivität an, somit fast gleichzeitig zum Stressor (Nater & Rohleder, 2009). Die Herzrate steigt ebenfalls in der stressigen Situation unmittelbar an und fällt im Anschluss innerhalb von fünf Minuten wieder auf das Ausgangsniveau ab (Buske-Kirschbaum et al., 2002; Childs et al., 2006). Die Herzratenvariabilität bildet über ihren hohen und niedrigen Frequenzbereich die Sympathikus- sowie die vagale Aktivität ab (Xhyheri et al., 2012). Die Veränderung der HRV im Sinne einer gesteigerten Sympathikusaktivität (Sloan et al., 1994) oder einer verringerten vagalen Aktivität (Gordis et al., 2006; Kudielka et al., 2004a) kann hierbei als Stressparameter interpretiert werden (Castaldo et al., 2015). Daneben gibt es noch weitere Stressparameter für das ANS, wie Katecholamine (Noradrenalin, Adrenalin) aus dem Plasma (Wetherell et al., 2006) oder über die Hautleitfähigkeit (El-Sheikh et al., 2008; Graeff et al., 2003), also die Schweißproduktion. Die Hautleitfähigkeit steigt, ebenso wie die Alpha Amylase, unmittelbar nach dem Stressor an (Jezova et al., 2004; Rohrmann et al., 1999). Katecholamine bieten zur Alpha Amylase zwar weitere Informationen (Nater et al., 2006), jedoch ist eine Serum-Entnahme aufwändiger in Studien umzusetzen.

Die Reaktion der HPA-Achse auf einen wahrgenommenen Stressor läuft im Vergleich zum SAM-System zeitlich verzögert ab (O'Connor et al., 2021). Als Resultat der HPA-Achsen-Aktivierung wird Cortisol ausgeschüttet, der wichtigste Biomarker in

der Stressforschung (D. H. Hellhammer et al., 2009). Das Stresshormon Cortisol kann über Blutserum, Speichel, Urin und Haar gemessen werden (Condon, 2018). Dabei erwies sich insbesondere das freie, ungebundene Cortisol im Speichel für die Forschung geeignet, da die Probennahme einerseits nicht invasiv ist und in einem gut übereinstimmenden Verhältnis zum Cortisol-Level im Blut steht (Laudat et al., 1988). Lediglich der Zusammenhang zum gesamten Cortisol-Level ist nicht so hoch (Fink, 2000; Kirschbaum & Hellhammer, 1989, 1994, 2007; Vining et al., 1983). Es ist somit als Stressmarker der HPA-Achse bei akuten Stressoren gut geeignet, solange man sich mögliche Varianzen in Erinnerung behält (D. H. Hellhammer et al., 2009). Die Cortisolkonzentration im Speichel zeigt dabei einen Höhepunkt in den ersten 10 bis zu 20 Minuten nach der akuten Stressexposition (Gaab et al., 2002; Het et al., 2009; Petrowski et al., 2010; Rimmele et al., 2009; Rimmele et al., 2007) und fällt dann im Verlauf wieder auf das Ausgangsniveau zurück. Andere Parameter der HPA-Achse sind beispielsweise Vasopressin (Shalev et al., 2011) oder das Sexualhormon Dehydroepiandrosteron (DHEA) bzw. im Blut als Sulfatester (DHEAS) vorkommende metabolische Form (Izawa et al., 2008). Beide Parameter können nur über eine Blutabnahme erhoben werden, was nachteilig im Vergleich zum Speichelcortisol erscheint. Bei DHEAS zeigten sich zudem keine Abweichungen zur Cortisolreaktion bei einem akuten Stressor (Lennartsson et al., 2012).

Die Reaktion des Immunsystems auf einen akuten Stressor kann sich unterschiedlich zeigen (Allen et al., 2014). Ein Parameter hierbei ist beispielsweise das Zytokin Interleukin-6 (IL-6) (Slavich et al., 2010), wobei es hier Zusammenhänge mit HR und der Cortisol-Antwort gibt und somit eine gewisse Redundanz aufweist (Izawa, Sugaya, et al., 2013).

Das Verdauungssystem reagiert ebenfalls auf akuten Stress in verschiedenen Weisen. Parameter können hierbei der rektale Schleimhaut-Blutfluss (Murray et al., 2004) oder die rektale Sensibilität (Posserud et al., 2004) sein. Diese Parameter werden jedoch nicht standardmäßig in der akuten Stressreaktion erforscht (Allen et al., 2014).

1.4.1.2 Psychologische Stressparameter

Als psychologische Stressparameter können das subjektive Erleben von Stress sowie die Auswirkungen auf die kognitiven Funktionen zusammengefasst werden. Subjektiv wahrgenommener Stress kann relativ einfach berichtet bzw. erfragt werden und ist zeitlich unmittelbar während des Stressors präsent (Schlotz et al., 2008b). Dabei gibt es Faktoren, die die subjektiven Antworten beeinflussen können. Das biologische Geschlecht ist ein solcher Faktor, hier berichteten Frauen von mehr Angst, Reizbarkeit und Verwirrung unmittelbar nach einem akuten Stressor als Männer (M. M. Kelly et al., 2008). Auch die Persönlichkeit scheint einen Einfluss haben zu können, dabei zeigte insbesondere die Dimension Neurotizismus eine Vulnerabilität gegenüber Stress (Schneider, 2004). Die Übereinstimmung zwischen psychologischem und physiologischem Stress in der akuten Stressreaktion ist nicht immer so eindeutig wie erwartet. So wurde beispielsweise in einem Review nur bei einem Viertel der Studien ein Zusammenhang zwischen Cortisol und wahrgenommenem emotionalen Stress gefunden (Campbell & Ehler, 2012). Zudem scheint es, dass die physiologische Reaktion, insbesondere die Cortisolausschüttung, einen protektiven Effekt auf das subjektive Erleben von Stress hat (Het et al., 2012). Diese Diskrepanz zeigt nochmal die Bedeutung der multimodalen Stresserfassung auf.

Kognitiv gelten eine verringerte kognitive Flexibilität sowie die Beeinträchtigung des Gedächtnisses als Stressparameter (Shields et al., 2016). Der Zeitpunkt der Messung ist hier entscheidend, kognitiver Stress ist bei oder unmittelbar nach akutem Stressor zu verzeichnen. Verstreicht mehr Zeit, so gibt es wieder Einflüsse der anderen Stresssysteme, die den Effekt überdecken, z. B. verbessert eine Cortisolausschüttung etwa eine Stunde nach dem Stressor das Arbeitsgedächtnis (Shields et al., 2015). Die Zusammenhänge mit der physiologischen Stressreaktion sind auch hier wieder nicht immer eindeutig gewesen (Shields et al., 2017; Shields et al., 2016).

1.4.1.3 Behaviorale Stressparameter

Die dritte Dimension der Stressreaktion umfasst die behaviorale Stressreaktion. Beim Menschen gibt es insbesondere Beobachtungen zu chronischem Stress und Veränderungen des Verhaltens, beispielsweise des Gesundheitsverhaltens (McEwen & McEwen, 2016). Unter negativen Auswirkungen von Stress auf das

Gesundheitsverhalten wird vorrangig das Essverhalten und körperliche Betätigung im Sinne von Sport verstanden (Park & Iacocca, 2014), was im Labor zwar auch, aber nicht ohne Einfluss verschiedener Variablen gemessen werden kann. Im Tiermodell hingegen gibt es eher Parameter zu akutem Stress, die anhand des Verhaltens gemessen werden, wie beispielsweise das Schwimmverhalten von Fischen (Kane et al., 2004). Bei Nagern wird Angst- oder Depressions-ähnliches Verhalten beobachtet und als behaviorale Stressreaktion interpretiert, jedoch unter dem Vorbehalt, dass diese Studien oftmals eine andere Fragestellung (z. B. Medikamentenwirkung) zugrunde liegt (Zuloaga et al., 2020). Dieser Ansatz kann jedoch auch auf die Forschung am Menschen übertragen werden. So gibt es im Bereich der Angstforschung Parameter, die behavioral gemessen werden. Der Behavioral Avoidance Task dient der Messung von Vermeidung angstbesetzter Stimuli unter standardisierten Bedingungen (Castagna et al., 2017). Hierbei ziehen die Betroffenen einen angstbesetzten Reiz, beispielsweise eine Spinne, zu sich heran, soweit sie können. Der Aufmerksamkeitsbias bei angstbesetzten Stimuli hingegen äußert sich in einer erhöhten Aufmerksamkeit für diese, sie werden dabei schneller entdeckt, im Anschluss jedoch im Blickverhalten wieder vermieden (Bar-Haim et al., 2007).

Insbesondere das Blickverhalten eignet sich gut zur Messung von behavioralem Stress, da es die Unterteilung in die Bereiche Arousal, Wachsamkeit und Aufmerksamkeit (Chrousos, 1992; Levine & Ursin, 1991) gut abbilden kann. Hierzu gibt es erste Studien, die das Blickverhalten in einer akuten Stresssituation untersuchten. Bei einer Stressinduktion wurde ein verändertes Fixationsverhalten mit psychosozialen Stress in Verbindung gebracht, insbesondere wurde die reduzierte Fixierung von Gesichtern mit Vermeidungsverhalten assoziiert (Herten et al., 2017). Die Blickvermeidung von Gesichtern als aversive bzw. stressreiche Stimuli im gleichen Paradigma wurde von einer weiteren Arbeitsgruppe in Zusammenhang mit einer stärkeren Cortisolreaktion gefunden (Vatheuer et al., 2021). Zusammenhänge mit weiteren physiologischen Stressparametern (Herzrate und Hautleitfähigkeit) mit dem Blickverhalten in einer psychosozialen Stresssituation wurden in einer kleineren Stichprobe von weiblichen Versuchspersonen gefunden (Wechsler et al., 2019). Blickausrichtung oder -vermeidung erfolgt in der Stresssituation unmittelbar und entzieht sich dabei auch Verzerrungen durch mangelnde Introspektionsfähigkeit oder sozialer Erwünschtheit wie es bei der Erfragung des subjektiven Stresslevels der Fall

sein kann (Herten et al., 2017). Interessanterweise wurden bisher keine Zusammenhänge zwischen dem Blickverhalten und dem subjektiven Stress berichtet.

Da die bisherigen Studien keine umfassende multimodale Stresserfassung beinhalten, ist es hier von besonderem Interesse, wie das Blickverhalten grundsätzlich mit den verschiedenen Domänen der Stressparameter zusammenhängt oder von welchen es unabhängig betrachtet werden muss.

1.4.2 Stressparadigma

Die vielfältigen Stressparameter der genannten Domänen wurden im Laufe der Stressforschung in unterschiedlichen Ansätzen herangezogen.

1.4.2.1 Trier Sozialer Stress Test (TSST)

Ein Paradigma, das zur robusten Induktion von psychosozialen Stress verwendet wird, ist der Trier Soziale Stress Test (TSST, Kirschbaum et al., 1993), der auch als Goldstandard der Stressforschung gilt (Allen et al., 2017). Über die Wirkmechanismen der sozialen Bewertung sowie der Unvorhersagbarkeit wird im TSST in einem Rede- und einem Rechenabschnitt vor einem neutralen Gremium aus mindestens zwei Personen robust Stress bei den Teilnehmenden erzeugt (Dickerson & Kemeny, 2004). Konkret gibt es physiologische Stressreaktionen der HPA-Achse (Kudielka et al., 2007), des ANS (Childs et al., 2006; Het et al., 2009; Jezova et al., 2004; Rimmel et al., 2007) und des Immunsystems (Campisi et al., 2012; Izawa, Miki, et al., 2013; Izawa, Sugaya, et al., 2013; Slavich et al., 2010; Yamakawa et al., 2009), sowie psychologische (M. M. Kelly et al., 2008; Kudielka et al., 2004b; Schlotz et al., 2008a) und erste behaviorale (Herten et al., 2017; Vatheuer et al., 2021; Wechsler et al., 2019) Stressantworten. Diese Effekte wurden bereits auch in Meta-Analysen überprüft und bestätigt (z. B. J. Hellhammer & Schubert, 2012; Helminen et al., 2021; Kudielka et al., 2007; Narvaez Linares et al., 2020).

Neben der Stressreaktion sind auch verschiedene Einflussfaktoren wie Geschlecht, Alter, Persönlichkeitsfaktoren, sozialer Status und individuelle Verarbeitung des Stressors bereits gut erforscht und belegt (Allen et al., 2017). Neben dem originalen Protokoll zur Induktion des Stressors gibt es auch verschiedene Variationen, z. B. für ältere Personen (Kudielka et al., 1998), Gruppentestungen

(Dawans et al., 2011), für Kombinationen mit Positronen-Emissions-Tomografie oder funktioneller Magnetresonanztomographie (Dedovic et al., 2005) und auch für die Stressforschung im Bereich des Kindesalters (TSST-C, Buske-Kirschbaum et al., 1997a).

Der TSST-C unterscheidet sich dabei vorrangig in der altersgerechten Anpassung der Redeaufgabe (z. B. Bewerbung als Schülersprecher:in statt für ein Jobangebot) und der Rechenaufgabe (kleinere Rechenschritte). Dabei ist auch der TSST-C effektiv zur Erzeugung von physiologischen und psychologischen Stressreaktionen bei Kindern und Jugendlichen, wie eine Meta-Analyse über 57 Artikel darstellt (Seddon et al., 2020). Die signifikanten Parameter zeigen dabei kleine (Cortisol im Speichel, Alpha Amylase im Speichel, Herzratenvariabilität, Präejektionsperiode), mittlere (negativer Affekt) bis große Effektstärken (Herzrate, subjektive Angst, Blutdruck) (Seddon et al., 2020).

Es zeigt sich also, dass der TSST-C für das Kindes- und Jugendalter eine valide und reliable Methode zur Untersuchung der akuten Stressreaktion ist. Dennoch hat der TSST(-C) auch Nachteile, die den Einsatz in der Forschung erschweren können. So ist der Bedarf an personellen und strukturellen Möglichkeiten recht hoch, da drei bis vier Personen des Studienpersonals für die Versuchsleitung und das Gremium im TSST(-C) gebraucht werden. Darüber hinaus muss das Gremium geschult sein, um individuelle Reaktionen weitgehend zu kontrollieren. Daneben bedarf es mindestens zweier Räume, da der TSST(-C) in einem anderen Raum stattfinden sollte als die anderen Untersuchungen (Buske-Kirschbaum et al., 1997a; Kirschbaum et al., 1993). Die Stressforschung im Erwachsenenbereich hat für diese Probleme Abhilfe im Einsatz der virtuellen Realität (VR) gefunden, wodurch sich die Kosten und organisatorischen Anforderungen stark reduzieren lassen und zugleich der Kontext besser kontrolliert werden kann (Allen et al., 2017; Bohil et al., 2011; Pan & Hamilton, 2018; Parsons, 2015).

1.4.2.2 Virtuelle Realität in der Stressforschung

Virtuelle Realität bedeutet eine computergenerierte, also virtuelle Umgebung, die in Echtzeit eingesetzt wird (Pan & Hamilton, 2018). Hinzu kommt der Aspekt der Interaktion (Botella et al., 2006), also dass Versuchspersonen mit bzw. in der virtuellen

Welt auch interagieren können, was in manchen Fällen von Relevanz sein kann. In der VR kann die reale Welt nachgebildet oder etwas völlig Neues erschaffen werden, abhängig von der Forschungsfrage. Um in eine solche virtuelle Realität eintauchen zu können (= Immersion) muss, gemäß Slater (2018), die virtuelle Welt die Versuchsperson wahrnehmbar umgeben, wobei die Wahrnehmung zumindest von der Verfolgung der Kopfbewegungen abhängt. Dies wird am kostengünstigsten über eine VR-Brille (engl. head-mounted display - HMD) erreicht, wobei die Versuchspersonen dabei auch von der realen Welt abgeschnitten werden, was wiederum die Immersion verstärken kann (Pan & Hamilton, 2018).

Ist die Immersion in die VR von technischer Seite erfolgreich, so entsteht bei der Versuchsperson das Gefühl der Präsenz, die Illusion in der virtuellen Umgebung zu sein (Slater, 2018). Dieser Effekt ist von großer Bedeutung, da es die Authentizität des Experiments beeinflussen kann (Kober et al., 2012) und dadurch auch die Reaktion und deren Ausmaß auf das Experiment (Helminen et al., 2019). Insbesondere für das Erleben emotionaler Reaktionen ist Präsenz von großer Relevanz (Diemer et al., 2015; Gromer et al., 2019) und daher im Rahmen einer multimodalen Stresserfassung unerlässlich. Zugleich bieten HMDs inzwischen den Vorteil, dass es Modelle mit integriertem Eye-Tracking gibt, wodurch das Blickverhalten miterhoben werden kann (Tobii, 2024). Zusätzlich können für das Eye-Tracking in VR die relevanten Blickbereiche (engl. areas of interest - AOI) im dreidimensionalen Raum programmiert werden, wodurch die Blickverfolgung vereinfacht wird (Clay et al., 2019).

VR kann auch Stress erzeugen, beispielsweise erzeugte ein Fahrstuhl-Szenario in VR eine sowohl physiologische als auch psychologische Stressreaktion (Martens et al., 2019). Neben eher neuen, aber nicht-standardisierten Ansätzen wie diesem gibt es bereits eine breite Forschung zur Übertragbarkeit des TSSTs bei Erwachsenen in VR.

1.4.2.3 Virtueller Trier Sozialer Stress Test (VR-TSST)

Die erste Implementierung des TSSTs in virtueller (VR-TSST), immersiver Umgebung wurde von Kelly und Kollegen (2007) durchgeführt. In dieser Studie wurden 138 Frauen sowie 136 Männer getestet, verteilt auf sechs verschiedene Gruppen: nur

die Rede vor virtuellem Gremium; Rede und Rechenaufgabe vor virtuellem Gremium; entspannt das virtuelle Gremium beobachten, ohne die vorbereitete Rede zu halten; ein Placebo-TSST (reales Gremium säße hinter dem Spiegel); realer TSST; sowie einer Gruppe ohne Instruktionen. Die VR-Gruppen wurden dabei über einen VR-Helm mit kleinem Sichtfeld sowie Kopfhörern in die virtuelle Umgebung immersiert. Teilnehmer:innen, die eine Rede oder eine Rede sowie die Rechenaufgabe vor einem virtuellen Gremium absolvierten, zeigten eine signifikante Stressreaktion im Cortisol-Level. Dieses Cortisol-Level war zugleich signifikant niedriger als das der Gruppe mit realem Gremium. In den subjektiven Stressantworten wurden keine Unterschiede zwischen den Bedingungen gefunden; die virtuelle Aufgabe stresste die Teilnehmer:innen, prospektiv wie retrospektiv, nicht anders als die reale (O. Kelly et al., 2007).

Seit dieser ersten Studie gab es einige weitere Untersuchungen zur Übertragbarkeit des TSSTs in VR (Wallergård et al., 2011; Zimmer, Buttlar, et al., 2019), auch mit zusätzlichen Fragestellungen, beispielsweise zur Habituation bei VR-TSSTs (Jönsson et al., 2010; Kothgassner et al., 2021), den Einfluss von Protokollvariationen (Gremiumsgröße, Mostajeran et al., 2020), Geschlechtseffekten bei VR-TSSTs (Q. Liu & Zhang, 2020; Montero-López et al., 2016; Santl et al., 2019) oder die Steigerung des Stresslevels in VR-TSSTs (Montero-López et al., 2016; Shibani et al., 2016; Zimmer, Wu, & Domes, 2019). Daneben wurden VR-TSSTs auch bereits zur Stressinduktion selbst eingesetzt, um dahinterstehende Fragen zu erforschen. Beispielsweise die Sensitivität für Gesichtsemotionen bei akutem Stress (Domes & Zimmer, 2019), Effekte von Interventionen zur Stressreduktion (Annerstedt et al., 2013; Fich et al., 2014; Liszio et al., 2018) oder Unterschiede in der Stressreaktivität (Wirkung von Benzodiazepin: Bahr et al., 2021). Zusätzlich gab es auch erste Untersuchungen, ob das Blickverhalten als Marker der Stressreaktion in VR geeignet ist (Vatheuer et al., 2021; Wechsler et al., 2019).

Grundsätzlich fanden die Studien meist eine zufriedenstellende Stressreaktion in verschiedenen Parametern. Eine erste statistische Übersichtsbetrachtung lieferten Helminen und Kollegen (2019) zur Cortisolreaktion in VR-TSSTs. Hierzu muss erwähnt werden, dass Helminen eine breitere Definition von VR angewandt hat. So wurden in die Meta-Analyse auch Studien mit 2D- oder 3D-Bildschirmen, 360° Videos oder Videoaufzeichnung eines realen Gremiums einbezogen. Dies bedeutet, dass

technisch weniger immersive Systeme, mit potentiell geringerem Präsenzerleben und folglich möglicherweise geringerer Stressinduktion in den Ergebnissen repräsentiert sind. Dieser Effekt wurde auch gefunden: immersive VR-Systeme zeigten eine höhere Cortisolreaktivität als weniger immersive VR-Systeme. Nichtsdestotrotz konnte über alle VR-Systeme bereits eine reliable, moderate Stressinduktion im Cortisol bestätigt werden, die Effektstärke lag dabei bei $ES_{Sg} = 0.65$. Interessanterweise wurde zudem gefunden, dass die Cortisolreaktivität bei jüngeren Teilnehmer:innen (unter 25 Jahren) höher war, als bei älteren. In einer späteren Meta-Analyse betrachteten Helminen und Kollegen (2021) die Stressreaktivität von virtuellen TSSTs im Vergleich zu realen TSSTs in verschiedenen Parametern. Die Effektgrößen für virtuelle TSSTs lagen dabei im mittleren Bereich: $ES_{Sg_{Cortisol}} = 0.61$, $ES_{Sg_{Herzrate}} = 0.98$ und $ES_{Sg_{Subjektiver\ Stress}} = 0.94$. Es wurden keine signifikanten Unterschiede in den Effektstärken zwischen virtuellen und realen TSST gefunden, was die Autoren zu dem Schluss brachte, dass VR-TSSTs so effektiv wie reale TSSTs in der Induktion einer physiologischen und subjektiven Stressreaktion sind (Helminen et al., 2021).

Die Übertragbarkeit des TSSTs in die virtuelle Umgebung scheint somit im Erwachsenenalter bestätigt zu sein. Bisher fehlt es jedoch noch vollständig an einer Überprüfung, ob die Übertragbarkeit in VR auch für die Kinderversion, den TSST-C, gilt. Bisherige Ergebnisse bezogen sich vorrangig auf den Erwachsenenbereich. Die Übertragung der Stressreaktion auf Medien, ohne direkten Kontakt zum Gremium, wurde in einer Studie von Gunnar und Kollegen (2021) untersucht. Mit einer online Version des TSST-C (Gunnar et al., 2021), wurden 15- und 16-Jährige beider Geschlechter ($N=68$) über eine Videokonferenz von Zuhause aus mit einem TSST-C konfrontiert. Hierbei zeigte sich sowohl im Cortisol als auch im subjektiven Stress ein Anstieg. Gemäß dem Kriterium für eine Stressreaktion von 1,5 nmol/l (Miller et al., 2013) zeigten 63 % der Jugendlichen eine bedeutsame Erhöhung im Cortisol.

Im Bereich des virtuellen TSSTs gibt es lediglich einige wenige Studien einer Arbeitsgruppe mit Jugendlichen. Bei allen wurde der VR-TSST von Kelly und Kollegen (2007) verwendet, somit die erste und auch älteste Version. Es war jedoch nicht die Wirksamkeit des TSSTs Mittelpunkt der Studien, sondern andere Forschungsfragen. Bei der ersten Studie wurden die Unterschiede bei Jugendlichen mit oder ohne Übergewicht, nach sozialem Stress und dessen Auswirkungen auf die Kognition untersucht. Lediglich bei Jugendlichen mit Übergewicht wurde ein Anstieg des

Cortisollevels nach dem VR-TSST festgestellt, im subjektiven Stress wurden keine Effekte des VR-TSSTs gefunden (Verdejo-Garcia et al., 2015). Eine weitere Studie erhob erneut nur Cortisollevel als Stressindikation, da die Assoziation von Cortisolreaktivität mit hypothalamischen Netzwerken im MRT untersucht wurde. Das Cortisollevel zeigte einen Anstieg über die Zeit, mit höheren Werten bei der Gruppe mit Übergewicht (Martín-Pérez et al., 2019). Die Cortisolwerte wurden dabei leider nicht berichtet, auch nicht, ob das Kriterium von 1,5 nmol/l angewandt wurde, weshalb eine Bewertung der erreichten Höhe, ausgehend von der Baseline, und somit der Effektivität der Stressinduktion, nicht möglich ist. Die letzte Studie der Arbeitsgruppe beinhaltete statt Cortisol die Stressparameter Herzrate, Hautleitfähigkeit und subjektiven Stress (Padilla et al., 2019). Hier zeigten sich inkonsistente Ergebnisse. So war die Stressreaktion in Herzrate und subjektivem Stress nur bei der Gruppe mit Übergewicht beobachtbar, die Hautleitfähigkeit nahm bei der Gruppe mit Normalgewicht sogar ab, was einer geringeren Schweißproduktion und somit weniger Stress entspricht. Dennoch interpretierten die Autoren den virtuellen TSST bei den Jugendlichen als erfolgreich und führten die Ergebnisse auf die erhöhte Stresssensitivität bei Jugendlichen mit Übergewicht zurück (Padilla et al., 2019). Zusätzlich ist die veraltete virtuelle Version von 2007 womöglich noch ein größeres Hindernis für jüngere Generationen, sich in die virtuelle Situation zu versetzen, da die gewohnten Standards und damit die erwarteten Ansprüche stärker gebrochen werden.

1.5 Forschungsfragen

Wie die bisherige Forschungslage im Bereich der virtuellen TSSTs für Kinder und Jugendliche zeigt, kann nicht von einer grundsätzlichen Übertragbarkeit der Ergebnisse aus dem Erwachsenenspektrum auf eine jüngere Stichprobe ausgegangen werden. Zugleich sind bisherige Studienergebnisse im Jugendalter sehr inkonsistent. Die Validierung einer technisch aktuellen Version des TSST-C ist deshalb von großer Relevanz für die Stressforschung im Kindes- und Jugendalter.

Ziel dieser Studie ist eine virtuelle Version des Trier Sozialen Stress Test für Kinder (VR-TSST-C) anhand des Vergleichs zu einem realen TSST für Kinder (IV-TSST-C) zu validieren. Hierzu werden verschiedene Parameter der Stressreaktion (physiologisch: Cortisol, Alpha Amylase, Herzrate, Herzratenvariabilität;

psychologisch: selbstberichteter Stress) herangezogen, um eine multimodale Stressantwort in beiden Bedingungen vergleichen zu können. Zudem wird das Blickverhalten des realen TSST-C explorativ betrachtet, ob sich auch hier Hinweise auf das Stresslevel extrahieren lassen. Bei vielversprechenden Zusammenhängen wird auch das Blickverhalten im VR-TSST-C exploriert und die Befunde der beiden Bedingungen verglichen.

1.6 Hypothesen

Gemäß der beschriebenen Forschungsfragen lassen sich daraus mehrere Hypothesen ableiten.

1.6.1 Stressreaktion VR-TSST-C und IV-TSST-C

Hypothese 1: Es wird erwartet, dass es eine signifikante Veränderung der Stressparameter aufgrund des TSST-Cs in den beiden Gruppen (IV, VR) gibt.

Hypothese 1a: Es wird erwartet, dass es einen signifikanten Anstieg der Cortisolkonzentration im Speichel nach dem TSST-C, im Vergleich zur Baseline, gibt.

Hypothese 1b: Es wird erwartet, dass es einen signifikanten Anstieg der Alpha Amylase-Konzentration im Speichel nach dem TSST-C, im Vergleich zur Baseline, gibt.

Hypothese 1c: Es wird erwartet, dass es einen signifikanten Anstieg der Herzrate während des TSST-Cs, im Vergleich zur Baseline, gibt.

Hypothese 1d: Es wird erwartet, dass es einen signifikanten Abfall in der Herzratenvariabilität bezüglich parasympathischer Aktivität während des TSST-Cs, im Vergleich zur Baseline, gibt.

Hypothese 1e: Es wird erwartet, dass es einen signifikanten Anstieg des subjektiven Stresslevels bei Beginn des TSST-Cs und unmittelbar nach dem TSST-C, im Vergleich zur Baseline, gibt.

Hypothese 2: Es wird erwartet, dass es keinen signifikanten Unterschied in den genannten Stressantworten durch den TSST-C zwischen den beiden Gruppen (VR-TSST-C und IV-TSST-C) gibt.

Hypothese 3: Es wird erwartet, dass die Stressantworten nach dem TSST-C über die Gruppen statistisch äquivalent sind.

1.6.2 Einflussfaktoren auf die Stressreaktion

Hypothese 4: Es wird erwartet, dass die erlebte Präsenz positiv mit der Stressreaktion korreliert.

Hypothese 5: Es wird erwartet, dass die erlebte VR-Krankheit positiv mit der Stressreaktion - in Form von physischem Stress als Störfaktor - korreliert.

1.6.3 Explorative Analyse des Blickverhaltens

Explorative Hypothese 1: Es wird untersucht, ob das Blickverhalten im realen TSST-C mit den etablierten Stressparametern (Cortisol, Alpha Amylase, HR, HRV, subjektiver Stress) bedeutsam ($r > 0.2$) korrelieren.

Explorative Hypothese 2: Es wird untersucht, ob das Blickverhalten im virtuellen TSST-C mit den etablierten Stressparametern (Cortisol, Alpha Amylase, HR, HRV, subjektiver Stress) korreliert.

Explorative Hypothese 3: Es wird untersucht, ob sich das Blickverhalten zwischen den Gruppen unterscheidet.

2. Methode

2.1 Design

Dieses Projekt wurde als Zwischensubjekt-Design konzipiert. Es vergleicht die virtuelle TSST-C (VR-TSST-C) mit der realen TSST-C (IV-TSST-C) Bedingung. Die Zuordnung zu einer der beiden Gruppen erfolgte randomisiert mit einer Wahrscheinlichkeit von jeweils 50 % für jede Gruppe. Für diesen Vergleich wurde zur Vorbereitung eine a-priori Poweranalyse mittels g*Power (Faul et al., 2007) berechnet. Als Grundlage wurde hierbei die Effektstärke $f = .30$ (Helminen et al., 2019) bei einer Korrektur auf Nicht-Sphärizität herangezogen. Entsprechend wurde eine notwendige Stichprobe von $N=60$ berechnet, um eine Power von 90 % zu erreichen. Eine Power von 90 % ist notwendig, um den β -Fehler bei den Äquivalenztests entsprechend niedrig zu halten.

2.2 Stichprobe

Einschlusskriterien der Studie waren ein Alter zwischen 11 und 17 Jahren, ausreichendes Verständnis der deutschen Sprache und das Einverständnis der Versuchsperson und eines Elternteils. Ausschlusskriterien waren aktuelle oder vergangene psychiatrische, psychotherapeutische oder neurologische Behandlungen sowie psychische (Vor-)Erkrankungen. Ebenso waren neurologische, endokrinologische oder immunologische (Vor-)Erkrankungen Ausschlusskriterien. Des Weiteren führte die Einnahme von glukokortikoidhaltigen Medikamenten oder Psychopharmaka zum Ausschluss von der Studie. Weitere Ausschlusskriterien waren Schwangerschaft oder Stillzeit, eine frühpubertäre Entwicklung, eine Minderbegabung sowie der Besuch einer Förderschule.

Auf Grundlage dieser Ein- und Ausschlusskriterien meldeten sich $N = 84$ Kinder und Jugendliche, die an einer Studienteilnahme interessiert waren und im Telefonscreening (T0) nach Abklärung aller Einschluss- und Ausschlusskriterien eingeschlossen wurden. Zwischen dem ersten telefonischen Kontakt und dem ersten Testtermin (T1) änderten $n = 7$ ihre Bereitschaft zur Teilnahme an der Studie und werden daher als Ausschluss gezählt. Bei Überprüfung der Ausschlusskriterien am T1 wurden $n = 3$ Personen aufgrund von psychischen Auffälligkeiten im klinischen Interview ausgeschlossen, da eine psychische (Vor-)Erkrankung nicht mit Sicherheit

auszuschließen war. Je nach Fall wurde Rücksprache mit einer ärztlichen Kollegin der Kinder- und Jugendpsychiatrie Regensburg gehalten, ein Arztgespräch angeboten oder ein Termin zur Diagnostik empfohlen. Im Verlauf der Testung kam es bei $n = 1$ Person zu einem Abbruch der Studienteilnahme während der Zeit zwischen T1 und dem zweiten Testtermin (T2) aufgrund mangelnder Motivation laut Angaben der Betroffenen. Die bis dahin erhobenen Daten wurden vollständig von der Studie ausgeschlossen. Nach Abzug der ausgeschlossenen Teilnehmer:innen ergibt sich eine finale Stichprobe von $N = 73$. Hierbei handelt es sich vorwiegend um weibliche Teilnehmerinnen (63.0 %), mit dem Besuch des Gymnasiums als häufigste Schulform (76.8 %) und einem durchschnittlichen Alter von fast 14 Jahren ($M = 13.85$; $SD = 1.91$) mit dem Mindestalter von 11 Jahren und dem Höchstalter von 17 Jahren. Ein Überblick über die demografischen Eigenschaften entsprechend der Gruppenzuordnung und in der Gesamtstichprobe ist in Tabelle 1 abgebildet.

Die Rekrutierung der Teilnehmer:innen erfolgte vorwiegend über Werbung bei Mitarbeitenden der medizinischen Einrichtungen des Bezirks Oberpfalz (Medbo), Standort Regensburg und des Universitätsklinikums Regensburg. Hierbei wurden insbesondere Flyer, E-Mail-Verteiler und Anzeigen auf den Homepages eingesetzt. Darüber hinaus wurden Kontaktlisten von anderen Studien herangezogen und Werbung in Sozialen Medien (Instagram und Facebook) geschaltet.

Die Teilnehmer:innen waren hinsichtlich des Ziels der Studie verblindet, da der TSST-C als Schulsituation verallgemeinert war. Im Rahmen der Aufklärung war eine Mitteilung der Form der Schulsituation (virtuell oder real) unerlässlich und ermöglichte daher keine Verblindung der Teilnehmer:innen dahingehend. Das Studienpersonal war zu keinem Zeitpunkt verblindet, jedoch erfolgte die Zuordnung zu den Gruppen randomisiert. Ein Eingriff in die Zuordnung wäre nur möglich gewesen, wenn die Person aufgrund angegebener Schwindelanfälligkeit z. B. bei Autofahren oder Karussellfahrten nicht für die VR-Bedingung geeignet gewesen wäre. Dieser Fall trat jedoch nicht auf.

Tabelle 1

Demografische Eigenschaften der Stichprobe und Gruppenvergleiche.

| | Gesamtstichprobe | Gruppe | | Gruppenvergleich |
|--|------------------|-------------------|-------------------|---|
| | | IV-TSST-C | VR-TSST-C | |
| Anzahl Versuchspersonen | <i>N</i> = 73 | <i>n</i> = 37 | <i>n</i> = 36 | |
| Alter in Jahren | | | | <i>t</i> (70.9) = 2.88, <i>p</i> = .003 ^a |
| <i>M</i> (<i>SD</i>) | 13.86 (1.87) | 13.84 (1.94) | 13.89 (1.83) | |
| Spannweite | 11 – 17 | 11 – 17 | 11 – 17 | |
| Geschlecht | | | | <i>t</i> (71) = 2.84, <i>p</i> = .003 ^a |
| weiblich (%) | 46 (63.0) | 23 (62.2) | 23 (63.9) | |
| männlich (%) | 27 (37.0) | 14 (37.8) | 13 (36.1) | |
| BMI | <i>N</i> = 68 | <i>n</i> = 34 | <i>n</i> = 34 | <i>t</i> (64.4) = 1.95, <i>p</i> = .028 ^a |
| <i>M</i> (<i>SD</i>) | 19.26 (3.34) | 18.88 (3.60) | 19.64 (3.06) | |
| Spannweite | 13.33 – 32.03 | 13.33 – 32.03 | 13.51 – 28.20 | |
| Schulform | | | | <i>Z</i> = -2.18, <i>p</i> = .029 ^b |
| Mittelschule (%) | 2 (2.7) | 2 (5.4) | - | |
| Realschule (%) | 13 (17.8) | 9 (24.3) | 4 (11.1) | |
| Gymnasium (%) | 54 (74.0) | 25 (67.6) | 29 (80.6) | |
| FOS/BOS (%) | 3 (4.1) | 1 (2.7) | 2 (5.6) | |
| Berufsschule (%) | 1 (1.4) | - | 1 (2.8) | |
| IQ | | | | <i>t</i> (70.5) = 2.90, <i>p</i> = .002 ^a |
| <i>M</i> (<i>SD</i>) | 108.07 | 107.83 (14.76) | 108.22 (13.19) | |
| Spannweite | 80 – 139 | 80 – 139 | 85 – 131 | |
| Pubertätsstatus* | | | | <i>Z</i> = -0.18, <i>p</i> = .861 ^b |
| Präpubertär | 7 (8.5) | 4 (10.8) | 3 (8.3) | |
| Beginnende Pubertät | 6 (7.3) | 2 (5.4) | 4 (11.1) | |
| Mitten in der Pubertät | 18 (22.0) | 8 (21.6) | 10 (27.8) | |
| Fortgeschrittene Pubertät | 34 (40.2) | 20 (54.1) | 13 (36.1) | |
| Abgeschlossene Pubertät | 9 (11.0) | 3 (8.1) | 6 (16.7) | |
| Einnahme hormoneller Verhütungsmittel | 1 (1.4) | - | 1 (2.8) | |
| Vorerfahrung VR | | | | |
| Ja (%) | 18 (24.66) | - | 18 (50) | |
| Nein (%) | 17 (23.29) | - | 17 (47.2) | |
| Fehlend (%) | 1 (1.37) | - | 1 (2.8) | |

IV-TSST-C: Versuchspersonen mit realem Trier Sozialem Stress Test für Kinder; VR-TSST-C: Versuchspersonen mit virtuellem Trier Sozialem Stress Test für Kinder. BMI: Body Mass Index. IQ: Intelligenzquotient. Geschlecht: alle Versuchspersonen wurden nach ihrem biologischen und gesellschaftlichen Geschlecht gefragt, das in allen Fällen übereinstimmte. Vorerfahrung VR: in der virtuellen Bedingung wurde abgefragt, ob bereits Vorerfahrung mit virtueller Realität vorliegt. *Pubertätsstatus erhoben mit der Pubertal Development Scale (PDS). ^aWelch's *t*-test unter Verwendung der TOST Äquivalenztest-Methode, ^bMann-Whitney-*U*-Test.

2.3 Material

2.3.1 Grundintelligenztest Skala 2-Revision (CFT 20-R)

Zur Überprüfung des Ausschlusskriteriums der Minderbegabung wurde mit allen Teilnehmer:innen ein Intelligenztest zur Grundintelligenz durchgeführt. Hierfür wurde der Grundintelligenztest Skala 2-Revision (CFT 20-R, Weiß et al., 2006) gewählt. Er ist in zwei Teile gegliedert, der erste beinhaltet 56 Items, der zweite beinhaltet 45 Items, beide bestehen aus Darstellungen von Figuren in Untertests zur Klassifikation, Reihenfolgen, Analogien und Matrizen. Die Kurzform des CFT 20-R beinhaltet neben der Instruktion nur den ersten Teil und dauert somit etwa 35 Minuten ohne Testzeitverlängerung. Da das Ziel des Intelligenztests lediglich die Überprüfung einer Minderbegabung war, wurde die Kurzform für die Anwendung gewählt. Zur Auswertung werden alle richtigen Antworten zu einer Summe addiert und der entsprechende IQ anhand der Altersnormen bestimmt. Vorteile dieses Instruments sind die Sprachfreiheit und die Kürze des Tests bei guten Gütekriterien: die Reliabilität des ersten Teils liegt mit $r = .92$ im sehr guten Bereich, die Konstruktvalidität ist gut aufgrund des Zusammenhangs mit dem Generalfaktor für Intelligenz ($r = .78 - .83$) und die faktorielle Validität des Tests konnte ebenfalls bestätigt werden (Weiß et al., 2006).

2.3.2 Mini Internationales Neuropsychiatrisches Interview für Kinder und Jugendliche (M.I.N.I. Kid 6.0)

Mithilfe des M.I.N.I. Kids 6.0 (Sheehan et al., 2009) wurde das Ausschlusskriterium einer bestehenden oder vergangenen neuropsychiatrischen Erkrankung bei den Teilnehmer:innen überprüft. Hierfür wurde das strukturierte Interview von einer Person des Studienpersonals mit psychologischer Ausbildung durchgeführt. Das M.I.N.I. Kid 6.0 erfasst 30 der häufigsten und klinisch relevantesten Störungen und deren Subtypen im Bereich der psychischen Gesundheit von Kindern und Jugendlichen. Der zeitliche Umfang hängt von der Menge der erlebten Symptome ab und beläuft sich im psychisch gesunden Bereich auf 20 – 40 Minuten. Mit diesem ökonomischen Instrument kann der Anspruch einer psychisch gesunden Stichprobe schnell und valide gesichert werden. In der aktuellen Überprüfung der Gütekriterien ergaben sich eine akzeptable Sensitivität ($\kappa = 0.61 - 1.00$) und eine exzellente

Spezifität ($\kappa = 0.81 - 1.00$) für den Großteil der Störungsbilder. Interrater- und Testwiederholungs-Reliabilität waren ausreichend bis nahezu perfekt ($\kappa = 0.64 - 1.00$), außer für Dysthymie (Sheehan et al., 2010). Das M.I.N.I. Kid 6.0 gilt somit als reliables und valides Diagnostikinstrument für Kinder und Jugendliche (Duncan et al., 2018).

2.3.3 Childhood Trauma Questionnaire - Kurzversion (CTQ-SF)

Die Messung einer möglichen Misshandlung in der Kindheit mit möglicher Auswirkung auf das Stresserleben (Bader et al., 2009; Bernstein et al., 2003; C. L. J. Lai et al., 2020) erfolgte mithilfe des CTQ-SF, einem retrospektiven Fragebogen in der Kurzversion, die etwa fünf Minuten dauert. Der Fragebogen beinhaltet 28 Items mit einer fünfstufigen Likert-Skala als Antwortformat (1 = "überhaupt nicht" – 5 = "sehr häufig"), die zu fünf Subskalen (Missbrauch: emotional, physisch, sexuell; Vernachlässigung: emotional, physisch), einer Bagatellisierungsskala und einer Gesamtskala zusammengefasst werden können. Die Subskalen reichen von 5 (überhaupt keine Missbrauchs- oder Vernachlässigungserfahrungen) bis 25 (extreme Missbrauchs- oder Vernachlässigungserfahrungen), die Gesamtskala entsprechend von 25 – 125. Die deutsche Fassung zeigt hervorragende interne Konsistenz ($\alpha = .94$) (Wingenfeld et al., 2010), Ergebnisse des Fragebogens erwiesen sich als hoch korreliert mit Ratings durch Psychotherapeuten (Bernstein et al., 1997) und die angenommene Faktorenstruktur der fünf Subskalen wurde ebenfalls bestätigt (Bernstein et al., 2003).

2.3.4 Pubertal Development Scale (PDS)

Die Cortisolreaktion von Jugendlichen auf den TSST-C scheint durch ihren Pubertätsstatus beeinflusst zu werden (Netherton et al., 2004), weshalb auch dafür kontrolliert wurde. Der Pubertätsstatus wurde mit dem PDS (Petersen et al., 1988) als Selbstbeurteilung erhoben, jeweils mit einer Version für Jungen und einer Version für Mädchen. Auf eine Fremdbeurteilung durch ein Elternteil wurde an dieser Stelle verzichtet, da insbesondere eine Annäherung an den aktuellen Pubertätsstatus als ausreichend erachtet wurde. Der Fragebogen basiert auf der originalen Version von Petersen und Kollegen (1988) und der deutschen Version von Watzlawik (2009). Er beinhaltet drei Fragen zur Pubertätsbeurteilung bei Jungen und Mädchen

(Schambehaarung, Bart- bzw. Brustwachstum und Stimmbruch bzw. Menarche) und zwei Fragen zu weiteren Pubertätskriterien, die aber nicht in den Pubertätsstatus eingehen (Wachstumsschub und Hautveränderungen), jeweils auf einer vierstufigen Likert-Skala (1 = "hat noch nicht begonnen" – 4 = "entspricht einer/m erwachsenen Mann/Frau") zu beantworten, bis auf die Menarche, die in Form einer dichotomen Frage (1 = "nein", 4 = "ja") ist. Somit kann der Pubertätsstatus in wenigen Minuten erfragt werden. Zur Kategorisierung des Pubertätsstatus wurden die Kriterien von Carskadon (1993) herangezogen. Die Kategorien sind hierbei "präpubertär", "beginnende Pubertät", "mitten in der Pubertät", "fortgeschrittene Pubertät" sowie "abgeschlossene Pubertät". Die interne Konsistenz ($\alpha = .64 - .69$) sowie Kriteriumsvalidität ($r = .39 - .83$) werden dabei als zufriedenstellend beurteilt (Watzlawik, 2009).

2.3.5 Big-Five-Inventary (BFI-10)

Die Persönlichkeit der Teilnehmer:innen scheint ebenfalls einen Einfluss auf die Stressreaktion, insbesondere auf die Cortisolausschüttung (Oswald et al., 2006), zu haben, weshalb auch hier für die Vergleichbarkeit der Gruppen kontrolliert werden musste. Das Big-Five-Inventary (Rammstedt & John, 2007) wurde zur Erfassung der Persönlichkeit in den bekannten Big Five Dimensionen eingesetzt. Hierbei werden mit je einem positiv und einem negativ gepolten Item auf einer fünfstufigen Likert-Skala (1 = "trifft überhaupt nicht zu" – 5 = "trifft voll und ganz zu") die fünf Persönlichkeitsdimensionen Neurotizismus, Extraversion, Offenheit, Verträglichkeit und Gewissenhaftigkeit erfragt. Somit können mit nur zehn Fragen in wenigen Minuten die fünf Faktoren der Persönlichkeit erhoben werden. Bezüglich der Gütekriterien konnte eine ausreichende Retest-Reliabilität ($r = .58 - .84$), eine faktorielle Validität sowie die Konstruktvalidität ($r = .69$) bestätigt werden (Rammstedt et al., 2017). Zu beachten ist hierbei, dass der Anwendungsbereich grundsätzlich auf die deutschsprachige Allgemeinbevölkerung ab 18 Jahren ausgelegt ist, somit finden die vorhandenen Normen keine Anwendung. Aufgrund der kurzen Items und der einfach gehaltenen Sprache erschien ein Einsatz bei Kindern und Jugendlichen jedoch möglich und wird auch in der Forschung verwendet (Muhametjanova et al., 2023). Grundsätzlich muss auch bedacht werden, dass sich Kinder und Jugendliche noch in der Persönlichkeitsentwicklung befinden und die Stabilität der gemessenen

Dimensionen bezüglich Alter und Geschlecht unterschiedlich ist (Klimstra et al., 2009). Für den Einsatz in einer Querschnittsstudie zum Ausschluss von Gruppenunterschieden erschien der BFI-10 als adäquat, die Limitationen müssen jedoch in Erinnerung behalten werden.

2.3.6 Junior-Temperament und Charakter-Inventar (JTCI 12-18 R)

Die Schwächen des BFI-10 in der Erfassung der Persönlichkeit sollen zudem mit der Anwendung des Junior-Temperament und Charakter-Inventars ausgeglichen werden, wodurch die Vergleichbarkeit der Gruppen nochmals kontrolliert werden kann. Es ist ein Fragebogen zur Selbstauskunft von Jugendlichen, mit dessen Hilfe Persönlichkeit im jugendlichen Altersbereich auf den grundlegenden Aspekten "Temperament" und "Charakter" gemessen wird (Goth & Schmeck, 2009). Temperament setzt sich dabei aus vier Skalen (Neugierverhalten, Schadensvermeidung, Belohnungsabhängigkeit und Beharrungsvermögen) zusammen, während sich Charakter aus drei Skalen (Selbstlenkungsfähigkeit, Kooperativität und Selbsttranszendenz) zusammensetzt. Alle Skalen setzen sich nochmals aus vier Subskalen zusammen. Insgesamt enthält der Fragebogen 103 Items, die auf einer fünfstufigen Likert-Skala (0 = "nein" – 4 = "ja") beantwortet werden. Der Anwendungsbereich ist von 12 bis 18 Jahren, wobei in der Konstruktion Überlappungen im Altersbereich beachtet wurden, somit zwei Jahre jünger oder älter auch noch akzeptabel sind. Damit ist der Fragebogen genau passend für das Alter der Teilnehmer:innen. Die Bearbeitung dauert etwa 15 – 20 Minuten. Die Reliabilität konnte mit Hilfe der internen Konsistenz bestätigt werden (Cronbachs $\alpha = .79$ und $\alpha = .85$), ebenso die Faktorenstruktur sowie die Kriteriumsvalidität mit verwandten Persönlichkeitsmaßen (Goth & Schmeck, 2009).

2.3.7 Deutsche Schulalter-Formen der Child Behavior Checklist (CBCL/6-18R, YSR/11-18R)

Die deutschen Schulalter-Formen der Child Behavior Checklist (Döpfner et al., 2014) beinhaltet mehrere Auskunftsversionen (Eltern, Kind, Lehrer) zur Erfassung von Verhaltensauffälligkeiten, emotionalen Auffälligkeiten, somatischen Beschwerden sowie sozialen Kompetenzen. Diese Fragebögen dienen der Überprüfung von

Auffälligkeiten im Sinne einer psychischen Belastung und unterscheiden dabei zwischen internalisierenden und externalisierenden Symptomen. Dies ist wichtig zu kontrollieren, da es unterschiedliche Assoziationen der Ausschüttung von Cortisol und Alpha Amylase auf den TSST-C gibt, je nachdem ob eine internalisierende oder externalisierend Störung vorliegt (Bae et al., 2015). Auch wenn es sich bei dieser Stichprobe um eine gesunde Kohorte handelt, ist es für die Vergleichbarkeit der beiden Gruppen von Bedeutung, auch diesen Aspekt eines möglichen Störeinflusses zu kontrollieren. Auf die Erfassung der Lehrer-Beurteilung wurde im Kontext der gesunden Stichprobe verzichtet.

Der Elternfragebogen über das Verhalten von Kindern und Jugendlichen (CBCL/6-18R) deckt einen Altersbereich von 6 – 18 Jahren ab. Er wurde von einem Elternteil entweder Zuhause oder während der Wartezeit ausgefüllt, dies dauerte etwa 15 – 20 Minuten. Die Fragen bezogen sich auf Eigenschaften und Verhaltensweisen, die aktuell oder innerhalb der letzten sechs Monate zu beobachten waren. Sie wurden dabei auf einer dreistufigen Likert-Skala beantwortet (0 = “nicht zutreffend” – 2 = “genau oder häufig zutreffend”). Mit den insgesamt 120 Items werden acht verschiedene Problembereiche abgefragt, die zu zwei Skalen der zweiten Ordnung zusammengefasst werden: internale Probleme und externale Probleme. Aus allen Items lässt sich die Gesamtskala “Gesamtauffälligkeit” zusammenfassen, anhand derer die Gruppen bezüglich ihrer psychischen Auffälligkeit verglichen werden.

Der Fragebogen für Jugendliche (YSR/11-18R) ist direkt aus der CBCL/6-18R abgeleitet und beinhaltet weitgehend identische Merkmale aus Sicht der Kinder und Jugendlichen. Der Altersbereich umfasst dabei 11 – 18 Jahre, die Bearbeitungszeit beträgt ebenfalls etwa 20 Minuten. Hierbei werden auch auf einer dreistufigen Likert-Skala (0 = “nicht zutreffend” – 2 = “genau oder häufig zutreffend”) 119 Fragen über den Beobachtungszeitraum von sechs Monaten beantwortet. Die Items werden wieder zu Skalen zweiter Ordnung (internale und externale Probleme) und zur Gesamtskala “Gesamtauffälligkeit” zusammengefasst, welche dann verglichen werden.

In der Überprüfung der Reliabilität der CBCL/6-18R sowie des YSR/11-18R wurden gute Werte der internen Konsistenz für die Skalen der zweiten Ordnung gefunden (Cronbachs $\alpha > .80$) und sehr gute für die Skala der Gesamtauffälligkeit (Cronbachs $\alpha > .93$). Die Validität wurde darüber hinaus in mehreren Studien ausreichend bestätigt (Döpfner et al., 2014).

2.3.8 Beck-Angst-Inventar (BAI)

Das Beck-Angst-Inventar (Beck et al., 1988) wurde in seiner deutschen Übersetzung (Margraf & Ehlers, 2007) eingesetzt, um die Schwere der Angst der Teilnehmer:innen der letzten Woche abzufragen und somit für das Angstarousal zwischen den Gruppen zu kontrollieren. Mittels 21 Fragen auf einer vierstufigen Likert-Skala (1 = "überhaupt nicht" – 4 = "es war nicht mehr auszuhalten") wird die Schwere im Selbstbericht abgefragt, die sich zur Beurteilung aufaddiert und entweder als Gesamtwert beurteilen lässt oder in die Kategorien "minimale Ängstlichkeit", "mildes Niveau der Ängstlichkeit", "mittleres Niveau der Ängstlichkeit" und "klinisch-relevante Angst" einteilen lässt. Alternativ könnte auch in die Aspekte der "somatischen Angstsymptome" und "kognitiven Angstsymptome" unterschieden werden, was jedoch im Rahmen der Fragestellung nicht relevant war. Der BAI wurde für die Anwendung im Altersbereich ab 17 Jahren entworfen, wobei er auch schon bei Jüngeren erfolgreich eingesetzt wurde (Steer et al., 1995) und daher auch für Elfjährige als anwendbar eingeschätzt wurde. Durch seine Kürze und einfachen Formulierungen dauert er dabei nur bis zu fünf Minuten. In den Gütekriterien erweist sich der BAI in der Reliabilität als angemessen, da die interne Konsistenz in nicht-klinischen Stichproben gut war ($\alpha = .85 - .90$). Die Validität konnte ebenfalls bestätigt werden (Margraf & Ehlers, 2007).

2.3.9 State-Trait-Angst-Depressions-Inventar (STADI)

Das State-Trait-Angst-Depressions-Inventar (Laux et al., 2013) wurde als Selbstbeurteilungsskala zur Differenzierung von Angst (Aufgeregtheit als affektive, Besorgnis als kognitive Komponente) und Depression (Euthymie und Dysthymie) sowie eines Globalwerts zur negativen Affektivität eingesetzt. Der STADI besteht aus zwei Teilen mit jeweils 20 Items, davon jeweils fünf Items für jede Subskala, die auf einer vierstufigen Likert-Skala (State: 1 = "überhaupt nicht" – 4 = "sehr", Trait: 1 = "fast nie" – 4 = "fast immer") beantwortet werden und teilweise auch invertiert sind. Für die Auswertung werden die Items zu den Subskalen der beiden Teile addiert, der Gesamtwert der Subskalen liegt damit in einem Bereich von 20 – 80 Punkten. Der erste Teil bezieht sich auf den Angst- und Depressions-State, also den aktuellen

Zustand. Der STADI ist gemäß dem Manual auch besonders für den Einsatz bei Stresssituationen geeignet. Durch wiederholtes Ausfüllen des State Teils können Angst- und Depressionserleben vor und nach einer Stresssituation erfasst und verglichen werden. Der zweite Teil bezieht sich auf die überdauernden Eigenschaftsausprägungen von Angst und Depression, also die Trait-Ausprägungen, die nochmals zur Kontrolle der Vergleichbarkeit der beiden Gruppen genutzt wurde. Eine Anwendung ab 16 Jahren ist empfohlen, bei jüngerem Alter, z. B. 13 Jahren in der deutschen Version (Matulis et al., 2015), wurden jedoch ebenfalls keine Probleme berichtet, weshalb auch ein Einsatz bei einer jüngeren Stichprobe möglich erschien. Die Durchführung dauert nur maximal 10 Minuten. Die Reliabilität liegt für die Skalen Angst und Depression, State und Trait, im angemessenen Bereich ($\alpha = .87 - .90$), der Globalwert von State und Trait sogar noch höher ($\alpha = .92 - .93$). In der Überprüfung der Validität konnten konvergente und diskriminante Zusammenhänge bestätigt werden, ebenso die faktorielle Validität des Fragebogens. Die Sensitivität des wiederholten Einsatzes der State-Skalen bei Belastungssituationen (prä und post) wurde in verschiedenen Szenarien von den Autoren überprüft und kann somit als ausreichend angenommen werden (Laux et al., 2013).

2.3.10 Fragebogen zur Erhebung von Stress und Stressbewältigung im Kindes- und Jugendalter - Revision (SSKJ 3-8 R)

Der Fragebogen SSKJ 3-8 R (Lohaus et al., 2006) dient als Selbstauskunft zur differenzierten Abfrage von Stress und dessen Bewältigung (Eschenbeck et al., 2006). Besonders der erste Teil, in dem „Stressvulnerabilität“ gemessen wird, ist für die Vergleichbarkeit der beiden Gruppen in ihrer subjektiven Stressreaktanz geeignet. Die Skala „Stressvulnerabilität“ wird mittels 7 Items auf einer vierstufigen Likert-Skala erfragt. Hierbei wird neben den verbalen Antwortoptionen („gar keinem Stress“ – „sehr viel Stress“) mit Emojis gearbeitet, bei denen die Mundwinkel von oben nach unten wandern. Weitere Aspekte des Fragebogens (Stressbewältigungsstrategien, Stresssymptomatik) wurden im Zuge des übergeordneten Projektes auch erhoben, jedoch für die vorliegende Fragestellung nicht herangezogen. Grundsätzlich ist der Fragebogen für die Klassenstufen 3 – 8 konzipiert, was einem ungefähren Altersbereich von 8 – 14 Jahren entspricht. Somit ist der Fragebogen für die 15 – 17-Jährigen Teilnehmer:innen etwas zu kindlich gehalten, was seine Anwendung jedoch

nicht erschwert und die Interpretation nicht beeinflussen dürfte. Die Bearbeitungszeit wird vom Manual auf etwa 30 – 40 Minuten geschätzt, was für den angewandten Altersbereich einer eher großzügigen Einschätzung entspricht. Der Einsatz im Forschungsbereich wird besonders zur Erfassung von Reaktionen auf Stresssituationen oder von Zusammenhängen stressbedingter Reaktionen mit anderen Erlebens- oder Handlungsbereichen empfohlen. Reliabilität (Cronbachs $\alpha = 67 - 89$) sowie Validität (Konstruktvalidität und kriterienbezogene Validität) konnten im Rahmen der Validierung von den Autoren angemessen bestätigt werden (Lohaus et al., 2006).

2.3.11 Alexithymia Questionnaire for Children - German version (AQC-G)

Alexithymie, oder auch Gefühlsblindheit, wird als Defizit in der Emotionsverarbeitung beschrieben und ist normalverteilt in der Bevölkerung (Parker et al., 2008). Der Alexithymie Fragebogen für Kinder - deutsche Version wird somit eingesetzt, um mögliche Verzerrungen im subjektiven Stresserleben (oder dessen Bericht) aufgrund hoher Alexithymiewerte zwischen den Gruppen kontrollieren zu können. Die englischsprachige Originalversion des AQC (Rieffe et al., 2006) wurde aus der Toronto Alexithymia Scale (TAS-20; Bagby et al., 1994) entwickelt und kürzlich für den deutschsprachigen Gebrauch im AQC-G übersetzt (Jarvers et al., 2022). Der AQC-G misst mittels 20 Items, die teilweise invertiert sind, die Gesamtskala "Alexithymie" sowie die drei Subskalen "Schwierigkeiten in der Emotionserkennung", "Schwierigkeiten in der Emotionsbeschreibung" und "external orientiertes Denken". Dabei wird in der Kinderversion eine dreistufige Likert-Skala (0 = "stimmt nicht" – 2 = "stimmt oft") verwendet, wo im TAS-20 für die Erwachsenen eine fünfstufige Likert-Skala verwendet wird. Das Anwendungsalter des AQC von 9 – 15 Jahren deckt den Großteil der Altersrange in der Studie ab. Diejenigen, die älter sind, können jedoch problemlos die Fragen beantworten, da in der Anpassung auf das Kindesalter besonders auf verständliche Sprache und nicht auf altersrelevante Beispiele eingegangen wurde. Die Bearbeitung der Fragen dauert nur etwa 5 Minuten. Die deutsche Version befindet sich aktuell in der Validierung, hierzu liegen noch keine Ergebnisse vor. Die Übersetzung erfolgte gemäß wissenschaftlicher Standards mit doppelter Übersetzung und Rückübersetzung, die zu einer finalen englischen Rückübersetzung zusammengefasst wurde, die von der Autorin des Originals

überprüft und bestätigt wurde. Die interne Konsistenz in der vorliegenden Stichprobe ist Cronbachs $\alpha = 0.77$ für den Gesamtwert, für die Subskalen liegt Cronbachs α ebenfalls im angemessenen Bereich ($\alpha = 0.51 - 0.82$). Die englischsprachige Version zeigte gute psychometrische Eigenschaften, mit Ausnahme für die Subskala "external orientiertes Denken", die sowohl in Reliabilität als auch bei der Faktorstruktur negativ auffiel (Rieffe et al., 2006).

2.3.12 Virtual Reality Sickness Questionnaire (VRSQ)

Der VRSQ (H. K. Kim et al., 2018) misst die durch die VR-Technologie verursachten Symptome bei den Teilnehmer:innen (VR-Krankheit). Diese Symptome werden meist negativ erlebt und können somit zu körperlichem Arousal (Cobb et al., 1999; Rebenitsch & Owen, 2016) und subjektiven Stresserleben (Somrak et al., 2019) beitragen und zugleich das Erlebnis der Virtuellen Realität beeinflussen (Kennedy et al., 1993; Nichols & Patel, 2002). Deshalb ist es notwendig, diese Symptome mit einem adäquaten Fragebogen zu messen, um die Konfundierung der Ergebnisse dahingehend kontrollieren zu können. Außerdem kann mittels der Stärke der erlebten Symptome auch eine grundlegende Aussage über die (Un-)Verträglichkeit der virtuellen Umgebung getroffen werden. Der VRSQ ist eine Abwandlung des Simulator Sickness Questionnaire (SSQ, Kennedy et al., 1993), der bisher eine breite Anwendung bei VR-Experimenten fand. Ursprünglich war der SSQ aber für Simulatoren in den 60er Jahren, insbesondere für Militär-, Luftfahrt- und Marinedienste entwickelt worden und später auch bei Schulungsgeräten oder Fahrsimulatoren eingesetzt. Er wurde über 30 Jahren nicht überarbeitet und war ursprünglich nicht für den Einsatz bei virtuellen Umgebungen vorgesehen, weshalb eine Überprüfung für den Einsatz bei VR-Anwendungen auch ausstand. Kim und Kollegen (2018) führten deshalb eine Fallstudie in VR sowie eine anschließende Faktorenanalyse durch, um die relevanten Items des SSQ für die durch VR ausgelösten Symptome zu ermitteln. Die daraus resultierenden 9 der ursprünglichen 16 Fragen bilden den VRSQ, der auf einer vierstufigen Likert-Skala (0 = "gar nicht" – 3 "schwer") beantwortet wird. Dabei lassen sich die zwei Skalen "Okulomotorik" (z. B. Ermüdung, überanstrengte Augen) und "Desorientierung" (z. B. Verschwommene Sicht, Gleichgewichtsstörungen) unterscheiden. Zur Anwendbarkeit im Kindes- und Jugendalter gibt es bisher kaum Studien. Eine koreanische Studie setzte den VRSQ in ihrer Untersuchung bei 14 – 18-

Jährigen gesunden Teilnehmer:innen ein, wobei keine Probleme im Verständnis berichtet wurden (Oh & Lee, 2021). Für die Anwendbarkeit bei jüngeren Kohorten spricht, dass es sich bei dem Fragebogen um konkrete Symptome handelt (z. B. „Kopfschmerzen“, „überanstrengte Augen“ oder „Schwindel“), die auch schon 11-Jährige beurteilen können. In einer Überprüfung der Gütekriterien des VRSQ konnte die Validität (insbesondere die Konstruktvalidität und die diskriminante Validität) und die Retest-Reliabilität ($\alpha < 0.7$) für den VRSQ bestätigt werden und eine Überlegenheit der psychometrischen Werte zeigte sich gegenüber dem SSQ (Sevinc & Berkman, 2020).

2.3.13 IGroup Presence Questionnaire (IPQ)

Mittels des IGroup Presence Questionnaire (Schubert et al., 1993) wurde die erlebte Präsenz der Teilnehmer:innen in der virtuellen Welt gemessen. Damit kann der Einfluss auf die Stressreaktion (Helminen et al., 2019) überprüft werden und auch, wie gut die Immersion der neuen, virtuellen Umgebung funktionierte. Dieser Selbstbericht besteht aus 14 Fragen auf einer siebenstufigen Likert-Skala (z. B. -3 = „überhaupt nicht“ – 3 = „vollständig“), 13 Items für die drei Subskalen: räumliche Präsenz, Involviertheit und erlebter Realismus und ein Item zur Bewertung des „Gefühls, dort zu sein“. Der IPQ wurde in deutscher Sprache entwickelt, jedoch ist kein Anwendungsbereich für das Alter definiert. Studien, die den IPQ bei Kindern (ab neun Jahren) und Jugendlichen einsetzen (Baumann et al., 2020; Joeckel et al., 2013), berichten über keine Verständnisprobleme, was den Einsatz in einer jugendlichen Stichprobe befürwortet. Der Überprüfung des deutschen Fragebogens zeigte eine gute interne Konsistenz, $\alpha = .85 - .87$, und die Konstruktvalidität konnte bestätigt werden (Schubert et al., 2001).

2.4 Stressinduktion

Die Stressinduktion mittels TSST-C fand aufgrund des hormonellen zirkadianen Rhythmus immer nachmittags zwischen 13.00 Uhr und 19.00 Uhr statt (Goodman et al., 2017).

Der Trier Soziale Stress Test für Kinder (Buske-Kirschbaum et al., 1997b) besteht im Grundsatz aus einer allgemeinen Instruktion und drei Abschnitten zu je fünf

Minuten. Die individuelle Anwendung kann sich dabei in Details unterscheiden und ist daher für die aktuelle Studie im Detail dargestellt.

In der Instruktion wird den Kindern und Jugendlichen im leeren Untersuchungsraum (real oder virtuell) erklärt, dass sie sich auf eine Position als Schülersprecher:in bewerben werden und dafür ein Gremium von sich, im Vergleich zu den anderen Teilnehmer:innen, überzeugen sollen. Das Gremium achte dabei sowohl auf die Präsentation als auch auf das Auftreten. Alles werde mit einer Kamera aufgezeichnet, um es später noch genauer auswerten zu können. Die Teilnehmer:innen sollen nicht auf Zeugnisse oder Noten eingehen, sondern ihre eigenen Stärken hervorheben. Danach folge noch eine davon unabhängige Aufgabe, um die Konzentrationsfähigkeit zu testen.

An dieser Stelle hatten die Teilnehmer:innen die Möglichkeit Fragen zu stellen, woraufhin die Instruktion nochmals präsentiert wurde. Im Anschluss wurde von der Versuchsleitung mündlich der subjektive Stress erfragt, die Kamera eingeschaltet und das Gremium hereingeholt. Das Gremium bestand immer aus einem Mann (rechter Stuhl) und einer Frau (linker Stuhl), beide in einen weißen Kittel gekleidet. Alle Gremiumsmitglieder erhielten eine Schulung mit Rollenspielen, um eine ausdruckslose, neutrale Mimik einzuüben, ebenso durften keine aufmunternden Gesten gemacht werden. Der Blickkontakt sollte bei Betrachtung der Teilnehmer:innen gehalten werden und die Stimme klar, ausreichend laut und gut verständlich sein. Anweisungen und antizipierte Antworten wurden standardisiert und antrainiert.

Sobald die Versuchsleitung den Raum verließ, begann die fünfminütige Vorbereitungszeit. Hier sollten / konnten sich die Teilnehmenden Gedanken machen, was sie vortragen möchten. Das Gremium betrachtete sie währenddessen, machte sich von Zeit zu Zeit Notizen und beantwortete die mögliche Frage zur verbleibenden Zeit ("Du hast noch Zeit dich vorzubereiten, wir geben dir dann Bescheid"). Nach Ende der Vorbereitung begann der Redeteil, den das weibliche Gremiumsmitglied leitete und die Teilnehmer:innen aufforderte, mit dem Vortrag zu beginnen. Bei längeren Pausen (etwa 10 - 20 Sekunden) wurde zum Fortführen aufgefordert. Wurde sehr viel vorgetragen oder gar keine Stärken mehr gefunden, konnten auch Schwächen erzählt werden. Als letzte Aufforderung gab es Sätze, die vervollständigt werden sollten. Nach Ablauf der fünf Minuten Vortragszeit übernahm das männliche Gremiumsmitglied die Rechenaufgabe. Hierzu sollten die 11-Jährigen laut in 7er und die 12-Jährigen oder

Älteren in 13er Schritten von einer Zahl (11 Jahre: 758; 12 – 14 Jahre: 1023; 15 – 17 Jahre: 1687) aus rückwärts rechnen. Bei einem Fehler meldete das männliche Gremiumsmitglied dies neutral zurück (“Fehler, bitte noch einmal von vorne ab ...”) und die Teilnehmer:innen mussten von vorne beginnen. Weitere Aufforderungen konnten hierbei sein, dass schneller gerechnet, deutlicher gesprochen oder in einem genauen Schema die Zahlen ausgesprochen werden sollen. Nach Ende der fünf Minuten Rechenteil übergab das männliche Gremiumsmitglied an die Versuchsleitung, die die Teilnehmenden zügig aus dem Untersuchungsraum holte.

Im Weiteren werden die Besonderheiten der realen und virtuellen Stressinduktion beschrieben.

2.4.1 Realer Trier Sozialer Stress Test für Kinder (IV-TSST-C)

Der TSST-C in der realen Bedingung fand immer im gleichen Untersuchungsraum statt. Dieser beinhaltete einen langen Tisch mit zwei Stühlen, eine graue Tischdecke, eine Kamera auf einem Stativ, in der Mitte hinter den Stühlen, sowie Plexiglasscheiben auf den Tischen im Zuge der COVID-19 Pandemie. Hinter den Tischen war ein schwarzer Vorhang, der den Raum nach hinten vollständig abtrennte. Im Raum war eine Position am Boden mit einem schwarzen X markiert, auf dem die Teilnehmer:innen, soweit möglich, stehen bleiben sollten. Dadurch wurde unter anderem der Mindestabstand zum Gremium im Zuge der COVID-19 Pandemie gewährleistet. Das Außenlicht wurde immer abgedunkelt und der Raum durch die vorhandene Beleuchtung gleichbleibend erhellt, um konstante Lichtverhältnisse beizubehalten. Eine Veranschaulichung des Untersuchungsraumes ist in Abbildung 1A zu finden.

Neben dem einheitlichen Ablauf der Instruktion, die im realen TSST-C von der Versuchsleitung vorgelesen wurde, wurde das Gremium über eine Tür hinter dem Vorhang in den Untersuchungsraum geholt. Die Gremiumsmitglieder nahmen dabei gleichzeitig ihre Plätze ein, die Versuchsleitung wünschte viel Erfolg und verließ den Raum. Nach Ende des IV-TSST-C betrat die Versuchsleitung kurz wieder den Raum, um den oder die Teilnehmer:in aus dem Untersuchungsraum zu holen. Das Gremium verblieb solange auf ihren Plätzen.

2.4.2 Virtueller Trier Sozialer Stress Test für Kinder (VR-TSST-C)

Die virtuelle Stressinduktion erfolgte im identischen realen Raum wie der IV-TSST-C, die virtuelle Umgebung war dabei dem realen Raum nachgebildet. Dies verbessert zwar nicht die Stressreaktion oder das Präsenzerleben (Zimmer, Wu, & Domes, 2019), im Zuge der Vergleichbarkeit konnten damit allerdings Störfaktoren aus Umgebungsreizen besser ausgeschlossen werden. Die Teilnehmer:innen stellten sich hierzu auf das identische Kreuz wie im realen TSST-C, setzten dann jedoch das Head-Mounted Display auf. Ein HMD zählt neben der CAVE (Cave Automatic Virtual Environment) zu den immersiven VR-Lösungen (Bowman & McMahan, 2007), da bei der HMD die reale visuelle Umgebungsreize ausgeblendet wird, unterstützt es nochmals die Immersion.

Die hier verwendete HTC Vive Pro Eye (HTC Corporation, Taoyuan, Taiwan) hat ein horizontales Sichtfeld von 110° und eine Auflösung von 1.440 x 1.600 Pixeln je Auge. Die Kopfhörer des HMD bieten 3D-Sound und waren einheitlich bei einer Lautstärke von 80 eingestellt. Die virtuelle Umgebung wurde mit der Spiel-Engine Unity3D (v. 2019.3.11f1) implementiert und stellt eine virtuelle Replikation der tatsächlichen Umgebung dar. Dafür wurden die Raumgröße, Abstände, Oberflächen und Gegenstände des realen Raumes mithilfe der grafischen Computersoftware Blender (Blender Online Community, 2018) abgebildet.

In der virtuellen Umgebung befanden sich die Personen in der Ego-Perspektive, sahen keinen eigenen Körper und hatten Kopftracking, aber kein Bewegungstracking in VR. Wenn sie also den Kopf bewegten, bewegte sich das Bild entsprechend mit, bewegten sie sich jedoch im realen Raum beispielsweise vorwärts, so wurde das in der virtuellen Umgebung nicht übertragen. Um im Voraus zu viel Bewegung im realen Raum zu unterbinden, wurden die Teilnehmer:innen gebeten, auf dem Kreuz stehen zu bleiben, besonders, um sich nicht zu stoßen. Das Bewegungstracking wurde deaktiviert, da die Bewegung im virtuellen Raum VR-Krankheit auslösen kann (Guna et al., 2019), für den TSST-C aber gar nicht notwendig ist. Somit konnten Unverträglichkeiten reduziert werden.

Der weibliche sowie der männliche Avatar der Gremiumsmitglieder wurden mit Hilfe der grafischen Computersoftware Daz3D (DAZ 3D) designt. Dabei wurden die Charaktere "Genesis 8 Male" und "Genesis 8 Female" (DAZ 3D) als Basis genommen

und an das grundlegenden Erscheinungsbild (Körperform, Mimik, Lippensynchronisation, Haut und Hautfarbe) des realen Gremiums angepasst. Eine Darstellung der virtuellen Szene ist in Abbildung 1B zu sehen. Die visuellen (Lippenbewegungen, Notizen machen) und auditorischen Reaktionen (Antworten und Aufforderungen) des virtuellen Gremiums wurden von der Versuchsleitung mittels Tastatur ausgelöst. Hierbei erhielten die Teilnehmenden den Eindruck, dass die Reaktionen automatisch von den Avataren kamen – entsprechend dem “Wizard of Oz”-Phänomen (Pan & Hamilton, 2018). Die Reaktionen entsprachen denen der realen Bedingung, die Sätze wurden hierzu von geübten Gremiumsmitgliedern mit dem Audiorecorder “Audacity” (Version 2.3.3, Audacity Team) aufgenommen. Für die VR Anwendung wurde ein Dell G5 15 Laptop (Windows 10, Intel i7-8750H, 8GB RAM, NVIDIA GeForce RTX 2060 Grafikkarte) verwendet, der damit die Empfehlungen der HTC Vive Pro Eye erfüllt.

Die Versuchsleitung verblieb, wie den Teilnehmenden angekündigt, im Untersuchungsraum während des TSST-C. Einerseits, um die VR-Anwendung zu starten und zu bedienen, andererseits, um bei unerwünschten Ereignissen wie VR-Krankheit oder Abbruch schnell eingreifen zu können. Zeiten und Instruktionen entsprechen im virtuellen TSST-C dem realen. Ein methodischer Unterschied bestand im Erscheinen des Gremiums: Im virtuellen TSST-C wurde nach der Instruktion im leeren virtuellen Untersuchungsraum eine neue, identische VR-Umgebung gestartet, in der das Gremium auf den Stühlen saß. Die Vorbereitungszeit begann, sobald das Gremium zu sehen war.

2.5 Stressparameter und deren Vorverarbeitung

Zur multimodalen Erfassung der Stressreaktion wurden psychologische, physiologische sowie behaviorale Parameter der Stressreaktion ausgewählt. Ein Überblick über die Zeitpunkte der Parameter im Verlauf der Testung ist in Abbildung 2 gezeigt.

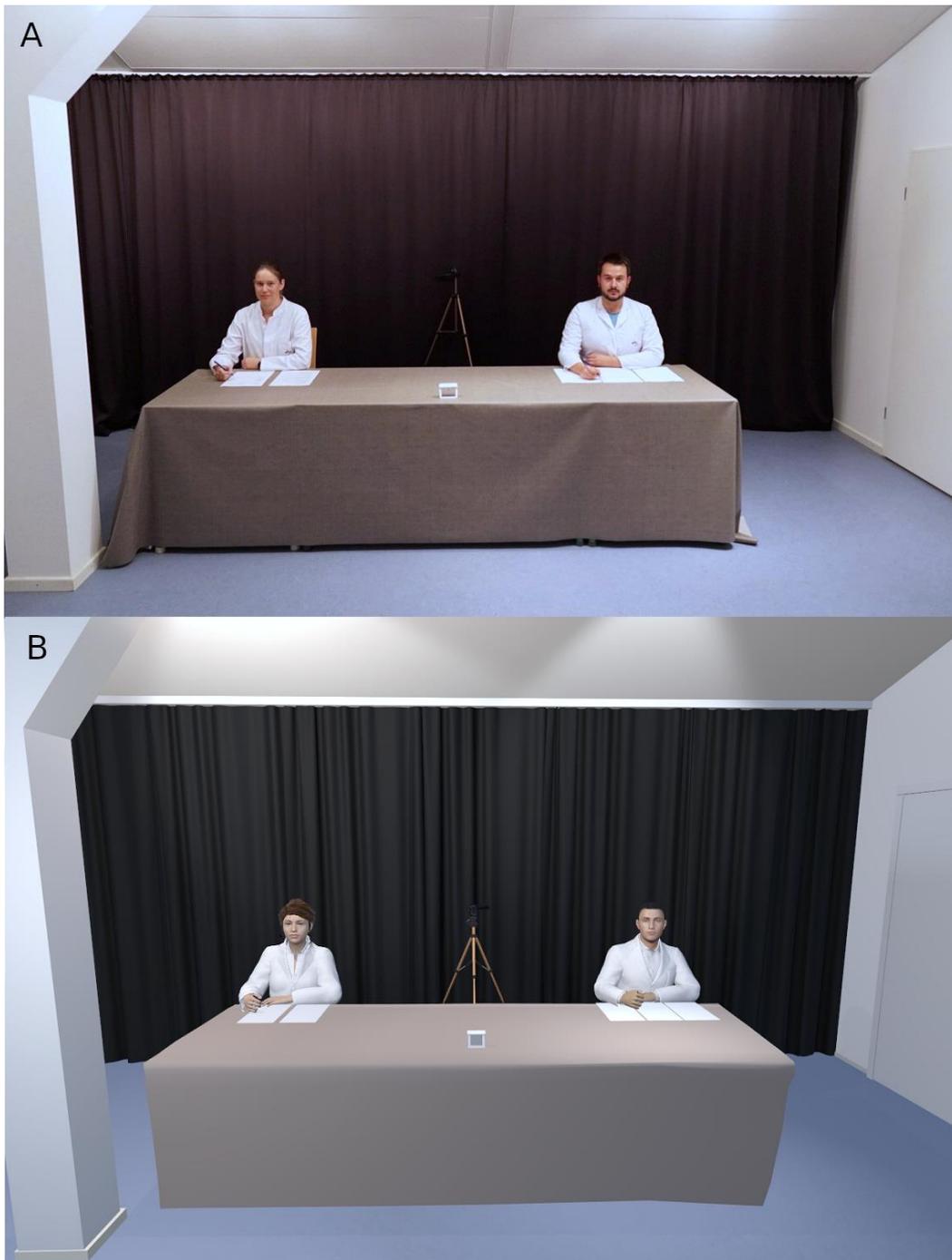


Abb. 1. Gegenüberstellung der realen und virtuellen Szene des TSST-C mit Gremium und Kamera. **A:** reale Szene des TSST-C mit Gremiumsmitglieder sowie der Kamera in der Mitte. **B:** virtuelle Szene des TSST-C mit Avataren des Gremiums sowie der Kamera.

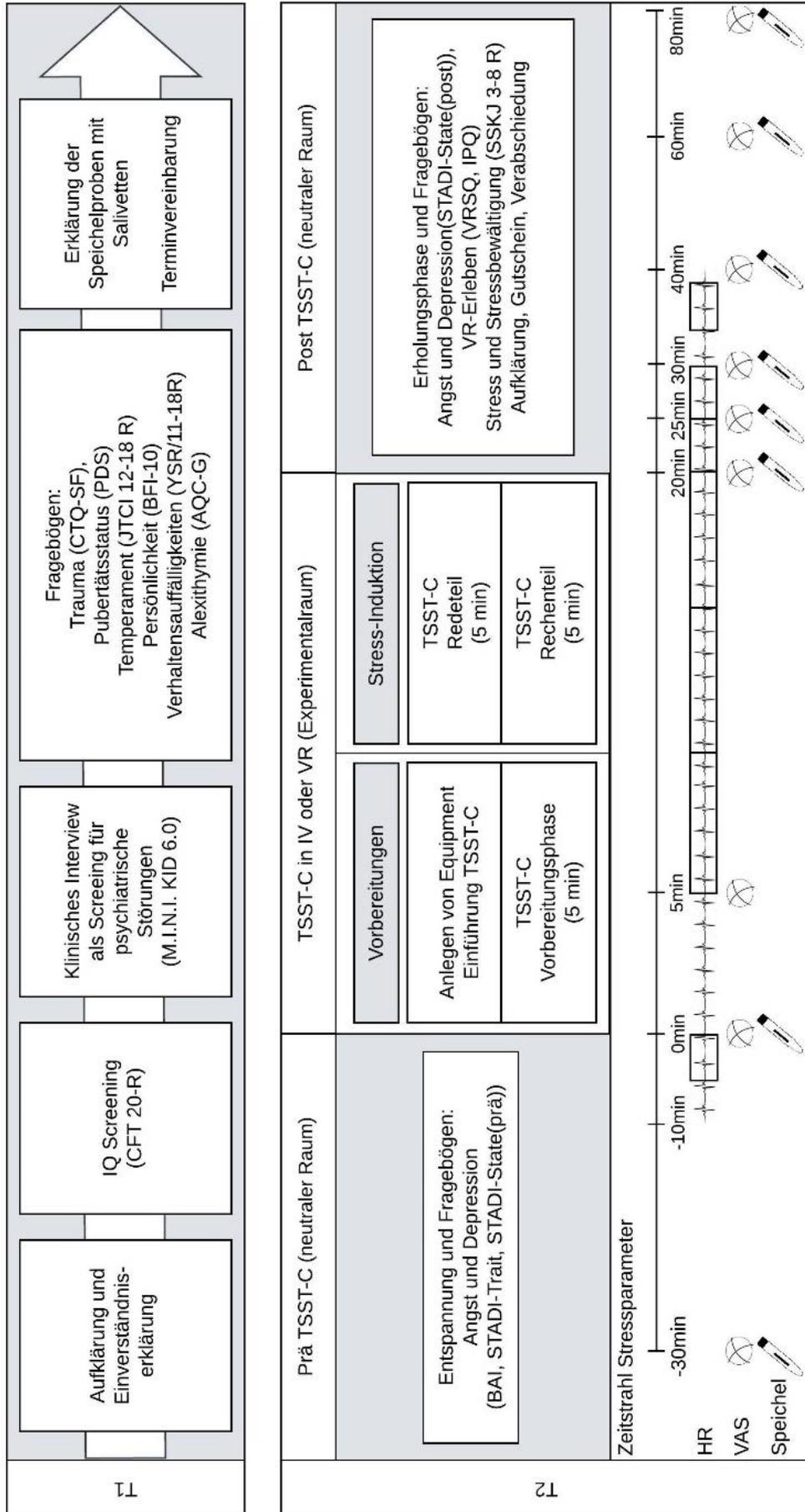


Abb. 2. Überblick über den Ablauf der Testung mit Unterscheidung von IV und VR Gruppe sowie Erhebungszeitpunkte der Stressparameter. T1 = Erster Testtermin; T2 = Zweiter Testtermin; CFT 20-R = Grundintelligenztest Skala 2-Revision; M.I.N.I.KID 6.0 = Mini Internationales Neuropsychiatrisches Interview für Kinder und Jugendliche; CTQ-SF = Childhood Trauma Questionnaire – Kurzversion; PDS = Pubertal Development Scale; JTCI 12-18 R = Junior-Temperament und Charakter-Inventar; BFI-10 = Big-Five-Inventar; YSR/11-18R = Deutsche Schullerter-Formen der Child Behavior Checklist (Selbstauskunft); AQC-G = Alexithymia Questionnaire for Children - German version; TSST-C = Trier Sozialer Stress Test im Kindesalter; IV = in vivo / Realität; VR = virtueller Realität; BAI = Beck-Angst-Inventar; STADI = State-Trait-Angst-Depressions-Inventar; VRSQ = Virtual Reality Sickness Questionnaire; IPQ = IGroup Presence Questionnaire; SSKJ 3-8 R = Fragebogen zur Erhebung von Stress und Stressbewältigung im Kindes- und Jugendalter – Revision; HR = Herzrate; VAS = Visuelle Analogskala.

2.5.1 Psychologische Stressparameter

Die unmittelbare Erfragung des erlebten Stresses der Teilnehmenden vor, während und nach der Stresssituation erfolgte mittels visueller Analogskala (VAS). Hierbei sollten die Kinder und Jugendlichen ihre aktuellen Emotionen auf einer zehnstufigen Skala von 1 (= überhaupt nicht) bis 10 (= sehr) beurteilen. VAS eignen sich besonders für die Erfragung des subjektiv erlebten Stresses, da sie hierbei reliabel (van Laerhoven et al., 2004) und valide (Davey et al., 2007) sind. Zudem zeigt sich eine VAS auch in ihrer Sensitivität einer Likertskala überlegen (Allen et al., 2014). Die erfragten Emotionen wurden in fünf Bereiche mit je drei Begriffen untergliedert. Hierzu sollten die Teilnehmenden auf die Frage "Im Moment fühle ich mich..." antworten, jeweils zu den Bereichen Stress: "gestresst, angespannt oder belastet", Traurigkeit: "traurig, bekümmert oder bedrückt", Angst: "ängstlich, besorgt oder unsicher", Ärger: "verärgert, wütend oder zornig" und Aggression: "aggressiv, feindselig oder angriffslustig". Die drei Begriffe je Emotion entstammen immer der gleichen Affektkategorie (Scherer, 2005) somit wurde die Gefahr reduziert, dass ein Begriff falsch interpretiert wird. Die größere Bandbreite der abgefragten Emotionen kommt daher, dass beispielsweise eine ärgerliche Reaktion auf den TSST eine stärkere Cortisol-Reaktion mit sich bringt, als eine ängstliche Reaktion (Moons et al., 2010). Durch die verschiedenen abgefragten Emotionen könnte also, bei ausreichender Stärke, auch dafür kontrolliert werden. Eine mögliche Überlappung der Affektkategorien wurde mittels Interkorrelationen (Wilcoxon-Tests) überprüft. Dabei zeigte sich, dass alle Kategorien unterschiedlich zum Stress interpretiert werden können (alle $p < .001$), lediglich eine Überlappung von Angst und Traurigkeit ($p = .202$) sowie Ärger und Traurigkeit ($p = .403$) muss bei der Interpretation berücksichtigt werden. Je höher die Angabe der Teilnehmenden, desto stärker war demnach die Emotion, die sie zu dem Erhebungszeitpunkt empfanden.

Über den Testtermin hinweg wurde neun Mal die Stimmung erfragt. Der Vergleich zwischen VAS1 (unmittelbar nach Ankunft) und VAS2 dient der Veranschaulichung, dass möglicher Stress bei der Ankunft bis vor Beginn des TSST-C wieder zurückgegangen ist. Für die Beurteilung der Stressinduktion durch den TSST-C sind insbesondere die Abfragen VAS2 als Baseline vor der Stressinduktion (nach 30 Minuten Entspannungsphase nach Ankommen), VAS3 als Stresslevel durch die antizipierte Aufgabe (nach der Instruktion des TSST-C, jedoch vor Beginn der

Vorbereitungszeit), VAS4 als Stresslevel unmittelbar nach dem TSST-C sowie VAS9 am Ende der Testung, an dem ein normales Niveau wieder erreicht werden sollte, als Zeichen der Verträglichkeit des Stressparadigmas. Die Verteilung der VAS-Antworten entsprach keiner Normalverteilung, weshalb eine In-Transformation vorgenommen wurde. In den VAS-Abfragen gab es keine fehlenden Daten.

2.5.2 Physiologische Stressparameter

2.5.2.1 Cortisolspiegel im Speichel

Als valider Parameter und Goldstandard in der Stressforschung gilt der Cortisolspiegel im Speichel (Allen et al., 2014). Dafür wurden Speichelproben mittels Salivetten (Sarstedt, Nümbrecht, Deutschland) gesammelt. Die Teilnehmenden nahmen dazu die Watterolle der Salivette für zwei Minuten in den Mund und sollten dabei nicht darauf herumkauen. Diese Speichelproben wurden zu acht Zeitpunkten über den T2 hinweg genommen: bei Ankunft im Labor und damit 30 Minuten vor Beginn des TSST-C (-30 min), unmittelbar vor Wechsel in den TSST-C Raum (0 min), unmittelbar nach Ende des TSST-C (20 min), nach einer fünfminütigen Entspannungsübung am Smartphone (25 min), nach weiteren fünf (30 min) und dann nach zehn Minuten (40 min) und danach jeweils nach 20 Minuten (60 min, 80 min). Speichelproben über mehrere Zeitpunkte sind nötig, um die vollständige, stressinduzierte Reaktion der Cortisolausschüttung zu erfassen (Allen et al. 2014). Die Stressreaktion (Anstieg und Abfall) zeigt sich somit über den Verlauf der zweiten bis zur letzten Speichelprobe, bei der das Ausgangsniveau wieder erreicht werden sollte. Zwischen der ersten und der zweiten Speichelprobe wird ein Abfall des Cortisollevels erwartet, da die Ankunft im Labor als möglicher Stressfaktor interpretiert wird und so bei der zweiten Speichelprobe ein einheitlich entspannter Ausgangspunkt ist. Die zweite Speichelprobe dient somit als Baseline vor der Stressreaktion durch den TSST-C. Verzögerungen im Zeitplan der Speichelproben sind an verschiedenen Zeitpunkten möglich, z. B. vor dem TSST-C (0 min): individuelle Zeiten beim Aufsetzen der Eye-Tracking-Brille oder VR-Brille oder Kalibrierungszeiten des Eye-Trackings. Solche Verzögerungen sind in der Arbeit mit Kindern und Jugendlichen nicht kontrollierbar und wurden deshalb stets in einem Zeitprotokoll notiert. Diese tatsächlichen Zeiten wurden immer als Ausgangszeit für den nächsten standardisierten Zeitabstand genommen

und dienen als Grundlage zur Auswertung. Somit beeinflussen Verzögerungen die Interpretation der Stressreaktion auf den TSST-C nicht.

Nach Ende des T2 wurden die Speichelproben verschlossen bei -20° Celsius gelagert. Für den Versand in das Labor von Herrn Prof. Kirschbaum in Dresden wurden die Proben gekühlt verschickt, darüber hinaus erfolgte der Versand im Januar, wodurch hohe Temperaturschwankungen im Transport ausgeschlossen wurden. Nach dem Auftauen im Labor wurden die Proben 5 Minuten lang bei 3.000 U/min zentrifugiert, was zu einem klaren Überstand mit geringer Viskosität führte. Die Speichelkonzentrationen wurden mit einem handelsüblichen Chemilumineszenz-Immunoassay mit hoher Empfindlichkeit gemessen (Tecan - IBL International, Hamburg, Deutschland; Katalognummer R62111). Die Intra- und Interassay-Varianzkoeffizienten lagen unter 9 %. Aufgrund der nicht normalverteilten Werte der Cortisolkonzentration im Speichel (nmol/l) wurden sie \ln transformiert, was zu einer besseren Annäherung an eine Normalverteilung führte. Es wurden keine Ausreißer entfernt, da sich diese in einem intraindividuell konsistenten Bild bewegten und keine Messfehler identifizierbar waren.

2.5.2.2 Alpha Amylase-Spiegel im Speichel

Der Alpha Amylase-Spiegel wurde über die gleichen Speichelproben wie die des Cortisolspiegels erhoben und später ausgewertet. Dies geschah ebenfalls im Labor von Herrn Prof. Dr. Kirschbaum. Es gelten daher die gleichen Erhebungszeitpunkte wie beim Cortisolspiegel im Speichel. Als Stressparameter des ANS hat die Alpha Amylase jedoch ihren Höhepunkt früher als der der HPA-Achse, nämlich unmittelbar nach dem TSST-C (20 min). Die Alpha Amylase-Konzentration im Speichel wurde mit einer enzymkinetischen Methode gemessen: Der Speichel wurde mit einem Genesis RSP8/150 Liquid Handling System (Tecan, Crailsheim, Deutschland) verarbeitet. Zunächst wurde der Speichel mit doppelt destilliertem Wasser im Verhältnis 1:625 verdünnt. Zwanzig Mikroliter des verdünnten Speichels und des Standards wurden dann in transparente Standard-Mikrotiterplatten mit 96 Vertiefungen (Roth, Karlsruhe, Deutschland) übertragen. Der Standard wurde aus "Calibrator f.a.s."-Lösung (Roche Diagnostics, Mannheim, Deutschland) mit Konzentrationen von 326, 163, 81.5, 40.75, 20.38, 10.19 bzw. 5.01 U/l Alpha Amylase und bidestilliertem Wasser als Nullstandard hergestellt. Anschließend wurden 80 ml

Substratreagenz (α -Amylase EPS Sys; Roche Diagnostics, Mannheim, Deutschland) mit einer Mehrkanalpipette in jede Vertiefung pipettiert. Die Mikrotiterplatte mit der Probe und dem Substrat wurde dann durch 90 Sekunden Inkubation im Wasserbad auf 37 °C erwärmt. Unmittelbar danach wurde eine erste Interferenzmessung bei einer Wellenlänge von 405 nm mit einem Standard-ELISA-Reader (Anthos Labtech HT2, Anthos, Krefeld, Deutschland) durchgeführt. Die Platte wurde dann für weitere 5 Minuten bei 37°C im Wasserbad inkubiert, bevor eine zweite Messung bei 405 nm durchgeführt wurde. Der Anstieg der Absorption wurde für unbekannte Proben und Standards berechnet. Die Absorptionzunahmen der verdünnten Proben wurden mit Hilfe einer für jede Mikroplatte berechneten linearen Regression (Graphpad Prism 4.0c für MacOSX, Graphpad Software, San Diego, CA) in Alpha Amylase-Konzentrationen umgerechnet (Rohleder et al., 2006). Die Intra- und Interassay-Koeffizienten für Amylase lagen unter 5% und 9%. Da die Verteilung der Alpha Amylase (U/l) nicht einer Normalverteilung entspricht, wurde eine In-Transformation durchgeführt.

Zwei Versuchspersonen fehlen vollständig in den Daten, einmal aufgrund von extremen Ausreißern mit inkonsistentem Bild, das andere Mal da im Labor von den acht Erhebungszeitpunkten nur einer auswertbar war (20 Min) und dieser aufgrund fehlender Aussagekraft ebenfalls ausgeschlossen wurde. In zwei Fällen konnten vereinzelte Werte (2x 20 Min, 1x 25 Min, 1x 30 Min) nicht im Labor ausgewertet werden, die verbleibenden Werte wurden nicht ausgeschlossen. In einem Fall wurde ein Wert vom ersten Erhebungszeitpunkt entfernt, da die Versuchsperson sich nicht an die Vorgabe der Essens-Abstinenz vor dem Testtermin gehalten hat und der Wert daher verfälscht war (Rohleder & Nater, 2009). In drei weiteren Fällen gab es Ausreißer, bei denen kein Ausschluss vorgenommen wurde, da die Werte zum intraindividuellen Bild passten und zum Teil auch vom Labor doppelt überprüft wurden, ein Messfehler somit auch auszuschließen war. Aufgrund dieser fehlenden Werte kommt es an verschiedenen Stellen zu einer Reduktion der Stichprobengröße.

2.5.2.3 Herzrate

Die Herzrate wurde mit dem Elektrokardiogramm- (EKG) und Aktivitätssensor "EcgMove 4" (movisens, München, Deutschland) und der zugehörigen Software (SensorManager, Version 1.16.1, movisens, München, Deutschland) erhoben. Der

Sensor wurde dafür von den Teilnehmer:innen entsprechend der Bildanleitung von movisens am linken Brustkorb unter dem Brustansatz mittels mit Fest-Gel vorgegelten Einwegelektroden (EKG Elektroden, P. J. Dahlhausen & Co. GmbH, Köln, Deutschland) auf der vorgereinigten Haut befestigt. Gereinigt wurde die Haut und der Sensor mit alkoholischen Desinfektionstüchern (DESCODERM PADS, Dr. Schumacher GmbH, Malsfeld, Deutschland), die auch zur Flächendesinfektion von Medizinprodukten geeignet sind. Die Messzeit startete automatisch beim Anlegen des Sensors und wurde mit dem Ablegen des Sensors beendet. Die Rohdaten wurden dann mit der Software "DataAnalyzer" (Version 1.13.5, movisens, München, Deutschland) vorverarbeitet. Dabei wurden in der Vorverarbeitung der Software zuerst Artefakte und anschließend R-Zacken, also der höchste Punkt des Elektrokardiogramms, detektiert. Die R-Zacken wurden anschließend gefiltert und auf Gültigkeit überprüft, dabei wurden R-Zacken und RR-Intervalle, die keinem normalen Herzschlag entsprachen, herausgefiltert. Die Liste der RR-Intervalle wurde in zwei Minuten Segmente mit einem Versatz von 30 Sekunden unterteilt und jedes Segment wurde auf ausreichende NN-Intervalle (= normal-zu-normal Schlag Intervalle) überprüft, unzureichende NN-Intervalle wurden dabei aussortiert. Aus dieser Vorverarbeitung berechnete sich schließlich die Herzrate mit der Einheit "Schläge pro Minute" (engl. Beats per minute = bpm), zur Ausgabe wurde ein Intervall von 60 Sekunden gewählt, das in der weiteren manuellen Verarbeitung zu einheitlichen fünf Minuten Segmente zusammengefasst wurde. Die für die Stressinduktion relevanten Zeiten sind sieben Zeiträume mit je 5 Minuten. Der Zeitraum, in dem die Dauer zwischen den Teilnehmer:innen abweichen kann (z. B. Anlegen der VR-Brille oder Kalibrierung der Eye-Tracking-Brille) und dadurch zugleich viel Bewegung vorhanden wäre, wurden zur Beurteilung der Herzrate als Stressparameter nicht herangezogen.

Vor der Stressinduktion dient das erste Segment (1. Segment: "Baseline vor Stressinduktion") als Ausgangspunkt in Entspannung. Zu dieser Zeit gab es keine Aktivitäten für die Teilnehmer:innen, sie saßen und warteten. Die drei nächsten relevanten Segmente bezogen sich auf den TSST-C, entsprechend gleich für IV und VR, untergliedert in Vorbereitung (2. Segment: "TSST-C - Vorbereitung"), Rede (3. Segment: "TSST-C - Rede") und Rechnen (4. Segment: "TSST-C - Rechnen"). Insgesamt wurde ein Anstieg in den TSST-C Segmenten in der Herzrate als Zeichen einer Stressreaktion im ANS erwartet. Zum Abschluss wurden die drei letzten

Segmente (5. Segment: "nach dem TSST-C", 6. Segment: "während Fragebögen" und 7. Segment: "Rückkehr zum Ruhemodus") zur Erholung nach der Stressreaktion und Rückkehr zu einem normalen Level betrachtet. In dieser Zeit saßen die Teilnehmer:innen und bearbeiteten Fragebögen oder warteten bereits auf das Ende der Testung. Auch die Herzrate wurde aufgrund nicht erfüllter Normalverteilung mittel In-Funktion transformiert. Bei drei Personen wurde aufgrund technischer Störungen am Sensor oder Fehlplatzierung keine Herzrate aufgezeichnet. Bei vier weiteren Personen fehlt das 3. Segment und in drei dieser Fälle auch das 4. Segment, aufgrund des Abbruchs durch die Versuchspersonen im TSST. Zwei Datensätze wurden aufgrund von Messfehlern in den Daten ausgeschlossen.

2.5.2.4 Herzratenvariabilität (HRV)

Entsprechend nach der Vorverarbeitung der Herzrate begann die Weiterverarbeitung zur Herzratenvariabilität. Diese wurde alle 30 Sekunden über ein zwei Minuten Segment berechnet, für das Ausgabeintervall von 60 Sekunden wurden die Werte entsprechend gemittelt. Die Herzratenvariabilität beschreibt die Fähigkeit des Herzens, die Intervalle zwischen den Schlägen den gegebenen Anforderungen anzupassen, also die Länge der RR-Intervalle in Millisekunden. Während der Ruhe ist der Herzschlag langsam und variabel, wodurch die Intervalle zwischen den Herzschlägen in ihrer Länge variieren und damit die HRV höher ist als unter Stress (Castaldo et al., 2015). Somit repräsentieren niedrigere HRV Werte mehr Stress als im Vergleich zu höheren HRV Werten. Als Maß der Herzratenvariabilität wurde der RMSSD (= root mean square of successive differences) gewählt, da dieser Parameter den Zeitaspekt (statt Frequenzbereiche) und damit die kurzzeitigen Veränderungen der HRV gut abbildet (Malik et al., 1996). Der RMSSD ist somit eine zuverlässige Schätzung der vagalen Aktivität des Herzens und stellt Veränderungen des Parasympathikus dar (Malik et al., 1996). Ein weiterer, häufig verwendeter Parameter zum Zeitaspekt, der SD1 (= successive beat-to-beat interval oder auch "Poincaré plots"), ist die identische Messgröße zum RMSSD (Ciccione et al., 2017). Die Einheit der RMSSD ist Millisekunden (ms). Die relevanten Segmente für die Vorverarbeitung der Herzratenvariabilität, also des RMSSD, entsprechen denen der Herzrate. Ebenfalls wie die Herzrate, wurden auch die Werte des RMSSD In-transformiert, um eine bessere Annäherung an eine Normalverteilung zu erreichen. Im RMSSD gibt es neben

den fehlenden Daten aufgrund der HR (3x aufgrund Technikproblemen, 4x aufgrund Abbruch im TSST-C sowie 2x Ausschluss wegen Messfehlern) weitere 2 Personen, bei denen gar kein RMSSD extrahiert werden konnte und 5 Personen, bei denen einzelne Zeitpunkte nicht evaluierbar waren. Somit ergeben sich hier $n=57$ vollständige Datensätze.

2.5.3 Behaviorale Stressparameter

Das Eye-Tracking wurde als behavioraler Parameter unmittelbar in der tatsächlichen Stresssituation erfasst, also während der fünf Minuten TSST-C Redezeit und der fünf Minuten TSST-C Rechenzeit. Die TSST-C Vorbereitungszeit beinhaltet besonders den antizipatorischen Stress und wird daher in der Betrachtung des Blickverhaltens während Stress, außen vorgelassen.

Für den virtuellen TSST-C wurde das Blickverhalten über den implementierten Eye-Tracker des HMD erfasst. Die Spezifikationen für das Eye-Tracking der HTC Vive Pro Eye umfassen laut Herstellerangaben eine Ausgabefrequenz von 120 Hz (= 120-mal pro Sekunde wird die Position des Auges überprüft), eine Genauigkeit im Bereich von 0.5° - 1.1° in einem Sichtfeld von 20° , sowie eine Verfolgbarkeit der Augenbewegungen über das gesamte Sichtfeld von 110° , ausgenommen bei starkem Make-Up, Augenoperationen, Augenkrankheiten oder starker Kurzsichtigkeit (HTC Corporation, 2022). Die Kalibrierung erfolgte über fünf Punkte. Schütz und Fiehler (2022) überprüften in ihrer Studie die räumliche Genauigkeit sowie die Reliabilität der Kalibrierung, mit dem Ergebnis, dass die offiziellen Produktspezifikationen soweit zutreffen und die Kalibrierung eine hohe Reliabilität aufweist. In der Latenz des Eye-Trackings scheint es jedoch eine Verzögerung von 50 - 58 ms zu geben (Sipatchin et al., 2021; Stein et al., 2021).

Als technische Schnittstelle dient HTC SRanipal SDK (Version V3, HTC Corporation, Taoyuan, Taiwan), bei der eine Kompatibilität mit der verwendeten Unity-Engine gegeben ist. Für die Registrierung der Fixationen in der virtuellen Umgebung wurden fünf dreidimensionale Areas of Interest (AOI) als unsichtbare, begrenzte Boxen implementiert. Die fünf AOIs sind die Gesichter des männlichen (Männlich-Gesicht) und des weiblichen (Weiblich-Gesicht) Avatars, sowie ihre Körper (Weiblich-Körper, Männlich-Körper) und die Kamera (Kamera). Alles außerhalb dieser AOIs entspricht der Umgebung. Zur Definition der x-, y- und z-Dimensionen wurde die maximale

Begrenzung der dreidimensionalen Boxen der einzelnen AOI verwendet (Chiquet et al., 2021). Aus einer Messung wurden Zeitstempel, Blickausgangspunkt, Blickrichtung, Pupillenposition, Pupillengröße und Öffnungsgrad der Augen ausgegeben. Diese wurden für jede Erhebung als CSV-Datei gespeichert, um sie nach dem Erhebungsabschluss weiter zu verarbeiten.

Im realen TSST-C wurde das Blickverhalten mit der Eye-Tracking Brille "Tobii Pro Glasses 2" (Tobii Technology, Danderyd, Schweden) mithilfe von Hornhautreflexion bei dunkler Pupille binokular erfasst. Die Ausgabefrequenz von 100 Hz wurde durch jeweils zwei Kameras pro Auge mit je 50 Hz erreicht. Das Sichtfeld betrug 160°. Die Kalibrierung erfolgte über einen Punkt. Korrekturlinsen wurden nicht verwendet, ebenso wurde auch keine Scheibe in die Brille eingespannt. Die Aufzeichnung wurde über die Software Tobii Pro Glasses Controller (Version 1.114.20033, Tobii 2020) gesteuert, die Daten selbst wurden lokal auf der Aufzeichnungseinheit, mit einem HDMI Kabel mit der Brille verbunden, auf einer SD-Karte gespeichert. Die Daten wurden später übertragen und in die Verarbeitungssoftware Tobii Pro Lab (Version 1.152.30002 (x64), Tobii 2020) importiert. Dort erfolgte die manuelle Vorverarbeitung der Eye-Tracking Aufzeichnung. Hierbei wurde jedes vorhandene Frame der unbearbeiteten Rohdaten als ein Event kodiert. Die sechs Auswahloptionen für das Event waren: Weiblich-Gesicht, Männlich-Gesicht, Weiblich-Körper, Männlich-Körper, Kamera und Umgebung, entsprechend also den fünf AOIs sowie der Umgebung als Alternative zu AOIs. Die Größe des Fixationskreises wurde auf 30 % gestellt. Die kodierten Daten wurden anschließend unter Anwendung des Attention Filters von Tobii Pro Lab als TSV-Datei exportiert, da hierbei dynamische Situationen, wie sich bewegende Versuchspersonen, berücksichtigt werden und zugleich die Vorverarbeitung in Fixationen und Sakkaden erfolgt (Tobii, 2023).

Als Parameter des Blickverhaltens wurde die Blickdauer (engl. gaze duration), also die gesamte Fixationszeit in den jeweiligen AOIs gewählt. Dabei handelt es sich um einen temporären Parameter des Blickverhaltens und im Verlauf wird die Blickdauer in den AOIs in Relation zur gesamten Blickdauer gesetzt. Diese Relativierung der Daten wurde gewählt, um Verzerrungen durch Aufzeichnungsverluste, z. B. bei geschlossenen Augen oder technische Fehler im Tracking, auszuschließen. Durch die Fokussierung auf die Blickdauer werden andere

Informationen des Blickverhaltens wie beispielsweise die Blinzelhäufigkeit oder die Wechselhäufigkeit zwischen den fixierten AOIs vernachlässigt (M.-L. Lai et al., 2013). Für eine erste explorative Untersuchung im Stresskontext erscheint die Blickdauer jedoch als vielversprechendster Parameter (Herten et al., 2017; Vatheuer et al., 2021; Wechsler et al., 2019). Darüber hinaus eignet sich dieser Parameter auch in der Anwendung im virtuellen Kontext (Rappa et al., 2022).

In den Datensätzen des realen Eyetrackings fehlen insgesamt neun Personen ($n = 9$), zwei aufgrund technischer Ausfälle beim Eyetracking, insgesamt sieben wegen Ausschluss aus der Analyse aus verschiedenen Gründen: drei Personen wegen nicht durchführbarer Kalibrierung, weshalb die Daten auch nicht verwertbar waren. Eine Person, da sie auf die eigene Brille unter der Eyetracking-Brille bestand, wodurch die aufgezeichnete Gesamtdauer der Fixationen unter zwei Minuten lag und somit eine hohe Ausfallquote angenommen werden muss, wodurch die vorhandenen Daten nicht mehr valide interpretiert werden können. Zwei Personen haben den TSST-C abgebrochen, aber nicht die Studienteilnahme, wodurch nicht die gleiche Exposition mit den beiden Abschnitten des TSST-C gegeben war und damit auch die Blickverhältnisse nicht mehr vergleichbar waren. Zuletzt wurde eine Person aus der Analyse ausgeschlossen, da kein Mann im Gremium saß und somit die Verteilung der Blickdauer nicht vergleichbar war. Somit reduzierte sich die Stichprobe im realen TSST-C auf $n = 28$.

In den Eyetracking-Daten des virtuellen TSST-Cs fehlt eine Person, aufgrund technischer Probleme: die Software konnte aufgrund eines automatischen Updates nicht mehr auf die Schnittstelle SRanipal zugreifen, weshalb die Daten nicht gespeichert werden konnten. Dieser Fehler wurde im Anschluss behoben und ein erneutes Auftreten unterbunden. Ausgeschlossen wurde eine Person aufgrund eines Abbruchs im TSST-C, wodurch keine Vergleichbarkeit mit den anderen Teilnehmer:innen mehr bestand. Die Stichprobe der virtuellen Blickdaten beinhaltet somit $n = 25$ Personen.

2.6 Ablauf

Die Studie wurde an der Klinik für Kinder- und Jugendpsychiatrie, –psychosomatik und –psychotherapie der Universität Regensburg durchgeführt. Die

Teilnehmer:innen nahmen an zwei Erhebungsterminen teil. Am ersten Termin (T1) wurden die Teilnehmer:innen und ein Elternteil über die Studie aufgeklärt und die schriftliche Einverständniserklärung wurde eingeholt. Darauf folgend wurden die Teilnehmer:innen alleine, also ohne Anwesenheit ihres Elternteils, getestet. Den Elternteilen wurde zudem ein Fragebogen zu Verhaltensauffälligkeiten des Kindes aus Elternsicht (CBCL/6-18R) zur freiwilligen Beantwortung bis spätestens Ende des zweiten Termins mitgegeben. Der T1 beinhaltete ein IQ Screening, ein klinisches Interview und Fragebögen. Die Teilnehmer:innen, bei denen bereits die Menarche eingesetzt hatte, wurden für den zweiten Termin während ihrer Lutealphase geplant, um hier für hormonelle Einflüsse auf die Cortisolreaktion zu kontrollieren (Montero-López et al., 2018). Am zweiten Termin (T2) wurden weitere Fragebögen ausgefüllt sowie der Stress induziert. Abbildung 2 zeigt den detaillierten Ablauf von T1 und T2 sowie die zeitliche Erhebung der Stressparameter über T2 hinweg. Insgesamt belief sich die Erhebung auf einen Zeitumfang von etwa 5.5 – 6 Stunden (T0: 0.5 Stunden; T1: 2.5 Stunden; T2: 2 Stunden, Corona-Testung vor den Terminen: 0.5 Stunden). Die Studie ist Teil eines größeren Projektes mit weiteren Erhebungen, die nicht im Fokus der aktuellen Arbeit stehen. Die genauen Details sind im Studienprotokoll veröffentlicht (Schleicher et al., 2022).

2.7 Statistische Analyse

Mittels *t*-Tests und Mann-Whitney-*U*-Tests wurden Gruppenunterschiede in den Kontrollvariablen überprüft. Eine Äquivalenz in den Kontrollvariablen bei den Gruppen wurde mittels TOST (Two One-Sided Tests, Lakens et al., 2018) Verfahren mit Welch's *t*-Test überprüft. Mit ANOVAs (Analysis of Variances [Varianzanalyse]) mit Messwiederholung wurden die Stressreaktionen in den verschiedenen Stressparametern (Cortisol, Alpha Amylase, HR, RMSSD, VAS, STADI-State) als abhängige Variable, dem Zwischensubjektfaktor TSST-C Bedingung (IV oder VR) über die verschiedenen Erhebungszeitpunkte (Zeit) und Geschlecht als unabhängige Variable berechnet. Pubertätsstatus (PDS) wurde als Kovariate für die ANOVAs mit Messwiederholung bei Cortisol und Alpha Amylase gewählt, da der PDS Zusammenhänge bei diesen Parametern nach der Stressinduktion zeigte, jedoch ist die Interkorrelation von PDS und Alter hoch, weshalb nur der PDS mit den höheren Zusammenhängen in die Analyse einbezogen wurde und nicht zusätzlich das Alter.

Die Stressparameter (Cortisol, Alpha Amylase, HR, RMSSD, VAS_{Stress}) sowie die subjektive Angst (VAS_{Angst}) wurden alle für die Berechnung der ANOVAs aufgrund der Verletzung der Normalverteilung ln-transformiert, um eine bessere Annäherung an diese zu erreichen. Greenhouse-Geisser Korrekturen wurden verwendet, wenn die Annahme der Sphärizität nicht erfüllt wurde. Signifikante Interaktionseffekte wurden mittels (gepaarten) t -Tests oder Kruskal-Wallis Tests untersucht. Äquivalenztests in der Stressreaktion wurden bei den Parametern durchgeführt, die in den ANOVAs keine Unterschiede in der TSST-C Bedingung zeigten, die Äquivalenzgrenzen wurden gemäß der Empfehlung von Lakens (2017) mit einer Effektstärke von $d = 0.8$ für die Stichprobengröße von $n = 34$ pro Gruppe, einer Power von 90 % und einem Alpha von .05 definiert. Als Effektgrößen wurden das partielle eta Quadrat (η_p^2) und Cohens d verwendet. Dabei wurden beim partiellen eta Quadrat 0.01 als kleiner, 0.06 als mittlerer und 0.14 als großer Effekt bewertet. Bei Cohens d wurde 0.2 als kleiner, 0.5 als mittlerer und 0.8 als großer Effekt eingeordnet. Bi-variate Korrelationen (nonparametrisch: Kendalls τ) wurden zur Überprüfung der Zusammenhänge der Stressreaktionen und VR-spezifischen Faktoren (VR Krankheit und erlebte Präsenz) genutzt. Mittels FDR (false discovery rate) wurde für multiple Vergleiche kontrolliert (Benjamini & Hochberg, 1995) und korrigierte p -Werte sind mit ‚ p_{kor} ‘ gekennzeichnet. Alle statistischen Analysen außer den Äquivalenztests wurden mit der Software IBM SPSS Statistics, Version 28.0 für Windows, durchgeführt. Die Äquivalenztests wurden mit der Software TOSTER 0.4.0 und Module in jamovi, Version 2.3.28 für Windows, durchgeführt. Das Signifikanzniveau wurde auf $\alpha = .05$ gesetzt.

3. Ergebnisse

3.1 Überprüfung der Kontrollvariablen

3.1.1 Demografische Vergleiche

Beim Vergleich der demografischen Eigenschaften Alter, Geschlecht, IQ und BMI mit potentielltem Einfluss auf die Stressreaktion der beiden Gruppen zeigten sich in *t*-Tests kein signifikanter Unterschied, die Äquivalenz konnte zudem im nächsten Schritt in diesen Parameter über die Gruppen bestätigt werden (alle $p < .028$). Der Pubertätsstatus unterschied sich ebenfalls nicht signifikant über die Gruppen ($p = .861$). Lediglich in der besuchten Schulform unterschieden sich die beiden Gruppen signifikant ($p = .029$). Die Details zu den demografischen Vergleichen sind in Tabelle 1 abgebildet.

3.1.2 Psychometrische Vergleiche

Auch bei den psychometrischen Eigenschaften, die möglicherweise die Stressreaktion beeinflussen könnten, gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen, diese Ergebnisse sind in Tabelle 2 abgebildet.

Tabelle 2

Psychometrische Eigenschaften der Stichprobe und Gruppenvergleiche.

| Fragebogen <i>n</i> Skala <i>M</i> (<i>SD</i>) Spannweite | Gesamt- stichprobe | Gruppe | | Gruppen- vergleiche |
|---|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | | IV-TSST-C | VR-TSST-C | |
| Trauma (CTQ-SF) | 71 | 36 | 35 | |
| Gesamtwert | 31.01 (5.77) 25 – 51 | 31.14 (4.30) 25 – 41 | 30.89 (7.04) 25 – 51 | $Z = -1.40,$ $p = .161$ |
| Temperament (JTCI 12-18 R) | 73 | 37 | 36 | |
| Neugierverhalten | 28.16 (5.93) 16 – 41.50 | 28.20 (5.75) 18.50 – 41 | 28.13 (6.19) 16 – 41.50 | $Z = -0.27,$ $p = .786$ |
| Schadensvermeidung | 21.84 (8.75) 3 – 41 | 23.36 (8.86) 3 – 41 | 20.28 (8.48) 3 – 38 | $Z = -1.84,$ $p = .264$ |
| Belohnungsabhängigkeit | 37.97 (7.64) 20 – 57.50 | 38.72 (6.74) 24 – 53 | 37.19 (8.49) 20 – 57.50 | $Z = -0.98,$ $p = .451$ |
| Beharrungsvermögen | 30.47 (4.17) 20 – 40 | 30.93 (4.33) 24 – 40 | 30.00 (4.00) 20 – 38 | $Z = -0.96,$ $p = .451$ |

| Fragebogen <i>n</i> Skala <i>M</i> (<i>SD</i>) Spannweite | Gesamt- stichprobe | Gruppe | | Gruppen- vergleiche |
|---|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | | IV-TSST-C | VR-TSST-C | |
| Persönlichkeit (BFI-10) | | | | |
| Neurotizismus | 2.75 (1.12) 1 – 5 | 3.01 (1.07) 1 – 5 | 2.49 (1.12) 1 – 5 | $Z = -2.04,$ $p = .205$ |
| Extraversion | 3.35 (1.02) 1 – 5 | 3.17 (1.02) 1 – 5 | 3.53 (0.99) 1.5 – 5 | $Z = -1.61,$ $p = .245$ |
| Offenheit | 3.56 (1.08) 1 – 5 | 3.38 (1.12) 1 – 5 | 3.74 (1.02) 1.5 – 5 | $Z = -1.45,$ $p = .245$ |
| Verträglichkeit | 3.59 (0.94) 1.5 – 5 | 3.57 (1.02) 1.5 – 5 | 3.61 (0.86) 1.5 – 5 | $Z = -0.02,$ $p = .982$ |
| Gewissenhaftigkeit | 3.39 (0.95) 1.5 – 5 | 3.27 (1.04) 1.5 – 5 | 3.51 (0.85) 1.5 – 5 | $Z = -1.10,$ $p = .340$ |
| Verhaltensauffälligkeiten | | | | |
| Elternrating (CBCL/6-18R) | 67 | 34 | 33 | |
| Internale Probleme | 5.72 (5.90) 0 – 26 | 5.61 (6.25) 0 – 26 | 5.82 (5.61) 0 – 18 | $Z = -0.32,$ $p = .753$ |
| Externale Probleme | 3.79 (4.78) 0 – 23 | 4.09 (5.14) 0 – 23 | 3.48 (4.43) 0 – 15 | $Z = -3.32,$ $p = .746$ |
| Gesamtauffälligkeit | 15.63 (14.07) 0 – 57 | 16.12 (15.54) 0 – 57 | 15.12 (12.60) 1 – 52 | $Z = -0.13,$ $p = .900$ |
| Selbsteinschätzung (YSR/11-18R) | 73 | 37 | 36 | |
| Internale Probleme | 9.63 (6.29) 1 – 30 | 10.49 (5.82) 1 – 24 | 8.75 (6.70) 10 – 30 | $Z = -1.60,$ $p = .110$ |
| Externale Probleme | 12.15 (4.79) 5 – 27 | 12.78 (4.79) 5 – 25 | 11.50 (4.77) 6 – 27 | $Z = -0.13,$ $p = .201$ |
| Gesamtauffälligkeit | 26.25 (15.76) 0 – 69 | 29.41 (16.17) 1 – 69 | 23.00 (14.85) 0 – 61 | $Z = -1.93,$ $p = .053$ |
| Ängstlichkeit (BAI) | 73 | 37 | 36 | |
| Gesamtwert | 8.53 (8.13) 0 – 37 | 8.19 (7.23) 0 – 24 | 8.89 (9.06) 0 – 37 | $Z = -0.07,$ $p = .947$ |
| Angst- und Depressions- eigenschaften (STADI) | 73 | 37 | 36 | |
| Gesamtwert | 35.45 (8.26) 21 – 58 | 36.35 (8.17) 21 – 54 | 34.53 (8.36) 22 – 58 | $Z = -1.08,$ $p = .279$ |
| Stress und Stress- bewältigung (SSKJ 3-8 R) | 73 | 37 | 36 | |
| Stressvulnerabilität | 19.38 (3.84) 10 – 25 | 19.59 (3.68) 10 – 25 | 19.17 (4.03) 11 – 25 | $Z = -0.58$ $p = .564$ |
| Alexithymie (AQC-G) | 72 | 37 | 35 | |
| Gesamtwert | 0.60 (0.23) 0.00 – 1.30 | 0.67 (0.31) 0.16 – 1.30 | 0.53 (0.27) 0.00 – 1.05 | $Z = -1.80,$ $p = .072$ |

IV-TSST-C = Versuchspersonen mit realem Trier Sozialem Stress Test für Kinder; VR-TSST-C = Versuchspersonen mit virtuellem Trier Sozialem Stress Test für Kinder. Möglicher Werterange für die verwendeten Fragebögen: CTQ-SF = Childhood Trauma Questionnaire – Short Version (Wert im Bereich 25 – 125); JTCI 12-18 R = Junior-Temperament und Charakter-Inventar (Werte ab 0, bis 60 für Neugierverhalten, bis 52 für Schadensvermeidung, bis 72 für

Belohnungsabhängigkeit, bis 56 bei Beharrungsvermögen); BFI-10 = Big-Five-Inventory (Werte der Skalen im Bereich 1 – 5); CBCL/6-18R / YSR/11-18R = Deutsche Schulalter-Formen der Child Behavior Checklist (Werte der Skala „internale Probleme“ im Bereich 0 – 64 für CBCL/6-18R und 0 – 62 für YSR/11-18R, Werte der Skala „externale Probleme“ im Bereich 0 – 70 für CBCL/6-18R und 0 – 64 für YSR/11-18R, Werte der Skala „Gesamtauffälligkeit“ im Bereich 0 – 226 für CBCL/6-18R und 0 – 196 für YSR/11-18R); BAI = Beck-Angst-Inventar (Werte im Bereich 0 – 84); STADI = State-Trait-Angst-Depressions-Inventar (Werte im Bereich 20 – 80); SSKJ 3-8 R = Fragebogen zur Erhebung von Stress und Stressbewältigung im Kindes- und Jugendalter – Revision (Werte der Subskala im Bereich 7 – 28); AQC-G = Alexithymia Questionnaire for Children - German Version (Werte im Bereich 0 – 2, mit auffälligen Werten ab 1.22). In allen Fragebögen zu Symptomen repräsentieren höhere Werte eine höhere Belastung. Fehlende Werte entstanden durch nicht beantwortete Fragen in den Fragebögen. Gruppenvergleiche wurden anhand Mann-Whitney-*U*-Tests durchgeführt.

3.2 Stressreaktionen auf den TSST-C

Die Ergebnisse der ANOVAs mit Messwiederholung über die verschiedenen Stressparameter sind in Tabelle 3 abgebildet. Auf die spezifischen Stressparameter wird im Verlauf eingegangen.

Tabelle 3
ANOVAs der verschiedenen Stressparameter.

| | SS | df | MS | F | p | η_p^2 |
|----------------------------|--------------|-------------|--------------|--------------|-----------------|-------------|
| ANOVA Cortisol | | | | | | |
| Zeit | 3.15 | 1.70 | 1.85 | 2.54 | .092 | 0.04 |
| Zeit*PDS | 0.86 | 1.70 | 0.51 | 0.69 | .480 | 0.01 |
| Zeit*Gruppe | 13.04 | 1.70 | 7.67 | 10.53 | <.001 | 0.13 |
| Zeit*Geschlecht | 1.83 | 1.70 | 1.08 | 1.48 | .233 | 0.02 |
| Zeit*Gruppe*Geschlecht | 0.38 | 1.70 | 0.23 | 0.31 | .698 | <0.01 |
| Fehler | 84.24 | 115.66 | 0.73 | | | |
| PDS | 20.52 | 1.00 | 20.52 | 6.06 | .016 | 0.08 |
| Gruppe | 79.93 | 1.00 | 79.93 | 23.61 | <.001 | 0.26 |
| Geschlecht | 4.52 | 1.00 | 4.52 | 1.34 | 0.252 | 0.02 |
| Gruppe*Geschlecht | 1.98 | 1.00 | 1.98 | 0.58 | 0.447 | 0.01 |
| ANOVA Alpha Amylase | | | | | | |
| Zeit | 9.00 | 5.80 | 1.55 | 5.55 | <.001 | 0.08 |
| Zeit*PDS | 3.96 | 5.80 | 0.68 | 2.44 | .027 | 0.04 |
| Zeit*Gruppe | 1.66 | 5.80 | 0.29 | 1.02 | .408 | 0.02 |
| Zeit*Geschlecht | 2.90 | 5.80 | 0.50 | 1.79 | .103 | 0.03 |
| Zeit*Gruppe*Geschlecht | 0.70 | 5.80 | 0.12 | 0.43 | .852 | 0.01 |
| Fehler | 102.21 | 365.60 | 0.28 | | | |
| PDS | 11.24 | 1 | 11.24 | 4.514 | .038 | 0.07 |
| Gruppe | 0.59 | 1 | 0.59 | 0.237 | .628 | <0.01 |
| Geschlecht | 1.26 | 1 | 1.26 | 0.504 | .480 | 0.01 |
| Gruppe*Geschlecht | 1.45 | 1 | 1.45 | 0.584 | .448 | 0.01 |

| | SS | df | MS | F | p | η_p^2 |
|---|---------------|-------------|---------------|---------------|-----------------|-------------|
| ANOVA Herzrate | | | | | | |
| Zeit | 4.35 | 2.25 | 1.94 | 203.71 | <.001 | 0.77 |
| Zeit*Gruppe | 0.04 | 2.25 | 0.02 | 1.90 | .149 | 0.03 |
| Zeit*Geschlecht | 0.06 | 2.25 | 0.03 | 2.99 | .048 | 0.05 |
| Zeit*Gruppe*Geschlecht | 0.00 | 2.25 | <0.01 | 0.18 | .856 | <0.01 |
| Fehler | 1.28 | 134.67 | 0.01 | | | |
| Gruppe | 0.32 | 1 | 0.32 | 3.45 | .068 | 0.05 |
| Geschlecht | 0.10 | 1 | 0.10 | 1.12 | .294 | 0.02 |
| Gruppe*Geschlecht | <0.01 | 1 | <0.01 | 0.03 | .873 | <0.01 |
| ANOVA RMSSD | | | | | | |
| Zeit | 48.88 | 2.67 | 18.30 | 88.67 | <.001 | 0.63 |
| Zeit*Gruppe | 0.86 | 2.67 | 0.32 | 1.55 | .208 | 0.03 |
| Zeit*Geschlecht | 0.72 | 2.67 | 0.27 | 1.30 | .277 | 0.02 |
| Zeit*Gruppe*Geschlecht | 0.42 | 2.67 | 0.16 | 0.76 | .507 | 0.01 |
| Fehler | 29.22 | 318 | 0.09 | | | |
| Gruppe | 0.09 | 1 | 0.09 | 0.06 | .807 | <0.01 |
| Geschlecht | 2.26 | 1 | 2.26 | 1.52 | .223 | 0.03 |
| Gruppe*Geschlecht | 0.26 | 1 | 0.26 | 0.18 | .676 | <0.01 |
| ANOVA Subjektiver Stress (VAS) | | | | | | |
| Zeit | 72.20 | 4.59 | 15.73 | 54.31 | <.001 | 0.44 |
| Zeit*Gruppe | 1.62 | 4.59 | 0.35 | 1.22 | .301 | 0.02 |
| Zeit*Geschlecht | 2.64 | 4.59 | 0.57 | 1.98 | .087 | 0.03 |
| Zeit*Gruppe*Geschlecht | 0.48 | 4.59 | 0.10 | 0.36 | .863 | 0.01 |
| Fehler | 91.73 | 316.73 | 0.29 | | | |
| Gruppe | 4.74 | 1 | 4.74 | 5.01 | .029 | 0.07 |
| Geschlecht | 7.76 | 1 | 7.76 | 8.19 | .006 | 0.11 |
| Gruppe*Geschlecht | 0.04 | 1 | 0.04 | 0.04 | .842 | <0.01 |
| ANOVA Subjektive Angst (VAS) | | | | | | |
| Zeit | 28.07 | 4.10 | 6.85 | 30.99 | <.001 | 0.31 |
| Zeit*Gruppe | 3.82 | 4.10 | 0.93 | 4.21 | .002 | 0.06 |
| Zeit*Geschlecht | 3.19 | 4.10 | 0.78 | 3.52 | .008 | 0.05 |
| Zeit*Gruppe*Geschlecht | 0.51 | 4.10 | 0.12 | 0.56 | .698 | 0.01 |
| Fehler | 62.51 | 282.94 | 0.22 | | | |
| Gruppe | 1.92 | 1 | 1.93 | 2.73 | .103 | 0.04 |
| Geschlecht | 5.23 | 1 | 5.23 | 7.41 | .008 | 0.10 |
| Gruppe*Geschlecht | 0.05 | 1 | 0.05 | 0.07 | .797 | <0.01 |
| ANOVA Subjektiver Stress (STADI) | | | | | | |
| Zeit | 183.13 | 1.00 | 183.13 | 7.11 | .010 | 0.10 |
| Zeit*Gruppe | 5.92 | 1.00 | 5.92 | 0.23 | .633 | <0.01 |
| Zeit*Geschlecht | 251.94 | 1.00 | 251.94 | 9.79 | .003 | 0.13 |
| Zeit*Gruppe*Geschlecht | 0.13 | 1.00 | 0.13 | 0.01 | .944 | <0.01 |
| Fehler | 1724.92 | 67.00 | 25.75 | | | |
| Gruppe | 360.33 | 1 | 360.33 | 4.74 | .033 | 0.07 |
| Geschlecht | 180.22 | 1 | 180.22 | 2.37 | .128 | 0.03 |
| Gruppe*Geschlecht | 24.95 | 1 | 24.95 | 0.33 | .569 | 0.01 |

SS = Typ III Summe der Quadrate, *df* = Freiheitsgrade, *MS* = Mittleres Quadrat, η_p^2 = partielles eta Quadrat, PDS = selbstberichteter Pubertätsstatus der Pubertal Development Scale, VAS = Visuelle Analogskala, STADI = Angst- und Depressions-State-Wert des State-Trait-Angst-Depressions-Inventars, Gruppe – realer Trier Sozialer Stress Test für Kinder / virtueller Trier Sozialer Stress Test für Kinder. Signifikante Effekte sind durch Fettdruck hervorgehoben.

3.2.1 Physiologische Stressparameter

3.2.1.1 Cortisol

Die Cortisolreaktion über den T2 hinweg (Abb. 3) zeigte, dass in beiden Gruppen nach der zeitlichen Latenz der Cortisolausschüttung der Spiegel nach dem TSST-C anstieg und anschließend wieder abfiel. Es kann bereits deskriptiv beobachtet werden, dass die Cortisolkonzentration der IV-Gruppe grundsätzlich über der der VR-Gruppe lag. In den anschließenden Analysen der Effekte zeigte sich, dass die IV Bedingung signifikant höhere Cortisolkonzentrationen ab der Baseline-Messung aufwies, als die VR Bedingung (0 Min – 80 Min; alle $t > 2.13$; alle $p_{\text{korrr}} < .042$, $d = [0.49; 1.19]$). Die Gruppen unterschieden sich nicht signifikant bei ihrer Ankunft (-30 Min; $t = 1.67$; $p_{\text{korrr}} = .100$, $d = 0.39$). Auffallend ist jedoch auch das Ende des Testtermins, da sich die Gruppen hier noch signifikant unterschieden und deskriptiv auch stark divergierten. Hier zeigte ein gepaarter t -Test, dass in der IV Bedingung ein signifikanter Unterschied zwischen den Cortisolkonzentrationen von 0 und 80 Min vorlag ($t(36) = -3.23$, $p = .001$, $d = -0.53$), während sich die Werte in der VR Bedingung von 0 und 80 Min nicht signifikant unterschieden ($t(35) = 0.71$, $p = .242$, $d = 0.12$).

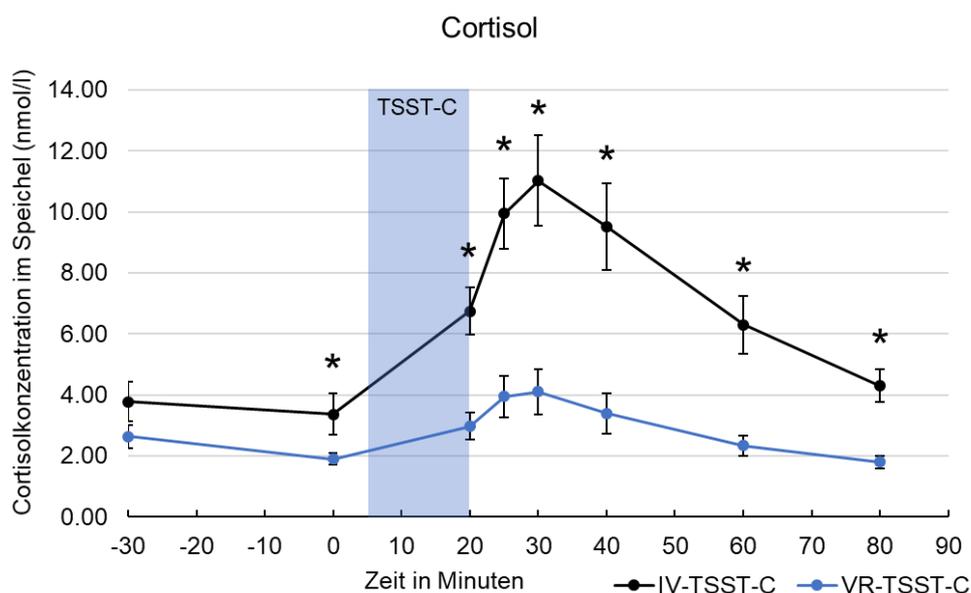


Abb. 3. Stressreaktion im Cortisol. Der Zeitraum des Stressparadigmas ist blau hinterlegt; TSST-C = Trier Sozialer Stress Test für Kinder; IV-TSST-C = Trier Sozialer Stress Test für Kinder in realer Umgebung; VR-TSST-C = Trier Sozialer Stress Test für Kinder in virtueller Umgebung. Fehlerbalken stellen Standardfehler dar. Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen über alle Erhebungszeitpunkte sind mit einem Sternchen markiert.

Zwischen den PDS Werten zeigten sich signifikante Unterschiede im Cortisol in der post-hoc Analyse ($Z = 10.81$, $p = .029$, $d = 0.67$). Eine deskriptive Übersicht der gesamten Cortisolausschüttung abhängig vom Pubertätsstatus ist in Abbildung 4 dargestellt.

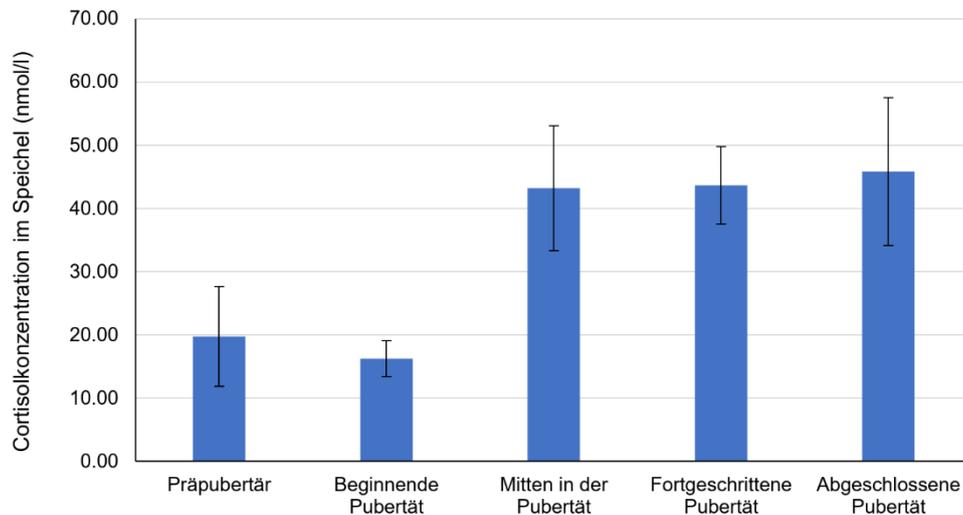


Abb. 4. Cortisolreaktion abhängig vom Pubertätsstatus.

Bei der deskriptiven Betrachtung der Responder-Raten im Sinne eines bedeutsamen Anstiegs (>1.5 nmol/l) der Cortisolkonzentration im Speichel über den T2 hinweg konnte festgestellt werden, dass die IV-Gruppe eine Rate von 81.10 % aufwies, während die VR-Gruppe nur 38.90 % Responder hatte.

3.2.1.2 Alpha Amylase

Die Konzentration der Alpha Amylase im Speichel über den T2 hinweg (Abb. 5) verlief deskriptiv sehr ähnlich, bis auf den Messzeitpunkt unmittelbar nach dem TSST-C (20 Min), hier divergierten die Teilnehmer:innen stärker auseinander, wobei zugleich die Streuung im Sinne der Standardfehler zunahm. Insgesamt stieg bei den Teilnehmer:innen die Konzentration der Alpha Amylase im Speichel nach dem TSST-C an, während sie im Anschluss wieder abfiel. In der Inferenzstatistik zeigte sich kein signifikanter Gruppenunterschied, anschließend konnte die Äquivalenz der beiden Gruppen festgestellt werden ($t(65.5) = -1.90$, $p = .031$). In den post-hoc Analysen zeigten sich zwischen den PDS Werten in der Alpha Amylase allgemein keine

signifikanten Unterschiede ($Z = 3.89$, $p = .422$, $d = 0.09$), ebenso zeigten sich keine signifikanten Unterschiede in den verschiedenen Zeitpunkten in der Alpha Amylase abhängig vom Pubertätsstatus (alle $Z < 7.30$, alle $p > .121$).

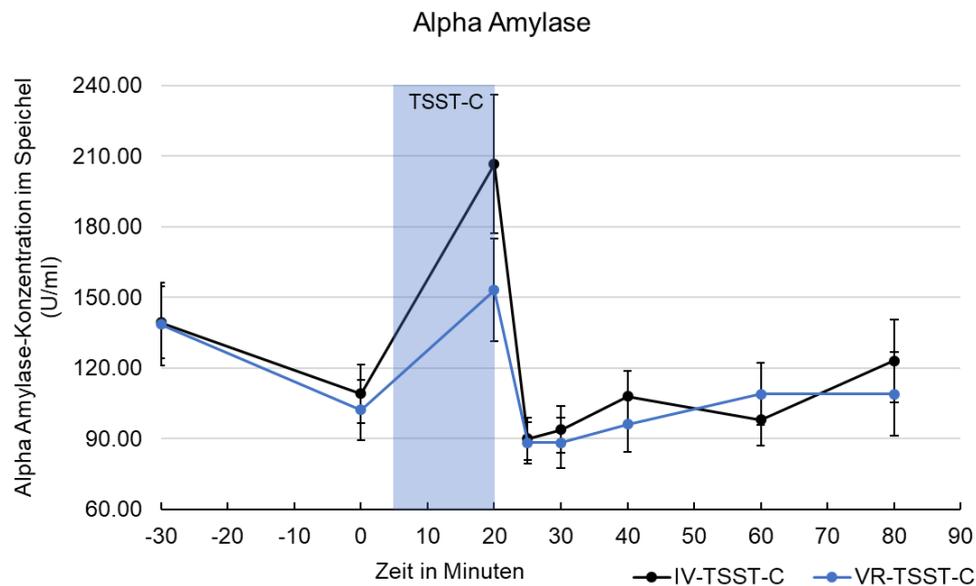


Abb. 5. Stressreaktion in der Alpha Amylase. Der Zeitraum des Stressparadigmas ist blau hinterlegt; TSST-C = Trier Sozialer Stress Test für Kinder; IV-TSST-C = Trier Sozialer Stress Test für Kinder in realer Umgebung; VR-TSST-C = Trier Sozialer Stress Test für Kinder in virtueller Umgebung. Fehlerbalken stellen Standardfehler dar.

3.2.1.3 Herzrate

Die Herzrate stieg in beiden Gruppen zum TSST-Cs an und fiel anschließend wieder auf das Ausgangsniveau (Abb. 6). Über die einzelnen Zeitpunkte unterschied sich die Herzrate bezogen auf das Geschlecht der Teilnehmer:innen nicht (alle $t < -0.17$, alle $p_{\text{korrr}} > .284$). In der Inferenzstatistik zeigte sich kein signifikanter Unterschied in den HR-Werten zwischen den Gruppen über die Testung hinweg, jedoch konnte anschließend auch keine Äquivalenz festgestellt werden ($t(65.5) = -1.37$, $p = .088$).

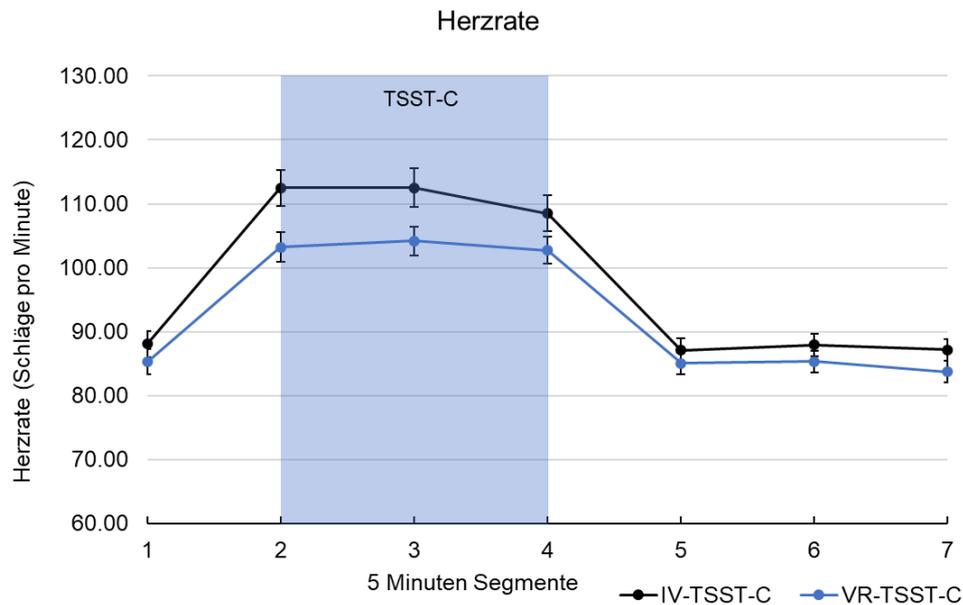


Abb. 6. Stressreaktion in der Herzrate Segment 1 entspricht der Baseline, Segmente 2 – 4 der Zeit während dem Stressparadigma und 5 – 7 der Erholung danach. Der Zeitraum des Stressparadigmas ist blau hinterlegt; TSST-C = Trier Sozialer Stress Test für Kinder; IV-TSST-C = Trier Sozialer Stress Test für Kinder in realer Umgebung; VR-TSST-C = Trier Sozialer Stress Test für Kinder in virtueller Umgebung. Fehlerbalken stellen Standardfehler dar.

3.2.1.4 Herzratenvariabilität (RMSSD)

Ähnlich zur Herzrate sieht man bei den RMSSD-Werten über den T2 hinweg (Abb. 7), dass beide Gruppen mit einem ähnlichen Level starteten, dieses über den TSST-C abfiel und in der Erholungszeit wieder ähnlich stieg. In der Inferenzstatistik zeigte sich kein signifikanter Unterschied in den RMSSD-Werten zwischen den Gruppen über die Testung hinweg, jedoch konnte anschließend auch keine Äquivalenz festgestellt werden ($t(59.3) = 1.57, p = .061$).

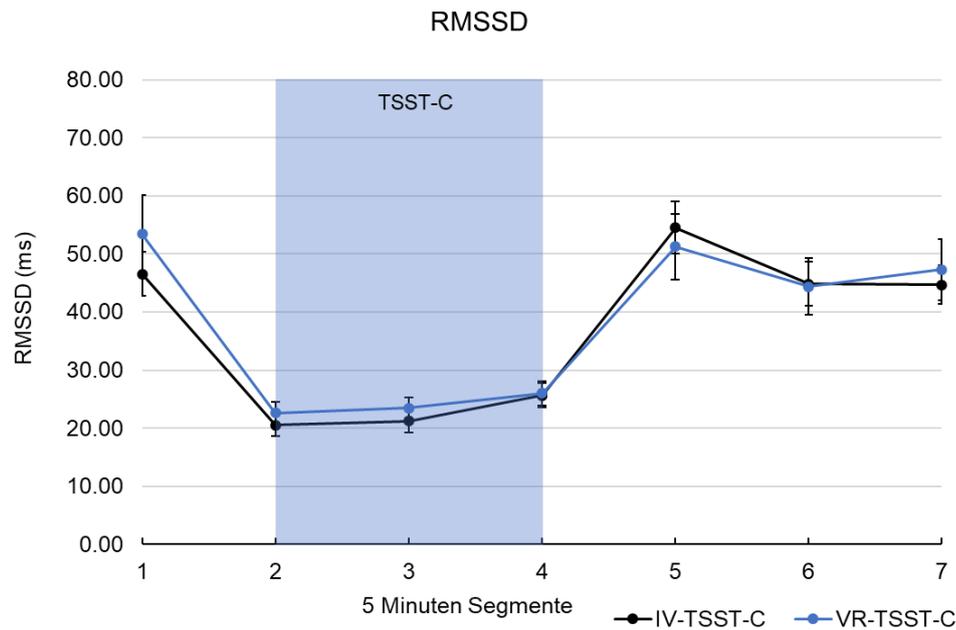


Abb. 7. Stressreaktion in der Herzratenvariabilität (RMSSD). Segment 1 entspricht der Baseline, Segmente 2 – 4 der Zeit während dem Stressparadigma und 5 – 7 der Erholung danach. Der Zeitraum des Stressparadigmas ist blau hinterlegt; RMSSD = root mean square of successive differences; TSST-C = Trier Sozialer Stress Test für Kinder; IV-TSST-C = Trier Sozialer Stress Test für Kinder in realer Umgebung; VR-TSST-C = Trier Sozialer Stress Test für Kinder in virtueller Umgebung. Fehlerbalken stellen Standardfehler dar.

3.2.2 Psychologische Stressparameter

3.2.2.1 Visuelle Analogskalen (VAS)

Im subjektiv berichteten Stress via Visueller Analogskalen (Abb. 8) war zu beobachten, dass das Ausgangsniveau beider Gruppen bei Beginn der Vorbereitungsphase deskriptiv bereits voneinander abwich und nach dem TSST-C noch stärker divergierte. Dabei lag die akute Stressreaktion zwischen Beginn der Vorbereitungsphase (5 min) und Ende des TSST-Cs (20 min) für die reale Bedingung bei $M_{\Delta} = 1.38$, $SD_{\Delta} = 3.09$ und für die virtuelle Bedingung bei $M_{\Delta} = 1.08$, $SD_{\Delta} = 2.23$. Über die Teilnehmer:innen beider Bedingungen hinweg wurde die Spannweite der VAS ausschließlich unmittelbar nach dem TSST-C (20 min) ausgenutzt. In der Häufigkeitsverteilung zeigte sich, dass in der IV-Bedingung $n = 3$ Teilnehmer:innen gar keinen Stress nach dem TSST-C (20 min) berichteten, während in der VR-Bedingung $n = 6$ keinen Stress berichteten. In den post-hoc Analysen zeigte sich eine generell höhere Stressantwort (Summe aller VAS_{Stress}-Antworten) bei der realen statt der

virtuellen Bedingung (IV: $M = 20.81$, $SD = 7.40$; VR: $M = 16.97$, $SD = 6.87$, $t(71) = 2.30$, $p = .024$, $d = 0.54$). In der explorativen Betrachtung spezifischer Stresszeitpunkte (0, 5 und 20 Min) zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen ab der Antizipationsphase des TSST-C (5 Min: $t(71) = 2.18$, $p_{\text{korrr}} = .039$, $d = 0.51$, 20 Min: $t(71) = 1.98$, $p_{\text{korrr}} = .039$, $d = 0.46$), jedoch nicht vor dem TSST-C (0 min: $t(71) = 0.88$, $p_{\text{korrr}} = .206$, $d = 0.21$). Zusätzlich zeigte sich ein signifikanter Unterschied der generellen Stressantwort (Summe aller VAS_{Stress} -Antworten) im Geschlecht ($t(71) = -2.56$, $p = .007$, $d = -0.62$), Teilnehmerinnen hatten höhere Werte ($M = 20.54$, $SD = 7.84$) als Teilnehmer ($M = 16.15$, $SD = 5.50$).

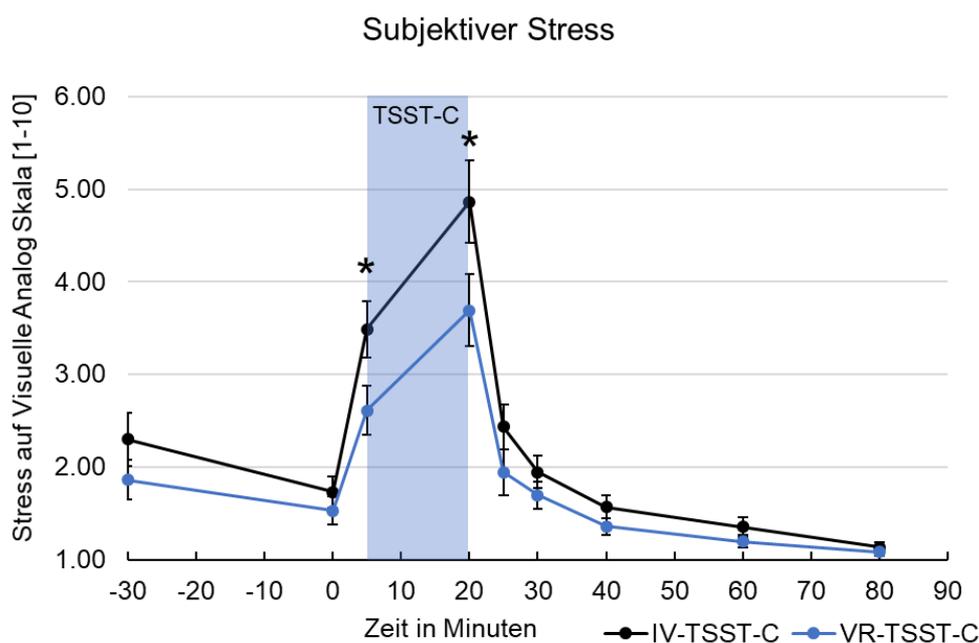


Abb. 8. Stressreaktion in der subjektiven Antwort (VAS_{Stress}). Der Zeitpunkt 0 Minuten steht für „vor dem Stressparadigma“, der Zeitpunkt 5 Minuten steht für „Antizipation des Stressparadigmas“, da die Teilnehmer:innen die Aufgabe kennen, aber sie noch nicht durchgeführt haben, der Zeitpunkt 20 Minuten steht für „nach dem Stressparadigma“, der gesamte Zeitraum des Stressparadigmas ist blau hinterlegt; TSST-C = Trier Sozialer Stress Test für Kinder; IV-TSST-C = Trier Sozialer Stress Test für Kinder in realer Umgebung; VR-TSST-C = Trier Sozialer Stress Test für Kinder in virtueller Umgebung. Fehlerbalken stellen Standardfehler dar. Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen in den Stresszeitpunkten 0, 5 und 20 Minuten sind mit einem Sternchen markiert.

Die subjektiv berichtete Traurigkeit über den T2 hinweg (Abb. 9) zeigt, dass diese Emotion wenig über die Stichprobe hinweg ausgeprägt war. In der Betrachtung der Häufigkeiten zwischen den Gruppen zeigte sich, dass in der realen Bedingung mit

29.70 % unmittelbar nach dem TSST-C etwas öfter von vorhandener Traurigkeit in irgendeiner Ausprägung berichtet wurde als in der virtuellen Bedingung mit 25.00 %. Hier war zudem zu beobachten, dass es bei den Personen mit Traurigkeit eine größere Spannweite, bis 7 in der IV-Bedingung und bis 9 in der VR-Bedingung, gab.

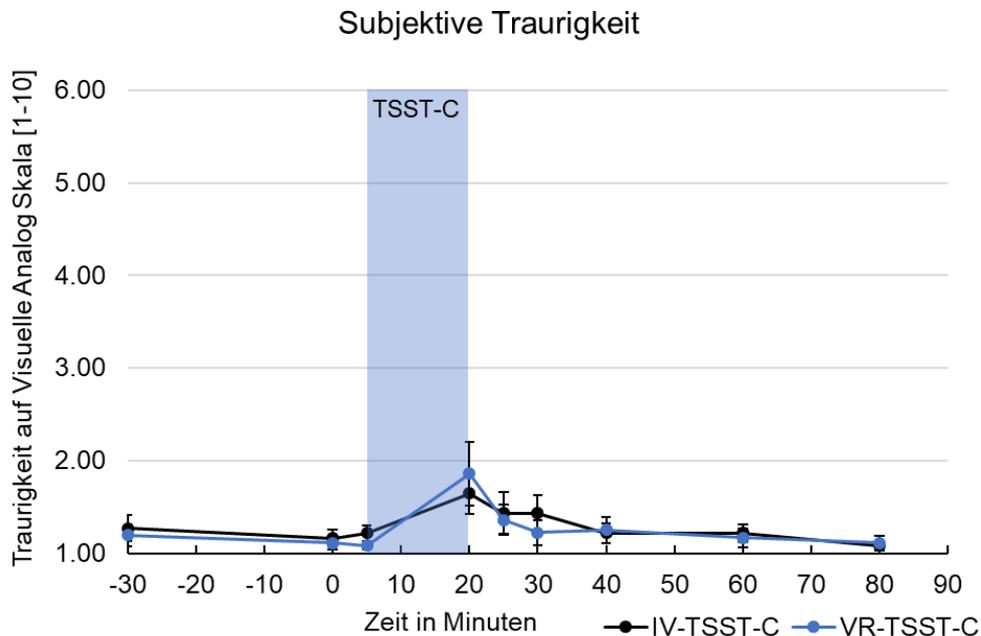


Abb. 9. Stressreaktion in der subjektiven Antwort ($VAS_{\text{Traurigkeit}}$). Der Zeitpunkt 0 Minuten steht für „vor dem Stressparadigma“, der Zeitpunkt 5 Minuten steht für „Antizipation des Stressparadigmas“, da die Teilnehmer:innen die Aufgabe kennen, aber sie noch nicht durchgeführt haben, der Zeitpunkt 20 Minuten steht für „nach dem Stressparadigma“, der gesamte Zeitraum des Stressparadigmas ist blau hinterlegt; TSST-C = Trier Sozialer Stress Test für Kinder; IV-TSST-C = Trier Sozialer Stress Test für Kinder in realer Umgebung; VR-TSST-C = Trier Sozialer Stress Test für Kinder in virtueller Umgebung. Fehlerbalken stellen Standardfehler dar.

Die subjektiv berichtete Angst zeigte deskriptiv (Abb. 10), ebenfalls wie der Stress, einen Unterschied zwischen den Gruppen unmittelbar vor der Vorbereitungsphase (5 Min). Dieses Level von Beginn zu Ende des TSST-Cs wurde scheinbar in beiden Gruppen annähernd gehalten. (IV: $M_{\Delta} = 0.19$, $SD_{\Delta} = 1.82$; VR: $M_{\Delta} = 0.03$, $SD_{\Delta} = 1.52$). In der Häufigkeitsverteilung zeigte sich jedoch, dass in der realen Bedingung 67.60 % von irgendeiner Angstaussprägung berichteten, während es in der virtuellen Bedingung nur 41.70 % waren. In den post-hoc Analysen des Interaktionseffekts Zeit x Gruppe (IV vs. VR) zeigte sich nach Korrektur der p -Werte, dass es nur ein signifikant höheres Angstrating in der IV Gruppe gegenüber der VR

Gruppe bei Ankunft (-30 Min: $t(56.09) = 3.05$, $p_{\text{korrr}} = .036$, $d = 0.71$) gab, in allen weiteren Zeitpunkte unterschieden sich die Gruppen nicht signifikant (0 Min – 80 Min; alle $t < 2.46$; alle $p_{\text{korrr}} > .072$, $d = [-0.24; 0.58]$). Zudem zeigte sich ein signifikanter Unterschied des generellen Angstlevels (Summe aller VAS_{Angst} -Antworten) im Geschlecht ($t(71) = -3.25$, $p = .002$, $d = -0.65$), Teilnehmerinnen hatten höhere Werte ($M = 15.48$, $SD = 6.97$) als Teilnehmer ($M = 11.67$, $SD = 2.95$). Bei der genaueren Betrachtung der Interaktion von Zeit x Geschlecht zeigte sich, dass die Teilnehmerinnen während des Stressparadigmas und an zwei anschließenden Zeitpunkten (5 Min – 30 Min: alle $t < -2.29$, alle $p_{\text{korrr}} < .045$, $d = [-0.68; -0.53]$), sowie nochmal bei 60 Min: $t(45) = -2.54$, $p_{\text{korrr}} = .034$, $d = -0.47$) mehr Angst berichteten, als die Teilnehmer. Zu den anderen Zeitpunkten unterschieden sich die Angst-Ratings nicht signifikant zwischen den Geschlechtern (-30, 0, 40, 80 Min: alle $t > -1.33$; alle $p_{\text{korrr}} > .197$, $d = [-0.32; -0.01]$).

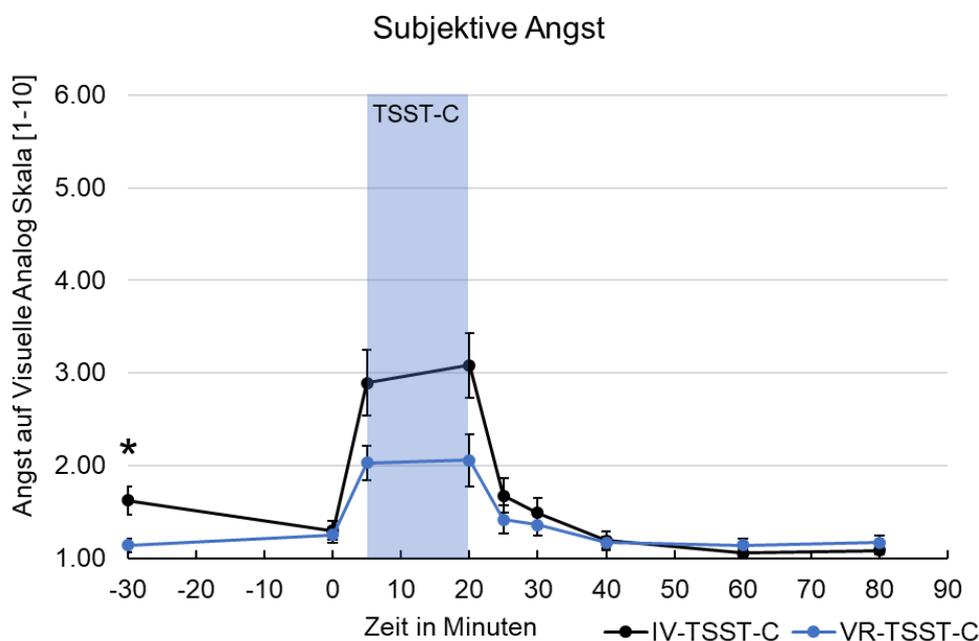


Abb. 10. Stressreaktion in der subjektiven Antwort (VAS_{Angst}). Der Zeitpunkt 0 Minuten steht für „vor dem Stressparadigma“, der Zeitpunkt 5 Minuten steht für „Antizipation des Stressparadigma“, da die Teilnehmer:innen die Aufgabe kennen, aber sie noch nicht durchgeführt haben, der Zeitpunkt 20 Minuten steht für „nach dem Stressparadigma“, der gesamte Zeitraum des Stressparadigmas ist blau hinterlegt; TSST-C = Trier Sozialer Stress Test für Kinder; IV-TSST-C = Trier Sozialer Stress Test für Kinder in realer Umgebung; VR-TSST-C = Trier Sozialer Stress Test für Kinder in virtueller Umgebung. Fehlerbalken stellen Standardfehler dar. Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen über alle Erhebungszeitpunkte sind mit einem Sternchen markiert.

Der subjektiv berichtete Ärger über den T2 hinweg (Abb. 11) rangierte in niedrigen Bereichen, weshalb die Unterschiede der Mittelwerte zwischen beiden Bedingungen wenig aussagekräftig erscheinen. In der unmittelbaren Reaktion auf den TSST-C (20 min) zeigt sich in der Häufigkeitsverteilung, dass in der realen Bedingung 32.40 % der Teilnehmer:innen von Ärger (Spannweite 2 – 9) berichteten, während in der virtuellen Bedingung nur 12.10 % von Ärger (Spannweite 2 – 5) berichteten.

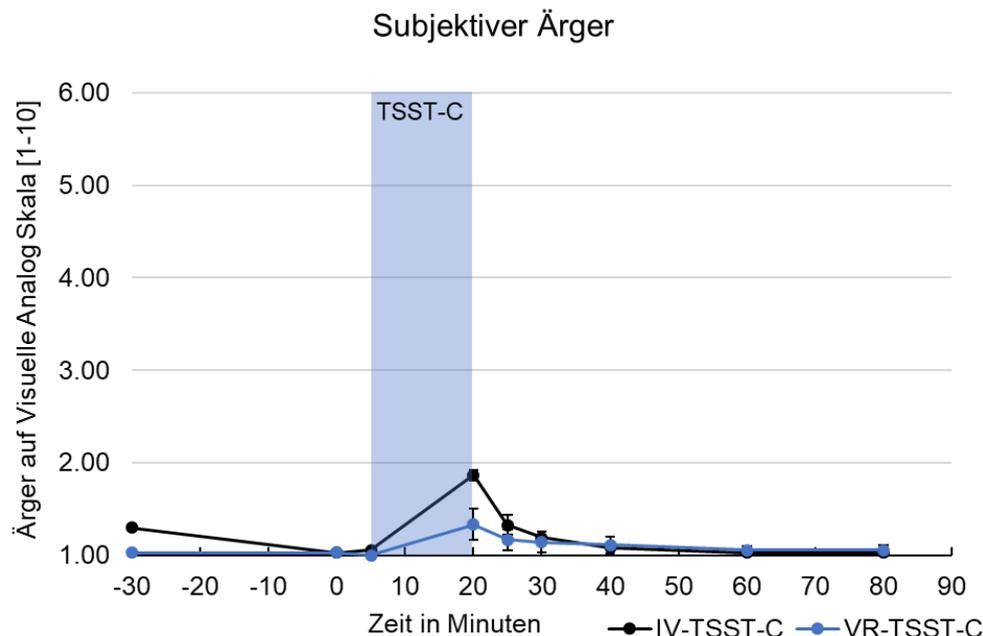


Abb. 11. Stressreaktion in der subjektiven Antwort ($VAS_{\text{Ärger}}$). Der Zeitpunkt 0 Minuten steht für „vor dem Stressparadigma“, der Zeitpunkt 5 Minuten steht für „Antizipation des Stressparadigmas“, da die Teilnehmer:innen die Aufgabe kennen, aber sie noch nicht durchgeführt haben, der Zeitpunkt 20 Minuten steht für „nach dem Stressparadigma“, der gesamte Zeitraum des Stressparadigmas ist blau hinterlegt; TSST-C = Trier Sozialer Stress Test für Kinder; IV-TSST-C = Trier Sozialer Stress Test für Kinder in realer Umgebung; VR-TSST-C = Trier Sozialer Stress Test für Kinder in virtueller Umgebung. Fehlerbalken stellen Standardfehler dar.

Auch in der subjektiv berichteten Aggression der Teilnehmer:innen (Abb. 12) zeigte sich eine sehr geringe Streuung und auch nur nach dem TSST-C (20 und 25 min). Von der Obergrenze der Skale (=10) wurden nur Werte von maximal 5 in der realen Bedingung und 4 in der virtuellen Bedingung angegeben. Aufgrund dieser sehr ähnlich-niedrigen Werte können die Unterschiede bei der aktuellen Stichprobengröße nicht aussagekräftig interpretiert werden. Zudem zeigte die Häufigkeitsverteilung, dass

nur 2 bis 3 Personen je Gruppe Aggression (>1) berichteten, daher scheinen die Unterschiede auch von geringer Bedeutsamkeit.

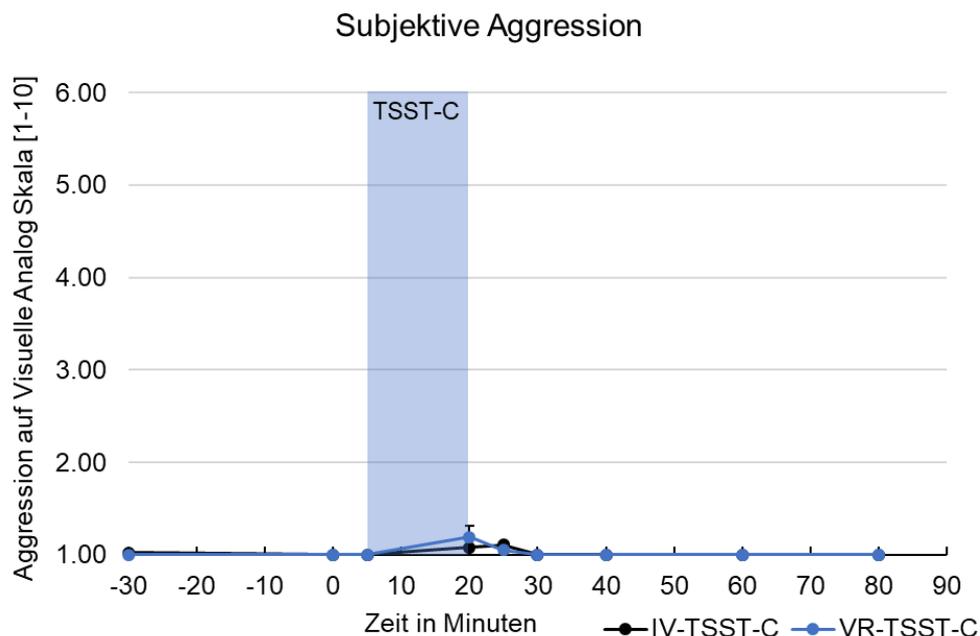


Abb. 12. Stressreaktion in der subjektiven Antwort ($VAS_{Aggression}$). Der Zeitpunkt 0 Minuten steht für „vor dem Stressparadigma“, der Zeitpunkt 5 Minuten steht für „Antizipation des Stressparadigmas“, da die Teilnehmer:innen die Aufgabe kennen, aber sie noch nicht durchgeführt haben, der Zeitpunkt 20 Minuten steht für „nach dem Stressparadigma“, der gesamte Zeitraum des Stressparadigmas ist blau hinterlegt; TSST-C = Trier Sozialer Stress Test für Kinder; IV-TSST-C = Trier Sozialer Stress Test für Kinder in realer Umgebung; VR-TSST-C = Trier Sozialer Stress Test für Kinder in virtueller Umgebung. Fehlerbalken stellen Standardfehler dar.

3.2.2.2 Fragebogen-Werte

Die STADI State prä und post Werte (Abb. 13) zeigten, dass in der realen Bedingung im Mittel höhere Werte berichtet wurden als in der virtuellen Bedingung. Der Anstieg der Werte von prä zu post war jedoch bei VR-TSST-C größer als bei IV-TSST-C (IV: $M_{\Delta} = 2.63$, $SD_{\Delta} = 8.31$; VR: $M_{\Delta} = 3.57$, $SD_{\Delta} = 6.78$). In den post-hoc Analysen der Effekte der ANOVA mit Messwiederholung zeigte sich, dass es einen Geschlechterunterschied nach dem TSST-C gab ($t(70) = -2.44$, $p_{\text{korr}} = .034$, $d = -0.59$): Teilnehmerinnen berichteten höhere Werte ($M = 37.87$, $SD = 9.24$) als Teilnehmer ($M = 33.09$, $SD = 5.51$). Diesen Unterschied gab es jedoch nicht vor dem TSST-C ($t(70) = 0.25$, $p_{\text{korr}} = .800$, $d = 0.06$).

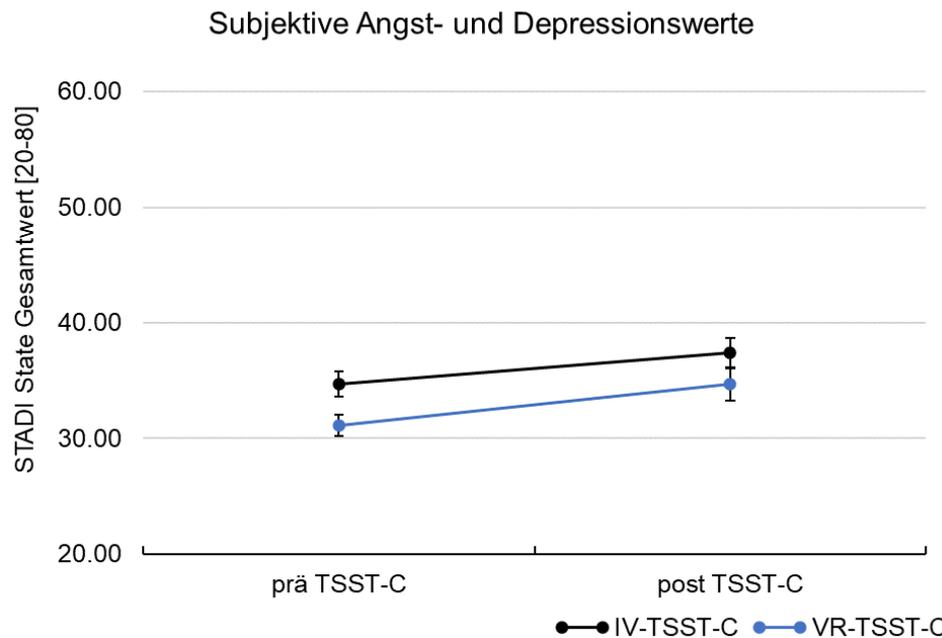


Abb. 13. Stressreaktion in der subjektiven Antwort (STADI-State). prä TSST-C = vor Antizipation des Trier Sozialen Stress Tests; post TSST-C = nach dem Trier Sozialen Stress Test; IV-TSST-C = Trier Sozialer Stress Test für Kinder in realer Umgebung; VR-TSST-C = Trier Sozialer Stress Test für Kinder in virtueller Umgebung; STADI = State-Trait-Angst-Depressions-Inventar. Fehlerbalken stellen Standardfehler dar.

3.3 Zusammenhänge der Stressreaktion mit VR-spezifischen Faktoren

Ein Überblick über die Erlebensphänomene durch die VR (Präsenz, VR-Krankheit) der Teilnehmer:innen des VR-TSST-C ist in Tabelle 4 dargestellt.

Zur Untersuchung der Zusammenhänge des VRSQ sowie des IPQ mit der Stressreaktion in den verschiedenen Stressparametern wurden nur die Zeiten der erwarteten Stressreaktion analysiert: bei Cortisol und Alpha Amylase wurden die Messzeitpunkte 20 – 40 Min nach dem TSST-C gewählt; für die VAS_{Stress} Abfragen wurden die Zeitpunkte 5 – 30 Min nach dem TSST-C verwendet; bei HR und RMSSD entsprechen die Segmente 3 – 5 (während des TSST-C) der erwarteten Stressreaktion; zudem wurde beim STADI nur der post-TSST-C Zeitpunkt untersucht.

Die Ergebnisse zeigten, dass der VRSQ Wert mit allen VAS_{Stress} Antworten signifikant korrelierte: 5 Min: $r = .35$, $p_{\text{kor}} = .008$; 20 Min: $r = .54$, $p_{\text{kor}} < .001$; 25 Min: $r = .48$, $p_{\text{kor}} < .001$; 30 Min: $r = .65$, $p_{\text{kor}} < .001$. Außerdem gab es eine signifikante Korrelation mit dem STADI post-TSST-C ($r = .51$, $p_{\text{kor}} < .001$) sowie der HR beim 3. Segment (Vorbereitungsphase) ($r = .35$, $p_{\text{kor}} = .010$). Beim IPQ wurden

keine signifikanten Korrelationen mit den Stressparametern zu den Stresszeitpunkten gefunden (alle $r < .19$, alle $p_{\text{Korr}} > .439$).

Tabelle 4
Erlebte Präsenz und VR-Krankheit.

| Fragebogenskalen | <i>M</i> (<i>SD</i>) | Spannweite Daten | Spannweite des Fragebogens |
|----------------------------|------------------------|---------------------|-------------------------------|
| Präsenz (IPQ) | | | |
| Gesamtwert | 2.17 (13.26) | -29 – 31 | -42 – 42 |
| Räumliche Präsenz | 3.86 (5.19) | -7 – 14 | -15 – 15 |
| Involviertheit | -0.11 (5.59) | -12 – 12 | -12 – 12 |
| Erlebter Realismus | -2.33 (4.11) | -12 – 6 | -12 – 12 |
| Gefühl, dort zu sein | 0.75 (1.32) | -2 – 3 | -3 – 3 |
| VR-Krankheit (VRSQ) | | | |
| Gesamtwert | 11.90 (10.94) | 0 – 66.67 | 0 – 100 |
| Okulomotorik | 17.13 (15.16) | 0 – 40.00 | 0 – 100 |
| Desorientierung | 6.67 (9.82) | 0 – 43.33 | 0 – 100 |

IPQ = Igroup Presence Questionnaire; VRSQ = VR Sickness Questionnaire. Negative Werte beim IPQ entsprechend fehlender Präsenz, positive Werte entsprechen vorhandener Präsenz. Beim VRSQ entsprechen höhere Werte einer höheren Ausprägung der VR-Krankheit. $N = 36$.

3.4 Explorative Untersuchungen des Blickverhaltens als Stressparameter

Bei der Kodierung der Eyetracking-Daten fielen große Unterschiede in der Datenmenge, also der kodierten Frames auf Fixierungen zwischen den Teilnehmer:innen auf: die AOIs und die Umgebung wurden im Durchschnitt mit $M = 17,588.32$ Frames, $SD = 5,553.07$ Frames betrachtet, das Minimum war 7.721 Frames während das Maximum 26.145 Frames umfasste. Umgerechnet auf Minuten bedeutet dies: $M = 5.68$ Min, $SD = 1.85$ Min, Spannweite = [2.57;8.72] Min. Alle weiteren Darstellungen erfolgen daher in Verteilungsanteilen an der intraindividuellen Blickdauer, um Verzerrungen so weit wie möglich auszuschließen.

In der deskriptiven Betrachtung der Verteilung der Blickdauer auf den Fixationen zeigte sich ein großer Anteil der Umgebung bei recht ähnlich verteilten AOI-Anteilen, genaue Informationen sind in Tabelle 5 abgebildet.

Tabelle 5

Anteiliges Blickverhalten im realen Trier Sozialer Stress Test.

| Blickbereich | <i>M (SD)</i> | Spannweite | Bereich |
|--------------------------|---------------|---------------|---------|
| Areas of Interest | | | |
| Weibliches Gesicht | 3.99 (4.63) | 0.18 – 18.78 | 18.60 |
| Weiblicher Körper | 6.44 (6.42) | 0.69 – 26.67 | 25.98 |
| Männliches Gesicht | 5.30 (5.68) | 0.69 – 27.16 | 26.48 |
| Männlicher Körper | 7.46 (5.07) | 0.37 – 19.68 | 19.31 |
| Kamera | 3.45 (5.62) | 0.13 – 28.17 | 28.04 |
| Umgebung | 73.36 (15.05) | 39.14 – 97.04 | 57.90 |

Die abgebildeten Werte entsprechen den prozentualen Anteilen der Fixationsbereiche über alle erfassten Fixationen während der Stressinduktion im Trier Sozialer Stress Test. Weibliches und männliches Gesicht sowie weiblicher und männlicher Körper bilden die Areas of Interest des Personals im Gremium ab, die Kamera entspricht der Fixation der Kamera zwischen den beiden Gremiumspersonen als Area of Interest. Die Umgebung bezeichnet alle Fixationen außerhalb der benannten Areas of Interest. $n = 28$.

Um mögliche Geschlechtsinteraktionen von Teilnehmern und Teilnehmerinnen mit den beiden Geschlechtern des Gremiums abzubilden, wurden die jeweiligen Verteilungen in Abbildung 14 dargestellt. Aufgrund der stark reduzierten Gruppengröße (weiblich: $n = 18$, männlich: $n = 10$) wurde keine statistische Überprüfung von Unterschieden vorgenommen. Rein deskriptiv zeigte sich jedoch ein recht ähnliches Bild. Es ist keine klare Geschlechterpräferenz des Gremiums abhängig vom Geschlecht der Versuchsperson zu erkennen. Daher wird dieser Aspekt in der nachfolgenden explorativen Untersuchung nicht weiterverfolgt.

Anschließend wurde explorativ die Interkorrelation der AOIs sowie mit der Umgebung untersucht. Nach der FDR-Korrektur zeigte sich, dass die Blickdauer (BD) auf den Körper des männlichen Gremiums positiv mit der BD auf den Körper des weiblichen Gremiums korreliert ($\tau = .39$, $p_{\text{korrr}} = .016$), ebenso korreliert die BD auf den Körper des weiblichen Gremiums positiv mit der BD auf das Gesicht / den Kopf des weiblichen Gremiums ($\tau = .46$, $p_{\text{korrr}} = .003$). Die BD in der Umgebung ist mit den AOIs des Gremiums negativ korreliert (alle $\tau < -.39$, alle $p_{\text{korrr}} < .004$). Die BD auf die Kamera ist mit keinem AOI oder der Umgebung signifikant korreliert (alle $p_{\text{korrr}} > .252$).

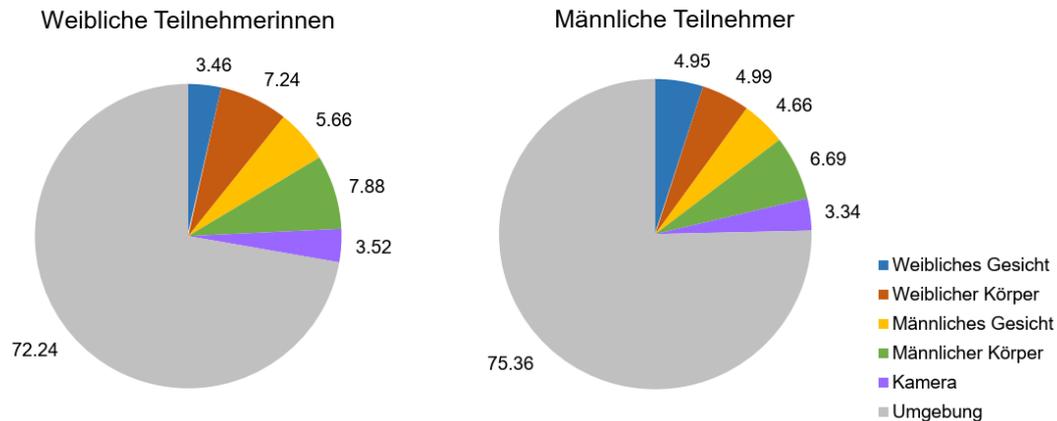


Abb. 14. Verteilung der Blickdauer im realen Trier Sozialer Stress Test getrennt nach Geschlecht der Versuchspersonen. Alle Angaben entsprechen Prozent. Weibliches Gesicht / Körper sowie Männliches Gesicht / Körper repräsentieren die Areas of Interest des Gremiums, die Kamera als Area of Interest eines personenunabhängigen Stressors und die Umgebung als Fixation außerhalb einer Area of Interest.

Zur Untersuchung der Zusammenhänge der Blickdauer auf die definierten AOIs mit der Stressreaktion in den verschiedenen Stressparameter wurden ähnlich zu den VR-Faktoren nur die Zeiten der erwarteten Stressreaktion analysiert: Cortisol und Alpha Amylase erneut zu den Messzeitpunkten 20 Min, 25 Min, 30 Min und 40 Min nach dem TSST-C, VAS_{Stress} jedoch nur 5 Min und 20 Min nach dem TSST-C, HR und RMSSD der Segmente 4 und 5 (während des TSST-C mit Eyetracking) und STADI nur zum post-TSST-C Zeitpunkt.

Es zeigten sich keine signifikanten Zusammenhänge zwischen Blickdauer in den AOIs mit den Stressparametern Cortisol (alle $\tau < |.21|$, alle $p > .123$), Alpha Amylase (alle $\tau < |.18|$, alle $p > .189$), Herzrate (alle $\tau < |.30|$, alle $p_{korr} > .140$), subjektive Stressantwort in Form der VAS_{Stress} -Abfragen (alle $\tau < |.21|$, alle $p > .139$) sowie STADI post-TSST-C (alle $\tau < |.28|$, alle $p_{korr} > .215$). In der Herzratenvariabilität gab es nach der FDR-Korrektur signifikante positive Korrelationen des 4. Segments (Redeteil) mit den AOIs „weiblicher Körper“ ($\tau = .34$, $p_{korr} = .043$) und „weiblicher/s Gesicht / Kopf“ ($\tau = .39$, $p_{korr} = .030$), alle weiteren AOIs sowie beim 5. Segment (Rechenteil) zeigten alle AOIs keine signifikanten Korrelationen (alle $\tau < |.35|$, alle $p_{korr} > .065$).

4. Diskussion

Ziel dieser Studie war, eine technisch aktuelle Version des TSST-C für Jugendliche zu validieren. Hierfür durchliefen die Teilnehmer:innen, neben einer psychometrischen Charakterisierung, einen entweder virtuellen oder realen TSST-C. Dabei wurde die multimodale Stressantwort der HPA-Achse (Cortisol), des autonomen Nervensystems (Alpha Amylase, HR und RMSSD) sowie subjektiver Stress erhoben und untersucht. Faktoren, die einen Einfluss auf die Stressreaktion im virtuellen TSST-C haben können, wurden zusätzlich erhoben und untersucht. Darüber hinaus wurde das Blickverhalten als behavioraler Stressparameter während des TSST-C explorativ überprüft. Ein Teil der hier diskutierten Ergebnisse wurden zudem bereits in einem peer-review Verfahren in dem Journal Psychoneuroendocrinology veröffentlicht (Ecker et al., 2024), wo der Artikel im Anschluss als „Editors’s choice“ gewählt wurde.

4.1 Vergleich der Stressreaktionen

Für eine umfassende Beurteilung der Stressinduktion durch die virtuelle Version des TSST-Cs, im Vergleich zur realen Version, ist der Blick auf die multimodale Stressreaktion essentiell (Allen et al., 2014) und wird im Folgenden diskutiert.

4.1.1 Physiologische Stressreaktionen

Bei Cortisol als Stressparameter zeigte sich sowohl bei dem realen als auch dem virtuellen TSST-C eine Stressreaktion über die Zeit. Beim Vergleich der beiden Bedingungen war jedoch die reale der virtuellen Bedingung eindeutig überlegen. Dieser große Effekt war dabei unabhängig vom Geschlecht. Dies ist bezogen auf die Erkenntnisse aus dem Erwachsenenbereich kontraintuitiv, da es dort klare Geschlechterunterschiede gibt: Männer haben eine höhere Cortisolreaktivität als Frauen (Allen et al., 2017). Grundsätzlich wurde in dieser Studie auch bei den Mädchen, die bereits ihre Monatsblutung hatten, die Testung während der Lutealphase durchgeführt, da während der Lutealphase die stärkste Cortisolreaktion bei weiblichen Teilnehmerinnen auftritt (Childs et al., 2010; Montero-López et al., 2018). Die Unabhängigkeit der Cortisolreaktion vom Geschlecht bei Kindern/Jugendlichen wurde auch in früheren Studien gefunden (Kudielka & Kirschbaum, 2005; Sumter et al., 2010), jedoch gibt es auch gegenläufige Befunde, z. B. Gunnar et al., 2009. In dieser Studie hatten 11- und 13-jährige Jungen eine abgeschwächte Cortisolreaktion auf den TSST-C, während bereits 9-jährige Mädchen eine bedeutsame Cortisolausschüttung

aufwiesen (Gunnar et al., 2009). Es scheint also, als wäre der Geschlechterunterschied in der Cortisolreaktion auf einen TSST erst in einem späteren Alter ausgeprägt. In der erhobenen Stichprobe ist der Anteil der jungen Teilnehmer:innen (11 – 13 Jahre) bei den Jungen mit 66.7 % größer als der der Mädchen (32.6 %). Es besteht also die Möglichkeit, dass es einen altersabhängigen Geschlechtereffekt gibt, der aufgrund der Stichprobenverteilung jedoch nicht sichtbar wird und daher in der Interpretation berücksichtigt werden muss. Einhergehend mit dem Alter muss bei einer jugendlichen Stichprobe auch die Pubertätsentwicklung berücksichtigt werden. Grundsätzlich war angenommen, dass der Pubertätsstatus einen Einfluss auf die Cortisolreaktion haben wird (Netherton et al., 2004). Dies zeigte sich auch in den Daten und ist konsistent mit den Befunden, dass die stressinduzierte Cortisolausschüttung etwa ab der Pubertätsphase „mitten in der Pubertät“ beginnt (Gunnar et al., 2009; Stroud et al., 2009). Die nicht so erfolgreiche Stressinduktion in VR lässt sich dadurch jedoch nicht erklären, da ein Großteil der erhobenen Stichprobe (73.2 %) in oder über der Pubertätsphase liegt, ab der die Cortisolausschüttung wesentlich stärker ist als präpubertär und sich die Gruppen auch nicht im Pubertätsstatus unterscheiden. Nichtsdestotrotz ist also der Pubertätsstatus ein relevanter Faktor für eine stressinduzierte Cortisolausschüttung und sollte daher immer erhoben und kontrolliert werden. Ein weiterer möglicher Einflussfaktor auf die Cortisolausschüttung bei Stress, die Alexithymie (Hua et al., 2014), wurde zudem über die Gruppen kontrolliert und konnte daher als Ursache für die Diskrepanz zwischen den Bedingungen ausgeschlossen werden.

In den deskriptiven Werten der Cortisolwerte zeigte sich, dass die Rate der Responder, anhand des 1.5 nmol/l Kriteriums (Miller et al., 2013), bei der virtuellen Bedingung (38.9 %) nur etwa halb so hoch wie die der realen Bedingung (81.1 %) war. Diese Ergebnisse unterscheiden sich von früheren Ergebnisse bei Erwachsenen, wo die Cortisolantwort in der virtuellen Bedingung zwar reduziert war, der Kontrast aber bei weitem nicht so stark ausgeprägt war, besonders nicht bei modernen VR-Umgebungen (Helminen et al., 2021). Die Rate der Responder im realen TSST-C zeigt eine gute psychosoziale Stressinduktion, da sie die Grenze von 80.0 % übersteigt (Kudielka et al., 2007) – der Aufbau des Paradigmas selbst war also effektiv, aber das Setting, real oder virtuell, scheint eine große Bedeutung zu haben. Ähnlich zu den hier gefundenen Responder-Raten fanden auch Shibana und Kollegen (2016) bei ihrer

Studie mit gesunden Erwachsenen ähnliche Werte bei virtuellem (33.0 %) und realem (86.0 %) TSST, wobei hier die Diskrepanz zwischen realem und virtuellem TSST nochmal stärker war, als in der vorliegenden Studie. Interessant ist auch, dass die gefundene Responder-Rate beim VR-TSST-C auch wesentlich niedriger ist, als die, die Gunnar und Kollegen (2021) bei ihrem online TSST-C per Videokonferenz gefunden haben (63.0 %). Somit scheint nicht das digitale Medium an sich die Cortisolreaktion zu verhindern, sondern möglicherweise der fehlende soziale Bewertungsaspekt im virtuellen Setting, was dem Wirkmechanismus der sozialen Bewertung zur Stressinduktion im TSST entsprechen würde (Dickerson & Kemeny, 2004).

Dies bestätigt auch das Ergebnis, dass die IV-Gruppe ein höheres Cortisollevel als die VR-Gruppe bereits beim Beginn des TSST-Cs hatte, also noch vor der Latenzzeit des Cortisols als Reaktion auf den TSST-C. Womöglich liegt dieser Gruppenunterschied an einem Erwartungseffekt: die VR wird als weniger bedrohlich eingeschätzt und dieser Sicherheitsaspekt schwächt wiederum den erlebten Stress ab. Die niedrigere Hemmschwelle des VR-TSST-Cs ist also vielleicht zugleich einer der Gründe, warum weniger Cortisol ausgeschüttet wird.

Im Bereich der Verträglichkeit zeigte sich jedoch die virtuelle Bedingung der realen überlegen, da Teilnehmer:innen mit realem TSST-C zum Ende des Testtermins noch einen höheren Cortisolspiegel hatten als vor dem TSST-C. Die Erholungsphase in der Testung hätte mit 60 Minuten nach dem TSST normalerweise ausreichen müssen (J. J. W. Liu et al., 2017). Die erwartete Erholung nach der Stressinduktion scheint nach dem realen TSST-C noch nicht eingetreten zu sein und ist daher weniger verträglich als der virtuelle, bei dem es nach der Erholung keinen Unterschied zur Baseline-Messung gab.

Es zeigte sich also, dass im Stresshormon Cortisol der virtuelle TSST-C dem realen TSST-C bei gesunden Jugendlichen unterlegen war, auch wenn fast 40.0 % dennoch eine bedeutsame Stressreaktion im Cortisol zeigten.

Anders verhält es sich bei den Parametern des autonomen Nervensystems. Die Alpha Amylase zeigte über den Verlauf der Testung keine Unterschiede zwischen den Gruppen. Die Veränderung, der Anstieg bei Stressinduktion sowie der Abfall bei Erholung, über die Testung hinweg entsprach dabei einer mittleren Effektstärke.

Dieses Ergebnis stimmt mit Zimmer und Kollegen (2019) überein, der bisher einzigen Studie, die Alpha Amylase in einem virtuellen mit einem realen TSST im Erwachsenenalter vergleicht. Zusätzlich zu Zimmer und Kollegen konnte nun erstmals gezeigt werden, dass nicht nur kein statistischer Unterschied in der Konzentration der Alpha Amylase im Speichel zwischen den beiden TSST-C Versionen vorliegt, sondern eine statistische Äquivalenz. Somit ist eine virtuelle TSST-C Version genauso gut geeignet wie die aufwändigere reale Version, um eine Stressreaktion der Alpha Amylase zu generieren.

Bei der Betrachtung der Herzrate zeigte sich ebenfalls kein statistischer Unterschied zwischen den Gruppen, mit einem großen Effekt. Das ist konsistent mit aktuellen Vergleichsstudien aus dem Erwachsenenbereich, z. B. Kothgassner et al., 2021; Shiban et al., 2016; Zimmer, Wu, & Domes, 2019, die auch einen großen Effekt berichteten. Keine dieser oder früheren Studien hat jedoch nach der Abwesenheit eines Unterschieds das Vorhandensein einer Äquivalenz überprüft. In den vorliegenden Daten zeigte sich, dass sowohl kein statistischer Unterschied als auch keine statistische Äquivalenz vorliegt. Dieses uneindeutige Ergebnis lässt sich unter anderem dadurch erklären, dass bei der Herzrate durch Datenverluste eine verringerte Stichprobengröße in die Berechnung einging und somit eine Gruppe gar nicht die geforderte Größe von Lakens (2017) erreichte. Ein Anzeichen dafür ist der niedrige p -Wert, der jedoch nicht die statistische Signifikanz erreicht.

Daneben zeigten die Gesamtdaten der Herzrate eine Interaktion von Zeit und Geschlecht, die sich bei genauerer Betrachtung jedoch nicht mehr bestätigte. Im Erwachsenenbereich zeigten sich ebenfalls keine Geschlechterunterschiede im Anstieg der Herzrate aufgrund von Stress (Childs et al., 2010; M. M. Kelly et al., 2008), jedoch zeigte sich im Kinder- und Jugendbereich grundsätzlich eine Unterscheidung der Reaktivität. So zeigten Kudielka und Kollegen (2004b) bei ihrer Studie, in der unter anderem 28 Kinder im Alter von 9 – 15 Jahren analysiert wurden, dass Mädchen eine höhere Herzrate ab der Stressinduktion aufwiesen als Jungen. Dieser Unterschied bestand vor der Stressinduktion noch nicht. Es besteht also die Möglichkeit, dass durch die Ausbalancierung des Geschlechterverhältnisses über die Gruppen, und nicht innerhalb der Gruppen, dieser Effekt nicht sichtbar wird, da die erhobene Stichprobe fast zu 2/3 aus Mädchen besteht und der Effekt der männlichen Teilnehmer daher unterpower sein könnte.

Es kann also zusammengefasst werden, dass auch im Kindes- und Jugendbereich ein virtueller TSST-C Stress im Sinne eines Anstiegs der Herzrate hervorruft, der sich von einem realen TSST-C nicht unterscheidet. Ob sich die Stressinduktion eines üblichen und eines virtuellen TSST-Cs tatsächlich auch gleicht, bleibt noch offen und bedarf zur Untersuchung auch einer entsprechend großen Stichprobe, bei der dann auch ein Geschlechterunterschied zu erwarten wäre.

Ähnlich verhält sich auch die Herzratenvariabilität, gemessen mit dem RMSSD. Während des TSST-C fällt in beiden Gruppen die Herzratenvariabilität im Sinne einer Stressreaktion, wobei sich die Variabilität der Herzschläge verringert (Castaldo et al., 2015). Die anschließende Erholung bildet sich entsprechend durch die Erhöhung der Variabilität ab. Die Herzratenvariabilität zeigt einen großen Effekt in ihrer Veränderung über die Zeit und bietet sich daher auch als einfach zu erhebender und noninvasiver Stressparameter an, der aktuell noch selten im Sinne einer multimodalen Stresserhebung erfasst wird (Castaldo et al., 2015; Helminen et al., 2019). Doch ob die Reaktivität der HRV in VR so gut wie in einem realen TSST-C ist, konnte auch bei der HRV nicht endgültig geklärt werden. Die Stichprobe verringert sich aufgrund von Datenverlust noch weiter, wodurch in der HRV keine der Gruppen die angestrebte Größe von 34 mehr erreicht (Lakens, 2017). Deshalb ist auch hier eine zu niedrige Stichprobe zur Detektion der Äquivalenz eine naheliegende Erklärung für die fehlende Gleichheit bei fehlender Unterschiedlichkeit.

Auch wurde bei der Betrachtung der HRV keine Differenzierung für das Geschlecht festgestellt. Es wurden aber bei akutem Stress bereits Geschlechterunterschiede im Erwachsenenbereich beobachtet. So fanden Liu und Kollegen (2020), dass Frauen eine geringere HRV (Verhältnis von hohen zu niedrigen Frequenzbereichen) als Männer nach einem virtuellen TSST zeigten. Zudem wurde in einer umfassenden Meta-Analyse von König und Kollegen (2017) übersichtlich herausgearbeitet, dass im Kindes- und Jugendalter Mädchen eine niedrigere vagale Aktivität zeigen als Jungen. Ähnlich wie bei der Herzrate mag auch hier der Überhang der Mädchen in der Stichprobe zu einer fehlenden Power geführt haben, wodurch ein zu erwartender Geschlechterunterschied in der HRV nicht entdeckt wurde. Entsprechend muss dies in der Interpretation der Daten berücksichtigt werden.

Es zeigt sich also, dass auch in der HRV eine gute Stressreaktion in VR zu beobachten ist, auch wenn durch die fortschreitende Stichprobenreduzierung sowohl

für die Feststellung der Äquivalenz als auch für die erwarteten Geschlechterunterschiede die Power zu fehlen scheint.

Verglichen mit einem realen TSST-C zeigen die Parameter des autonomen Nervensystems (Alpha Amylase, Herzrate und Herzratenvariabilität) eine sehr gute Stressinduktion in der virtuellen Version des TSST-Cs, auch wenn nicht umfassend eine identische Stressreaktion hervorgerufen wurde.

Die Datenlage dieser Studie bei den physiologischen Stressparametern zeigt also ein gemischtes Bild hinsichtlich der Übertragbarkeit eines TSST-C in die virtuelle Umgebung. Gemäß den Ergebnissen des Cortisols kann überraschenderweise keine Empfehlung ausgesprochen werden, während die Parameter des ANS durchaus eine gute Stressreaktion und Konsistenz mit Studien des Erwachsenenbereichs zeigen.

4.1.2 Psychologische Stressreaktionen

Die Übersicht der subjektiven Antworten auf den verschiedenen Emotionsbereichen zeigt, dass der TSST-C über die Gruppen hinweg vorrangig, und wie gewünscht, subjektiven Stress ausgelöst hat. Angst wurde zudem auch in beiden Versionen des TSST-Cs ausgelöst, aber stärker und häufiger bei der realen Bedingung. Die Emotionen Traurigkeit, Ärger und Aggression zeigten sich nur als seltene oder mild auftretende Phänomene.

Die statistische Betrachtung zeigte, dass der Stress der virtuellen Version über die Testung hinweg mit einem mittleren Effekt geringer war als der der realen Version. Dagegen fanden frühere Studien im Erwachsenenalter keine bedeutsamen Unterschiede (Kothgassner et al., 2016; Kothgassner et al., 2021; Shiban et al., 2016) oder nur unmittelbar nach dem TSST und nicht später. Diese Studien verwendeten vergleichbare Methoden, eine Antwortskala von 0 – 100 (Kothgassner et al., 2016; Kothgassner et al., 2021; Shiban et al., 2016), bei der die Teilnehmer:innen ihren „Stress“ angeben sollten, alternative Begriffe wie „Anspannung“ oder „Belastung“ wurden dabei im Vergleich zu dieser Studie jedoch nicht verwendet. Das kann möglicherweise zu den abweichenden Ergebnissen beigetragen haben, jedoch ist hier noch eine genauere Untersuchung notwendig.

Zudem gibt es durch die kontinuierliche Abfrage des Stresslevels über die Testung hinweg nach der Erklärung der Aufgabe, aber vor dem tatsächlichen Beginn des TSST-Cs, noch eine weitere Abfrage, die einen interessanten Aspekt offenbart.

Der Stressanstieg in dieser Phase, also in der Erwartung der kommenden Aufgabe, ist sehr unterschiedlich zwischen realem und virtuellem TSST-C. Zudem divergieren die zwei Bedingungen nicht vorher, was einen generellen Gruppenunterschied ausschließt. Diese Beobachtung reiht sich grundsätzlich in die Idee eines stresspuffernden Erwartungseffekts vor dem tatsächlichen Stressparadigma durch das virtuelle Setting des TSST-Cs ein, wie es auch die Ergebnisse des Cortisols nahelegen. In der Wirksamkeit des virtuellen TSST-Cs gibt es auch bei dem subjektiven Stress doppelt so viele Non-Responder, die gar keinen Stress durch den VR-TSST-C berichteten, als beim realen TSST-C. Diese Betrachtung von Respondern/Non-Respondern beim subjektiven Stress ist selten in der Literatur, erscheint jedoch wertvoll unter dem Aspekt der Vergleichbarkeit in der Wirksamkeit. Beeinflussende Faktoren in der aktuellen Stichprobe, wie beispielsweise, dass der Zugang für interne Prozesse wie Gefühle oder die Wahrnehmung von Stress sich mit zunehmendem Alter in der Jugend verbessert (Hansell et al., 1986), wurden durch die statistische Gleichheit des Alters über die Gruppen kontrolliert.

Bei der Betrachtung der erlebten Angst während der Testung kann eine Art Sockel beschrieben werden, der während der unmittelbaren Stressinduktion durch Rede- und Rechenaufgabe hoch ist und anschließend wieder zügig abfällt. Deskriptiv erscheint die Angst in der realen Bedingung höher während des TSST-Cs und einhergehend sind die Angst-Responder, also diejenigen, die eine vorhandene Angst berichten, ohne weiter auf die Intensität zu achten, in der realen Bedingung etwas häufiger als bei der virtuellen. Zudem unterscheiden sich die Gruppen nicht in ihrer Grund-Ängstlichkeit, was mit einer gewissen Angstreaktivität vergleichbar wäre. Dieser Trend konnte in der statistischen Überprüfung jedoch nicht bestätigt werden. Lediglich bei Ankunft unterschieden sich die beiden Gruppen in ihren Angstangaben mit einem mittleren Effekt, wobei die Gruppe der realen Bedingung mehr Angst berichtete. Es kann daher geschlossen werden, dass ein virtueller TSST-C Angst in einem ähnlichen Level wie ein realer TSST-C auslöst.

Ein weiteres Maß zur erlebten Angst, der State Angst und Depression vor und nach dem TSST-Cs, zeigte, dass sich die beiden Gruppen grundsätzlich unterschieden, wobei die reale Bedingung höhere Ausprägungen hatte. Dies ist überraschend, da die beiden Gruppen in ihrer Grundausprägung (Trait) nicht voneinander abweichen. Aufgrund dieser Diskrepanz ist die Interpretation etwas eingeschränkt. Zugleich zeigen die deskriptiven Daten, dass die Teilnehmer:innen der

virtuellen Bedingung einen stärkeren Angst- und Depressionsanstieg berichten als die der realen Bedingung. Dies kann entweder auf eine stärkere Beängstigung durch die virtuelle Bedingung hindeuten oder aber auch an dem größeren Potential für einen Anstieg im normalen Rahmen in dieser Gruppe liegen. Somit sind diese Erkenntnisse nicht eindeutig und müssen mit entsprechender Vorsicht interpretiert werden. Ebenso ist eine Unterscheidung von Angst- und Depressionswerte gegenüber einer reinen Stressmessung zu berücksichtigen. Dennoch dienen diese Ergebnisse in Anbetracht der verwendeten Methoden in anderen Studien (z. B. Jönsson et al., 2010; Kothgassner et al., 2016; Liszio et al., 2018; Mostajeran et al., 2020) als Referenz, dass es bei einem prä- zu post-Vergleich subjektiv wohl keinen Effekt durch den VR-TSST-C gibt, aber womöglich durch die VR Bedingung an sich und unabhängig vom Stressparadigma weniger Angst- und Depression erlebt wird.

Bei allen subjektiven Maßen zeigte sich das Geschlecht als relevanter Faktor. So konnte beobachtet werden, dass bei den wiederholten Stress- und Angstantworten über die Testung hinweg die Mädchen generell ihre Emotionen höher bewerteten als die Jungen. In der Dynamik mit der Stressinduktion verstärkte sich dieser Effekt nochmals, indem die Mädchen dann auch einen stärkeren Anstieg der Angst- und Depressionsausprägung nach dem TSST-C berichteten als die Jungen. Dieser Geschlechtereffekt ist konsistent mit der Literatur, dass erwachsene Frauen in der Lutealphase generell höhere subjektive Stressreaktivität zeigen als Männer (Childs et al., 2010). Spezifisch im virtuellen Stresssetting zeigten Santl und Kollegen (2019) bei ihrem virtuellen TSST ebenfalls, dass Frauen höhere subjektive Stressantworten geben als Männer. Im Bereich des Kindes- und Jugendalters bei virtuellen TSST-Cs gibt es jedoch bisher keine Berichte zu Unterschieden in der subjektiven Bewertung. Die bisherigen Studien zu virtuellen TSST-Cs im Jugendbereich (Martín-Pérez et al., 2019; Padilla et al., 2019; Verdejo-Garcia et al., 2015) hatten das Geschlecht entweder gar nicht berichtet oder dann nicht in ihre Analysen aufgenommen. Spannend ist in diesem Kontext auch, dass es im Erwachsenenbereich einen Geschlechtereffekt bezogen auf die virtuelle Immersion gibt: so fanden Grassini & Laumann, 2020 in ihrem systematischen Review, dass Frauen in virtuellen Welten, die hoch emotionale oder aufwühlende Inhalte hatten, mehr Unwohlsein erlebten als Männer. Dieser Effekt konnte in der aktuellen Studie nicht beobachtet werden.

Dies legt die Interpretation nahe, dass VR im Jugendbereich für beide Geschlechter gleich verträglich und somit unter diesem Aspekt gut einsetzbar ist. Die

aktuellen Ergebnisse deuten auf den Geschlechtereffekt für subjektive Antworten auch in einem jüngeren Alter hin und scheinen zugleich unabhängig der technischen Komponente zu sein. Damit leistet diese Studie einen wichtigen Beitrag zur bestehenden Forschungslücke, auch wenn es noch weitere Studien benötigt, um ein abschließendes Fazit ziehen zu können.

Für den Überbegriff der psychologischen Stressparameter kann also zusammenfassend gesagt werden, dass eine virtuelle Version des TSST-Cs subjektiv wahrgenommenen Stress in Jungen und Mädchen gleichermaßen auslöst, die Höhe des Stresses aber der einer realen Version unterliegt. Angst und Depression sind uneindeutiger und legen eher eine Vergleichbarkeit der Versionen nahe. Zudem berichteten die Mädchen dieser jugendlichen Stichprobe höhere subjektive Werte als die Jungen. Diese Aspekte sollten bei der Planung einer VR-basierten Stressinduktion berücksichtigt werden.

4.2 Einflussfaktoren in VR

Neben der generellen Stressinduktion in virtueller Umgebung gab es auch konkrete Fragen zu Einflüssen durch die VR, die mit dem gewählten Design untersucht wurden.

4.2.1 Erlebte Präsenz

Zum einen war die Annahme, dass die erlebte Präsenz ein Verstärker für die Stressreaktion ist (Helminen et al., 2019). Entsprechend wurde erwartet, dass je präsenter sich die virtuelle Welt für die Teilnehmer:innen anfühlte, desto größer würde auch die Stressantwort. Diese Erwartung konnte nicht bestätigt werden, die multimodalen Stressantworten waren unabhängig der erlebten Gesamtpräsenz. Frühere Studien zu virtuellen TSSTs aus dem Erwachsenenbereich haben selten den Grad der erlebten Präsenz erhoben. Und wenn doch, dann oft mit unterschiedlicher Methodik. Eine frühe Studie untersuchte beispielsweise nur, ob sich die Cortisol Responder und Non-Responder in ihren Präsenzwerten, gemessen mit dem IPQ, statistisch unterschieden und fanden hierfür keine Hinweise (Ruiz et al., 2010). In nur einer Studie von Kothgassner und Kollegen (2016) wurde bisher der Zusammenhang der Stressantwort (HR, HRV, Cortisol, Angst) mit der erlebten Präsenz bei einer virtuellen Rede vor größerem Publikum untersucht. Dabei verwendeten sie jedoch nicht die gesamte Präsenzbewertung des IPQ, sondern nur die Subskala „Gefühl, dort

zu sein“. Dies ist mit einer gewissen Vorsicht zu interpretieren, da diese Skala nur aus einer einzigen Frage besteht, somit die Gütekriterien kritisch zu betrachten sind. Nichtsdestotrotz fanden auch sie keine Zusammenhänge der Präsenz mit der Stressantwort im Cortisol sowie in der subjektiven Antwort. Somit scheint die induzierte Stressantwort, wie von Felhofer und Kollegen (2014) für Angst postuliert, getrennt von der Präsenz betrachtet werden zu müssen.

Bei der deskriptiven Betrachtung der Präsenz zeigt sich, dass in den Unterskalen des Präsenzfragebogens kein einheitliches Präsenzerleben berichtet wurde. So ist die Skala „Involviertheit“ leicht und die Skala „erlebter Realismus“ stärker negativ bewertet, was für ein eher schlechtes Präsenzerleben in diesen Domänen spricht (H. K. Kim et al., 2018). Die Skala „Gefühl, dort zu sein“, die nur mit einer Frage erfasst wurde, zeigte eine positive Auswertung, wenn auch nicht sehr hoch. Hingegen wurde die räumliche Präsenz sehr positiv bewertet, hier gibt es jedoch auch eine große Streuung in den Antworten. Dieses gemischte Bild wirkt auf den ersten Blick nicht nachvollziehbar, bei einer genaueren inhaltlichen Betrachtung der Skalen ergeben die gefundenen Ergebnisse aber durchaus einen Sinn. So fragt die Skala „erlebter Realismus“ z. B. „Wie real erschien Ihnen die virtuelle Umgebung?“. Bei einer jungen Stichprobe, die mit solchen Medien aufwächst, erscheint es daher auch nachvollziehbar, dass sie durchaus die Unterscheidung treffen, dass die virtuelle Umgebung nicht der Realität gleicht. Die Skala „Involviertheit“ misst den Grad, in dem man seine Außenwelt vergisst, ab. Da es sich bei der erhobenen Stichprobe um meist studienunerfahrene Kinder- und Jugendliche handelte, ist es nicht überraschend, dass eine gewisse Restaufmerksamkeit für das Geschehen um sie herum beibehalten wurde. Zudem besteht die Möglichkeit, dass besonders diese Skala den Effekt des anwesenden Versuchsleiters mit abbildet.

Diese inhaltliche Einordnung passt zu den Befunden aus dem Erwachsenenbereich: So fanden Shiban und Kollegen (2016) in ihren beiden VR-Bedingungen bereits leicht negative Präsenzwerte in den Skalen „Involviertheit“ und „erlebter Realismus“, während die beiden anderen Skalen leicht positiv bewertet wurden. In der Studie von Zimmer und Kollegen (2019) wurde die Skala „erlebter Realismus“ als einzige mit negativem Wert berichtet. Und auch Santl und Kollegen (2019) berichteten, dass der erlebte Realismus am geringsten ausfiel, auch wenn die Skala in dieser Studie im positiven Bereich lag. Darüber hinaus gibt es eine weitere

Studie, von Mostajeran und Kollegen (2020), die ebenfalls die Skalen des IPQ bei einem virtuellen TSST im Erwachsenenbereich berichten. Jedoch sind die Werte unverhältnismäßig hoch im Vergleich zu den anderen Studien und berichten auch unmögliche Werte, nämlich, dass die Skala mit nur einem Item im Mittel höher liegt, als die Antwortskala tatsächlich reicht. Es scheint daher, dass hier eine andere Auswertungsstrategie verwendet wurde, die die Autoren leider aber nicht berichten. Aus diesem Grund können ihre Ergebnisse nicht in Relation zu den hier gefundenen Ergebnissen und denen anderer Studien gesetzt werden.

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen also, dass es keine Zusammenhänge der multimodalen Stressparameter mit der erlebten Präsenz gibt. Das Level der erlebten Präsenz zeigt eine gute Immersion in die virtuelle Umgebung, was die Stressinduktion grundsätzlich ermöglicht. Die Subskalen passen zudem zum vorhandenen Bild der Forschung und komplettieren dieses mit Daten aus dem Kindes- und Jugendalter.

4.2.2 Ausgelöste VR-Krankheit

Zum anderen war die Frage, inwieweit eine moderne virtuelle Version des TSST-Cs VR-Krankheit auslöst und wie diese mit der erfassten Stressreaktion konfundiert ist. Grundsätzlich zeigte sich nur eine milde Ausprägung der VR-Symptome, wobei mehr okulomotorische Probleme als Desorientierung berichtet wurden. Der Blick in frühere VR-TSST Studien im Erwachsenenbereich zeigt, dass nur sehr wenige die VR-Krankheit überhaupt erhoben haben und dabei dann auch die Vorgängerversion, den SSQ, eingesetzt hatten, der für Simulatoren statt virtuelle Umgebungen konzipiert wurde (H. K. Kim et al., 2018). Umgerechnet berichteten die erwachsenen Teilnehmer:innen ähnliche (Mostajeran et al., 2020) oder höhere (Shiban et al., 2016) Symptomstärke der VR-Krankheit als bei der aktuellen VR-TSST-C Version. Somit lässt sich sagen, dass die aktuelle VR gut verträglich war.

In der statistischen Überprüfung der VR-Krankheit und der subjektiven Wahrnehmung zeigte sich ein leichter bis mittelstarker positiver Zusammenhang zwischen der erlebten Symptomstärke der VR-Krankheit und der subjektiven Stressantwort. Dahingegen gibt es in den physiologischen Stressparametern ausschließlich in der Herzrate während der Vorbereitungsphase einen positiven Zusammenhang mit der Symptomstärke der VR-Krankheit. Während der Vorbereitungsphase kann der Stress nur antizipatorisch wirken, da der eigentliche

Stressaspekt noch nicht stattfindet. Diese Ergebnisse legen einen Habituationsprozess nahe: die VR löst zu Beginn in der Vorbereitungsphase noch Symptome aus, die Teilnehmer:innen gewöhnen sich mit der Zeit an die virtuelle Umgebung und damit nimmt die physiologische Reaktion auf die VR im Sinne von VR-Krankheit auch wieder ab. Es erscheint daher naheliegend, dass die induzierte physiologische Stressantwort unkonfundiert von VR-Krankheit erfasst werden konnte. Zugleich zeigen die Erkenntnisse die Notwendigkeit einer ausreichend langen Eingewöhnungsphase an die VR an, da die Vorbereitungszeit noch konfundiert war. Die körperliche Stressreaktion kann also unbeeinflusst von der VR-Krankheit gemessen und interpretiert werden, subjektiv gibt es aber eine Konfundierung. Eine mögliche Erklärung hierfür könnte sein, dass die Symptome der VR-Krankheit sich weniger auf den Körper und primär auf die Wahrnehmung auswirken. Die gemessenen Bereiche der VR-Krankheit, Desorientierung und Okulomotorik; betreffen beispielsweise Aspekte wie „Kopfschmerz“, „Schwindel“, „überanstrengte Augen“ oder „Gleichgewichtsstörungen“. Inhaltlich legt dies nahe, dass diese Symptome wahrgenommen und ganz automatisch als unangenehm bewertet werden und damit die Stresswahrnehmung verstärken, ohne dass sie sich auf den Körper auswirken. Ob es sich dabei um die reine Konfundierung zwischen VR-Symptomen und Stress oder die Verstärkung des Stresses durch die VR-Symptome handelt, kann mit dem vorliegenden Versuchsaufbau nicht abschließend beantwortet werden.

4.3 Behaviorale Stressreaktionen

Neben den etablierten Stressparametern aus den physiologischen und psychologischen Bereichen wäre die Möglichkeit eines behavioralen Stressparameters vorteilhaft. Eine unmittelbare Erfassung von Stress auf der Verhaltensebene würde nicht nur Kosten und Aufwand reduzieren, sondern könnte auch außerhalb von Einflussfaktoren wie Introspektionsfähigkeit oder körperlicher Entwicklungsstand, wie beispielsweise Pubertät, betrachtet werden. Das Blickverhalten als behavioraler Parameter ist in der Erfassung unmittelbar und zugleich relativ unaufdringlich und wird daher auch in anderen Forschungsbereichen, wie beispielsweise der Sozialpsychologie zur Erforschung von Entscheidungsprozessen, verwendet (R.-M. Rahal & Fiedler, 2019).

Die hier erstmals durchgeführte explorative Untersuchung des Blickverhaltens im originalen TSST-C zeigte, dass die Teilnehmerinnen und Teilnehmer zu einem Großteil (fast 75 %) nicht auf die potentiell stressbesetzten Reize (Gremium, Kamera) schauten. Dies ist entgegen dem Befund von Vatheuer und Kollegen (2021), die das Blickverhalten in VR bei Erwachsenen untersuchten. Dabei war etwa 60 % des Blicks auf dem Gremium während nur 40 % in der undefinierten Umgebung war. Eine mögliche Erklärung für diese Diskrepanz, neben dem Setting und der Stichprobe, könnte insbesondere das Blickfeld sein: bei Vatheuer und Kollegen besteht das Gremium zum einen aus drei Personen und zum anderen ist die Positionierung des Gremiums unmittelbar vor der Versuchsperson, somit ist die Möglichkeit kein AOI zu betrachten stark reduziert im Vergleich zum eigenen Setting, das viel Umgebung ermöglicht, ohne sich aktiv vom Gremium wegdrehen zu müssen. Es könnte also sein, dass für das Blickverhalten eine Begrenzung der irrelevanten Bereiche, z. B. durch Verkürzung der Distanz zum Gremium, von Bedeutung ist.

Deskriptiv zeigte sich in den vorliegenden Daten, dass bei Betrachtung eines AOIs sich die Zeit besonders auf das Gremium verteilt, die Kamera wird seltener betrachtet. In der deskriptiven Betrachtung zeigten sich dabei keine bedeutsamen Unterschiede in der anteiligen Blickdauer zwischen dem männlichen und weiblichen Gremium als Blickziel und auch das Geschlecht der Versuchsperson zeigte keine wesentliche Verschiebung der Verteilung der Betrachtungen. Dies ist im Einklang mit einem der generellen Wirkmechanismen des TSST, nämlich die soziale Evaluation, repräsentiert vom Gremium (Dickerson & Kemeny, 2004).

Bei den Zusammenhängen zwischen den Blickzielen zeigte sich ein stimmiges Bild: die AOIs des Gremiums waren leicht positiv miteinander und leicht negativ mit der Umgebung assoziiert. Wenn also das Gremium fixiert wurde, dann beide Parteien und daraus folgend natürlich weniger die Umgebung. Die Kamera ist passend zu den deskriptiven Ergebnissen weniger relevant und mit keinem der AOIs oder gar der Umgebung assoziiert. Im Vergleich zu einer der ersten Studien, die das Blickverhalten während des TSSTs untersucht hat (Herten et al., 2017) zeigten sich in den aktuellen Daten keine eindeutigen Hinweise darauf, dass das Gesicht als negativer sozialer Stimulus aktiv unter der Stresssituation vermieden wurde. Eine mögliche Erklärung könnte sein, dass in der Studie von Herten und Kollegen (2017) zwischen einer Stress- und einer Kontrollgruppe verglichen wurde, während in dieser Studie alle Personen dem Stress ausgesetzt waren und damit der Effekt der Vermeidung nicht mehr so

auffällig ist. In den prozentualen Blickverteilungen sind die Gesichter des Gremiums zwar auch geringer als die Körper, jedoch ist der Unterschied im niedrigen einstelligen Prozentbereich und ohne Korrelationen. Es ließ sich also, entgegen der Erwartung keine generelle Vermeidung des Gesichts als sozialen Stimulus beobachten.

In der Betrachtung des Blickverhaltens und der Stressreaktion zeigte sich in den meisten Parametern (Cortisol, Alpha Amylase, Herzrate, subjektiver Stress) keine bedeutsame Assoziation. Dies ist zum Teil entgegen, zum Teil im Einklang mit dem Befund von Vatheuer und Kollegen (2021), die in ihrem virtuellen TSST im Erwachsenenalter eine negative Korrelation zwischen Cortisol und der Blickdauer auf das Gremium (Körper und Gesicht) gefunden haben, jedoch auch keine Assoziation vom Blickverhalten mit subjektiven Stress fanden, weitere Stressparameter wurden nicht untersucht. Zu den bereits genannten Aspekten, die die Vergleichbarkeit der Ergebnisse erschweren (erwachsenen Stichprobe in virtuellem Setting mit anderem Blickfeld), ist zudem zu beachten, dass in der Stichprobe von Vatheuer und Kollegen (2021) ausschließlich Männer getestet wurden. Es könnte also auch sein, dass der Zusammenhang durch die robuste Cortisolreaktion der erwachsenen Männer (J. J. W. Liu et al., 2017) sichtbar wurde, während er in einer jugendlichen Stichprobe mit Jungen und Mädchen nicht zu finden war. Dagegen spräche, dass auch die anderen, nicht so entwicklungs- und geschlechtsbedingten Parameter keine Assoziationen mit dem Blickverhalten zeigen. Lediglich die Herzratenvariabilität während des Vortrags im TSST-C, in dem ausschließlich das weibliche Gremiumsmitglied verbal kommuniziert, zeigt leicht positive Zusammenhänge mit dem Körper und Gesicht des weiblichen Gremiummitglieds. Es wurden keine anderen Zusammenhänge in der HRV gefunden, auch der invertierte Effekt während der Rechenaufgabe, in der nur das männliche Gremiumsmitglied kommuniziert, zeigte sich nicht. Dies bedeutet, dass während der Rede-Aufgabe der häufigere Blick zum weiblichen Gremium mit einer höheren HRV einhergeht, was wiederum als Abschwächung von Stress interpretiert werden kann. Die gilt aber nicht für die Rechen-Aufgabe und dem männlichen Gremium. Ein möglicher Erklärungsansatz könnte sein, dass die Sätze des Gremiums zur Veränderung des Blickverhaltens, z. B. im Sinne von Augenkontakt, geführt haben könnten. Dabei könnten die standardisierten Sätze des männlichen Gremiums in einer ansonsten eindeutig zu bearbeitenden Aufgabe besonders auf einen Fehler hinweisen und daher unwahrscheinlicher zu einer verstärkten Blickdauer auf den Sprecher führen, womöglich sogar noch zu einer unmittelbaren Vermeidung des Sprechers aus

Scham. In der Rede hingegen bekommen die Versuchspersonen durch die standardisierten Sätze konkrete Aufforderungen zum Weitersprechen oder den Wechsel des Aufgabenfokus (z. B. nun auf die Schwächen einzugehen) kommuniziert und können sich dadurch auf neue Aspekte konzentrieren, die mögliche Unsicherheit oder aufkommende Hilflosigkeit wird reduziert, was wiederum stressreduzierend wirken könnte. Dieser Effekt ist möglicherweise so klein und unmittelbar im Parasympathikus, dass es in der HRV als sehr zeitsensitiver Marker (Castaldo et al., 2015) abgebildet werden kann, nicht jedoch in einem der zeitlich trägeren oder versetzten Stressparameter.

Neben der Studie von Vatheuer und Kollegen gibt es nur eine weitere Veröffentlichung, die sich mit Eye-Tracking als Stressparameter beschäftigt, und auch wieder nur im virtuellen TSST bei Erwachsenen (Wechsler et al., 2019). Hier muss einschränkend genannt werden, dass es sich hier um eine kleine Stichprobe von 21 Frauen im jungen Erwachsenenalter handelt und viele verschiedene Fragestellungen gleichzeitig (Blickverhalten, Copingmechanismen sowie olfaktorische Stimulation während des TSST) beantwortet werden sollten. Besonders muss jedoch auch erwähnt werden, dass es sich hierbei um die Veröffentlichung eines Konferenzposters handelt und nicht um einen Artikel mit peer-review-Verfahren, wodurch einerseits die Informationen eingeschränkter sind und zudem nicht überprüft wurden. Da es seit dem Erscheinen des Posters 2019 keine Veröffentlichung in einem Journal mit peer-review stattfand, muss auch die Verlässlichkeit der Daten hinterfragt werden. Grundsätzlich wurden in dem Poster Befunde berichtet, die den aktuellen Ergebnissen zum Teil entsprechen, zum Teil aber auch widersprechen: so war bei Wechsler et al. (2019) der Blickanteil auf die Kamera mit dem Stressparameter Hautleitfähigkeit während der Rede positiv mit mittlerer Stärke assoziiert, die in den aktuellen Daten sehr irrelevant war. Ebenfalls während der Rede und in der Hautleitfähigkeit zeigte sich eine negative Assoziation mit dem Blick auf das weibliche Gremiumsmitglied, was zu unserem Befund mit der HRV als zeitsensitiver Parameter des ANS mit Abnahme des Stressses passt. Hingegen wurde ein positiver Zusammenhang des Blickanteils auf das weibliche Gremiumsmitglied in der Herzrate während der Rechenaufgabe gefunden, die wir nicht beobachten konnten. Einschränkend muss jedoch erwähnt werden, dass in den vorliegenden Daten über den gesamten IV-TSST-C das Blickverhalten betrachtet wurde und nicht spezifisch während der Rede- oder Rechenaufgabe, was die Vergleichbarkeit nochmals reduziert. Beim männlichen Gremiumsmitglied gab es

keine Zusammenhänge in den Stressreaktionen und bei der Umgebung, bzw. bei Wechsler et al. als „Wände“ definiert, zeigt sich in der Herzrate ein negativer Zusammenhang. Über alle AOIs gab es erneut keine Zusammenhänge mit dem subjektiven Stress. Durch eine Interpretation unter Vorbehalt dieser Befunde und in Verbindung mit den eigenen Erkenntnissen lässt sich zwar keine valide Aussage treffen, aber zumindest eine Annahme unterstützen: scheinbar sind sensitive Stressparameter des ANS, wie Herzrate, Herzratenvariabilität oder Hautleitfähigkeit wahrscheinlicher mit dem Blickverhalten assoziiert als andere Stressparameter. Dies erscheint naheliegend, da alle Parameter unmittelbar im TSST erhoben werden und keinen zeitlichen Verzögerungen wie bei Cortisol oder Alpha Amylase oder Erinnerungseffekten wie beim subjektiven Stress unterliegen.

Inwieweit diese Unterschiede robust in den realen oder virtuellen Settings, in den verschiedenen alters- und geschlechtsspezifischen Aspekten der Stichproben sind oder welchen Stellenwert das Blickverhalten als Stressparameter tatsächlich hat, kann aber noch nicht abschließend gesagt werden. Die aktuellen Ergebnisse zeigen kaum Zusammenhänge und mit nur geringer Ausprägung bei einer gesunden jugendlichen Stichprobe im robusten realen TSST-C, was eher gegen das Blickverhalten als eigenständigen Indikator für Stress auf der behavioralen Ebene spricht. Es muss dabei jedoch auch bedacht werden, dass nicht immer konsistente Zusammenhänge in den etablierten Stressparametern berichtet werden (Campbell & Ehlert, 2012). Nichtsdestotrotz sind noch viele Fragen unbeantwortet und erfordern eine genaue, ausführliche und kontrollierte Exploration, bevor dies abschließend beurteilt werden kann.

Generell kann noch ergänzt werden, dass das Blickverhalten im realen TSST-C ein sehr zeit- und kostenaufwändiger sowie störungsanfälliger Parameter ist. Das Equipment und die Software sind finanzielle Aspekte, die nicht jedes Labor einfach ergänzen kann, besonders im Vergleich zu VAS Skalen oder der Messung von Herzrate(nvariabilität). Die Vorverarbeitung der Blickdaten ist sehr zeitaufwändig (über 10 Stunden je Versuchsperson), da durch die dynamische Szene viele Frames individuell kodiert werden müssen. Einige Personen mussten wegen nicht durchführbarer Kalibrierung ausgeschlossen werden und die vorverarbeiteten Daten zeigten eine große Spanne der kodierten Zeit, wodurch die Verlässlichkeit der Ergebnisse abnimmt. Zudem zeigten die hier aufgeführten Ergebnisse wie bereits erwähnt keine eindeutige Validität als Stressparameter. Die Befunde in der HRV

könnten vielmehr auch in dem Kontext interpretiert werden, dass mit dem Blickverhalten dieser Studie weniger Stress, sondern spezifische Aspekte des Stressparadigmas (wer sitzt im Gremium, wer gibt welche Anweisungen) abgebildet werden. Dies wäre auch im Einklang damit, dass die Kamera als uninteressanter Aspekt im Paradigma auffällt.

Die Erhebung des Blickverhaltens im virtuellen TSST-C würde zwar Kosten, Aufwand und Anfälligkeit des Parameters reduzieren, jedoch erscheint dies unter den vorliegenden Erkenntnissen als nicht gewinnbringend, da weder die virtuelle Version eine vollumfänglich vergleichbare Stressreaktion in der jugendlichen Stichprobe auslöst, noch das Blickverhalten generell mit dem Stress assoziiert zu sein scheint. Daher wird im Rahmen dieser Doktorarbeit die Untersuchung der virtuellen Blickdaten nicht durchgeführt.

4.4 Stärken und Limitationen

Die hier beschriebene Studie hat vielerlei Stärken, die zu betonen sind. Es ist die erste experimentelle Herangehensweise zum Vergleich eines realen TSST-C mit einem modernen virtuellen Pendant anhand einer multimodalen Stressantwort bei Kindern und Jugendlichen. Zudem ist es die erste gezielte Untersuchung des Blickverhaltens als Stressparameter im realen TSST-C. Eine a-priori berechnete Stichprobengröße aufgrund der Power-Analyse wurde in der Erhebung erreicht und sogar übertroffen. In der Studie wurde eine heterogene Stichprobe erhoben, die Faktoren Alter, Geschlecht und Pubertät wurden berücksichtigt und damit die Generalisierbarkeit der Ergebnisse unterstützt. Die Stichprobe ist sehr gut charakterisiert, neben demografischen Merkmalen wurden die Eigenschaften Intelligenz, Persönlichkeit, Temperament, Ängstlichkeit, Stressvulnerabilität sowie Alexithymie erfasst. Psychiatrisch relevante Faktoren wie traumatische Erlebnisse in der früheren Kindheit, Verhaltensauffälligkeiten im Selbst- sowie Fremdbereich, Angst- und Depressionstendenzen sowie psychische (Vor-)Erkrankungen wurden standardisiert erhoben und kontrolliert. Die Zuteilung zu den Erhebungsbedingungen (realer oder virtueller TSST-C) erfolgte randomisiert anhand eines programmierten Zuordnungssystems. Die entstandenen Gruppen unterschieden sich in der statistischen Überprüfung in keinem der genannten Faktoren, was der generellen Vergleichbarkeit der Gruppen zutrug und wodurch die Ergebnisse ohne Einschränkungen interpretierbar waren. Auch innerhalb der Gruppe des VR-TSST-C

war die Vorerfahrung mit einem HMD sehr ausgewogen, bei nahezu 50 %. Die nach neuestem Stand entworfene virtuelle Umgebung wurde von den Teilnehmer:innen gut angenommen und dient somit als aktueller Maßstab, verglichen mit früheren, klobigen Versionen (Borst & Gelder, 2015). Präsenz und VR-Krankheit als spezifische Maße im Kontext der Forschung mit VR wurden einbezogen und ihre Rollen bei der Stressinduktion untersucht. Zudem zeigte sich eine entsprechend gute Immersion durch Hard- und Software und einhergehend eine hohe räumliche Präsenz in der virtuellen Umgebung. Unerwünschte Effekte hielten sich im Rahmen und die geringen Symptome der VR-Krankheit sprechen für eine grundsätzliche Verträglichkeit des VR-TSST-C bei Kindern und Jugendlichen. Die Ergebnisse des Blickverhaltens im IV-TSST-C sind in Anbetracht der aktuellen Literatur im Kontext der umfassendsten multimodalen Stressantwort interpretiert und die ersten für eine jugendliche Stichprobe bisher. Ein spezifischer Aspekt im Protokoll des vorliegenden TSST-C erhöhte die Interpretierbarkeit der Blickdaten und stellt womöglich einen bisher vernachlässigten, aber zu kontrollierenden Faktor dar: die Teilnehmer:innen im TSST-C sollten einen markierten Punkt am Boden nicht verlassen. Diese Instruktion begründete sich, neben dem Sicherheitsabstand während der Corona-Pandemie, aus der Standardisierung der beiden Versionen heraus, da in VR keine Bewegung im tatsächlichen Raum unterstützt werden sollte. Dies diente besonders der Verhinderung von Verletzungen und Vermeidung von VR-Krankheit. Durch die beibehaltende Distanz zum Gremium wiederum wurde die generelle Auswertbarkeit der Blickdaten positiv beeinflusst, da das Verhältnis von AOI Größe und Umgebung nahezu gleichblieb.

Daneben gibt es jedoch auch verschiedene Limitationen, die genannt und berücksichtigt werden müssen.

Hinsichtlich der Stichprobe unterschieden sich die Gruppen zwar nicht signifikant in Alter oder Geschlecht, jedoch zeigte sich in genauerer deskriptiver Betrachtung, dass in der Verteilung gehäuft jüngere männliche Teilnehmer getestet wurden, wodurch die Cortisolantwort abgeflacht sein könnte. Dies mag zwar den gefundenen Gruppeneffekt im Cortisol nicht umfänglich erklären, sollte aber berücksichtigt werden. Daneben deckten nicht alle angewendeten Fragebögen die Altersspanne der Teilnehmer:innen ab, z. B. Persönlichkeit und Ängstlichkeit (Stichprobe zu jung) oder Alexithymie und Stressvulnerabilität (Stichprobe teilweise zu alt). Entsprechend ist die generelle Interpretierbarkeit hier etwas eingeschränkt, jedoch

durch die Balancierung der Gruppen und der vorliegenden Fragestellung von vernachlässigbarem Einfluss. Darüber hinaus gab es keine auffälligen Verständnisprobleme, über alle Fragebogen, auch die altersgerechten, wurden manche Formulierungen nachgefragt und dafür war auch immer die Versuchsleitung als Ansprechperson in der Nähe.

Die Stressantwort hinsichtlich Cortisol und Alpha Amylase wurde zudem nicht direkt im Blut, sondern indirekt über den Speichel gemessen. Die gemessenen Werte entsprechen daher vielleicht nicht den wahren Konzentrationen im Sinne eines Sensitivitätsverlustes. Nichtsdestotrotz gelten Konzentrationsmessungen aus dem Speichel als valide (D. H. Hellhammer et al., 2009; Nater & Rohleder, 2009) und sind im vorliegenden Design erneut von geringem Einfluss auf die Interpretierbarkeit der Ergebnisse. Daneben zeigen die gefundenen Stressreaktionen ein inkonsistentes Bild, was wiederum die generelle Aussage zur Wirksamkeit eines VR-TSST-C erschwert. Dies liegt aber auch an der multimodalen Stressantwort an sich, da die Stressparameter nicht in direktem Zusammenhang stehen, z. B. zwischen Herzrate und Cortisol (Gordis et al., 2006) oder subjektive Antworten und Cortisol (Campbell & Ehler, 2012). Entsprechend müssen die Ergebnisse individuell betrachtet werden und bei zukünftigen Anwendungsbereichen demgemäß abgewogen werden. Für eine endgültige Aussage hinsichtlich der Stressreaktion im virtuellen TSST-C des autonomen Nervensystems bezüglich der Gleichheit scheint es an einer ausreichend großen Stichprobe zu mangeln, da sowohl Herzrate als auch Herzratenvariabilität weder statistisch unterschiedlich noch äquivalent waren.

Im Ablauf der Studie gibt es den Nachteil, dass es Unterschiede zwischen den Gruppen gibt: während des virtuellen Stresstests war immer eine Person der Versuchsleitung anwesend, während beim originalen Stresstest nur das Gremium anwesend war. Dies liegt an den Anforderungen der Testung von Kindern und Jugendlichen, da die minderjährigen Teilnehmer:innen nicht allein im Raum gelassen werden durften, um bei ungewollten Ereignissen wie Abbruch oder Schwindel/Übelkeit zügig eingreifen zu können. Dennoch könnte dies einen Einfluss auf die Stressreaktion gehabt haben, beispielsweise einen Sicherheitsaspekt durch die Anwesenheit einer bekannten, freundlichen Person. Dem entgegen sprechen jedoch die berichteten Angstwerte. Die gegenteilige Richtung im Sinne eines stressfördernden Effektes ist daher denkbar, im Sinne von „jemand beobachtet mich / hört zu“. Diese möglichen Effekte können leider mit dem vorliegenden Versuchsaufbau nicht konkret bestätigt

oder verworfen werden. Zukünftige Studien sollten dies in der Versuchsplanung berücksichtigen und soweit möglich vermeiden oder zumindest kontrollieren. Eine weitere ethische Vorgabe, das aufgeklärte Einverständnis, bedingte, dass die Teilnehmer:innen schon zu Beginn der Studienteilnahme über das Setting informiert waren. Ein möglicher Entlastungseffekt durch die niedrigere Schwelle „in VR“ mag hier womöglich ebenfalls einen Sicherheitsaspekt mit stressmilderndem Effekt gehabt haben. Es wurde jedoch immer darauf geachtet, die alternative Bedingung im Hintergrund zu belassen und keinen Vergleich zu ziehen. In der realen Bedingung gab es zudem keine Person, die aufgrund der Aufklärung die Studienbereitschaft zurückgezogen hätte, die Erwartungsangst also nicht unverhältnismäßig größer gewesen wäre.

Die ausgewerteten Blickdaten des realen TSST-C basieren auf einer einmaligen Kodierung. Eine vorausgehende Kontrollstruktur wurde zwar versucht mittels eines Kodiermanuals und der festen Größe des Fixationsradius bei den AOIs (Vehlen et al., 2022) zu schaffen, eine vollständige Einhaltung kann jedoch nicht garantiert werden. Für eine reliable Aussage wäre eine Doppelkodierung von mindestens 30 % sinnvoll, um Verzerrungen ausschließen zu können. Dies wurde in der aktuellen Aufbereitung vernachlässigt und sollte dringend nachgeholt werden, sobald ein Zugang zur Software-Lizenz wieder möglich ist. Nichtsdestotrotz bleiben die gefundenen Ergebnisse interpretierbar, da es sich vor allem um nicht vorhandene Korrelationen handelt und daher der wahrscheinlichere Typ-I-Fehler (falsch-positiv) ausgeschlossen werden kann. Zu beachten ist auch, dass die Ergebnisse des Blickverhaltens als Stressparameter im realen TSST-C mit der wenigen Literatur aus virtuellen TSSTs eingeordnet wurden. Dabei gibt es aufgrund der relativen Neuheit des Eyetrackings in VR noch wenig systematische Untersuchungen, wodurch die Vergleichbarkeit nicht abschließend beurteilt ist und somit eingeschränkt sein könnte. Zudem wurden technische Unterschiede der Eyetrackingsysteme wie beispielsweise die Ausgaberate (Frames pro Sekunde) nicht berücksichtigt. Dies kann in der erfolgten explorativen Untersuchung aber auch vernachlässigt werden, da der gewählte Blickparameter „Blickdauer“ (Summe der Fixationen) eine geringe Sensitivität bei der Ausgaberate aufweist (Andersson et al., 2010).

Zuletzt muss noch erwähnt werden, dass Fragen zu den Effekten der virtuellen Umgebung nur mithilfe einer Kontrollbedingung zum TSST-C (z. B. Placebo TSST-C) beantwortet werden können. Allerdings war die Fragestellung dieser Studie eine

andere, nämlich die Vergleichbarkeit der beiden TSST-C Versionen hinsichtlich ihrer Stressinduktion bei einer gesunden, jugendlichen Stichprobe.

4.5 Ausblick

Anhand der gefundenen Ergebnisse lassen sich zugleich neue Fragen, aber auch Implikationen ableiten. Für die Stressinduktion mithilfe eines virtuellen TSST-C scheinen einige Wirkfaktoren, im Vergleich zur realen Version, noch nicht ausreichend untersucht. Der Einfluss einer anwesenden Person, z. B. der wohlwollenden Versuchsleitung, während des Stressparadigmas wurde bisher nicht untersucht, sondern entweder als vernachlässigbar (z. B. Shiban et al., 2016) oder zu vermeiden (z. B. Zimmer, Buttlar, et al., 2019) betrachtet. Dieser widersprüchliche Umgang mit der potentiellen Störvariable zeigt, dass dies eine spannende Frage wäre, die man in einem recht simplen Experiment beantworten könnte. Eine weitere, recht einfach zu beantwortende Frage hinsichtlich der Wirkmechanismen wäre, ob die soziale Bewertung in der virtuellen Umgebung als real und damit bedrohlich wahrgenommen wurde oder nicht. Falls dem nicht so wäre, würde das die geringere HPA-Achsen-Aktivierung erklären (Dickerson & Kemeny, 2004). Diese und weitere Fragen könnte ein Placebo-TSST-C in VR beantworten (Het et al., 2009). Zudem können zukünftige Studien die Frage zur Äquivalenz der Stressreaktionen im autonomen Nervensystem zwischen den Bedingungen weiterverfolgen, dazu können auch die hier berichteten Effektstärken unterstützen.

Aufgrund der eingeschränkten Studienlage im Kindes- und Jugendbereich erscheinen Untersuchungen zum Geschlechtereffekt in VR und einhergehende Phänomene wie Präsenz oder VR-Krankheit spannend. Insbesondere bei einer Generation, die mit vielen Kontakten zu diesen Techniken aufwächst und auch generell die Verfügbarkeit von VR-Systemen steigt. Dies kann auch für Bereiche außerhalb der Grundlagenforschung, beispielsweise Versorgung im Sinne von Therapien in virtuellen Settings, gewinnbringend sein. Es gibt erste Überblicksarbeiten zur Wirksamkeit von VR-basierten Angeboten, z. B. zur Reduktion von akutem und chronischem psychologischen Stress bei Jugendlichen (Kelson et al., 2021) oder zur Alkoholprävention bei Jugendlichen (Prediger et al., 2021), die jedoch noch nicht auf geschlechtsspezifische Aspekte für die Wirksamkeit eingehen.

Der virtuellen Version des TSST-C kann aufgrund des gemischten Ergebnisbildes keine generelle Einsatzempfehlung gegeben werden, jedoch gibt es durchaus Forschungsbereiche, in dem die Vorteile der einfachen und günstigen Umsetzung eines Stressparadigmas Anwendung finden können. Im Bereich der Stressforschung eignet sich der virtuelle TSST-C insbesondere für Fragestellungen mit dem autonomen Nervensystem als Stressindikator. Klinische Krankheitsbilder im Jugendalter, wie beispielsweise die posttraumatische Belastungsstörung (Siciliano et al., 2022) oder Substanzmissbrauch (D. Rahal et al., 2023) zeigten spannende Zusammenhänge im ANS, die mit einer virtuellen Version des TSST-C gut im Stresskontext weiter untersucht werden könnten.

Die Frage der Aussagekraft des Blickverhaltens als behavioraler Stressparameter bleibt zu einem großen Teil noch unbeantwortet. Vielmehr wurden weitere Fragen aufgeworfen, beispielsweise nach den Einflussfaktoren, die die Messung des Blickverhaltens verzerren könnten, wie beispielsweise der Anteil der verfügbaren AOs an der unspezifischen Umgebung, oder der individuellen Zusammenhänge mit den verschiedenen Domänen der Stressparameter (ANS, HPA-Achse, subjektiver Stress). Daraus ergibt sich wiederum die Frage, ob diese Faktoren recht ökonomisch in einem virtuellen Setting untersucht werden können und auf die realen Bedingungen generalisierbar sind oder spezifisch für das jeweilige Setting bleiben. Diese Fragen sind dringend zu untersuchen, da die verbesserte Verfügbarkeit von Eyetracking in recht kostengünstigen VR-Systemen zu einer breiteren Anwendung führen könnte. So wurden in den letzten Jahren in verschiedenen Designs in VR bereits Blickdaten als Parameter für Blickvermeidung untersucht, z. B. bei sozialer Ängstlichkeit (Reichenberger et al., 2020) oder bei der Untersuchung des Aufmerksamkeitsbias bei Rauchenden (Schröder & Mühlberger, 2022), dabei auch spezifisch nach Stressinduktion mittels VR-TSST (Schröder & Mühlberger, 2023). Um hier die Generalisierbarkeit und Replizierbarkeit gewährleisten zu können, ist es wichtig, frühzeitig die beeinflussenden Faktoren zu untersuchen.

Diese Aspekte zeigen den großen Anwendungsbereich eines virtuellen TSST-Cs in der Forschung sowie die Relevanz des Blickverhaltens als einfach erfassbarer Parameter auf – spezifisch aber auch unabhängig von den hier gefundenen Ergebnissen. Die Themen bergen somit ein großes Potential, zu dem die hier vorliegende Arbeit einen Beitrag liefert.

4.6 Fazit

Über die physiologischen und psychologischen Parameter der multimodalen Stressantwort zeigt sich ein gemischtes Bild in der Übertragbarkeit einer modernen virtuellen TSST-C Version, verglichen mit einem üblichen TSST-C in realer Umgebung. In allen Parametern wurde in beiden Versionen eine bedeutsame Stressreaktion ausgelöst, zwischen den Parametern gibt es aber Unterschiede, die beachtet werden müssen. Die Stressinduktion der virtuellen Version im autonomen Nervensystem zeigte eine valide und reliable Stressreaktion, die Parameter zeigten keine Unterschiede zum originalen TSST-C und eine Gleichheit war teilweise vorhanden, teilweise annähernd. Die Stressantworten des Stresshormons Cortisol sowie in der direkten Befragung der Teilnehmer:innen waren vorhanden, zeigten jedoch eine Unterlegenheit der virtuellen Version gegenüber dem bisher üblichen Setting. Hingegen bei den Nebenerscheinungen der Stressinduktion, Angst und Depression, wurden keine relevanten Unterschiede gefunden. Das Blickverhalten im realen TSST-C zeigte sich als weniger verlässlicher Stressindikator, bedarf aber dringend weiterer Untersuchungen.

5. Zusammenfassung

Stress ist ein Faktor, der das Leben unmittelbar beeinflussen und damit langfristig große Auswirkungen auf die Gesundheit haben kann. Dabei zeigt sich Stress in verschiedenen Modalitäten und sollte daher immer als multimodale Stressantwort erhoben werden. Die Erforschung der unmittelbaren Stressreaktion ist essentiell und durch Paradigmen wie dem Trier Sozialem Stress Test (TSST), dem Goldstandard zur Erzeugung von psychosozialen Stress im Labor, weit verbreitet. Über die letzten Jahre wurde der TSST erfolgreich in ein virtuelles Setting übertragen, um die Forschung weiter zu erleichtern. Ob die Übertragbarkeit in die virtuelle Realität (VR) auch für die Kinderversion des Stressparadigmas, den TSST-C, gilt, wurde bisher noch nicht evaluiert. Ziel dieser Studie war es daher die multimodale Stressantwort auf einen modernen virtuellen TSST-C mit einem originalen TSST-C zu vergleichen. Darüber hinaus sollte das Blickverhalten als behavioraler Stressparameter exploriert werden. Zu diesem Zweck wurden $N = 73$ gesunde Kinder und Jugendliche im Alter zwischen 11 und 17 Jahren erhoben. Bei einer Gruppe ($n = 37$) wurde Stress mittels realem TSST-C, bei der anderen Gruppe ($n = 36$) mittels virtuellem TSST-C induziert. Parameter der multimodalen Stressantwort waren Cortisol- und Alpha Amylase-Konzentrationen aus dem Speichel, Herzrate, Herzratenvariabilität, Blickdauer sowie subjektive Stress- und Angstantworten. Daneben wurde das Präsenzerleben in VR und Symptome der VR-Krankheit als potentielle Einflussfaktoren auf die Stressreaktion sowie verschiedene Variablen zur demografischen und psychometrischen Vergleichbarkeit der Gruppen erhoben und kontrolliert. Es zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen im Cortisol und dem subjektiven Stress, nicht jedoch bei subjektiver Angst und den Parametern des autonomen Nervensystems (Alpha Amylase, Herzrate und Herzratenvariabilität). Bei Alpha Amylase konnte eine Gleichheit der Stressreaktion in den Gruppen bestätigt werden. Der Grad des Eintauchens in die VR hatte keinen Einfluss auf das Stresserleben und auch die VR-Krankheit führt zu keinen bedeutsamen Konfundierungen mit der Stressreaktion. Das Blickverhalten im realen TSST-C ist nicht eindeutig und konsistent mit etablierten Stressparametern assoziiert und bedarf dringend weiterer Untersuchungen. Der Nutzen und die möglichen Anwendungsbereiche eines virtuellen TSST-C, aber auch die Grenzen der fehlenden sozialen Evaluation in VR wurden diskutiert.

6. Anhang

Anhang A – Abkürzungsverzeichnis

| Abkürzung | Bezeichnung [deutsche Übersetzung] |
|------------------|--|
| ACTH | adrenokortikotropes Hormon |
| ANOVA | Analysis of Variances [Varianzanalyse] |
| ANS | Autonomes Nervensystem |
| AOI | Area of Interest [relevanter Blickbereich] |
| AQC-G | Alexithymia Questionnaire for Children - German version [Alexithymie-Fragebogen für Kinder, deutsche Version] |
| BAI | Beck-Angst-Inventar |
| BD | Blickdauer |
| BFI-10 | Big-Five-Inventary |
| BMI | Body Mass Index |
| bpm | beats per minute [Herzschläge in der Minute] |
| CAVE | Cave Automatic Virtual Environment |
| CBCL/6-18R | Deutsche Schulalter-Formen der Child Behavior Checklist (Elternfragebogen) |
| CFT 20-R | Grundintelligenztest Skala 2-Revision |
| CRF | Corticotropin Releasing Faktor |
| CTQ-SF | Childhood Trauma Questionnaire - Kurzversion [Kindheitstrauma- Fragebogen – Kurzversion] |
| DHEA | Dehydroepiandrosteron |
| DHEAS | Dehydroepiandrosteron Sulfatester |
| EKG | Elektrokardiogramm |

| | |
|-----------------|--|
| FDR | false discovery rate [Falscherkennungsrate] |
| HMD | Head-Mounted Display [VR-Brille] |
| HPA | Hypothalamus-Hypophysen-Nebennieren-Achse |
| HR | Herzrate |
| HRV | Herzratenvariabilität |
| IPQ | IGroup Presence Questionnaire [Präsenzfragebogen] |
| IQ | Intelligenzquotient |
| IV | in vivo / Realität |
| IV-TSST-C | reale Version des Trier Sozialen Stress Test für Kinder |
| JTCI 12-18 R | Junior-Temperament und Charakter-Inventar |
| M.I.N.I KID 6.0 | Mini Internationales Neuropsychiatrisches Interview für Kinder und Jugendliche |
| ms | Millisekunden |
| PDS | Pubertal Development Scale |
| PTBS | Posttraumatische Belastungsstörung |
| RMSSD | root mean square of successive differences [Wurzel aus dem mittleren Quadrat der aufeinanderfolgenden Differenzen] |
| SAM | Sympathikus-Nebennierenmark-System |
| SSKJ 3-8 R | Fragebogen zur Erhebung von Stress und Stressbewältigung im Kindes- und Jugendalter - Revision |
| STADI | State-Trait-Angst-Depressions-Inventar |
| T0 | Telefonscreening |
| T1 | Erster Testtermin |
| T2 | Zweiter Testtermin |
| TSST | Trier Sozialer Stress Test |
| TSST-C | Trier Sozialer Stress Test im Kindesalter |

| | |
|------------|---|
| VAS | Visuelle Analogskala |
| VR | Virtuelle Realität |
| VRSQ | Virtual Reality Sickness Questionnaire |
| VR-TSST | Trier Sozialer Stress Test in virtueller Realität |
| VR-TSST-C | virtuelle Version des Trier Sozialer Stress Test für Kinder |
| YSR/11-18R | Deutsche Schulalter-Formen der Child Behavior Checklist (Selbstauskunft) |

Anhang B – Abbildungsverzeichnis

| Abbildung | Titel | Seite |
|------------------|---|--------------|
| Abbildung 1 | Gegenüberstellung der realen und virtuellen Szene des TSST-C mit Gremium und Kamera | 39 |
| Abbildung 2 | Überblick über den Ablauf der Testung mit Unterscheidung von IV und VR Gruppe sowie Erhebungszeitpunkte der Stressparameter | 40 |
| Abbildung 3 | Stressreaktion im Cortisol | 56 |
| Abbildung 4 | Cortisolreaktion abhängig vom Pubertätsstatus | 57 |
| Abbildung 5 | Stressreaktion in der Alpha Amylase | 58 |
| Abbildung 6 | Stressreaktion in der Herzrate | 59 |
| Abbildung 7 | Stressreaktion in der Herzratenvariabilität (RMSSD) | 60 |
| Abbildung 8 | Stressreaktion in der subjektiven Antwort (VAS _{Stress}) | 61 |
| Abbildung 9 | Stressreaktion in der subjektiven Antwort (VAS _{Traurigkeit}) | 62 |
| Abbildung 10 | Stressreaktion in der subjektiven Antwort (VAS _{Angst}) | 63 |
| Abbildung 11 | Stressreaktion in der subjektiven Antwort (VAS _{Ärger}) | 64 |
| Abbildung 12 | Stressreaktion in der subjektiven Antwort (VAS _{Aggression}) | 65 |
| Abbildung 13 | Stressreaktion in der subjektiven Antwort (STADI-State) | 66 |
| Abbildung 14 | Blickdauer im TSST-C abhängig vom Geschlecht der Versuchsperson | 69 |

Anhang C – Tabellenverzeichnis

| Tabelle | Titel | Seite |
|----------------|--|--------------|
| Tabelle 1 | Demografische Eigenschaften der Stichprobe und Gruppenvergleiche | 24 |
| Tabelle 2 | Psychometrische Eigenschaften der Stichprobe und Gruppenvergleiche | 52 |
| Tabelle 3 | ANOVAs der verschiedenen Stressparameter | 54 |
| Tabelle 4 | Erlebte Präsenz und VR-Krankheit | 67 |
| Tabelle 5 | Anteiliges Blickverhalten im realen Trier Sozialen Stress Test | 68 |

7. Literaturverzeichnis

- Adam, E. K., Quinn, M. E., Tavernier, R., McQuillan, M. T., Dahlke, K. A., & Gilbert, K. E. (2017). Diurnal cortisol slopes and mental and physical health outcomes: A systematic review and meta-analysis. *Psychoneuroendocrinology*, *83*, 25–41. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2017.05.018>
- Allen, A. P., Kennedy, P. J., Cryan, J. F., Dinan, T. G., & Clarke, G. (2014). Biological and psychological markers of stress in humans: Focus on the Trier Social Stress Test. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *38*, 94–124. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.11.005>
- Allen, A. P., Kennedy, P. J., Dockray, S., Cryan, J. F., Dinan, T. G., & Clarke, G. (2017). The Trier Social Stress Test: Principles and practice. *Neurobiology of Stress*, *6*, 113–126. <https://doi.org/10.1016/j.ynstr.2016.11.001>
- Andersson, R., Nyström, M., & Holmqvist, K. (2010). Sampling frequency and eye-tracking measures: how speed affects durations, latencies, and more. *Journal of Eye Movement Research*, *3*(3). <https://doi.org/10.16910/jemr.3.3.6>
- Annerstedt, M., Jönsson, P., Wallergård, M., Johansson, G., Karlson, B., Grahn, P., Hansen, Å. M., & Währborg, P. (2013). Inducing physiological stress recovery with sounds of nature in a virtual reality forest—Results from a pilot study. *Physiology & Behavior*, *118*, 240–250.
- Bader, K., Hänny, C., Schäfer, V., Neuckel, A., & Kuhl, C. (2009). Childhood trauma questionnaire—psychometrische Eigenschaften einer deutschsprachigen Version. *Zeitschrift Für Klinische Psychologie Und Psychotherapie*, *38*(4), 223–230.
- Bae, Y. J., Stadelmann, S., Klein, A. M., Jaeger, S., Hiemisch, A., Kiess, W., Ceglarek, U., Gaudl, A., Schaab, M., Klitzing, K. von, Thiery, J., Kratzsch, J., & Döhnert, M. (2015). The hyporeactivity of salivary cortisol at stress test (TSST-C) in children with internalizing or externalizing disorders is contrastively associated with α -amylase. *Journal of Psychiatric Research*, *71*, 78–88. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2015.09.013>

- Bagby, R. M., Parker, J. D., & Taylor, G. J. (1994). The twenty-item Toronto Alexithymia Scale--I. Item selection and cross-validation of the factor structure. *Journal of Psychosomatic Research*, 38(1), 23–32. [https://doi.org/10.1016/0022-3999\(94\)90005-1](https://doi.org/10.1016/0022-3999(94)90005-1)
- Bahr, L.-M., Maurer, F., Weigl, J., Weber, K., Melchner, D., Dörfelt, A., Wechsler, T. F., Bauer, O., Reinders, J., & Milenkovic, V. M. (2021). Dissociation of endocrine responses to the Trier Social Stress Test in Virtual Reality (VR-TSST) by the benzodiazepine alprazolam and the translocator protein 18 kDa (TSPO) ligand etifoxine. *0306-4530*, 124, 105100.
- Bar-Haim, Y., Lamy, D., Pergamin, L., Bakermans-Kranenburg, M. J., & van IJzendoorn, M. H. (2007). Threat-related attentional bias in anxious and nonanxious individuals: A meta-analytic study. *Psychological Bulletin*, 133(1), 1–24. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.133.1.1>
- Baumann, V., Birnbaum, T., Breitling-Ziegler, C., Tegelbeckers, J., Dambacher, J., Edelmann, E., Bergado-Acosta, J. R., Flechtner, H.-H., & Krauel, K. (2020). Exploration of a novel virtual environment improves memory consolidation in ADHD. *Scientific Reports*, 10(1), 21453. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78222-4>
- Beck, A. T., Epstein, N., Brown, G., & Steer, R. A. (1988). An inventory for measuring clinical anxiety: psychometric properties. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 56(6), 893.
- Benjamini, Y., & Hochberg, Y. (1995). Controlling the False Discovery Rate: A Practical and Powerful Approach to Multiple Testing. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 57(1), 289–300. <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1995.tb02031.x>
- Bernstein, D. P., Ahluvalia, T., Pogge, D., & Handelsman, L. (1997). Validity of the Childhood Trauma Questionnaire in an adolescent psychiatric population. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 36(3), 340–348.

- Bernstein, D. P., Stein, J. A., Newcomb, M. D., Walker, E., Pogge, D., Ahluvalia, T., Stokes, J., Handelsman, L., Medrano, M., & Desmond, D. (2003). Development and validation of a brief screening version of the Childhood Trauma Questionnaire. *Child Abuse & Neglect*, 27(2), 169–190.
- Berntson, G. G., & Cacioppo, J. T. (2004). Heart rate variability: Stress and psychiatric conditions. *Dynamic Electrocardiography*, 57–64.
- Blender Online Community. (2018). *Blender - a 3D modelling and rendering package*. <http://www.blender.org>
- Bohil, C. J., Alicea, B., & Biocca, F. A. (2011). Virtual reality in neuroscience research and therapy. *Nature Reviews Neuroscience*, 12(12), 752–762.
- Borst, A. W. de, & Gelder, B. de (2015). Is it the real deal? Perception of virtual characters versus humans: An affective cognitive neuroscience perspective. *Frontiers in Psychology*, 6, 576. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00576>
- Botella, C., García-Palacios, A., Quero, S., Baños, R. M., & Bretón-López, J. M. (2006). Realidad virtual y tratamientos psicológicos: una revisión. *Psicología Conductual*, 3(1), 491–510.
- Bowman, D. A., & McMahan, R. P. (2007). Virtual reality: how much immersion is enough? *Computer*, 40(7), 36–43.
- Buske-Kirschbaum, A., Geiben, A., Höllig, H., Morschhäuser, E., & Hellhammer, D. (2002). Altered responsiveness of the hypothalamus-pituitary-adrenal axis and the sympathetic adrenomedullary system to stress in patients with atopic dermatitis. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 87(9), 4245–4251.
- Buske-Kirschbaum, A., Jobst, S., Wustmans, A., Kirschbaum, C., Rauh, W., & Hellhammer, D. (1997a). Attenuated free cortisol response to psychosocial stress in children with atopic dermatitis. *Psychosomatic Medicine*, 59(4), 419–426.
- Buske-Kirschbaum, A., Jobst, S., Wustmans, A., Kirschbaum, C., Rauh, W., & Hellhammer, D. (1997b). Attenuated free cortisol response to psychosocial stress in children with atopic dermatitis. *Psychosomatic Medicine*, 59(4), 419–426.

- Campbell, J., & Ehler, U. (2012). Acute psychosocial stress: does the emotional stress response correspond with physiological responses? *0306-4530*, *37*(8), 1111–1134.
- Campisi, J., Bravo, Y., Cole, J., & Gobeil, K. (2012). Acute psychosocial stress differentially influences salivary endocrine and immune measures in undergraduate students. *Physiology & Behavior*, *107*(3), 317–321.
- Cannon, W. B. (1932). *The Wisdom of the Body*, WW Norton & Company. Inc., New York.
- Carskadon, M. A., & Acebo, C. (1993). A self-administered rating scale for pubertal development. *The Journal of Adolescent Health : Official Publication of the Society for Adolescent Medicine*, *14*(3), 190–195. [https://doi.org/10.1016/1054-139X\(93\)90004-9](https://doi.org/10.1016/1054-139X(93)90004-9)
- Castagna, P. J., Davis, T. E., & Lilly, M. E. (2017). The Behavioral Avoidance Task with Anxious Youth: A Review of Procedures, Properties, and Criticisms. *Clinical Child and Family Psychology Review*, *20*(2), 162–184. <https://doi.org/10.1007/s10567-016-0220-3>
- Castaldo, R., Melillo, P., Bracale, U., Caserta, M., Triassi, M., & Pecchia, L. (2015). Acute mental stress assessment via short term HRV analysis in healthy adults: A systematic review with meta-analysis. *Biomedical Signal Processing and Control*, *18*, 370–377. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2015.02.012>
- Center on the Developing Child. (2024). *Toxic Stress*. <https://developingchild.harvard.edu/science/key-concepts/toxic-stress/>
- Childs, E., Dlugos, A., & Wit, H. (2010). Cardiovascular, hormonal, and emotional responses to the TSST in relation to sex and menstrual cycle phase. *Psychophysiology*, *47*(3), 550–559. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2009.00961.x>
- Childs, E., Vicini, L. M., & Wit, H. de (2006). Responses to the Trier Social Stress Test (TSST) in single versus grouped participants. *Psychophysiology*, *43*(4), 366–371.

- Chiquet, S., Martarelli, C. S., & Mast, F. W. (2021). Eye movements to absent objects during mental imagery and visual memory in immersive virtual reality. *Virtual Reality, 25*(3), 655–667. <https://doi.org/10.1007/s10055-020-00478-y>
- Chrousos, G. P. (1992). The Concepts of Stress and Stress System Disorders. *JAMA, 267*(9), 1244. <https://doi.org/10.1001/jama.1992.03480090092034>
- Ciccione, A. B., Siedlik, J. A., Wecht, J. M., Deckert, J. A., Nguyen, N. D., & Weir, J. P. (2017). Reminder: Rmssd and SD1 are identical heart rate variability metrics. *Muscle & Nerve, 56*(4), 674–678. <https://doi.org/10.1002/mus.25573>
- Clay, V., König, P., & König, S. (2019). Eye Tracking in Virtual Reality. *Journal of Eye Movement Research, 12*(1). <https://doi.org/10.16910/jemr.12.1.3>
- Cobb, S. V. G., Nichols, S., Ramsey, A., & Wilson, J. R. (1999). Virtual Reality-Induced Symptoms and Effects (VRISE). *Presence, 8*(2), 169–186. <https://doi.org/10.1162/105474699566152>
- Cohen, S., Kessler, R. C., & Gordon, L. U. (1995). Strategies for measuring stress in studies of psychiatric and physical disorders. *Measuring Stress: A Guide for Health and Social Scientists, 28*, 3–26.
- Cohen, S., Tyrrell, D. A. J., & Smith, A. P. (1991). Psychological stress and susceptibility to the common cold. *New England Journal of Medicine, 325*(9), 606–612.
- Compas, B. E., & Phares, V. (2014). Stress during childhood and adolescence: Sources of risk and vulnerability. In *Life-span developmental psychology* (pp. 111–129). Psychology Press.
- Condon, E. M. (2018). Chronic Stress in Children and Adolescents: A Review of Biomarkers for Use in Pediatric Research. *Biological Research for Nursing, 20*(5), 473–496. <https://doi.org/10.1177/1099800418779214>
- Danner, M., Kasl, S. V., Abramson, J. L., & Vaccarino, V. (2003). Association between depression and elevated C-reactive protein. *Psychosomatic Medicine, 65*(3), 347–356.
- Davey, H. M., Barratt, A. L., Butow, P. N., & Deeks, J. J. (2007). A one-item question with a Likert or Visual Analog Scale adequately measured current anxiety. *Journal of Clinical Epidemiology, 60*(4), 356–360.

- Dawans, B. von, Kirschbaum, C., & Heinrichs, M. (2011). The Trier Social Stress Test for Groups (TSST-G): A new research tool for controlled simultaneous social stress exposure in a group format. *0306-4530*, *36*(4), 514–522.
- DAZ 3D. *3D-suite*. <https://www.daz3d.com/>
- DAZ 3D. *Genesis 8*. <https://www.daz3d.com/genesis8>
- Dedovic, K., Renwick, R., Mahani, N. K., Engert, V., Lupien, S. J., & Pruessner, J. C. (2005). The Montreal Imaging Stress Task: using functional imaging to investigate the effects of perceiving and processing psychosocial stress in the human brain. *Journal of Psychiatry and Neuroscience*, *30*(5), 319–325.
- Dickerson, S. S., & Kemeny, M. E. (2004). Acute stressors and cortisol responses: a theoretical integration and synthesis of laboratory research. *1939-1455*, *130*(3), 355.
- Diemer, J., Alpers, G. W., Peperkorn, H. M., Shiban, Y., & Mühlberger, A. (2015). The impact of perception and presence on emotional reactions: a review of research in virtual reality. *Frontiers in Psychology*, *6*, 26.
- Domes, G., & Zimmer, P. (2019). Acute stress enhances the sensitivity for facial emotions: a signal detection approach. *Stress*, *22*(4), 455–460.
- Döpfner, M., Plück, J., & Kinnen, C. (2014). Arbeitsgruppe Deutsche Child Behavior Checklist: CBCL/6-18R, TRF/6-18R, YSR/11-18R.: Manual deutsche Schulalter-Formen der Child Behavior Checklist von Thomas M. Achenbach. Elternfragebogen über das Verhalten von Kindern und Jugendlichen (CBCL/6–18R), Lehrerfragebogen über das Verhalten von Kindern und Jugendlichen (TRF/6–18R), Fragebogen für Kinder und Jugendliche (YSR/11–18R). *Göttingen: Hogrefe*.
- Duncan, L., Georgiades, K., Wang, L., van Lieshout, R. J., MacMillan, H. L., Ferro, M. A., Lipman, E. L., Szatmari, P., Bennett, K., Kata, A., Janus, M., & Boyle, M. H. (2018). Psychometric evaluation of the Mini International Neuropsychiatric Interview for Children and Adolescents (MINI-KID). *Psychological Assessment*, *30*(7), 916–928. <https://doi.org/10.1037/pas0000541>

- Ecker, A., Jarvers, I., Kocur, M., Kandsperger, S., Brunner, R., & Schleicher, D. (2024). Multifactorial stress reactivity to virtual TSST-C in healthy children and adolescents-It works, but not as well as a real TSST-C. *Psychoneuroendocrinology*, *160*, 106681. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2023.106681>
- El-Sheikh, M., Erath, S. A., Buckhalt, J. A., Granger, D. A., & Mize, J. (2008). Cortisol and children's adjustment: The moderating role of sympathetic nervous system activity. *Journal of Abnormal Child Psychology*, *36*, 601–611.
- Eschenbeck, H., Kohlmann, C.-W., Lohaus, A., & Klein-Heßling, J. (2006). Die Diagnostik von stressbewältigung mit dem "fragebogen zur erhebung von stress und stressbewältigung im kindes-und jugendalter "(SSKJ 3-8). *Diagnostica*, *52*(3), 131–142.
- Fang, C. Y., Miller, S. M., Bovbjerg, D. H., Bergman, C., Edelson, M. I., Rosenblum, N. G., Bove, B. A., Godwin, A. K., Campbell, D. E., & Douglas, S. D. (2008). Perceived stress is associated with impaired T-cell response to HPV16 in women with cervical dysplasia. *Annals of Behavioral Medicine*, *35*(1), 87–96.
- Fassbender, K., Schmidt, R., Mößner, R., Kischka, U., Kühnen, J., Schwartz, A., & Hennerici, M. (1998). Mood disorders and dysfunction of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis in multiple sclerosis: association with cerebral inflammation. *Archives of Neurology*, *55*(1), 66–72.
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G., & Buchner, A. (2007). G*power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, *39*(2), 175–191. <https://doi.org/10.3758/bf03193146>
- Felnhöfer, A., Kothgassner, O. D., Hetterle, T., Beutl, L., Hlavacs, H., & Kryspin-Exner, I. (2014). Afraid to be there? Evaluating the relation between presence, self-reported anxiety, and heart rate in a virtual public speaking task. *Cyberpsychology, Behavior and Social Networking*, *17*(5), 310–316. <https://doi.org/10.1089/cyber.2013.0472>

- Fich, L. B., Jönsson, P., Kirkegaard, P. H., Wallergård, M., Garde, A. H., & Hansen, Å. (2014). Can architectural design alter the physiological reaction to psychosocial stress? A virtual TSST experiment. *Physiology & Behavior*, *135*, 91–97.
- Fink, G. (Ed.). (2000). *Encyclopedia of Stress*. Academic Press San Diego: CA.
- Fox, S. E., Levitt, P., & Nelson, C. A. (2010). How the timing and quality of early experiences influence the development of brain architecture. *Child Development*, *81*(1), 28–40. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2009.01380.x>
- Gaab, J., Hüster, D., Peisen, R., Engert, V., Heitz, V., Schad, T., Schürmeyer, T. H., & Ehlert, U. (2002). Hypothalamic-pituitary-adrenal axis reactivity in chronic fatigue syndrome and health under psychological, physiological, and pharmacological stimulation. *Psychosomatic Medicine*, *64*(6), 951–962.
- Glaser, R., Kiecolt-Glaser, J. K., Bonneau, R. H., Malarkey, W., Kennedy, S., & Hughes, J. (1992). Stress-induced modulation of the immune response to recombinant hepatitis B vaccine. *Psychosomatic Medicine*, *54*(1), 22–29.
- Goodman, W. K., Janson, J., & Wolf, J. M. (2017). Meta-analytical assessment of the effects of protocol variations on cortisol responses to the Trier Social Stress Test. *0306-4530*, *80*, 26–35.
- Gordis, E. B., Granger, D. A., Susman, E. J., & Trickett, P. K. (2006). Asymmetry between salivary cortisol and α -amylase reactivity to stress: Relation to aggressive behavior in adolescents. *Psychoneuroendocrinology*, *31*(8), 976–987.
- Goth, K., & Schmeck, K. (2009). *Das Junior Temperament und Charakter Inventar: Eine Inventarfamilie zur Erfassung der Persönlichkeit vom Kindergarten-bis zum Jugendalter nach Cloningers biopsychosozialem Persönlichkeitsmodell; JTCl; Manual*. Hogrefe.
- Graeff, F. G., Parente, A., Del-Ben, C. M., & Guimarães, F. S. (2003). Pharmacology of human experimental anxiety. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, *36*, 421–432.
- Granger, D. A., Kivlighan, K. T., El-Sheikh, M., Gordis, E. B., & Stroud, L. R. (2007). Salivary α -amylase in biobehavioral research: recent developments and applications. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1098*(1), 122–144.

- Grassini, S., & Laumann, K. (2020). Are Modern Head-Mounted Displays Sexist? A Systematic Review on Gender Differences in HMD-Mediated Virtual Reality. *Frontiers in Psychology, 11*, 1604. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01604>
- Gromer, D., Reinke, M., Christner, I., & Pauli, P. (2019). Causal interactive links between presence and fear in virtual reality height exposure. *Frontiers in Psychology, 10*, 141.
- Guna, J., Geršak, G., Humar, I., Song, J., Drnovšek, J., & Pogačnik, M. (2019). Influence of video content type on users' virtual reality sickness perception and physiological response. *Future Generation Computer Systems, 91*, 263–276. <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.08.049>
- Gunnar, M. R., Reid, B. M., Donzella, B., Miller, Z. R., Gardow, S., Tsakonas, N. C., Thomas, K. M., DeJoseph, M., & Bendezú, J. J. (2021). Validation of an online version of the Trier Social Stress Test in a study of adolescents. *Psychoneuroendocrinology, 125*, 105111. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2020.105111>
- Gunnar, M. R., Wewerka, S., Frenn, K., Long, J. D., & Griggs, C. (2009). Developmental changes in hypothalamus-pituitary-adrenal activity over the transition to adolescence: Normative changes and associations with puberty. *Development and Psychopathology, 21*(1), 69–85. <https://doi.org/10.1017/S0954579409000054>
- Hansell, S., Mechanic, D., & Brondolo, E. (1986). Introspectiveness and adolescent development. *Journal of Youth and Adolescence, 15*(2), 115–132. <https://doi.org/10.1007/BF02141733>
- Hellhammer, D. H., Wüst, S., & Kudielka, B. M. (2009). Salivary cortisol as a biomarker in stress research. *Psychoneuroendocrinology, 34*(2), 163–171. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2008.10.026>
- Hellhammer, J., & Schubert, M. (2012). The physiological response to Trier Social Stress Test relates to subjective measures of stress during but not before or after the test. *Psychoneuroendocrinology, 37*(1), 119–124. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2011.05.012>

- Helminen, E. C., Morton, M. L., Wang, Q., & Felver, J. C. (2019). A meta-analysis of cortisol reactivity to the Trier Social Stress Test in virtual environments. *0306-4530*, *110*, 104437.
- Helminen, E. C., Morton, M. L., Wang, Q., & Felver, J. C. (2021). Stress Reactivity to the Trier Social Stress Test in Traditional and Virtual Environments: A Meta-Analytic Comparison. *Psychosomatic Medicine*, *83*(3), 200–211. <https://doi.org/10.1097/PSY.0000000000000918>
- Herten, N., Otto, T., & Wolf, O. T. (2017). The role of eye fixation in memory enhancement under stress - An eye tracking study. *Neurobiology of Learning and Memory*, *140*, 134–144. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2017.02.016>
- Het, S., Rohleder, N., Schoofs, D., Kirschbaum, C., & Wolf, O. (2009). Neuroendocrine and psychometric evaluation of a placebo version of the 'Trier Social Stress Test'. *0306-4530*, *34*(7), 1075–1086.
- Het, S., Schoofs, D., Rohleder, N., & Wolf, O. T. (2012). Stress-induced cortisol level elevations are associated with reduced negative affect after stress: indications for a mood-buffering cortisol effect. *Psychosomatic Medicine*, *74*(1), 23–32.
- Hua, J., Le Scanff, C., Larue, J., José, F., Martin, J.-C., Devillers, L., & Filaire, E. (2014). Global stress response during a social stress test: Impact of alexithymia and its subfactors. *0306-4530*, *50*, 53–61. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2014.08.003>
- Izawa, S., Miki, K., Liu, X., & Ogawa, N. (2013). The diurnal patterns of salivary interleukin-6 and C-reactive protein in healthy young adults. *Brain, Behavior, and Immunity*, *27*, 38–41.
- Izawa, S., Sugaya, N., Kimura, K., Ogawa, N., Yamada, K. C., Shiotsuki, K., Mikami, I., Hirata, K., Nagano, Y., & Nomura, S. (2013). An increase in salivary interleukin-6 level following acute psychosocial stress and its biological correlates in healthy young adults. *Biological Psychology*, *94*(2), 249–254.
- Izawa, S., Sugaya, N., Shiotsuki, K., Yamada, K. C., Ogawa, N., Ouchi, Y., Nagano, Y., Suzuki, K., & Nomura, S. (2008). Salivary dehydroepiandrosterone secretion in response to acute psychosocial stress and its correlations with biological and psychological changes. *Biological Psychology*, *79*(3), 294–298.

- Jarvers, I., Ecker, A., Schleicher, D., Otto, A., & Jarvers, C. (2022). The Alexithymia Questionnaire for Children—German version (AQC-G).
- Jezova, D., Makatsori, A., Duncko, R., Moncek, F., & Jakubek, M. (2004). High trait anxiety in healthy subjects is associated with low neuroendocrine activity during psychosocial stress. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 28(8), 1331–1336.
- Joeckel, S., Bowman, N. D., & Dogruel, L. (2013). The Influence of Adolescents' Moral Salience on Actions and Entertainment Experience in Interactive Media. *Journal of Children and Media*, 7(4), 480–506. <https://doi.org/10.1080/17482798.2013.781513>
- Johnson, S. B., Riley, A. W., Granger, D. A., & Riis, J. (2013). The science of early life toxic stress for pediatric practice and advocacy. *Pediatrics*, 131(2), 319–327. <https://doi.org/10.1542/peds.2012-0469>
- Jönsson, P., Wallergård, M., Österberg, K., Hansen, Å. M., Johansson, G., & Karlson, B. (2010). Cardiovascular and cortisol reactivity and habituation to a virtual reality version of the Trier Social Stress Test: a pilot study. *0306-4530*, 35(9), 1397–1403.
- Kane, A. S., Salierno, J. D., Gipson, G. T., Moltano, T. C. A., & Hunter, C. (2004). A video-based movement analysis system to quantify behavioral stress responses of fish. *Water Research*, 38(18), 3993–4001. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.06.028>
- Kelly, M. M., Tyrka, A. R., Anderson, G. M., Price, L. H., & Carpenter, L. L. (2008). Sex differences in emotional and physiological responses to the Trier Social Stress Test. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 39(1), 87–98. <https://doi.org/10.1016/j.jbtep.2007.02.003>
- Kelly, O., Matheson, K., Martinez, A., Merali, Z., & Anisman, H. (2007). Psychosocial stress evoked by a virtual audience: Relation to neuroendocrine activity. *Cyberpsychology & Behavior : The Impact of the Internet, Multimedia and Virtual Reality on Behavior and Society*, 10(5), 655–662. <https://doi.org/10.1089/cpb.2007.9973>

- Kelson, J. N., Ridout, B., Steinbeck, K., & Campbell, A. J. (2021). The Use of Virtual Reality for Managing Psychological Distress in Adolescents: Systematic Review. *Cyberpsychology, Behavior and Social Networking*, 24(10), 633–641. <https://doi.org/10.1089/cyber.2021.0090>
- Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S., & Lilienthal, M. G. (1993). Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness. *The International Journal of Aviation Psychology*, 3(3), 203–220. https://doi.org/10.1207/s15327108ijap0303_3
- Kim, H. K., Park, J., Choi, Y., & Choe, M. (2018). Virtual reality sickness questionnaire (VRSQ): Motion sickness measurement index in a virtual reality environment. *Applied Ergonomics*, 69, 66–73.
- Kim, K. J., Conger, R. D., Elder, G. H., & Lorenz, F. O. (2003). Reciprocal influences between stressful life events and adolescent internalizing and externalizing problems. *Child Development*, 74(1), 127–143. <https://doi.org/10.1111/1467-8624.00525>
- Kirschbaum, C., & Hellhammer, D. H. (1989). Salivary cortisol in psychobiological research: an overview. *Neuropsychobiology*, 22(3), 150–169.
- Kirschbaum, C., & Hellhammer, D. H. (1994). Salivary cortisol in psychoneuroendocrine research: recent developments and applications. *Psychoneuroendocrinology*, 19(4), 313–333.
- Kirschbaum, C., & Hellhammer, D. H. (2007). Salivary cortisol. In G. Fink (Ed.), *Encyclopedia of stress*. Academic Press.
- Kirschbaum, C., Pirke, K. M., & Hellhammer, D. H. (1993). The 'Trier Social Stress Test'--a tool for investigating psychobiological stress responses in a laboratory setting. *Neuropsychobiology*, 28(1-2), 76–81. <https://doi.org/10.1159/000119004>
- Klimstra, T. A., Hale, W. W., Raaijmakers, Q. A. W., Branje, S. J. T., & Meeus, W. H. J. (2009). Maturation of personality in adolescence. *Journal of Personality and Social Psychology*, 96(4), 898–912. <https://doi.org/10.1037/a0014746>

- Kober, S. E., Kurzmann, J., & Neuper, C. (2012). Cortical correlate of spatial presence in 2D and 3D interactive virtual reality: an EEG study. *International Journal of Psychophysiology*, *83*(3), 365–374.
- Koenig, J., Rash, J. A., Campbell, T. S., Thayer, J. F., & Kaess, M. (2017). A Meta-Analysis on Sex Differences in Resting-State Vagal Activity in Children and Adolescents. *Frontiers in Physiology*, *8*, 582. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00582>
- Kothgassner, O. D., Felnhofer, A., Hlavacs, H., Beutl, L., Palme, R., Kryspin-Exner, I., & Glenk, L. M. (2016). Salivary cortisol and cardiovascular reactivity to a public speaking task in a virtual and real-life environment. *Computers in Human Behavior*, *62*, 124–135. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.03.081>
- Kothgassner, O. D., Goreis, A., Glenk, L. M., Kafka, J. X., Pfeffer, B., Beutl, L., Kryspin-Exner, I., Hlavacs, H., Palme, R., & Felnhofer, A. (2021). Habituation of salivary cortisol and cardiovascular reactivity to a repeated real-life and virtual reality Trier Social Stress Test. *Physiology & Behavior*, *242*, 113618. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2021.113618>
- Kudielka, B. M., Buske-Kirschbaum, A., Hellhammer, D. H., & Kirschbaum, C. (2004a). Differential heart rate reactivity and recovery after psychosocial stress (TSST) in healthy children, younger adults, and elderly adults: the impact of age and gender. *International Journal of Behavioral Medicine*, *11*, 116–121.
- Kudielka, B. M., Buske-Kirschbaum, A., Hellhammer, D. H., & Kirschbaum, C. (2004b). HPA axis responses to laboratory psychosocial stress in healthy elderly adults, younger adults, and children: impact of age and gender. *0306-4530*, *29*(1), 83–98.
- Kudielka, B. M., Hellhammer, J., Hellhammer, D. H., Wolf, O. T., Pirke, K.-M., Varadi, E., Pilz, J., & Kirschbaum, C. (1998). Sex differences in endocrine and psychological responses to psychosocial stress in healthy elderly subjects and the impact of a 2-week dehydroepiandrosterone treatment. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, *83*(5), 1756–1761.

- Kudielka, B. M., Hellhammer, D. H., Kirschbaum, C., Harmon-Jones, E., & Winkielman, P. (2007). Ten years of research with the Trier Social Stress Test—revisited. *Social Neuroscience: Integrating Biological and Psychological Explanations of Social Behavior*, 56, 83.
- Kudielka, B. M., & Kirschbaum, C. (2005). Sex differences in HPA axis responses to stress: A review. *Biological Psychology*, 69(1), 113–132. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2004.11.009>
- Lai, C. L. J., Lee, D. Y. H., & Leung, M. O. Y. (2020). Childhood Adversities and Salivary Cortisol Responses to the Trier Social Stress Test: A Systematic Review of Studies Using the Children Trauma Questionnaire (CTQ). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(1). <https://doi.org/10.3390/ijerph18010029>
- Lai, M.-L., Tsai, M.-J., Yang, F.-Y., Hsu, C.-Y., Liu, T.-C., Lee, S. W.-Y., Lee, M.-H., Chiou, G.-L., Liang, J.-C., & Tsai, C.-C. (2013). A review of using eye-tracking technology in exploring learning from 2000 to 2012. *Educational Research Review*, 10, 90–115. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2013.10.001>
- Lakens, D. (2017). Equivalence Tests: A Practical Primer for t Tests, Correlations, and Meta-Analyses. *Social Psychological and Personality Science*, 8(4), 355–362. <https://doi.org/10.1177/1948550617697177>
- Lakens, D., Scheel, A. M., & Isager, P. M. (2018). Equivalence Testing for Psychological Research: A Tutorial. *Advances in Methods and Practices in Psychological Science*, 1(2), 259–269. <https://doi.org/10.1177/2515245918770963>
- Larzelere, M. M., & Jones, G. N. (2008). Stress and health. *Primary Care*, 35(4), 839–856. <https://doi.org/10.1016/j.pop.2008.07.011>
- Laudat, M. H., Cerdas, S., Fournier, C., Guiban, D., Guilhaume, B., & Luton, J. P. (1988). Salivary cortisol measurement: a practical approach to assess pituitary-adrenal function. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 66(2), 343–348.
- Laux, L., Hock, M., Bergner-Köther, R., Hodapp, V., & Renner, K.-H. (2013). Das State-Trait-Angst-Depressions-Inventar: STADI; Manual.

- Lennartsson, A.-K., Kushnir, M. M., Bergquist, J., & Jonsdottir, I. H. (2012). DHEA and DHEA-S response to acute psychosocial stress in healthy men and women. *Biological Psychology, 90*(2), 143–149.
- Levine, S., & Ursin, H. (1991). What is stress? In M. Brown, G. Koob, C. Rivier, & R. Marvin (Eds.), *Neurobiology and Neuroendocrinology*. New York: Marcel Dekker.
- Liszio, S., Graf, L., & Masuch, M. (2018). The relaxing effect of virtual nature: immersive technology provides relief in acute stress situations. *Annu. Rev. Cyberther. Telemed, 16*, 87–93.
- Liu, J. J. W., Ein, N., Peck, K., Huang, V., Pruessner, J. C., & Vickers, K. (2017). Sex differences in salivary cortisol reactivity to the Trier Social Stress Test (TSST): A meta-analysis. *Psychoneuroendocrinology, 82*, 26–37. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2017.04.007>
- Liu, Q., & Zhang, W. (2020). Sex differences in stress reactivity to the trier social stress test in virtual reality. *Psychology Research and Behavior Management, 859–869*.
- Lohaus, A., Eschenbeck, H., Kohlmann, C.-W., & Klein-Heßling, J. (2006). *Fragebogen zur Erhebung von Stress und Stressbewältigung im Kindes- und Jugendalter (SSKJ 3-8)*.
- Lovallo, W. R. (2015). *Stress and health: Biological and psychological interactions*. Sage publications.
- Malik, M., Bigger, J. T., Camm, A. J., Kleiger, R. E., Malliani, A., Moss, A. J., & Schwartz, P. J. (1996). Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *European Heart Journal, 17*(3), 354–381.
- Malter Cohen, M., Tottenham, N., & Casey, B. J. (2013). Translational developmental studies of stress on brain and behavior: Implications for adolescent mental health and illness? *Neuroscience, 249*, 53–62. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2013.01.023>
- Margraf, J., & Ehlers, A. (2007). Beck Angstinventar Deutsche Version (BAI). *Bern: Hans Huber*.

- Martens, M. A., Antley, A., Freeman, D., Slater, M., Harrison, P. J., & Tunbridge, E. M. (2019). It feels real: Physiological responses to a stressful virtual reality environment and its impact on working memory. *Journal of Psychopharmacology (Oxford, England)*, *33*(10), 1264–1273. <https://doi.org/10.1177/0269881119860156>
- Martín-Pérez, C., Contreras-Rodríguez, O., Vilar-López, R., & Verdejo-García, A. (2019). Hypothalamic Networks in Adolescents With Excess Weight: Stress-Related Connectivity and Associations With Emotional Eating. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, *58*(2), 211-220.e5. <https://doi.org/10.1016/j.jaac.2018.06.039>
- Marucha, P. T., Kiecolt-Glaser, J. K., & Favagehi, M. (1998). Mucosal wound healing is impaired by examination stress. *Psychosomatic Medicine*, *60*(3), 362–365.
- Matulis, S., Loos, L., Langguth, N., Schreiber, F., Gutermann, J., Gawrilow, C., & Steil, R. (2015). Reliability, factor structure, and validity of the German version of the Trauma Symptom Checklist for Children in a sample of adolescents. *European Journal of Psychotraumatology*, *6*, 27966. <https://doi.org/10.3402/ejpt.v6.27966>
- McEwen, B. S. (1998a). Protective and damaging effects of stress mediators. *New England Journal of Medicine*, *338*(3), 171–179.
- McEwen, B. S. (1998b). Stress, adaptation, and disease: Allostasis and allostatic load. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *840*(1), 33–44.
- McEwen, B. S. (2013). Allostasis and allostatic load: implications for neuropsychopharmacology. *Stress and the Brain*, 2–18.
- McEwen, B. S. (2018). Redefining neuroendocrinology: Epigenetics of brain-body communication over the life course. *Frontiers in Neuroendocrinology*, *49*, 8–30. <https://doi.org/10.1016/j.yfrne.2017.11.001>
- McEwen, B. S., & McEwen, C. A. (2016). Response to Jerome Kagan's essay on stress (2016). *Perspectives on Psychological Science*, *11*(4), 451–455.
- McEwen, B. S., & Stellar, E. (1993). Stress and the individual: Mechanisms leading to disease. *Archives of Internal Medicine*, *153*(18), 2093–2101.

- Menaghan, E. G. (1999). Social stressors in childhood and adolescence. In *A handbook for the study of mental health: Social contexts, theories, and systems* (pp. 315–327). Cambridge University Press.
- Miller, R., Plessow, F., Kirschbaum, C., & Stalder, T. (2013). Classification criteria for distinguishing cortisol responders from nonresponders to psychosocial stress: evaluation of salivary cortisol pulse detection in panel designs. *Psychosomatic Medicine, 75*(9), 832–840.
- Montero-López, E., Santos-Ruiz, A., García-Ríos, M. C., Rodríguez-Blázquez, R., Pérez-García, M., & Peralta-Ramírez, M. I. (2016). A virtual reality approach to the Trier Social Stress Test: Contrasting two distinct protocols. *Behavior Research Methods, 48*, 223–232.
- Montero-López, E., Santos-Ruiz, A., García-Ríos, M. C., Rodríguez-Blázquez, M., Rogers, H. L., & Peralta-Ramírez, M. I. (2018). The relationship between the menstrual cycle and cortisol secretion: Daily and stress-invoked cortisol patterns. *International Journal of Psychophysiology : Official Journal of the International Organization of Psychophysiology, 131*, 67–72. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2018.03.021>
- Moons, W. G., Eisenberger, N. I., & Taylor, S. E. (2010). Anger and fear responses to stress have different biological profiles. *Brain, Behavior, and Immunity, 24*(2), 215–219.
- Mostajeran, F., Balci, M. B., Steinicke, F., Kühn, S., & Gallinat, J. (2020). The effects of virtual audience size on social anxiety during public speaking. In *IEEE conference on virtual reality and 3D user interfaces (VR)* (pp. 303–312). IEEE.
- Muhametjanova, G., Adanır, G. A., & Arpacı, I. (2023). Investigation of Gaming Habits, Personality Traits, and Internet Gaming Disorder Among Kyrgyz Adolescents. *International Journal of Mental Health and Addiction, 21*(2), 869–877. <https://doi.org/10.1007/s11469-021-00628-6>
- Murray, C., Flynn, J., Ratcliffe, L., Jacyna, M. R., Kamm, M. A., & Emmanuel, A. V. (2004). Effect of acute physical and psychological stress on gut autonomic innervation in irritable bowel syndrome. *Gastroenterology, 127*(6), 1695–1703.

- Narvaez Linares, N. F., Charron, V., Ouimet, A. J., Labelle, P. R., & Plamondon, H. (2020). A systematic review of the Trier Social Stress Test methodology: Issues in promoting study comparison and replicable research. *Neurobiology of Stress*, *13*, 100235. <https://doi.org/10.1016/j.ynstr.2020.100235>
- Nater, U. M., La Marca, R., Florin, L., Moses, A., Langhans, W., Koller, M. M., & Ehlert, U. (2006). Stress-induced changes in human salivary alpha-amylase activity—associations with adrenergic activity. *Psychoneuroendocrinology*, *31*(1), 49–58.
- Nater, U. M., & 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.
- Netherton, C., Goodyer, I., Tamplin, A., & Herbert, J. (2004). Salivary cortisol and dehydroepiandrosterone in relation to puberty and gender. *0306-4530*, *29*(2), 125–140. [https://doi.org/10.1016/s0306-4530\(02\)00150-6](https://doi.org/10.1016/s0306-4530(02)00150-6)
- Nichols, S., & Patel, H. (2002). Health and safety implications of virtual reality: A review of empirical evidence. *Applied Ergonomics*, *33*(3), 251–271. [https://doi.org/10.1016/S0003-6870\(02\)00020-0](https://doi.org/10.1016/S0003-6870(02)00020-0).
- O'Connor, D. B., Thayer, J. F., & Vedhara, K. (2021). Stress and Health: A Review of Psychobiological Processes. *Annual Review of Psychology*, *72*, 663–688. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-062520-122331>
- Oh, H., & Lee, G. (2021). Feasibility of full immersive virtual reality video game on balance and cybersickness of healthy adolescents. *Neuroscience Letters*, *760*, 136063. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2021.136063>
- Oswald, L. M., Zandi, P., Nestadt, G., Potash, J. B., Kalaydjian, A. E., & Wand, G. S. (2006). Relationship between cortisol responses to stress and personality. *Neuropsychopharmacology : Official Publication of the American College of Neuropsychopharmacology*, *31*(7), 1583–1591. <https://doi.org/10.1038/sj.npp.1301012>

- Padilla, M. M., Fernández-Serrano, M. J., Verdejo García, A., & Del Reyes Paso, G. A. (2019). Negative Social Evaluation Impairs Executive Functions in Adolescents With Excess Weight: Associations With Autonomic Responses. *Annals of Behavioral Medicine : A Publication of the Society of Behavioral Medicine*, *53*(4), 383–391. <https://doi.org/10.1093/abm/kay051>
- Pan, X., & Hamilton, A. F. d. C. (2018). Why and how to use virtual reality to study human social interaction: The challenges of exploring a new research landscape. *British Journal of Psychology*, *109*(3), 395–417.
- Park, C. L., & Iacocca, M. O. (2014). A stress and coping perspective on health behaviors: Theoretical and methodological considerations. *Anxiety, Stress, and Coping*, *27*(2), 123–137. <https://doi.org/10.1080/10615806.2013.860969>
- Parker, J. D. A., Keefer, K. V., Taylor, G. J., & Bagby, R. M. (2008). Latent structure of the alexithymia construct: A taxometric investigation. *Psychological Assessment*, *20*(4), 385–396. <https://doi.org/10.1037/a0014262>
- Parsons, T. D. (2015). Virtual reality for enhanced ecological validity and experimental control in the clinical, affective and social neurosciences. *Frontiers in Human Neuroscience*, *9*, 660.
- Petersen, A. C., Crockett, L., Richards, M., & Boxer, A. (1988). A self-report measure of pubertal status: Reliability, validity, and initial norms. *Journal of Youth and Adolescence*, *17*(2), 117–133.
- Petrowski, K., Herold, U., Joraschky, P., Wittchen, H.-U., & Kirschbaum, C. (2010). A striking pattern of cortisol non-responsiveness to psychosocial stress in patients with panic disorder with concurrent normal cortisol awakening responses. *0306-4530*, *35*(3), 414–421.
- Porges, S. W. (1995). Cardiac vagal tone: a physiological index of stress. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *19*(2), 225–233.
- Posserud, I., Agerforz, P., Ekman, R., Björnsson, E. S., Abrahamsson, H., & Simrén, M. (2004). Altered visceral perceptual and neuroendocrine response in patients with irritable bowel syndrome during mental stress. *Gut*, *53*(8), 1102–1108.

- Prediger, C., Helmer, S. M., Hrynyschyn, R., & Stock, C. (2021). Virtual Reality-Based Alcohol Prevention in Adolescents: A Systematic Review. *Adolescents*, 1(2), 138–150. <https://doi.org/10.3390/adolescents1020011>
- Rahal, D., Alkon, A., Shirtcliff, E., Gonzales, N., Fuligni, A., Eskenazi, B., & Deardorff, J. (2023). Dampened autonomic nervous system responses to stress and substance use in adolescence. *Stress and Health : Journal of the International Society for the Investigation of Stress*, 39(1), 182–196. <https://doi.org/10.1002/smi.3173>
- Rahal, R.-M., & Fiedler, S. (2019). Understanding cognitive and affective mechanisms in social psychology through eye-tracking. *Journal of Experimental Social Psychology*, 85, 103842. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2019.103842>
- Rammstedt, B., & John, O. P. (2007). 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.
- Rammstedt, B., Kemper, C. J., Klein, M. C., Beierlein, C., & Kovaleva, A. (2017). A Short Scale for Assessing the Big Five Dimensions of Personality: 10 Item Big Five Inventory (BFI-10). Advance online publication. <https://doi.org/10.12758/mda.2013.013> (17 Pages / methods, data, analyses, Vol 7, No 2 (2013)).
- Rappa, N. A., Ledger, S., Teo, T., Wai Wong, K., Power, B., & Hilliard, B. (2022). The use of eye tracking technology to explore learning and performance within virtual reality and mixed reality settings: a scoping review. *Interactive Learning Environments*, 30(7), 1338–1350. <https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1702560>
- Rebenitsch, L., & Owen, C. (2016). Review on cybersickness in applications and visual displays. *Virtual Reality*, 20(2), 101–125. <https://doi.org/10.1007/s10055-016-0285-9>
- Reichenberger, J., Pfaller, M., & Mühlberger, A. (2020). Gaze Behavior in Social Fear Conditioning: An Eye-Tracking Study in Virtual Reality. *Frontiers in Psychology*, 11, 35. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00035>

- Rieffe, C., Oosterveld, P., & Terwogt, M. M. (2006). An alexithymia questionnaire for children: Factorial and concurrent validation results. *Personality and Individual Differences, 40*(1), 123–133. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2005.05.013>
- Rimmele, U., Seiler, R., Marti, B., Wirtz, P. H., Ehlert, U., & Heinrichs, M. (2009). The level of physical activity affects adrenal and cardiovascular reactivity to psychosocial stress. *0306-4530, 34*(2), 190–198.
- Rimmele, U., Zellweger, B. C., Marti, B., Seiler, R., Mohiyeddini, C., Ehlert, U., & Heinrichs, M. (2007). Trained men show lower cortisol, heart rate and psychological responses to psychosocial stress compared with untrained men. *0306-4530, 32*(6), 627–635.
- Rohleder, N., & Nater, U. M. (2009). Determinants of salivary alpha-amylase in humans and methodological considerations. *0306-4530, 34*(4), 469–485. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2008.12.004>
- Rohleder, N., Wolf, J. M., Maldonado, E. F., & Kirschbaum, C. (2006). The psychosocial stress-induced increase in salivary alpha-amylase is independent of saliva flow rate. *Psychophysiology, 43*(6), 645–652.
- Rohrman, S., Hennig, J., & Netter, P. (1999). Changing psychobiological stress reactions by manipulating cognitive processes. *International Journal of Psychophysiology, 33*(2), 149–161.
- Ruiz, A. S., Peralta-Ramirez, M. I., Garcia-Rios, M. C., Muñoz, M. A., Navarrete-Navarrete, N., & Blazquez-Ortiz, A. (2010). Adaptation of the trier social stress test to virtual reality: psycho-physiological and neuroendocrine modulation. *J. Cyber Ther. Rehabil, 3*, 405–415.
- Santl, J., Shiban, Y., Plab, A., Wüst, S., Kudielka, B. M., & Mühlberger, A. (2019). Gender differences in stress responses during a virtual reality trier social stress test. *International Journal of Virtual Reality, 19*(2), 2–15.
- Scherer, K. R. (2005). What are emotions? And how can they be measured? *Social Science Information, 44*(4), 695–729. <https://doi.org/10.1177/0539018405058216>

- Schleicher, D., Ecker, A., Kocur, M., Jarvers, I., Nash, C., Götz, L., Otto, A. H., Kandsperger, S., & Brunner, R. (2022). Psychosocial stress induction in vivo vs. in virtuo and the influence of a health app on the acute stress reaction in youths: a study protocol for a randomized controlled trial. *Trials*, *23*(1), 1–15.
- Schlotz, W., Kumsta, R., Layes, I., Entringer, S., Jones, A., & Wüst, S. (2008a). Covariance between psychological and endocrine responses to pharmacological challenge and psychosocial stress: a question of timing. *Psychosomatic Medicine*, *70*(7), 787–796.
- Schlotz, W., Kumsta, R., Layes, I., Entringer, S., Jones, A., & Wüst, S. (2008b). Covariance between psychological and endocrine responses to pharmacological challenge and psychosocial stress: A question of timing. *Psychosomatic Medicine*, *70*(7), 787–796. <https://doi.org/10.1097/PSY.0b013e3181810658>
- Schneider, T. R. (2004). The role of neuroticism on psychological and physiological stress responses. *Journal of Experimental Social Psychology*, *40*(6), 795–804. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2004.04.005>
- Schröder, B., & Mühlberger, A. (2022). Assessing the attentional bias of smokers in a virtual reality anti-saccade task using eye tracking. *Biological Psychology*, *172*, 108381. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2022.108381>
- Schröder, B., & Mühlberger, A. (2023). Measuring attentional bias in smokers during and after psychosocial stress induction with a Trier Social Stress Test in virtual reality via eye tracking. *Frontiers in Psychology*, *14*, 1129422. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1129422>
- Schubert, T., Friedmann, F., & Regenbrecht, H. (1993). Embodied presence in virtual environments. In *Visual representations and interpretations* (pp. 269–278). Springer.
- Schubert, T., Friedmann, F., & Regenbrecht, H. (2001). The experience of presence: Factor analytic insights. *Presence*, *10*(3), 266–281.
- Schuetz, I., & Fiehler, K. (2022). Eye Tracking in Virtual Reality: Vive Pro Eye Spatial Accuracy, Precision, and Calibration Reliability. *Journal of Eye Movement Research*, *15*(3). <https://doi.org/10.16910/jemr.15.3.3>

- Seddon, J. A., Rodriguez, V. J., Provencher, Y., Raftery-Helmer, J., Hersh, J., Labelle, P. R., & Thomassin, K. (2020). Meta-analysis of the effectiveness of the Trier Social Stress Test in eliciting physiological stress responses in children and adolescents. *Psychoneuroendocrinology*, *116*, 104582. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2020.104582>
- Sevinc, V., & Berkman, M. I. (2020). Psychometric evaluation of Simulator Sickness Questionnaire and its variants as a measure of cybersickness in consumer virtual environments. *Applied Ergonomics*, *82*, 102958. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.102958>
- Shalev, I., Israel, S., Uzefovsky, F., Gritsenko, I., Kaitz, M., & Ebstein, R. P. (2011). Vasopressin needs an audience: neuropeptide elicited stress responses are contingent upon perceived social evaluative threats. *Hormones and Behavior*, *60*(1), 121–127.
- Shapero, B. G., Hankin, B. L., & Barrocas, A. L. (2013). Stress generation and exposure in a multi-wave study of adolescents: Transactional processes and sex differences. *Journal of Social and Clinical Psychology*, *32*(9), 989–1012.
- Sheehan, D. V., Sheehan, K. H., Shytle, R. D., Bannon, Y., Janavs, J., Rogers, J. E., Milo, K. M., Stock, S. L., & Wilkinson, B. (2009). Mini International Neuropsychiatric Interview for children and adolescents. *The Journal of Clinical Psychiatry*.
- Sheehan, D. V., Sheehan, K. H., Shytle, R. D., Janavs, J., Bannon, Y., Rogers, J. E., Milo, K. M., Stock, S. L., & Wilkinson, B. (2010). Reliability and validity of the Mini International Neuropsychiatric Interview for Children and Adolescents (MINI-KID). *The Journal of Clinical Psychiatry*, *71*(3), 313–326. <https://doi.org/10.4088/JCP.09m05305whi>
- Shern, D. L., Blanch, A. K., & Steverman, S. M. (2014). Impact of toxic stress on individuals and communities: A review of the literature. *Alexandria, VA: Mental Health America*.
- Shiban, Y., Diemer, J., Brandl, S., Zack, R., Mühlberger, A., & Wüst, S. (2016). Trier Social Stress Test in vivo and in virtual reality: Dissociation of response domains. *International Journal of Psychophysiology*, *110*, 47–55.

- Shields, G. S., Bonner, J. C., & Moons, W. G. (2015). Does cortisol influence core executive functions? A meta-analysis of acute cortisol administration effects on working memory, inhibition, and set-shifting. *Psychoneuroendocrinology*, *58*, 91–103. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2015.04.017>
- Shields, G. S., Sazma, M. A., McCullough, A. M., & Yonelinas, A. P. (2017). The effects of acute stress on episodic memory: A meta-analysis and integrative review. *Psychological Bulletin*, *143*(6), 636–675. <https://doi.org/10.1037/bul0000100>
- Shields, G. S., Sazma, M. A., & Yonelinas, A. P. (2016). The effects of acute stress on core executive functions: A meta-analysis and comparison with cortisol. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *68*, 651–668. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.06.038>
- Shonkoff, J. P., & Garner, A. S. (2012). The lifelong effects of early childhood adversity and toxic stress. *Pediatrics*, *129*(1), e232-46. <https://doi.org/10.1542/peds.2011-2663>
- Siciliano, R. E., Anderson, A. S., & Compas, B. E. (2022). Autonomic nervous system correlates of posttraumatic stress symptoms in youth: Meta-analysis and qualitative review. *Clinical Psychology Review*, *92*, 102125. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2022.102125>
- Sipatchin, A., Wahl, S., & Rifai, K. (2021). Eye-Tracking for Clinical Ophthalmology with Virtual Reality (VR): A Case Study of the HTC Vive Pro Eye's Usability. *Healthcare (Basel, Switzerland)*, *9*(2). <https://doi.org/10.3390/healthcare9020180>
- Slater, M. (2018). Immersion and the illusion of presence in virtual reality. *British Journal of Psychology*, *109*(3), 431–433.
- Slavich, G. M., Way, B. M., Eisenberger, N. I., & Taylor, S. E. (2010). Neural sensitivity to social rejection is associated with inflammatory responses to social stress. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *107*(33), 14817–14822.
- Sloan, R. P., Shapiro, P. A., Bagiella, E., Boni, S. M., Paik, M., Bigger Jr, J. T., Steinman, R. C., & Gorman, J. M. (1994). Effect of mental stress throughout the day on cardiac autonomic control. *Biological Psychology*, *37*(2), 89–99.

- Somrak, A., Humar, I., Hossain, M. S., Alhamid, M. F., Hossain, M. A., & Guna, J. (2019). Estimating VR Sickness and user experience using different HMD technologies: An evaluation study. *Future Generation Computer Systems, 94*, 302–316. <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.11.041>
- Steer, R. A., Kumar, G., Ranieri, W. F., & Beck, A. T. (1995). Use of the Beck Anxiety Inventory with adolescent psychiatric outpatients. *Psychological Reports, 76*(2), 459–465. <https://doi.org/10.2466/pr0.1995.76.2.459>
- Stein, N., Niehorster, D. C., Watson, T., Steinicke, F., Rifai, K., Wahl, S., & Lappe, M. (2021). A Comparison of Eye Tracking Latencies Among Several Commercial Head-Mounted Displays. *I-Perception, 12*(1), 2041669520983338. <https://doi.org/10.1177/2041669520983338>
- Sterling, P. (1988). Allostasis: a new paradigm to explain arousal pathology. *Handbook of Life Stress, Cognition and Health*.
- Sternbach, R. A. (1986). Pain and 'hassles' in the United States: findings of the Nuprin pain report. *Pain, 27*(1), 69–80.
- Stroud, L. R., Foster, E., Papandonatos, G. D., Handwerker, K., Granger, D. A., Kivlighan, K. T., & Niaura, R. (2009). Stress response and the adolescent transition: Performance versus peer rejection stressors. *Development and Psychopathology, 21*(1), 47–68. <https://doi.org/10.1017/S0954579409000042>
- Sumter, S. R., Bokhorst, C. L., Miers, A. C., van Pelt, J., & Westenberg, P. M. (2010). Age and puberty differences in stress responses during a public speaking task: Do adolescents grow more sensitive to social evaluation? *Psychoneuroendocrinology, 35*(10), 1510–1516. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2010.05.004>
- Tobii. (2023). *Tobii Connect: Tobii Pro Lab Gaze Filter*. https://connect.tobii.com/s/article/Gaze-Filter-functions-and-effects?language=en_US#GazeFilter-IVT-Fixation
- Tobii. (2024). *XR headsets*. <https://www.tobii.com/products/integration/xr-headsets>
- van Laerhoven, H., van der Zaag-Loonen, H. J., & Derkx, B. H. F. (2004). A comparison of Likert scale and visual analogue scales as response options in children's questionnaires. *Acta Paediatrica, 93*(6), 830–835.

- Vatheuer, C. C., Vehlen, A., Dawans, B. von, & Domes, G. (2021). Gaze behavior is associated with the cortisol response to acute psychosocial stress in the virtual TSST. *Journal of Neural Transmission (Vienna, Austria : 1996)*, *128*(9), 1269–1278. <https://doi.org/10.1007/s00702-021-02344-w>
- Vehlen, A., Standard, W., & Domes, G. (2022). How to choose the size of facial areas of interest in interactive eye tracking. *PLoS One*, *17*(2), e0263594. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263594>
- Verdejo-Garcia, A., Moreno-Padilla, M., Garcia-Rios, M. C., Lopez-Torrecillas, F., Delgado-Rico, E., Schmidt-Rio-Valle, J., & Fernandez-Serrano, M. J. (2015). Social stress increases cortisol and hampers attention in adolescents with excess weight. *PLoS One*, *10*(4), e0123565. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123565>
- Vining, R. F., McGinley, R. A., Maksvytis, J. J., & Ho, K. Y. (1983). Salivary cortisol: a better measure of adrenal cortical function than serum cortisol. *Annals of Clinical Biochemistry*, *20*(6), 329–335.
- Wallergård, M., Jönsson, P., Johansson, G., & Karlson, B. (2011). A virtual reality version of the Trier Social Stress Test: A pilot study. *Presence*, *20*(4), 325–336.
- Watzlawik, M. (2009). Die Erfassung des Pubertätsstatus anhand der Pubertal Development Scale. *Diagnostica*, *55*(1), 55–65. <https://doi.org/10.1026/0012-1924.55.1.55>
- Wechsler, T. F., Bahr, L.-M., & Mühlberger, A. (2019). Can gaze behavior predict stress response and coping during acute psychosocial stress?—a Virtual Reality based eye tracking study (P. 764). *Nursing*, *20*(5), 697–706.
- Weiß, R., Albinus, B., & Arzt, D. (2006). *Grundintelligenztest Skala 2-Revision (CFT 20-R)*. Hogrefe.
- Wetherell, M. A., Crown, A. L., Lightman, S. L., Miles, J. N. V., Kaye, J., & Vedhara, K. (2006). The four-dimensional stress test: Psychological, sympathetic–adrenal–medullary, parasympathetic and hypothalamic–pituitary–adrenal responses following inhalation of 35% CO₂. *Psychoneuroendocrinology*, *31*(6), 736–747.

- Wingenfeld, K., Spitzer, C., Mensebach, C., Grabe, H. J., Hill, A., Gast, U., Schlosser, N., Höpp, H., Beblo, T., & Driessen, M. (2010). The German version of the Childhood Trauma Questionnaire (CTQ): preliminary psychometric properties. *Psychotherapie, Psychosomatik, Medizinische Psychologie*, *60*(11), 442–450.
- Xhyheri, B., Manfrini, O., Mazzolini, M., Pizzi, C., & Bugiardini, R. (2012). Heart rate variability today. *Progress in Cardiovascular Diseases*, *55*(3), 321–331.
- Yamakawa, K., Matsunaga, M., Isowa, T., Kimura, K., Kasugai, K., Yoneda, M., Kaneko, H., & Ohira, H. (2009). Transient responses of inflammatory cytokines in acute stress. *Biological Psychology*, *82*(1), 25–32.
- Yusuf, S., Hawken, S., Ôunpuu, S., Dans, T., Avezum, A., Lanas, F., McQueen, M., Budaj, A., Pais, P., & Varigos, J. (2004). Effect of potentially modifiable risk factors associated with myocardial infarction in 52 countries (the INTERHEART study): case-control study. *The Lancet*, *364*(9438), 937–952.
- Zimmer, P., Buttlar, B., Halbeisen, G., Walther, E., & Domes, G. (2019). Virtually stressed? A refined virtual reality adaptation of the Trier Social Stress Test (TSST) induces robust endocrine responses. *0306-4530*, *101*, 186–192.
- Zimmer, P., Wu, C. C., & Domes, G. (2019). Same same but different? Replicating the real surroundings in a virtual trier social stress test (TSST-VR) does not enhance presence or the psychophysiological stress response. *Physiology & Behavior*, *212*, 112690.
- Zuloaga, D. G., Heck, A. L., Guzman, R. M. de, & Handa, R. J. (2020). Roles for androgens in mediating the sex differences of neuroendocrine and behavioral stress responses. *Biology of Sex Differences*, *11*(1), 44. <https://doi.org/10.1186/s13293-020-00319-2>

8. Lebenslauf

■ Ausgewählte wissenschaftliche Konferenzbeiträge

- Ecker, A.,** Jarvers, I., Kocur, M., Kandsperger, S., Brunner, R., Schleicher, D. (2024, März). *Endocrinological, autonomic, and subjective stress responses of healthy adolescents by a virtual Trier Social Stress Test for Children compared to the real version.* Symposiumsbeitrag auf der Tagung experimentell arbeitender Psychologen (TeaP) in Regensburg, Deutschland.
- Ecker, A.,** Kandsperger, S., Schleicher, D., Jarvers I., Ludwig B., Brunner, R. (2023, Juni). *A Chatbot on Depression and Suicidality in Youths - Study Protocol on Development.* Posterpräsentation auf dem internationalen Kongress der European Society for Child and Adolescent Psychiatry (ESCAP) in Kopenhagen, Dänemark.
- Ecker, A.,** Kandsperger, S., Schleicher, D., Jarvers I., Ludwig B., Brunner, R. (2023, März). *A Chatbot on Depression and Suicidality in Youths - Study Protocol on Development.* Posterpräsentation auf der Fachtagung der Deutschen Gesellschaft für Kinder- und Jugendpsychiatrie, Psychosomatik und Psychotherapie (DGKJP) in Essen, Deutschland.
- Ecker, A.,** Kandsperger, S., Schleicher, D., Jarvers I., Ludwig B., Brunner, R. (2023, März). *Study Protocol for the Construction of a Chatbot on Depressive and Suicidal Symptoms in Children and Adolescents.* Posterpräsentation auf der International Convention of Psychological Science der Association for Psychological Science (APS) in Brüssel, Belgien.
- Ecker, A.,** Fritsch, C., Jarvers, I., Schleicher, D., Kandsperger, S., Brunner, R. (2022, Juli). *The effect of a one-time mindfulness intervention on children and adolescents.* Posterpräsentation auf dem internationalen Kongress der European Society for Child and Adolescent Psychiatry (ESCAP) in Maastricht, Niederlande.
- Ecker, A.,** Schorp, O., Mühlberger, A., & Shiban, Y. (2018, Juni). *The importance of visual and auditory stimulation for anxiety in a virtual, potentially trauma-associated situation.* Posterpräsentation auf dem internationalen Symposium „Virtual Reality in Psychotherapy Research“ in Regensburg, Deutschland.

9. Selbstständigkeitserklärung

Ich, Ecker, Angelika geboren am 23.04.1993 in Landshut, erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe.

Die aus anderen Quellen direkt oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter Angabe der Quelle gekennzeichnet. Insbesondere habe ich nicht die entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- bzw. Beratungsdiensten (Promotionsberater*in oder andere Personen) in Anspruch genommen.

Die Arbeit wurde bisher weder im In- noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Regensburg, 16.07.2024

Ort, Datum



Angelika Ecker