

**Diplomarbeit**

**Kardiale Reaktionsdynamik bei kognitiver Belastung  
unter Berücksichtigung der körperlichen Fitness**

eingereicht von  
**Daniel Pum**

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktor der gesamten Heilkunde  
(Dr. med. univ.)**

an der  
**Medizinischen Universität Graz**

ausgeführt am  
**Institut für Physiologie**

unter der Anleitung von  
Sen.Lecturer Priv.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. Lackner Helmut Karl  
und  
Mag.a Dr.in rer.nat. Karin Schmid-Zalaudek

Graz, am 07.03.2018

*Eidesstattliche Erklärung*

*Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.*

*Graz, am 07.03.2018*

*Daniel Pum eh.*

## **Danksagungen**

Nun wie es vermuten lässt, wird der Weg bis zum Abschluss eines Studiums von vielen Menschen begleitet, jedoch nur wenige davon spielen eine wirklich große Rolle für den tatsächlichen Abschluss. Genau diesen Menschen möchte ich in diesen wenigen Zeilen danken.

Allen voran danke ich meinen lieben Eltern. Sie haben mir nicht nur das Studium selbst ermöglicht, sondern haben mir ständig meinen Rücken gestärkt und mich ermutigt. Ich kann gar nicht in Worte fassen, wie dankbar ich euch dafür bin. Im selben Atemzug möchte ich auch meinem Bruder und meiner restlichen Familie Dank aussprechen für jegliche Unterstützung, die ich von euch erfahren habe.

Für mich war diese Art von Hilfe niemals selbstverständlich und hat mich erst so weit gebracht.

Den größten Dank möchte ich meinem motivierenden und immer gut gelaunten Betreuer Helmut Lackner aussprechen. Durch deine kompetente und sehr engagierte Art war es mir möglich, meine Diplomarbeit so abzuschließen, wie ich es mir gewünscht habe. Deine Unterstützung ist nicht selbstverständlich und dafür möchte ich dir Danke sagen.

Ich richte meine Worte auch an all meine Freunde, die mich als ständige Begleiter in diesen Jahren unterstützt haben.

Nichtsdestotrotz möchte ich diese Arbeit einem ganz besonderen Menschen widmen und dir für deine Unterstützung danken.

Ein abschließendes Dankeschön möchte ich an all jene richten, die mich auf diesem Weg begleitet und meine Studienzeit auch abseits der Universität zu einem unvergesslichen Lebensabschnitt gemacht haben.

## Zusammenfassung

**Hintergrund:** Dynamische Veränderungen der HR zeigen einen typischen Verlauf und können durch verschiedene Stressreize experimentell induziert werden.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde ein erprobtes, computerunterstütztes Studienparadigma der Arbeitsgruppe aiPP (Lehrstuhl für Physiologie) angewendet, um die „cross-stressor adaptation hypothesis“ (Sothmann 1996, 2006) zu untersuchen. Dabei wurde neben gängigen Verfahren (Herzfrequenzvariabilität und -reaktivität) insbesondere die hochsynchron erfasste Reaktionsdynamik der Herzfrequenz bezogen auf (milde) dynamische Stressoren unter Berücksichtigung der körperlichen Fitness analysiert.

**Methodik:** Durch die Verwendung von zwei unterschiedlichen kognitiven Tests (CVLT und MPT) bei gleichzeitiger synchroner Ableitung der Herzaktivität mittels hochauflösendem EKG wurde im zeitlichen Verlauf gezeigt, wie sich die Dynamik der Herzfrequenz bei verschiedenen kognitiven Reizen verhält.

Die regelmäßige körperliche Aktivität wurde mittels Freiburger Fragebogen zur körperlichen Aktivität (FFkA) erhoben, die Anstrengung, Belastung und Beanspruchung bei kognitiver Testung unmittelbar nach Ende der jeweiligen Aufgabe mittels der KUSTA-Skalen.

Erwartet wurde eine Replikation jener Befunde, die eine höhere Herzratenvariabilität und bessere kardiovaskuläre Erholungsfähigkeit bei Personen zeigen, die durch regelmäßigen Sport einen positiven Einfluss auf ihr kardiovaskuläres System nehmen.

**Ergebnisse:** Die Herzfrequenz zeigte einen signifikanten Unterschied zwischen den Phasen der Datenerhebung ( $F(2,76) = 19,08$ ;  $p < .001$ ), allerdings gab es keinen Unterschied im zeitlichen Verlauf der Herzfrequenzänderung zwischen den beiden Gruppen. Tendenziell wies die Gruppe „Unsportlich“ eine höhere Herzfrequenz auf ( $F(1,38) = 3,19$ ,  $p = .08$ ).

Hinsichtlich der Herzfrequenzvariabilität zeigte sich ein signifikanter Unterschied über alle drei Phasen der SDNN ( $F(2,76) = 8,58$ ;  $p < .001$ ). Der tendenzielle Unterschied über die drei Phasen im LF-Band lässt auf eine primär sympathisch bedingte Erhöhung der HRV in der Antizipation schließen ( $F(2,76) = 2,51$ ,  $p = .088$  bzw.  $F(2,76) = 2,54$ ,  $p = .085$ ).

Ein Unterschied zwischen den beiden Gruppen konnte jedoch auf Basis der Varianzanalyse nicht gezeigt werden.

Eine signifikante Wirksamkeit von Sport auf die Stressadaptation bei kognitiven Belastungen im Sinne der „cross stressor adaptation hypothesis“ konnte anhand dieser Studie

somit nicht bestätigt werden, jedoch mit der Limitation der Homogenität der beiden Gruppen.

## Abstract

**Background:** Dynamic changes of the heart rate show a typical course and can be experimentally induced by different stress stimuli.

Within this thesis a proven and computer-assisted study paradigm of the working group aiPP (Institute of Physiology) has been used to analyse the „cross-stressor adaptation hypothesis“ (Sothmann 1996, 2006). Aside common practices of the study of heart rate variability and reactivity highly synchronized reaction dynamics of the heart rate to (mild) dynamic stressors were studied.

**Method:** High-resolution ECG was synchronously recorded during application of two different cognitive tests (CVLT and MPT) to show chronological sequence of the dynamic of heart rate in relation to different cognitive stimuli.

Extent of regular physical activities was assessed by the „Freiburg survey for physical activity“ (FFkA) and stress, strain and claim through the cognitive tests was immediately recorded after each task by the KUSTA-scale.

In line with current literature we expected to replicate previous findings – that subjects, who stimulate their cardiovascular system by regular exercise, have a higher heart rate variability and better cardiovascular recovery.

**Results:** Heart rate showed a significant difference between the different phases of data collection ( $F(2,76) = 19,08; p < .001$ ), though no difference between the two groups in terms of heart rate change over time was found. There was however a tendency of a higher heart rate in the group of ‘non-athletic’ subjects ( $F(1,38) = 3,19, p = .08$ ).

No significant difference across all three phases of the SDNN ( $F(2,76) = 8,58; p < .001$ ) regarding heart rate variability was found. There tends to be a difference across all three phases in regard to the LF-band which suggests a primary sympathetic conditional increase of the heart rate variability during the anticipation period ( $F(2,76) = 2,51, p = .088$  respectively  $F(2,76) = 2,54, p = .085$ ).

Though, no group differences were shown based on the results of analysis of variance (ANOVA).

**Conclusion:** A significant effect of physical activity to stress adaptation in cognitive strain situations in the sense of the „cross stressor adaptation hypothesis“ (Sothmann 1996, 2006) could not be shown by the results of the present study, though with the limitation of homogeneity of the two groups.

# Inhaltsverzeichnis

Danksagungen .....	ii
Zusammenfassung .....	iii
Abstract.....	v
Inhaltsverzeichnis .....	vi
Abkürzungen .....	ix
Abbildungsverzeichnis .....	x
Tabellenverzeichnis.....	xi
1 Einleitung .....	1
1.1 Herzphysiologie <sup>2</sup> .....	3
1.1.1 Herzratenvariabilität .....	3
1.1.2 Einflussfaktoren auf die Herzfrequenz .....	6
1.2 Auswirkungen von Stress .....	10
1.2.1 Stressmodelle.....	11
1.2.2 Stressphysiologie .....	13
1.2.3 Antizipation von Stress.....	14
1.2.4 Folgen von Stress auf die Gesundheit .....	15
1.2.5 Die „Cross Stressor Adaptation Hypothesis“ .....	16
1.2.6 Sport als Stressor .....	18
1.2.7 HRV und Sport.....	19
1.3 Ziel der vorliegenden Studie und Forschungsfragen .....	21
2 Material und Methoden .....	22
2.1 Stichprobe und Einschlusskriterien .....	22
2.1.1 Rekrutierung.....	22
2.1.2 Einschlusskriterien .....	23
2.1.3 Ausschlusskriterien.....	23
2.2 Ablauf der Messung.....	24

2.3	Datenerhebung .....	27
2.3.1	Kardiovaskuläre Messdaten.....	27
2.3.2	Freiburger Fragebogen zur körperlichen Aktivität.....	28
2.3.3	California Verbal Learning Test.....	29
2.3.4	Mittenecker Pointing Test .....	30
2.3.5	Hardware und Software .....	31
2.4	Gruppenzuteilung.....	32
2.5	Statistische Auswertung.....	33
3	Ergebnisse.....	34
3.1	Freiburger Fragebogen zur körperlichen Fitness .....	34
3.2	Lernleistung im CVLT.....	34
3.3	MPT .....	36
3.4	Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität.....	36
3.4.1	Herzfrequenz .....	36
3.4.2	Herzfrequenzvariabilität .....	38
3.4.3	Herzfrequenzdynamik .....	39
3.5	Belastung und Beanspruchung.....	40
3.5.1	Ergänzende Analyse .....	42
4	Diskussion .....	43
4.1	Freiburger Fragebogen zur körperlichen Fitness .....	43
4.2	CVLT .....	43
4.3	MPT .....	44
4.4	Kardiovaskuläre Reaktionsdynamik .....	44
4.5	Resümee.....	45
4.6	Limitation der Studie .....	45
4.7	Ausblick.....	45
5	Literaturverzeichnis .....	47

Anhang -Fragebogen und Testbeispiel .....	52
Anhang - Projektplan.....	54

## Abkürzungen

ACTH	Adrenocorticotropes Hormon
BMI	Body Mass Index
bpm	Schläge pro Minute
bzw.	beziehungsweise
CVLT	California Verbal Learning Test
d.h.	das heißt
EKG	Elektrokardiogramm
et al.	(et alii/aliae/alium) und andere
etc.	et cetera
FFkA	Freiburger Fragebogen für körperliche Aktivität
GAS	general adaptation syndrome
HF	High Frequency Band
HR	Herzrate
HRV	Heartrate Variability
Hz	Hertz
LF	Low Frequency
MET	Metabolisches Äquivalent
MPT	Mittenecker Pointing Test
rMSSD	mittlere Herzfrequenzvariabilität
SDNN	Standardabweichung aller RR-Intervalle einer Messung
TRH	Thyrotropin releasing hormone
TSH	Thyreoida stimulierendes Hormon
u.a.	unter anderem
usw.	und so weiter

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung RR-Abstandsänderung.....	4
Abbildung 2: Vergleich HRV Normal vs. pathologisch. (Goldberger 2006).....	5
Abbildung 3: Entwicklung der PubMed Publikationen zu den Stichworten: HRV und heartratevariability. (Quelle: PubMed).....	20
Abbildung 4: Bewertungsskalen Belastung und Beanspruchung nach durchgeführtem Test. ....	26
Abbildung 5: Schematische Darstellung des Ablaufs der Testung .....	26
Abbildung 6: Ambu® EKG-Klebeelektroden (links) und Faros® eMotion 180° (rechts) im Größenvergleich . ....	27
Abbildung 7: Technische Einstellung des MPT .....	31
Abbildung 8: Veränderung der Lernleistung im CVLT über die Durchgänge. Die beiden Gruppen im Vergleich. ....	35
Abbildung 9: Unterschiede in der Herzfrequenz verglichen für Ruhephase 1 vor Erläuterung des CVLT, Antizipationsphase unmittelbar vor CVLT und Ruhephase 2 nach 1.verzögerter Wiedergabe. Gruppe "Sportlich" und "Unsportlich" im Vergleich.....	37
Abbildung 10: Beide Gruppen im Vergleich hinsichtlich Low-Frequency Band zwischen Ruhephase 1 vor CVLT, Antizipationsphase vor CVLT und Ruhephase 2 nach der 1. verzögerten Wiedergabe.....	38
Abbildung 11: Beide Gruppen im Vergleich hinsichtlich low-frequency/high-frequency Verhältnis zwischen Ruhephase 1 vor CVLT, Antizipationsphase vor CVLT und Ruhephase 2 nach der 1. verzögerten Wiedergabe. ....	39
Abbildung 12: Dynamik der Herzfrequenz als Frequenzänderung in bpm im Verlauf des CVLT. Beide Gruppen im direkten Vergleich. ....	39
Abbildung 13: Die Änderung der Herzfrequenz in der Antizipation als ein möglicher Prädiktor für die Herzfrequenzdynamik. ....	41
Abbildung 14: Herzfrequenzdynamik im Vergleich zur angegebenen Beanspruchung unabhängig von der körperlichen Fitness.....	42

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Verteilung des Studienkollektivs nach biometrischen Gesichtspunkten.....	22
Tabelle 2: Mittelwert $\pm$ Std und Statistik der Skalenwerte des FFkA. ....	34
Tabelle 3: Deskriptive Statistik für Lernleistung im CVLT. Im Vergleich Gruppe "Unsportlich" und Gruppe „Sportliche“.....	35
Tabelle 4: Deskriptive Statistik für die Ergebnisse aus dem MPT hinsichtlich Symbol Redundancy und Context Redundancy. Beide Gruppen im Vergleich. ....	36
Tabelle 5: Deskriptive Statistik der Faktoren der Herzrate über die 3 Messzeitpunkte im Vergleich Gruppe "Unsportlich" und Gruppe "Sportlich". ....	37
Tabelle 6: Darstellung der Bewertungsskala bzgl. Beanspruchung und Belastung nach CVLT und MPT. Beide Gruppen im Vergleich. ....	40

# 1 Einleitung

Regelmäßiger Sport und alltägliche Bewegung haben einen positiven Einfluss auf die Gesundheit und das Wohlbefinden.<sup>1</sup> Der regelmäßige Reiz auf das Herzkreislaufsystem durch körperliche Anstrengung führt nicht nur zu kardialen, sondern auch respiratorischen Vorteilen. Dies spiegelt sich beispielsweise in erhöhter Lungenkapazität, einer konstanten Verminderung der Ruheherzfrequenz und verbesserter Blutdruckregulation wider. Die Veränderungen der Vitalparameter, wie Lungenkapazität, Puls und Blutdruck, ermöglichen eine Objektivierung der körperlichen Fitness.<sup>2</sup> Zusätzlich stellt die Herzratenvariabilität einen weiteren Messparameter zur Darstellung von körperlicher Fitness dar. Dynamische Veränderungen der Herzrate zeigen einen typischen Verlauf und können durch verschiedene Stressreize experimentell induziert werden und so Aufschluss über mögliche Adaptationsprozesse geben.<sup>3</sup>

Sothmann et al. (1996) und Gerber et al. (2008) berichten über eine positive Korrelation zwischen erhöhter Herzfrequenzvariabilität und dem regelmäßigen Reiz (die regelmäßige Stimulation) durch sportliche Aktivität. Dies bedeutet, dass der Körper eines trainierten Menschen fähiger ist, sich rascher an bestimmte Reize zu adaptieren.<sup>3-5</sup>

Auf die Frage, wie sich Sport jedoch auf die Stressadaptation auf sportfremde Reize auswirkt, versucht die Cross Stressor Adaptation Hypothese eine Erklärung zu finden. Diese Hypothese besagt, dass es zu unspezifischen Anpassungsvorgängen kommt, unabhängig davon, um welchen Stressor es sich handelt.<sup>3,4</sup>

Klaperski et al. (2013) bringen körperliche Aktivität als Stressreiz und die mögliche Adaptationsfähigkeit in psychischen Stresssituationen in Verbindung. Sie konnten zeigen, dass Frauen in Abhängigkeit der Sportintensität eine verminderte Stressantwort aufwiesen.<sup>6</sup> In einer aktuellen Studie konnten Gibson et al. (2017) zumindest tendenziell zeigen, dass ein Adaptationsprozess für die Tolerierung einer Hypoxie durch extreme Hitze und Kälte induziert werden kann.<sup>7</sup>

Jedoch ist zu erwähnen, dass in der Literatur immer noch kontrovers über die Existenz der Cross Stressor Adaptation in bestimmten Bereichen diskutiert wird (Chauhan et al., 2015).<sup>8</sup> Ziel der vorliegenden Studie war es daher, zu prüfen, ob sich die Annahme, dass trainierte, sportliche Menschen sich besser und schneller an psychisch bzw. kognitiv ausgelöste Stresssituationen anpassen, also eine höhere Herzratenvariabilität zeigen, als nicht-trainierte männliche Probanden, empirisch nachweisen lässt.

Erwartet wurde eine Replikation literaturkonformer Ergebnisse hinsichtlich höherer Herzratenvariabilität und einer besseren kardiovaskulären Erholungsfähigkeit von Personen, die durch regelmäßigen Sport einen positiven Einfluss auf ihr kardiovaskuläres System nehmen.

Zusätzlich sollte durch das angewendete Studienparadigma gezeigt werden, dass durch einen Mangel an körperlicher Fitness (keine bzw. wenig körperliche Aktivität im Alltag) die Dynamik der Herzfrequenzveränderung (Reaktionsdynamik) bei kognitiver Belastung reduziert ist. Dies würde auf eine verminderte „Anpassungsfähigkeit“ bzw. reduzierte Reaktivität auf einen milden kognitiven Stressor hinweisen und die „cross-stressor adaptation hypothesis“ unterstützen.

Die regelmäßige körperliche Aktivität wurde mit dem Freiburger Fragebogen zur körperlichen Aktivität (FFkA) abgefragt, die Anstrengung, Belastung und Beanspruchung bei den kognitiven Tests wurde unmittelbar nach Ende der jeweiligen Aufgabe mittels 17-stelliger Bewertungsskala erhoben. Hierbei wurde untersucht, ob sich die subjektive Wahrnehmung des männlichen Probanden bezüglich Anstrengung, Belastung und Beanspruchung durch die gestellte Aufgabe in der Veränderung der Herzfrequenz widerspiegeln.

Zusätzlich wurde durch die Einführung einer Antizipationsphase, jener kurzen Phase während derer der männliche Proband die bevorstehende Aufgabe erwartet, untersucht, ob die alleinige Ankündigung einer bevorstehenden Aufgabe ausreicht, eine Veränderung der Herzfrequenz zu bewirken.

Über die zugrundeliegende Physiologie wird in nachfolgenden Kapiteln ein Überblick gegeben.

## ***1.1 Herzphysiologie<sup>2</sup>***

Neben arteriellem Blutdruck, Herzschlagvolumen und totalem peripherem Widerstand ist vor allem auch die Herzfrequenz maßgeblich daran beteiligt, den Sauerstoff- und Energiebedarf im Körper zu bedienen. Um dies zu gewährleisten, sind einerseits anatomische und elektrophysiologische, und andererseits hormonelle Gegebenheiten von großer Bedeutung. Auf diese Voraussetzungen soll nun im Folgenden kurz eingegangen werden.

Das Herz unterliegt dem vegetativen Nervensystem und ist somit nicht willentlich steuerbar. Die elektrophysiologische und hormonelle Steuerung erfolgt zum einen über Sympathikus und Parasympathikus, und zum anderen über das Ausschütten von Hormonen, allen voran den Katecholaminen. Diese sogenannten Stresshormone nehmen kurzfristig wesentlichen Einfluss auf die Höhe der Herzfrequenz und des Blutdrucks und damit auch auf die Herzratenvariabilität.

### **1.1.1 Herzratenvariabilität**

Die Herzfrequenz als Parameter in der Medizin wird in Schlägen pro Minute angegeben und bezieht sich damit auf die Anzahl an Myokardkontraktionen die, meist hochgerechnet, innerhalb einer ganzen Minute, erfolgen. Im EKG ist die Myokarderregung im QRS-Komplex zu erkennen, wobei die Abstände der R-Zacke zur Berechnung der Herzfrequenz herangezogen werden. Wie in der schematischen Darstellung in Abbildung 1 zu sehen ist, unterliegt der zeitliche Abstand zweier R-Zacken („beat-to-beat“) physiologisch einer Veränderung oder besser gesagt, einer Variabilität. Diese Herzfrequenzvariabilität (HRV, heart rate variability) dient der adäquaten Adaptation an extrinsische und intrinsische Faktoren. Mathematisch kann die HRV im Zeitbereich oder im Frequenzbereich analysiert werden.

Dadurch eignet sich die HRV besonders zur Darstellung der autonomen Regulation der Herzaktivität, welche von sympathovagalen Einflüssen bestimmt wird.<sup>9</sup>

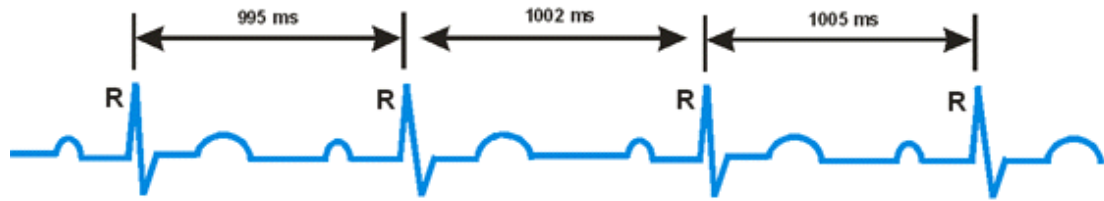


Abbildung 1: Schematische Darstellung RR-Abstandsänderung.

### 1.1.1.1 Entwicklung und Anwendung

Die Herzratenvariabilität ist ein Parameter, der erstmals Aufmerksamkeit erlangte, als 1965 von Hon und Lee publiziert wurde, dass sich bei fetalem Stress Veränderungen in den Abständen zwischen zwei Herzschlägen zeigte, noch bevor eine Herzfrequenzveränderung zu sehen war.<sup>10</sup>

Dies schaffte die Grundlage für die Etablierung von einfachen „bedside“ Tests in den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts, die der Erkennung von polyneuropathischen Veränderung bei Diabetes Patienten und Patientinnen dienten.

Ewing et al. konnten in ihren 1985 publizierten Artikel zeigen, dass zirka 40% der insgesamt 543 getesteten Diabetes Patienten und Patientinnen eine veränderte Herzratenvariabilität zeigten.<sup>11</sup>

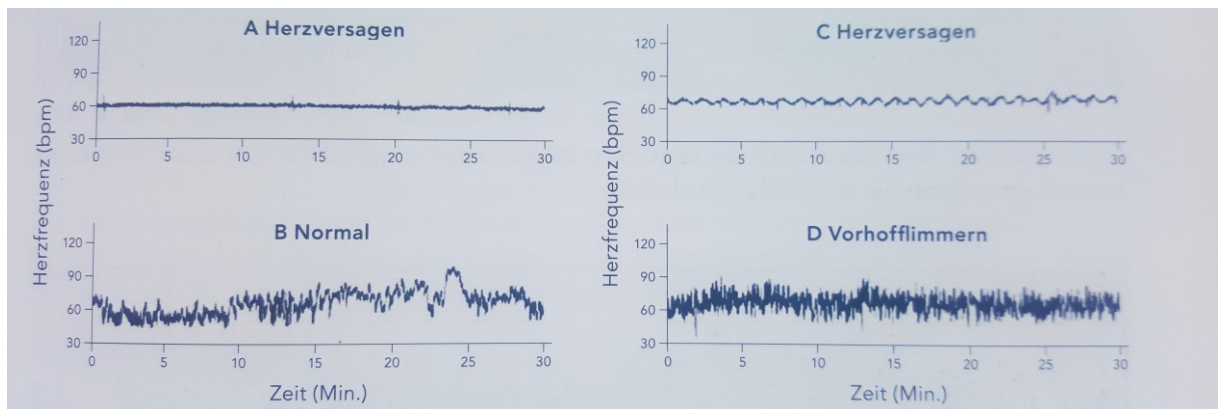
Im Laufe der Jahre wurde die Idee die HRV in die klinische Diagnostik zu integrieren immer realistischer und so erhielt die Herzratenvariabilität in den späten 80er Jahren einen hohen Stellenwert als Prädiktor für die Sterblichkeit bei einem myokardialen Infarkt.

Kleiger et al. konnten in ihrer 1987 veröffentlichten Studie im American Journal of Cardiology zeigen, dass das relative Sterblichkeitsrisiko bei Patienten und Patientinnen nach einem akuten Myokardinfarkt mit einer Herzratenvariabilität von weniger als 50ms um das 5,3-fache höher ist als bei Herzinfarktpatienten mit einer HRV von mehr als 100ms.<sup>12</sup> Durch diese Erkenntnis in Verbindung mit neuen technischen Geräten wie das digitale Hochfrequenz-24h-EKG ist es möglich, mittels der Herzratenvariabilität physiologische und pathophysiologische Prozesse zu erkennen und zu erklären.<sup>13</sup>

Die Messung der Herzfrequenz ist erdenklich unkompliziert. Im einfachsten Fall benötigt man lediglich seine Finger und eine Uhr, palpiert eine periphere oder zentrale Arterie und zählt die Schläge pro Minute. Diese Messmethode ist sehr fehleranfällig und wird nur dann durchgeführt, um einen raschen Eindruck von der Herzfrequenz zu bekommen. Um genaue und objektive Werte zu erhalten, verwendet man ein Elektrokardiogramm (EKG).

Bei der vorliegenden Studie wurde dieses EKG in Form von zwei Elektroden (Einthoven II) abgeleitet. Diese Messung liefert im Falle eines physiologischen Sinusrhythmus‘ QRS-Komplexe, deren RR-Abstand man misst und so eine Vielzahl von zeitlichen Veränderungen erhält.

Um den Messparameter der Herzratenvariabilität verstehen und auch richtig interpretieren zu können, bedarf es einer Übersicht der kardialen Reizleitung und der Einflussfaktoren auf die Herzfrequenz wie bereits in Kapitel 1.1 erläutert. Abbildung 2 soll einen Eindruck verschaffen, wie sich die HRV-Messung darstellt und wie sich die Unterschiede zwischen normal und pathologisch zeigen.



**Abbildung 2: Vergleich HRV Normal vs. pathologisch. (Goldberger 2006)**

Die Unterteilung des Frequenzbereichs in high frequency (0,15-0,4 Hz) und low frequency (0,04-0,15 Hz) erlaubt auch eine Herleitung, über welche Mechanismen die Herzfrequenzveränderungen gesteuert wurden. So werden high frequencies (HF) über die raschen Regulationsvorgänge des Parasympathikus ermöglicht. Daneben repräsentieren low frequencies (LF) die Regulationsmechanismen auf Blutdruckänderungen, die an diversen Druckrezeptoren detektiert und über Sympathikus und Parasympathikus reguliert werden. So finden sich vermehrt low frequency Anteile bei Training oder mentalem Stress.<sup>14</sup>

Als „Total Power“ wird die Gesamtvariabilität der Herzfrequenz bezeichnet. Sie entspricht der Energiedichte im Spektrum von 0,0033-0,4 Hz. Ein nicht unumstrittenes Balancemaß stellt das Verhältnis von low-frequency zu high frequency (LF/HF) dar und soll laut Literatur direkt das Verhältnis von Sympathikus zu Parasympathikus widerspiegeln. Hierbei werden Werte über 1 als deutliche Sympathikusdominanz angesehen.<sup>14</sup>

Neben der Auswertung über frequenzbezogene Parameter ist es auch möglich, über zeitbezogene Parameter einen Befund zu erstellen. Hierbei werden die Intervalle der Herzaktion über die Zeit gemessen und daraus Mittelwert, Standardabweichung und andere Parameter herangezogen. Frequenzbezogene Parameter sind in Bezug auf Fehleranfälligkeit kritischer zu betrachten als zeitbezogene Parameter. Grundsätzlich gilt es, die Anzahl an Artefakten so gering wie möglich zu halten.<sup>14</sup>

Durch den Einfluss von Sympathikus und Parasympathikus ist es möglich, verschiedene Stellgrößen wie Inotropie, Dromotropie, Chronotropie zu verändern und so den Bedarf im Körper ausreichend zu bedienen. Neben Sympathikus und Parasympathikus gibt es noch weitere Einflussfaktoren auf die Herzfrequenz, die in weiterer Folge erläutert werden.<sup>2</sup>

### **1.1.2 Einflussfaktoren auf die Herzfrequenz**

Die Herzfrequenz als Parameter der Vorhof- und Ventrikeldepolarisation ist eine Größe, die von verschiedenen Faktoren beeinflusst wird. Dazu zählen unter anderem Sympathikus und Parasympathikus als Vertreter des vegetativen Nervensystems. Daneben spielen hormonelle Veränderungen eine große Rolle, die durch exogene Faktoren wie etwa Stress oder endogene Faktoren wie Infektionen wesentlich beeinflusst werden. Abgesehen von Rhythmusstörungen ist die Herzfrequenz im Gesunden mit dem peripher messbaren Puls gleichzusetzen.<sup>15</sup> Für das Verständnis der Herzratenvariabilität und dessen Interpretation ist es wichtig, die Einflussfaktoren der Herzfrequenz zu verstehen.

#### **1.1.2.1 Vegetatives Nervensystem**

Zum Vegetativum zählt einerseits der Sympathikus und andererseits der Parasympathikus und zusätzlich das, in diesem Kapitel nicht weiter behandelte, autonom arbeitende, enterische Nervensystem. Das vegetative Nervensystem ist nur indirekt willentlich beeinflussbar und steuert sämtliche im Körper automatisch ablaufenden Prozesse, wie zum Beispiel den Herzschlag, die Atmung und auch die Verdauung. Die anatomische Lage dieses Systems ist einerseits im zentralen Nervensystem und andererseits in der Peripherie. Jedoch befinden sich die Hauptregelkreise des Sympathikus und Parasympathikus im Hirnstamm und in den Nuclei des Hypothalamus.<sup>2</sup>

Das sympathische Nervensystem besitzt die Fähigkeit, den Körper in Alarmbereitschaft zu versetzen. Dies bedeutet, dass der Sympathikus bei gefühlter oder tatsächlicher Belastung eine Situation schafft, in der es ihm möglich ist, rasch zu reagieren.

Für die vorliegende Studie ist vor allem die Wirkung des Sympathikus auf die Herztätigkeit bedeutsam, da es durch Stress zu einer Sympathikusaktivierung kommt. Die Aktivierung des Sympathikus äußert sich durch eine positiv inotrope, dromotrope, bathmotrope, lusitrope und chronotrope Wirkung. Diese bedeutet eine Erhöhung der Herzfrequenz, eine Erhöhung der Kontraktilität und Relaxationsfähigkeit des Myokards, eine Beschleunigung der Erregungsleitung und eine Senkung der Erregungsschwelle.

Weiters wirkt der Sympathikus auf Erweiterung der Bronchien, Erhöhung der Muskeldurchblutung und des Muskeltonus'. Zusätzlich wird durch erhöhte Glykolyse vermehrt Energie bereitgestellt. Daneben werden bestimmte Körperfunktionen wie Blasen- und Darmtätigkeit gehemmt. In der Literatur spricht man insgesamt von einer ergotropen Wirkung in sogenannten „Fight or Flight“-Situationen. Evolutionär gesehen war eine „Fight or Flight“-Situation eine häufig auftretende, lebensbedrohliche Situation, die wir mit Hilfe des Sympathikus überstehen konnten. Heutzutage sind „Fight or Flight“-Situationen weniger akut lebensbedrohlich, sondern vermehrt auf psychischen Stress zurückzuführen. Die physiologischen Mechanismen sind aber nach wie vor dieselben.<sup>2</sup>

Den „Fight or Flight“ Zustand erreicht der Sympathikus mit Hilfe von Acetylcholin und Noradrenalin als Transmitter, wobei Acetylcholin als präganglionäre und Noradrenalin als postganglionäre Neurotransmitter fungieren. Noradrenalin entfaltet anschließend seine Wirkung über Adrenozeptoren, die in  $\alpha$ - und  $\beta$ -Rezeptoren unterteilt werden. Über diesen Mechanismus werden die oben genannten Zustände erreicht. Eine Ausnahme bilden die Schweißdrüsen, da diese prä- und postganglionär Acetylcholin als Neurotransmitter verwenden, was eine erhöhte Schweißsekretion zur Folge hat.

Anatomische Zentren der Sympathikusregulation befinden sich im Hypothalamus, Hirnstamm und der Formatio reticularis, welche Impulse an das erste Neuron senden, das sich im Brust- und Lendenmark befindet. In den paravertebralen Ganglien werden die meisten Fasern auf ein zweites Neuron umgeschaltet, wobei hierbei Acetylcholin als Neurotransmitter dient. Das zweite Neuron sendet Impulse an das nötige Zielorgan mittels Noradrenalin, welches dort seine sympathische Wirkung entfaltet.

Primär antagonistisch zum „Fight or Flight“-Nerv wirkt der Parasympathikus als „Rest and Digest“-Nerv. Seine Aufgabe besteht darin, vegetativ vor allem den Stoffwechsel so zu regulieren, um die körpereigenen Reserven wieder aufzufüllen. Man spricht auch von einer

trophotropen Wirkung des Parasympathikus. So wie der Sympathikus ist auch der Parasympathikus im Hirnstamm zu finden. Zusätzlich sind Neuronen im sakralen Rückenmark angesiedelt. Wichtigster Nerv für die Innervation der inneren Augenmuskeln, Schweiß- und Tränendrüsen und innerer Organe ist der zehnte Hirnnerv, der Nervus vagus. Im Gegensatz zum Sympathikus liegen beim Parasympathikus die Ganglien meist innerhalb der Zielorgane.

Als Neurotransmitter für die Signalübertragung im parasympathischen Nervensystem fungiert alleinig Acetylcholin, welches auf spezifische Rezeptoren wirken kann. Diese Acetylcholinrezeptoren werden unterteilt in muskarinische und nikotinische Rezeptoren. Zu erwähnen ist, dass es zwei Subtypen der muskarinischen Rezeptoren gibt ( $M_2$  und  $M_4$ -Rezeptoren), welche im Sinus- und AV-Knoten Kalium-Kanäle öffnen und so negativ chronotrop, negativ dromotrop und negativ inotrop wirken. Diese Information ist relevant um zu verstehen, wie die Herzfrequenz gesteuert werden kann.

### **1.1.2.2 Weitere Einflussfaktoren auf die Herzfrequenz**

Eine wichtige Rolle in der Regulierung der Herzfrequenz spielen Katecholamine. Noradrenalin wurde bereits als postganglionärer Neurotransmitter des Sympathikus erwähnt und ist auch neben dem Adrenalin das wichtigste Hormon zur Steigerung der Herzfrequenz, wobei Noradrenalin vor allem den Blutdruck steigert und weniger die Herzfrequenz. Adrenalin und Noradrenalin werden als Hormone in der Nebenniere gebildet und in den Blutkreislauf abgegeben. Die Wirkung von Noradrenalin zeichnet sich überwiegend dadurch aus, dass es über die Aktivierung von Adrenorezeptoren die Arteriolen engstellt und so den Blutdruck anhebt. Der Einfluss auf die Herzfrequenz ist dabei nur gering.

Adrenalin hingegen wird als Stresshormon im Nebennierenmark produziert und ins Blut abgegeben. Durch Wirkung auf den Stoffwechsel wird vermehrt Energie bereitgestellt, die Bronchien erweitert und es kommt zur Kontraktion von Arteriolen in der Peripherie, jedoch kommt es über  $\beta_2$ -Adrenorezeptoren zu einer Erweiterung zentral muskelversorgender Gefäße. Über  $\beta_1$ -Adrenorezeptoren erfolgt eine positiv chronotrope, positiv inotrope, positiv bathmotrope und positiv dromotrope Wirkung. Durch die Wirkung als Stresshormon sind auch Symptome wie Mundtrockenheit, vermehrte Schweißproduktion und der pilomotorische Reflex („Gänsehaut“) bekannt.

Ein wichtiger Mechanismus im menschlichen Herz-Kreislaufsystem ist der Barorezeptorreflex. Durch Mechanorezeptoren in der Wand von bestimmten Blutgefäßen wird kontinuierlich die Blutdruckamplitude gemessen und Informationssignale an das Zentralnervensystem gesendet. Diese Informationen führen zu einer Änderung von Stellgrößen wie des Herzzeitvolumens und des totalen peripheren Widerstands. Diese Reaktion auf Blutdruckänderungen wird Barorezeptorreflex genannt.<sup>2</sup>

Arterielle Barorezeptoren befinden sich vor allem im Aortenbogen und im Sinus caroticus. Venöse Pressozeptoren findet man in den großen Körpervenen und im rechten Vorhof.<sup>2</sup>

Kommt es nun zu einer registrierten Abnahme des Blutdrucks, wird der Parasympathikus gehemmt und es kommt zu einer Herzfrequenzsteigerung und zu einer Erhöhung des totalen peripheren Widerstandes. Zusätzlich wird der Rückstrom aus dem venösen System gesteigert. Umgekehrt verhält es sich, wenn der Blutdruck steigt. Der Parasympathikus wird aktiviert, dadurch sinkt der Sympathikotonus mit Verringerung der Herzfrequenz und Weitstellung der peripheren Gefäße.<sup>16</sup>

Da Stress eine zentrale Rolle in vorliegender Studie spielt, sollen im Folgenden die Auswirkungen von Stress auf den Körper und die dahinterliegende Physiologie erörtert werden.

## ***1.2 Auswirkungen von Stress***

Unter Stress versteht man die Reaktion auf eine Störung des Gleichgewichts durch verschiedene Reize bzw. Stressoren, also Ereignisse, die die Bewältigungsstrategien des Menschen überfordern können. Diese Stressoren können vielfältig sein und ihren Ursprung in emotionalen, sozialen oder physikalischen Quellen haben. Unterschieden wird hierbei zwischen kurz- und langfristiger Belastung. Vor allem Stress, der für längere Zeit auf einen Menschen einwirkt, kann die Gesundheit beträchtlich negativ beeinflussen, was zu schwerwiegenden Folgen, im Sinne von körperlichen und seelischen Erkrankungen führen kann.<sup>17</sup>

Selye (1956) verwendete den Begriff „Stress“ in seinem Buch „The stress of life“ (New York, 1956) als Sammelbegriff für alles, was das Gleichgewicht, also die Homöostase im Körper, bedroht. Hierbei wird die Bedrohung als „Stressor“ bezeichnet.<sup>18</sup>

Es spielt für die körperliche Gesundheit eine wesentliche Rolle, ob die Stressoren für eine kurze (akut) oder für eine längere Zeit (chronisch) auf einen Organismus einwirken, da sich die Stressantwort und dessen Folgen unterscheiden.<sup>18</sup>

Die akute Stressantwort führt zu einer Kaskade von Veränderungen im Hormon-, Herzkreislauf-, Immun- und Nervensystem. Diese Veränderungen sind über eine kurze Zeit gut kompensierbar und führen zu einer Umverteilung von freigesetzten Energiereserven. Diese Art der Stressantwort ermöglicht dem gesunden Organismus eine Adaptation für künftige Situationen und kann einen physiologischen Lernprozess darstellen. Findet der Organismus einen Weg sich zu adaptieren, spricht man von Eustress.<sup>19</sup> Kommt es zu einer ununterbrochenen akuten Stressreaktion mit ständiger Energiebereitstellung und Stresshormonausschüttung, spricht man von einer Chronifizierung von Stress.<sup>18</sup> Hat der Organismus keine Ressourcen, um den Stress zu bewältigen, spricht man von Dystress.<sup>19</sup>

Dieser chronischen Stressantwort wird ein Krankheitswert zugeschrieben, da es durch Ausschüttung von Zytokinen, Cortisol und Katecholaminen zu einer damit einhergehenden Immunsuppression kommt. Zusätzlich schädigt der chronisch erhöhte Blutdruck die Gefäße und schwächt das Myokard.<sup>20</sup>

Durch die Wirkung von erhöhtem Cortisol- und Katecholaminspiegel kommt es zu Prozessen, die unter anderem zu Atherosklerose, Mikroangiopathie und so zu einer Minderperfusion führen und folglich mit einer verminderten Lebenserwartung assoziiert sind.<sup>21</sup>

In diesem Zusammenhang müssen zwei weitere Begriffe Erklärung finden:

*„Psychische Belastung ist definiert als die Gesamtheit aller erfassbaren Einflüsse, die von außen auf den Menschen zukommen und psychisch auf ihn einwirken.“* (Normenausschuss Ergonomie im DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 2000)

*„Psychische Beanspruchung wird verstanden als die individuelle, zeitlich unmittelbare und nicht langfristige Auswirkung der psychischen Belastung im Menschen in Abhängigkeit von seinen individuellen Voraussetzungen und seinem Zustand.“*<sup>22</sup> (Normenausschuss Ergonomie im DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 2000)

In dieser Norm werden diese beiden Begriffe neutral gesehen und somit sind positive wie negative Auswirkungen miteinbezogen. Überwiegen die negativen Wirkungen von Belastung, spricht man auch von „Fehlbelastung“.<sup>23</sup>

Bei vorliegender Studie spielen die Begriffe Anstrengung, Belastung und Beanspruchung eine wesentliche Rolle, da sie bei der Probandenbefragung nach der Testung Aufschluss darüber geben, wie die gestellte Aufgabe, für jeden männlichen Probanden subjektiv wahrgenommen wurde. So zeigen Föhr et al. (2015) in ihrer Studie, dass es einen Zusammenhang zwischen subjektiver Stresswahrnehmung und objektiver Stressreaktion auf der Basis der Herzratenvariabilität gibt.<sup>24</sup>

### **1.2.1 Stressmodelle**

Ein von dem ungarisch-kanadischen Forscher Hans Hugo Bruno Selye entwickeltes Modell ist das sogenannte „general adaptation syndrom“ oder Selye-Syndrom. Der als „Vater der Stressforschung“ bezeichnete Mediziner erforschte in den 30er Jahren des 20ten Jahrhunderts die Reaktionsmuster des Körpers auf Stressoren.<sup>25</sup> Dieses Modell ist die Fortführung der von dem US-amerikanischen Physiologen Walter Cannon geprägten „Fight-or-Flight“-Reaktion, bei der es zur Sympathikus Aktivierung in Stresssituationen kommt (siehe Kapitel 1.1.2.11.1.2.1).

Walter Cannon konnte mit seinem „Fight-or-Flight“ Modell erstmals Anfang des 20. Jahrhunderts Veränderung der Adrenalin Sekretion in Stresssituationen nachweisen.

Hans Selye veröffentlichte 1946 in seinem Artikel „The general adaptation syndrome and the diseases of adaptation“ seine Hypothese zu den Auswirkungen von Stress auf den Körper. Als „general adaptation syndrome“ (GAS) wird die Summe aller unspezifischen, systemischen Reaktionen des Körpers auf langandauernden Stress bezeichnet.

Sein Modell unterteilt er in drei Stadien.<sup>26</sup>

Stadium 1 bezeichnet Selye als die *Alarmreaktion*. Beginnend mit der Aktivierung von Sympathikus und der Ausschüttung von Katecholaminen, kommt es zur Erhöhung von Herzfrequenz und zum Blutdruckanstieg. Zusätzlich wird aus der Hypophyse vermehrt Adrenocorticotropes Hormon (ACTH) ins Blut abgegeben. Durch die Wirkung von ACTH auf die Nebennierenrinde kommt es zu einer erhöhten Ausschüttung von Glukokortikoiden und einer dadurch verbundenen Hemmung der Proteinbiosynthese. Ebenso bewirken Glukokortikoide eine Hemmung der Immunabwehr und einen Anstieg des Blutglukosespiegels. Dies versetzt den Körper in erhöhte Alarmbereitschaft.<sup>17</sup> Hans Selye selbst bezeichnet dieses Stadium als „stage of damage“, da Abwehrressourcen vom Körper aufgebraucht werden.<sup>27</sup> Dies kann unter Umständen sogar tödlich enden.<sup>28</sup>

Stadium 2 wird als *Widerstandsstadium* bezeichnet. Dieses Stadium ist durch Glukokortikoide mediiert und charakterisiert durch einen Anstieg aller Werte, die in Stadium 1 gesunken sind, wie beispielsweise die Leukozytenzahl und die Körpertemperatur. Der Körper versucht die gestiegenen Katecholamine abzubauen und den Stressreizen entgegenzuwirken. Dabei werden Mineralokortikoide und Somatotropin vermehrt produziert. Dies führt zur Fibrosierung und zusätzlich treten vermehrt Ulzera im Gastrointestinaltrakt auf.<sup>28</sup>

Hält dieses Stadium an und schlagen alle Bewältigungsstrategien fehl, kommt es zum Übergang in Stadium 3.

Stadium 3 ist laut Selye das *Erschöpfungsstadium*. Es kommt zum Verlust aller Adaptationsmöglichkeiten.<sup>26</sup> Dem Körper fehlen Ressourcen, um den schädigenden Prozessen entgegenzuwirken. Es zeigen sich vermehrt Ulzera, einer Verkleinerung von Thymusdrüsen und lymphatischen Drüsen. Vermehrt kommt es zu psychischen Erkrankungen, Magen-Darm-Erkrankungen oder einem Burn-Out Syndrom. Zusätzlich steigt das Risiko an einer Herz-Kreislaufkrankung zu leiden, wie beispielsweise einer essenziellen arteriellen Hypertonie.<sup>16</sup> Dieses Stadium ähnelt dem Stadium 1, es kommt zum Abfall aller Adaptationswerte, was schließlich auch zum Tod führen kann.<sup>28</sup>

Das wohl bedeutendste Stressmodell lieferte Richard Lazarus in den 1970er Jahren mit seinem kognitiv-transaktionellem Stressmodell. Sein Modell zeigt, dass Stress nicht durch bestimmte Reize oder Reaktionen entsteht, sondern vielmehr durch die Bewertung und den Umgang dieser Stressoren.<sup>17</sup>

Das Modell beinhaltet eine Drei-Stufen Bewertung:

In der ersten primären Bewertung stellt sich die Frage, ob eine positive, irrelevante oder gefährliche Situation vorliegt.

Die zweite sekundäre Bewertung gibt Aufschluss darüber, ob die vorhandenen Ressourcen ausreichen, um die vorliegende Situation zu bewältigen.

Hierbei unterscheidet Lazarus zwischen verschiedenen Bewältigungsstrategien, sogenannten Coping-Strategien: das problemorientierte, das emotionsorientierte und das bewertungsorientierte Coping.<sup>17</sup>

Die dritte Bewertung nennt sich Neubewertung und hierbei kommt es zu einer Evaluation und Auswertung inwieweit die Bewältigungsstrategie erfolgreich war und bei Bedarf können Anpassungen vorgenommen werden.<sup>17</sup>

Das Modell nach Selye und jenes nach Lazarus haben eines gemeinsam, nämlich die Auswirkungen von Stress auf den menschlichen Körper. Um die Vorgänge zu verstehen werden im nächsten Kapitel die wichtigsten Prozesse näher erläutert.

## **1.2.2 Stressphysiologie**

Wie bereits eingangs erwähnt, ist der Sympathikus vorwiegend verantwortlich für die Stressreaktion und die Folgen von Stress. Seine Wirkung entfaltet der Sympathikus auf verschiedene Organe, was eine Hormonausschüttung zur Folge hat (siehe 1.1.2.1).

Die biologische Stressreaktion verläuft über zwei Achsen:

Einerseits verläuft die Stressreaktion über das Hypothalamus-Sympathikus-Nebennierenmark-System, welches eine rasche Reaktion des Organismus darstellt. Dabei kommt es innerhalb von Sekunden über sympathische Nervenfasern zur Ausschüttung von Adrenalin und Noradrenalin aus dem Nebennierenmark. Wie bereits in Kapitel 1.1.2.1 angeführt, kommt es zu Herzfrequenzanstieg und Blutdruckanstieg, zusätzlich wird Glukose vermehrt als Energieträger bereitgestellt.<sup>17</sup>

Andererseits kommt es über das Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrinden-System etwas verzögert, jedoch innerhalb von Minuten, zu einer erhöhten Ausschüttung von Corticotropin-Releasing-Hormon aus dem Hypothalamus, welches zu einem Anstieg von ACTH aus dem Hypophysenvorderlappen führt und direkt auf die Nebennierenrinde wirkt. Dies führt dazu, dass vermehrt Cortisol ins Blut abgegeben wird. Cortisol wiederum hemmt die Proteinbiosynthese, die Immunabwehr, die Lipidsynthese und Entzündungsprozesse.<sup>17</sup>

Neben der Cortisol- und Katecholaminausschüttung ist die Hormonachse zwischen Hypothalamus und Hypophyse auch noch fähig, andere Hormonkreisläufe zu steuern. Durch das Ansteigen des Thyrotropin-Releasing-Hormon (TRH) durch den Hypothalamus reagiert der Hypophysenvorderlappen mit vermehrtem Freisetzen von TSH (thyroidea stimulating hormon), welches auf die Schilddrüse wirkt und so Thyroxin ins Blut abgegeben werden kann. Eine Hyperthyreose, also ein vermehrtes Auftreten von Schilddrüsenhormonen im Blut, stimuliert den Sympathikus und erhöht die Körperkerntemperatur.<sup>16</sup>

Zusätzlich ist dieses Achsen-Modell fähig, sich gegenseitig über ein Negativ-Feedback-System zu beeinflussen. Dies bedeutet, sobald ein Zwischenprodukt im Überfluss vorhanden ist, wird die übergeordnete Instanz gehemmt. Dies verhält sich genauso in umgekehrter Form. Liegt ein Mangel dieses Zwischenprodukts vor, wird die Stimulation und in weiterer Folge die Produktion angekurbelt.<sup>16</sup>

### **1.2.3 Antizipation von Stress**

Eine wichtige Rolle in der vorliegenden Studie spielt die Antizipationsphase. Damit ist jene Phase gemeint, die mit der Erläuterung der bevorstehenden Aufgabe beginnt und in diesem Studienaufbau eine Dauer von 3 Minuten hat. In dieser Zeit stellt sich der Organismus auf die zeitnahe Belastung ein und simuliert die bevorstehende Situation. Hierbei kommt es zu einer Stressreaktion, die mit der Stressreaktion bei der tatsächlichen Belastung verglichen werden kann. Wilhelm Karl Arnold et al. (1996) spricht im Lexikon der Psychologie bei der Antizipation von einer Erwartungshaltung.

Der Sportler Gustav Weder (2002) spricht in seiner Dissertation „Optimale Handlung – am Beispiel hoher Geschwindigkeit: eine empirische Annäherung an die psychische Regulation von optimaler Handlung anhand der Handlungsräume Sport und Aviatik“ von einer gedanklichen Vorwegnahme von Abläufen.

Die Antizipation von Stress führt über die Aktivierung der Hypothalamus-Hypophysen-Achse zu einer Ausschüttung von Cortisol und Katecholaminen als Antwort auf eine bevorstehende Stressbelastung. Diese Reaktion stellt einen wichtigen Prozess zur Stressadaptation dar, da sie auf zukünftige Herausforderungen vorbereitet.<sup>29</sup>

Haley et al. (2011) konnten in ihrer Studie zeigen, dass bereits Kinder in den ersten Lebensmonaten die Möglichkeit besitzen, Stress zu antizipieren. Dies ermöglicht die Anpassung und Adaptation an zukünftige Stresssituationen bereits in jungen Jahren.<sup>29</sup>

Vor allem der Cortisolspiegel steht im Fokus der Wissenschaft in Bezug auf die Stressantizipation. So zeigen Paridon et al. (2017) in ihrer Metaanalyse zum Thema Cortisol Reaktivität, dass vor allem männliche Sportler eine signifikante Cortisolantwort vor einem Wettkampf aufweisen. Dies stellt eine optimale Vorbereitung für die tatsächliche Belastung dar. Bei weiblichen Sportlern und Athleten konnte diesbezüglich keine signifikante Cortisolantwort festgestellt werden.<sup>30</sup>

Die kardiovaskulären Reaktionen in Bezug auf die Stressantizipation untersuchten Waugh et al. (2010) in ihrer Studie mit dem Titel „Cardiovascular and affective recovery from anticipatory threat“. Hierbei wurden 61 gesunde Probanden getestet. Testinhalt war die Androhung einer Stresssituation unter EKG Kontrolle. Es konnte gezeigt werden, dass das kardiovaskuläre Profil der Stressreaktion und der nachfolgenden Erholung zwischen der Antizipationsphase und der tatsächlichen Stresssituation ähnlich sind.<sup>31</sup> Dieses Untersuchungsergebnis soll auch in vorliegender Studie im Rahmen der Diplomarbeit bestätigt werden.

#### **1.2.4 Folgen von Stress auf die Gesundheit**

Stress und vor allem chronischer Stress wirken auf verschiedenen Ebenen und über unterschiedliche Wege auf den Körper ein. Stress soll uns primär, entsprechend dem „Fight-or-Flight“ Modell, physisch in eine Lage versetzen, in der wir fliehen oder kämpfen können. In kurzen und mäßig intensiven Episoden von Stress stellt dies für die Gesundheit keinerlei Problem dar. Problematisch werden Stress und dessen hormonelle Veränderungen bei chronischer, intensiver Belastung und beim Verlust von Bewältigungsstrategien. Zu erwähnen sind an dieser Stelle die Coping-Strategien nach Lazarus: das problemorientierte, das emotionsorientierte und das bewertungsorientierte Coping.<sup>17</sup>

Dieses Kapitel soll noch einmal kurz einen Überblick verschaffen, welche Wirkung Stress auf den Organismus hat.<sup>32</sup>

Wirken Stressoren oder andere Einflussfaktoren auf den menschlichen Organismus, so reagieren einerseits die Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrinden-Achse (HPA-axis) und andererseits die Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenmark-Achse. Gemeinsam wird mit der Erhöhung von Adrenalin (E) und Noradrenalin (NE) über den erhöhten Cortisolspiegel im Blut die Ausschüttung von Wachstumshormonen (GH), von Schilddrüsenhormonen (TSH, T<sub>4</sub>) und Sexualhormonen (LH, T, E<sub>2</sub>) gehemmt. Zusätzlich

bewirkt Cortisol ein „metabolisches Syndrom“ im Sinne eines Triglycerid-(TG) und LDL-Anstiegs mit HDL-Verringerung. In Verbindung mit einem Cytokin- und Akutphase-Protein (APR) Anstieg und einer Erhöhung des arteriellen Blutdrucks (ABP) zeigen sich Symptome von Schlafstörungen, Muskelschwund, Osteoporose, Insulinresistenz bis hin zum Diabetes Mellitus Typ 2. Durch erhöhte Entzündungszellen kommt es über die endotheliale Dysfunktion in den Gefäßen und den erhöhten Blutdruck zur Arteriosklerose, wodurch das Risiko eines Herzinfarkts oder Schlaganfalls drastisch ansteigt.<sup>32</sup>

Dementsprechend nimmt Stress über verschiedene Wege Einfluss auf die körperliche und auch psychische Gesundheit. Diese Tatsache stellt Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen sowie Mediziner und Medizinerinnen vor komplexe Aufgaben, da Stress bzw. Stressbewältigung zunehmend ein wichtiger Gesundheitsfaktor wird. Aus diesem Grund könnte Sport eine wichtige Rolle im Sinne einer Bewältigungs- und Adaptationsstrategie einnehmen.

Wie Sport die Stressadaptation positiv beeinflussen kann, zeigt die „Cross Stressor Adaptation Hypothesis“ in einem theoretischen Modell.

### **1.2.5 Die „Cross Stressor Adaptation Hypothesis“**

Die Cross Stressor Adaptationshypothese, aufbauend auf Selye's Stressreaktionsmodell, versucht zu erklären, welche Mechanismen der Körper in Gang setzt, um auf bestimmte Stressoren so adäquat zu reagieren, damit bei erneuter Belastung die Dauer der Homöostasestörung minimiert wird.<sup>33</sup>

Sothmann et.al. (1996) postulieren, dass ein Stressor von geeigneter Intensität und Dauer zu einer Adaptation der Stressreaktionssysteme führt. Dies wird als wichtiger Faktor für den Erhalt von Gesundheit angesehen. Zusätzlich haben sich Sothmann et.al in ihrer 1996 veröffentlichten Studie die Frage gestellt, ob Stress ausgelöst durch körperliche Belastung einen positiven Effekt auf die Reaktion gegen belastungsunabhängigen Stress hat. Diese Hypothese konnte im Tiermodell gestützt werden, da es durch „Abstumpfen“ der neuroendokrinen Reaktion zu einer Gewöhnung an den Stressor kommt. Dies konnte sowohl zentral<sup>34</sup> als auch peripher<sup>35</sup> nachgewiesen werden. Jedoch konnten diese Beobachtungen im Hinblick auf Studien mit Menschen nicht eindeutig bestätigt werden.<sup>3</sup>

Konarska et.al (1990) führen aus, dass es durch die Gewöhnung an einen Stressor zu einer Hemmung des Zentralnervensystems kommt und es so möglich ist, die physiologischen

Reaktionen zu reduzieren. Dies führt zu einer zellulären Adaptation, wie der vermehrten Produktion und Speicherung von wichtigen Neurotransmittern. Kommt es nun zu einer unerwarteten, nicht bekannten Stresssituation, werden die gespeicherten neurochemischen Substanzen freigesetzt und so eine adäquate Reaktion erleichtert.<sup>35</sup>

Die Adaptation kann abgemildert als Habituation oder verstärkt als „Sensitization“ ablaufen. Unter „Sensitization“ versteht man eine Sensibilisierung, unter Habituation eine Gewöhnung bzw. einen Trainingseffekt.<sup>4</sup>

So ist es auch möglich auf spezifische oder unspezifische Stressoren rascher zu reagieren. Die Stressreaktionen bleiben nicht auf einen spezifischen Stressor beschränkt, sondern zeigen sich auch bei anderen Belastungen. Dabei ist Sport ebenso als Stressor zu verstehen wie psychische Belastung.<sup>4</sup>

Regelmäßiger Sport führt zu einer Abnahme der Herzfrequenz, sowohl in Ruhe als auch bei Belastung. Hierbei wird die relative Veränderung zur Baseline als Indikator für die kardiovaskuläre Reaktivität kontrovers diskutiert.<sup>36</sup>

Mit dieser Hypothese ist auch die Frage verbunden, ob sportbedingte Adaptationsvorgänge einen positiven Einfluss auf die Stressreaktion bei sportfremden (psychosozialen) Stressoren haben. Sothmann et. al. (1996) konnten dahingehend keine genauen Antworten liefern, jedoch ist eine Erhöhung der Stresstoleranzschwelle durch körperliches Training anzunehmen. Zusätzlich kann man davon ausgehen, dass durch Training die Effizienz der Stressantwort steigt und die Maximalkapazität der Stressreaktion nach oben reguliert wird.<sup>3,4</sup> Körperliche Belastung in geeigneter Intensität führt zu einer Adaptation, sei es kardiorespiratorisch, muskuloskelettal oder neural.<sup>3</sup> Zusätzlich kommt es zu einem Zusammenspiel der verschiedenen Systeme, um die Dauer der Homöostasestörung so kurz wie möglich zu halten.<sup>33</sup>

Chauhan et al. (2015) berichten in ihrem Review über die widersprüchliche Studienlage in Bezug auf die „Cross Stressor Adaptation Hypothese“. Einerseits zeigen klinische Studien einen Zusammenhang zwischen körperlicher Betätigung (>6h / Woche) und reduzierter Herzfrequenz und vermindertem Cortisolspiegel bei akuter psychischer Belastung. Andererseits liefern eine Vielzahl von präklinischen Tierversuchen keine Bestätigung der „Cross Stressor Adaptation Hypothese“.<sup>8</sup>

Einen anderen, stärker praxisbezogenen Stellenwert der Cross Stressor Adaptation findet sich für Bergsteiger und Bergsteigerinnen. Um das Risiko einer Höhenkrankheit oder

Ähnlichem kalkulierbar zu machen, wird eine Höhenakklimatisation empfohlen. Da dies oft mit logistischen und zeitlichen Schwierigkeiten verbunden ist, wurde untersucht, ob es einfache Alternativen dazu geben könnte. Ein Review von Gibson et al. (2017) gibt Aufschluss über die aktuelle Studienlage. Es wird berichtet, dass eine Hitzeadaptation zu einer vorteilhaften Reduktion der physiologischen Belastung bei anschließender Hypoxie führt. Dies zeigt, dass die Auswirkung von Hitze über die Cross Stressor Adaptation zu einer Veränderung auf zellulärer Ebene führt, um bei Sauerstoffmangel eine verbesserte Reaktion zu erreichen. Ebenso verhält sich Kälte in diesem Zusammenhang. Durch die Temperaturverminderung kommt es zu einer Reduktion der Sympathikusantwort und des Weiteren zu einer Reduktion der physiologischen Belastung durch eine bevorstehende Hypoxie.<sup>7</sup>

### **1.2.6 Sport als Stressor**

Sport stellt den größten Stimulus für das sympathoadrenerge System dar. Durch körperliche Maximalbelastung kommt es zum Anstieg von Katecholaminen im Blutplasma, vor allem Adrenalin und Noradrenalin. Diese können das bis zu 50-fache der Normwerte erreichen. Bei moderater Belastung, also beispielsweise Ausdauerbelastung, steigt die Adrenalin- und Noradrenalin-Konzentration im Blut linear an. Mit Steigerung der Intensität nimmt diese ab einem Schwellenwert exponentiell zu.<sup>4</sup>

So schreibt Gerber et al. (2008):

*„Die Zunahme des Adrenalin- und Noradrenalinsgehalts im Blutplasma zeigt, dass sportliche Aktivität einen stresshaften Reiz darstellt, der vom Organismus eine erhebliche Anpassungsleistung erfordert. Damit scheint für die Gültigkeit der Cross-Stressor Adaptationshypothese eine zentrale Voraussetzung erfüllt zu sein.“<sup>4</sup>*

Ebenso reagiert die Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrinden-Achse auf Sport als Stressreiz mit einer vermehrten Ausschüttung von ACTH und Cortisol. Bei geringer und langanhaltender Belastung fällt der Anstieg von ACTH und Cortisol nur gering aus.

Bei Menschen die regelmäßig Sport betreiben, ist der Anstieg der Mineralo- und Glukokortikoide in Maximalbelastung deutlich messbar.<sup>37</sup> Zudem sinken die Kortisolwerte bei trainierten Probanden nach Beendigung der Belastung rascher zurück auf Normwerte.<sup>38</sup>

In ihrer Metaanalyse konnten Paridon et al. (2017) zeigen, dass vor allem männliche Sportler eine signifikante Cortisolantwort vor einem Wettkampf aufweisen. Dies stellt eine optimale

Vorbereitung für die tatsächliche Belastung dar. Bei weiblichen Sportlerinnen und Athletinnen konnte keine Signifikanz diesbezüglich festgestellt werden.<sup>30</sup>

Gerber et al. (2008) kommen nach Zusammenfassung von verschiedenen Studien zu dem Schluss, dass bislang nur wenige Forscher zeigen konnten, dass körperliche Fitness einen Einfluss auf die Stressreaktivität hat.<sup>4</sup>

Boutcher und Hamer (2006) sehen ebenso eine widersprüchliche Befundlage und meinen, Fitness hätte keinen signifikanten bzw. nur einen vernachlässigbaren Einfluss auf die kardiovaskuläre Stressreaktivität.<sup>4,39</sup>

Jedoch ist zu erwähnen, dass durch Sport trotz allem der Spiegel an Stresshormonen steigt und dadurch auch die Belastbarkeitsgrenze im Sinne einer unspezifischen Adaptation angehoben wird.<sup>4</sup>

Diese teils sehr widersprüchlichen Erkenntnisse deuten darauf hin, dass die wissenschaftliche Forschung in diesem Gebiet weiter fortgeführt werden muss.

Péronnet et.al (1993) nennen als Gründe für die widersprüchliche Befundlage die unterschiedlichen Stressparadigmen, die Vielzahl untersuchter Indikatoren der Stressreaktivität, die geringe Anzahl an Studien mit Risikopersonen, die Variabilität der Trainingsprotokolle sowie die Verwendung von Stressoren mit minimaler körperlicher, kognitiver oder emotionaler Intensität.<sup>40</sup>

In Bezug auf kardiovaskuläre Veränderungen untersuchten Klaperski et al. (2012) 47 gesunde Frauen mit unterschiedlichem wöchentlichem Bewegungsausmaß. Es konnte gezeigt werden, dass in allen Gruppen die Herzrate und der Kortisolspiegel als Reaktion auf psychologischen Stress stiegen, jedoch unterschieden sich die Muster der Stressantwort. Es wurde festgestellt, dass die aktivste Gruppe eine reduzierte Stressreaktivität aufwies. Dies zeigt, dass Sport als Stressor, zumindest bei Frauen, zu einer Reduktion der Stressreaktivität führt und in weiterer Folge vor den negativen Einflüssen von Stress schützen könnte.<sup>6</sup>

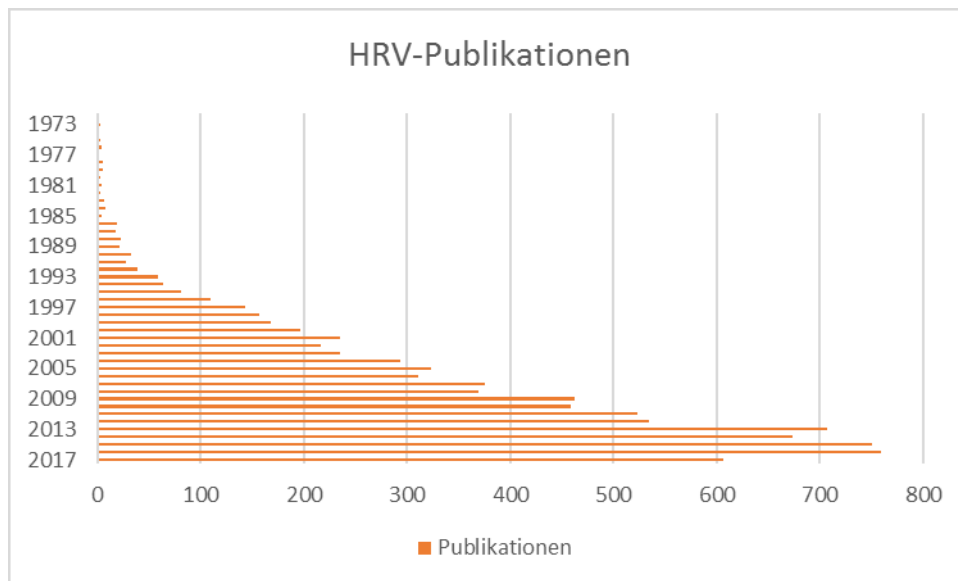
### **1.2.7 HRV und Sport**

Die Herzfrequenzvariabilität gewinnt seit den 80er Jahren immer mehr an Bedeutung. Wie in Abbildung 3 zu sehen ist, stieg die Anzahl der Publikationen mit den Schlagworten „HRV“ und „heart rate variability“ von Jahrzehnt zu Jahrzehnt stetig an.<sup>41</sup>

Vor allem im Hochleistungssport Sektor werden zur Erstellung von Trainingsplänen, also zur Planung der Trainingsintensität, Trainingsdauer und Ruhephasen, die Daten der HRV-Analyse herangezogen. Daher kann die HRV prinzipiell im Sport als leistungsdiagnostische

Kenngröße, als Kontrollparameter der Beanspruchung und als Steuerparameter der Belastungsintensität eingesetzt werden.<sup>42</sup>

So können Sportwissenschaftler/innen und Sportmediziner/innen in Kombination mit weiteren Parametern wie Laktatwerten, Blutdruckmessungen usw., den Trainingszustand eruieren und so in weiterer Folge die richtigen Reize setzen, um die Sportler und Sportlerinnen zu ihren gewünschten Zielen zu führen.<sup>42</sup>



**Abbildung 3: Entwicklung der PubMed Publikationen zu den Stichworten: HRV und heartratevariability. (Quelle: PubMed)**

Die körperliche Aktivität muss gewisse Voraussetzungen hinsichtlich Regelmäßigkeit und Intensität erfüllen. So führt Alltagsaktivität mit weniger als 3 MET (Metabolisches Äquivalent) allein zu keiner Verbesserung der HRV. Lediglich adäquates aerobes Ausdauertraining mit 3-6 MET führt zu einer Verbesserung der HRV und vor allem zur Zunahme von high und low frequency Anteilen.<sup>14</sup>

Gerber M. et al. (2008) erklären in „Sportliche Aktivität und Stressreaktivität: Ein Review“, dass sich nur eingeschränkt Belege für die Plausibilität der „Cross Stressor Adaptation Hypothese“ finden. Dies würde auch die Wirkung von regelmäßigem Sport auf die HRV in ein anderes Licht rücken. Laut Gerber M. et al. (2008) führt regelmäßiger Sport nicht immer zwangsweise auch zu einer Veränderung der Herzratenvariabilität und Stressreaktivität.<sup>4</sup> Ähnliche Ansichten vertreten Sothmann et.al (1996).<sup>3</sup>

Hottenrott et.al (2006) zeigen anhand von gesicherten Daten, wie hoch der Benefit von aerobem Ausdauertraining und moderatem Sport auf die HRV ist.<sup>42</sup> Gleichzeitig definieren Hottenrott et.al (2006) in selbigem Review die HRV als unzureichende Methode zur Trainings- und Belastungssteuerung, da vorhandene Studien zu kleine Kollektive beinhalteten und unterschiedliche HRV- und Studien Methoden verwendet wurden.<sup>42</sup> Dies zeigt noch einmal mehr, dass die aktuelle Forschungslage zum Thema HRV, Sport und Stressadaptation teilweise widersprüchlich und noch nicht vollends geklärt ist.

### ***1.3 Ziel der vorliegenden Studie und Forschungsfragen***

Die vorliegende Studie hat zum Ziel, die „Cross-Stressor-Adaptation Hypothese“ zu prüfen. Dabei soll geklärt werden, ob regelmäßiger Sport in adäquater Intensität und alltägliche körperliche Aktivität, wie Spaziergehen oder den Arbeitsweg mit dem Rad zurücklegen, einen positiven Einfluss auf die Herzratenvariabilität in kognitiven Stresssituationen haben. Es soll untersucht werden, ob das trainierte Herz eine bessere Adaptation in Stresssituationen vornehmen kann als das untrainierte Herz.

Folgende Forschungsfragen wurden aufgestellt:

- Können sich trainingsbedingte Anpassungsprozesse auch auf kognitive Stressoren übertragen?
- Erfolgt durch den Stressor „Sportliche Aktivität“ eine bessere und schnellere Adaptation in „sportfremden“ Stresssituationen?
- Wie wird die kognitive Belastung subjektiv wahrgenommen und gibt es einen Zusammenhang mit der HRV?

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Stichprobe und Einschlusskriterien

Für die durchgeführte Studie wurde eine Stichprobe von 40 Probanden gewählt. Diese Stichprobe bestand aus männlichen, gesunden Probanden im Alter zwischen 20 und 30 Jahren. Die Rekrutierung erfolgte auf freiwilliger Basis. Jeder Einzelne wurde vor der Durchführung der Studie ausführlich über den Ablauf und die Möglichkeit des selbstständigen Abbrechens aufgeklärt. Zur Dokumentation wurde nach Anonymisierung der Probanden eine Einwilligungserklärung von beiden Seiten unterschrieben.

Zur Anonymisierung wurde eine 4-stellige Buchstaben- und Zahlenkombination gewählt. Das Studienparadigma der vorliegenden Studie wurde bereits in diversen anderen Studien (Lackner et al., 2013, 2016) erfolgreich verwendet, um die Auswirkungen von Krankheiten auf die kardiovaskuläre Reaktionsdynamik zu überprüfen.

	<i>Mittelwert</i>	<i>Bereich</i>
Alter [Jahre]	24,28 ±2,17	21-29 Jahre
Körpergröße [cm]	180,50 ±7,03	163-192 cm
Gewicht [kg]	77,50 ±11,11	52-98 kg
BMI [kg/m <sup>2</sup> ]	23,83 ±3,55	16,73-33,66 kg/m <sup>2</sup>

**Tabelle 1: Verteilung des Studienkollektivs nach biometrischen Gesichtspunkten.**

#### 2.1.1 Rekrutierung

Für die Durchführung der Studie wurden 40 gesunde, männliche Probanden zwischen 20 und 30 Jahren gesucht. Hierzu wurde vor allem aus dem persönlichen Umfeld des Diplomanden die Rekrutierung der Probanden durchgeführt. Die benötigten Ein- und Ausschlusskriterien wurden im Vorfeld mit den Teilnehmern ausführlich besprochen und sie wurden im Zuge dessen auch detailliert über die Studie aufgeklärt. Dieses Vorgehen und die Bereitschaft an der Studie teilzunehmen, wurde mittels Unterschrift bekundet.

### **2.1.2 Einschlusskriterien**

- Männlich
- Kardiovaskulär gesund
- $\geq 20, \leq 30$  Jahre alt
- regelmäßiger Sport im Umfang von  $>150\text{min/Woche}$  oder keine regelmäßige sportliche Aktivität
- unterschriebene Einwilligungserklärung

### **2.1.3 Ausschlusskriterien**

- Krankheit
- Medikamenteneinnahme
- Nikotin-, Koffein-, Alkoholkonsum am Testungstag
- keine unterschriebene Einwilligungserklärung

Die Stichprobe dieser Diplomarbeit ist Teil der Studie „Cardiovascular reactivity in emotion regulation – testing of a paradigm“ und wurde von der Ethikkommission der Medizinischen Universität Graz (EK-Nummer 28-511 ex 15/16, Erstvotum vom 30.6.2017) genehmigt.

## ***2.2 Ablauf der Messung***

Nach erfolgreicher Rekrutierung wurde mit jedem einzelnen Probanden ein Termin vereinbart. Die Probanden wurden im Vorfeld darüber aufgeklärt, auf den Konsum von Alkohol, Koffein, Nikotin und ähnlichen Substanzen am Messungstag zu verzichten.

Am Messungstag wurde jeder Proband nochmals über den Zweck der Studie und wie sich der Ablauf gestaltet, aufgeklärt. Zusätzlich wurde betont, dass die Teilnahme an dieser Studie völlig freiwillig ist und ohne Angabe von Gründen jederzeit abgebrochen werden kann. Ebenso wurde auf die Möglichkeit einer lokalen allergischen Reaktion auf die EKG-Elektroden hingewiesen. Anschließend wurde von dem jeweiligen Probanden nach erfolgter Anonymisierung die Einwilligungserklärung unterzeichnet und dokumentiert.

Als nächster Schritt wurde die sportliche Aktivität mittels Fragebogen eruiert und dokumentiert. Dazu wurde der Freiburger Fragebogen zur körperlichen Aktivität (FFkA), auf den in Kapitel 2.3.2 näher eingegangen wird, vorgelegt. Das Ergebnis dieses Fragebogens diente zur Zuteilung in die jeweilige Gruppe.

Im Anschluss an den Fragebogen wurden alle Dokumente anonymisiert und archiviert. Dadurch wurde gewährleistet, dass die anschließend ausgewerteten Ergebnisse nicht rückverfolgbar waren, es sei denn, es wurde von dem Probanden explizit gewünscht, von seinen persönlichen Ergebnissen zu erfahren.

Nach Beendigung der Aufklärung und Unterzeichnung der nötigen Dokumente wurden die benötigten Utensilien bereitgelegt.

Dazu zählte ein Laptop mit den nötigen Softwareprogrammen, Kopfhörer, zwei EKG-Elektroden, das mobile 24h EKG Messgerät (eMotion), die zur Durchführung des kognitiven Tests (s.u.) benötigten Unterlagen und ein Stift sowie die zur Durchführung des zweiten kognitiven Tests (s.u.) benötigte Tastatur.

Durch die Dauer der Vorbereitung sollte erzielt werden, dass sich der Proband entspannt und so eine repräsentative Ruheherzfrequenz messbar war. In diesem Rahmen wird von einer Baseline der Herzfrequenz gesprochen, da eine Ruheherzfrequenz unter diesen Umständen nicht möglich war. Grund dafür sind die ungewohnte Umgebung, die gefühlte

Prüfungssituation und die Unwissenheit über das, was passieren wird. Man spricht hier von einer Ausnahmesituation im Sinne einer sympathotonischen Anspannung.

Sobald ersichtlich war, dass der Proband entspannt war, wurden Elektroden wie folgt angelegt:

Eine Elektrode im Bereich zwischen M. pectoralis major und M. deltoideus, die zweite Elektrode auf Höhe der vorderen Axillarlinie als Verlängerung der Herzachse, um so eine EKG-Ableitung im Sinne von Einthoven II zu erhalten.<sup>2</sup>

Nach Anlage der Elektroden und dem Anschließen des mobilen EKG-Messgerätes wurde eine kurze Probemessung durchgeführt und die Signalqualität kontrolliert. Hierzu wurde das Programm eMotionEDFViewer© verwendet, mit dessen Hilfe die gesamte EKG-Messung aufgezeichnet und verarbeitet wurde.

Verlief die Probemessung erfolgreich, wurde auf dem Laptop das von Prof. Lackner programmierte Programm *Study4DA* in der Softwareumgebung MATLAB geöffnet. Nach Eingabe der biometrischen Daten des Probanden, Größe, Gewicht und Alter, wurde das Programm nach Rücksprache mit dem Probanden gestartet.

Das Programm *Study4DA* führte selbstständig unter akustischer Anleitung durch die Testung, zusätzlich wurde ständig ein Countdown am Bildschirmrand angezeigt.

Es folgte eine 5-minütige Ruhephase, in der sich der Studienteilnehmer noch einmal erholen sollte. Diese Phase diente zur Detektion der jeweiligen Baseline-Herzfrequenz, die dann als Ausgangspunkt fungierte.

War die 5-minütige Ruhephase beendet, wurde der Proband über den ersten Test aufgeklärt. Diese vorzeitige Aufklärung und Ankündigung einer Aufgabe war für die Beantwortung der Forschungsfrage bedeutend. Darauf folgte eine 3-minütige Antizipationsphase.

Bei dem ersten Test handelte es sich um den CVLT (California Verbal Learning Test), einem Test zur verbalen Merkfähigkeit. Auf diesen Test und dessen Durchführung wird in weiterer Folge in Kapitel 2.3.3 genauer eingegangen.

Nach Abschluss des CVLT folgte der MPT (Mittenecker Pointing Test).

Der Mittenecker Pointing Test diente zur Testung der kognitiven Flexibilität. Dazu wurde eine selbstkonstruierte Tastatur mit 9 Tasten benötigt und Kopfhörer für die akustischen Signale. Auf den MPT wird in Kapitel 2.3.4 noch einmal eingegangen.

Im Anschluss eines jeden durchgeführten Tests wurden dem Studienteilnehmer drei Fragen gestellt, die auf einer Skala von 1-17 bewertet werden konnten. Es wurde danach gefragt, wie schwer die Aufgabe empfunden wurde, wie sehr sich der Proband angestrengt hatte, um

die gestellte Aufgabe zu erfüllen und wie geistig beansprucht der Proband durch die Aufgabe war. In Abbildung 4 ist ersichtlich, wie sich diese Befragung darstellte.

Bitte geben Sie an, wie SCHWIERIG Sie die gestellten Aufgaben fanden:

**Schwierig**

äußerst schwierig ..... gar nicht schwierig

Bitte geben Sie an, wie sehr Sie sich ANGESTRENGT haben, um die an Sie gestellten Aufgaben zu erfüllen:

**Angestrengt**

äußerst stark ..... überhaupt nicht

Die Bearbeitung der vorangegangenen Aufgaben BEANSPRUCHTE mich geistig

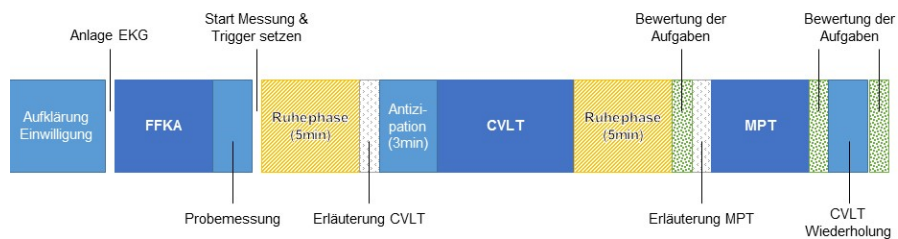
**Beansprucht**

sehr viel ..... sehr wenig

<< WEITER >>

**Abbildung 4: Bewertungsskalen Belastung und Beanspruchung nach durchgeführtem Test.**

Nach Beendigung der Tests wurden alle Dokumente noch einmal auf Anonymisierung und Vollständigkeit überprüft. Danach wurden diese archiviert. Die Dateien der Testergebnisse wurden in einem Probandenordner abgespeichert. Abbildung 5 gibt einen schematischen Überblick über den chronologischen Ablauf der Testung.



**Abbildung 5: Schematische Darstellung des Ablaufs der Testung**

## 2.3 Datenerhebung

Neben den relevanten kardiovaskulären Messdaten wie Herzfrequenz und in weiterer Folge die Herzratenvariabilität wurden zusätzlich die durchgeführten Tests und der erhobene Fragebogen händisch ausgewertet. Die genaue Erläuterung der durchgeführten Tests ist in den folgenden Kapiteln festgehalten.

### 2.3.1 Kardiovaskuläre Messdaten

Zur Erhebung der kardiovaskulären Parameter, die für diese Studie nötig waren, wurde eine spezielle Soft- und Hardware benötigt.

Für die kontinuierliche Aufzeichnung der Herzfrequenz wurde ein mobiles Langzeitelektrokardiogramm der Marke eMotion 180° der Firma Faros® verwendet. Abbildung 6 zeigt ein Symbolbild dieses Produkts, welches in ähnlicher Form verwendet wurde.

Um eine möglichst störungsfreie Messung zu gewährleisten wurden Einmalklebeelektroden der Firma Ambu® verwendet. Wie in Abbildung 6 zu sehen ist, verfügen diese Klebeelektroden einen Druckknopf über diesen, mittels EKG-Kabel der Firma Faros®, eine Verbindung zum EKG-Gerät hergestellt wird.

Zwei dieser Klebeelektroden wurden entsprechend Einthoven Ableitung II. an der Thoraxvorderseite angebracht.



**Abbildung 6: Ambu® EKG-Klebelektroden (links) und Faros® eMotion 180° (rechts) im Größenvergleich .**

### 2.3.2 Freiburger Fragebogen zur körperlichen Aktivität

Der Freiburger Fragebogen zur körperlichen Aktivität (FFkA) erfasst nicht nur körperliche Aktivität, die regelmäßig als Sport betrieben wird, sondern auch jene Aktivitäten, die erstmals gar nicht als solche wahrgenommen werden. Dieser Fragebogen wurde mit dem Anspruch entwickelt, alle gesundheitswirksamen Aktivitäten zu erfassen.<sup>43</sup>

Es wurde festgestellt, dass nicht nur regelmäßiger Sport in adäquater Intensität einen positiven Einfluss auf das kardiovaskuläre System hat, sondern auch die Summe aller „kleinen“ Aktivitäten relevant ist. Um genau diese unscheinbaren Aktivitäten, wie Spaziergehen, Treppensteigen statt Lift fahren oder mit dem Rad zur Arbeit zu fahren, zu detektieren, wurde der FFkA ursprünglich entwickelt.<sup>43</sup>

Bestehend aus 12 Fragen, die so konzipiert sind, dass der jeweilige Befragte die Fragen selbstständig beantworten kann, stellt der FFkA ein wichtiges Tool in der Sozial- und Präventivmedizin dar.

*„Die erste der zwölf Fragen bezieht sich auf die Intensität körperlicher Belastung während der Berufstätigkeit (sitzende Tätigkeit, mäßige oder intensive Bewegung). Die nachfolgenden Fragen 2 bis 5 erfassen, in welchem Umfang Alltagsaktivitäten wie Wege zu Fuß/per Rad, Gartenarbeit, Spaziergänge und Spazierfahrten (Rad) innerhalb der vergangenen Woche ausgeführt wurden, sowie den täglichen Umfang des Treppensteigens. Frage 6 und 7 erfragen Art und Umfang der im vergangenen Monat durchgeführten Sportaktivitäten, Frage 8 das Engagement in den Freizeitaktivitäten Tanzen und Kegeln. Im Anschluss an die Fragen zur körperlichen Aktivität wird der Umfang der täglichen Entspannungs- und Schlafphasen erhoben. In den beiden abschließenden Fragen werden die Teilnehmer aufgefordert, ihre eigene Aktivität im Vergleich zu Altersgenossen einzuschätzen (5- Punkte-Skala) sowie ihren körperlichen Zustand zu beurteilen (7-Punkte-Skala). Zusätzlich werden folgende Angaben zur Person erfasst: Geschlecht, Alter, Größe und Gewicht.“ (Frey I. et.al., Freiburger Fragebogen zur körperlichen Aktivität- Entwicklung, Prüfung und Anwendung, 1999, 44; 55-64)*

Als Zeitangabe wurden Stunden pro Woche gewählt. Die Summe aller Zeiten jeder Aktivität ergibt die Gesamtaktivität. Die Berechnung gestaltet sich wie folgt:

MET. kg(Körpergewicht), h/Woche = körperrgewichtsbezogener Energieumsatz/Woche.

Die Abkürzung MET meint hier das Metabolische Äquivalent, welches den Energieverbrauch einer jeden körperlichen Aktivität erfasst. Nach Ainsworth et al. 1993 wurde das MET so definiert, dass 1 MET dem Umsatz von 3,5 ml Sauerstoff pro Kilogramm Körpergewicht pro Minute bei Männern, bei Frauen 3,15 ml/kg/min entspricht.

Hierbei wird zwischen Basisaktivität, Freizeitaktivität und Sportaktivität unterschieden.

Anhand dieses Fragebogens und der daraus resultierenden metabolischen Indices entstand ein heterogenes Studienkollektiv, da neben der Einteilung von mehr oder weniger als 150min/Woche Sport nun auch einer Unterteilung nach dem metabolischen Index möglich war, der nun auch erstmals die alltäglichen Aktivitäten miterfasste.

### **2.3.3 California Verbal Learning Test**

Der California Verbal Learning Test (CVLT) ist ein Instrument zur Testung und Beurteilung der persönlichen verbalen Lern- und Merkfähigkeitsleistung.

Der Ablauf gestaltete sich wie folgt:

Dem Probanden wurde nach der Erläuterung, Erklärung des Ablaufs und Anonymisierung des Testbogens eine 3-minütige Antizipationsphase gewährt. Anschließend erhielt der Versuchsteilnehmer über eine automatisierte Sprachausgabe erneut die folgende Aufgabe erläutert:

*„Ich werde Ihnen eine Wortliste vorlesen. Hören Sie bitte aufmerksam zu. Wenn ich fertig bin möchte ich, dass Sie von dieser Liste so viele Wörter nennen, wie Sie erinnern. In welcher Reihenfolge ist dabei nicht wichtig. Aber Sie sollen möglichst viele Wörter wiedergeben.“*

Nachdem nochmals abgefragt wurde, ob der Proband bereit zum Starten sei, und dies bestätigt wurde, wurde mit der Testung begonnen. Per automatisierter Sprachausgabe wurde dem Probanden anschließend eine Liste von 16 Wörtern vorgelesen.

Nachdem das letzte Wort der Liste vorgelesen worden war, wurde als zusätzlicher Stressor eine 30-sekündige Pause eingelegt. Nach Ablauf der 30 Sekunden wurde der Proband aufgefordert, so viele Wörter wie möglich zu wiederholen.

Dieser Ablauf wurde exakt 5 Mal durchgeführt, immer mit derselben Wortliste in derselben Reihenfolge. Mit dem Fortschreiten der Versuche wurde bei jedem Probanden eine Zunahme der gemerkten Worte verzeichnet.

Im Anschluss an die fünfte Wiederholung wurde eine neue Wortliste, die als Interferenzaufgabe dient, vorgelesen, mit Wörtern aus ganz anderen Kategorien als die erste Wortliste (Lernliste). Diese erste Liste setzte sich aus 16 Wörtern aus jeweils 4

Wortkategorien zusammen (je 4 Wörter), wie beispielsweise Kleidung (Hemd, Bluse, Socken, Krawatten). Nachdem diese neue Wortliste einmalig vorgelesen und erfolgreich wiederholt wurde, wurde der Studienteilnehmer nach einer 30-sekündigen Pause ohne erneutes Wiederholen aufgefordert, die erste Wortliste wiederzugeben.

Als letzter Teil des CVLT wurde nach Abschluss der Studententestung, also nach dem Mittenecker Pointing Test, der Studienteilnehmer ein letztes Mal aufgefordert, die erste Wortliste, die im Vorfeld bereits fünf Mal wiederholt wurde, zu wiederholen.

Durch das Vorlesen einer neuen Liste soll die Störanfälligkeit der Lernprozesse untersucht werden. So wurde nicht nur die Lernmenge beurteilt, sondern auch beobachtet, wie die Lernstrategien des Einzelnen aussehen. Die typische Lernstrategie wäre hier die Zuordnung der Items zu semantischen Kategorien.<sup>44</sup>

Die Auswertung der Tests erfolgte zuerst händisch auf einem vorgefertigten Auswertungsbogen und anschließend über eine Excel-Vorlage.

Aufgrund der Daten, die dadurch digital vorliegen, ist es möglich, diese mit anderen direkt zu vergleichen. Mit Daten aus über 200 Studien, in denen der CVLT eingesetzt wurde, liegt eine geeignete Datenmenge über zahlreiche Patientengruppen vor (u. a. Schädel-Hirntrauma, Multiple Sklerose, Alzheimer Demenz, Depression), die auch in der klinischen Arbeit genutzt werden können.<sup>44</sup>

### **2.3.4 Mittenecker Pointing Test**

Der Mittenecker Pointing Test (Schulter, G., Mittenecker, E., & Papousek, I. (2010)) ist ein Instrument zur Messung der kognitiven Flexibilität. Er ist seit 1958 ein wichtiger Bestandteil der psychologischen Testung. Diese Art von randomisierten Sequenz-Tests hat sich als wichtiges Diagnostiktool von klinisch relevanter Beeinträchtigung von übergeordneten Funktionen und zur Studie von kognitiven Funktionen in Gesunden etabliert.<sup>45</sup>

Zur Durchführung dieses Tests, der in diesem Studienablauf an zweiter Stelle gereiht war, wurde die Software MPT.ger verwendet, die über die Homepage der Karl-Franzens-Universität Department of Psychology frei zum Download zu Verfügung stand.

Zusätzlich als Hardware waren Kopfhörer für die Übermittlung der akustischen Signale, eine selbstgebaute Tastatur mit 9 rot markierten Tasten und ein Laptop zum Abspielen der Software und Speicherung der Daten nötig.

Nach Aufklärung und Erläuterung der bevorstehenden Aufgabe wurden im Programm des MPT folgende technischen Einstellungen getätigt, wie in Abbildung 7 ersichtlich.

The image shows a software dialog box titled "Test Sitzung anlegen". It contains the following elements:

- UPN Code: 0001
- Sitzung: 1
- Section: Durchläufe
  - Anzahl der Durchläufe: 1
  - Pause zwischen den Durchläufen: 10
  - Sequenzlänge: 180
  - Rhythmus vorgeben? Anschläge pro Sekunde: 1,200
  - Diadenmatrizen und Tastenhäufigkeiten speichern
- Buttons: OK (with a green checkmark icon) and Abbruch (with a red X icon)

**Abbildung 7: Technische Einstellung des MPT**

Bearbeitete der Proband den Test zum ersten Mal im Rahmen dieses Experiments, so wurde im Feld „Sitzung“ die Zahl „1“ eingetragen. Da im Studienablauf nur ein Durchlauf vorgesehen war, wurde bei jedem Studienteilnehmer die Zahl „1“ in das Feld „Anzahl der Durchläufe“ eingetragen. Die Sequenzlänge in Sekunden wurde mit 180 bei allen Probanden festgelegt, ebenso die Anschläge pro Sekunde mit 1,200.

So musste der Proband mit aufgesetzten und angeschlossenen Kopfhörern vor der Tastatur sitzend auf akustische Signale warten. Beim Ertönen eines Signales war der Studienteilnehmer aufgefordert, ausschließlich mit dem rechten Zeigefinger eine der 9 möglichen rot markierten Tasten zu drücken. In Folge ertönte in regelmäßigen Abständen dasselbe Signal und der Proband sollte infolgedessen bei jedem Ton eine andere Taste drücken und zwar so zufällig und unsystematisch wie möglich. Ziel war es sich rasch für eine weitere Taste zu entscheiden und nicht in ein Muster zu verfallen.

Kam es im Laufe dieser Studie vor, dass der Studienteilnehmer einem klar ersichtlichen Muster folgte, wurde der Versuch abgebrochen und eine neue Sitzung gestartet. Dies war im Laufe meiner Versuchsreihe zweimal der Fall, wobei in beiden Fällen die zweite Sitzung erfolgreich abgeschlossen werden konnte.

### **2.3.5 Hardware und Software**

Für die Durchführung des Mittenecker Pointing Tests wurde eine umgebaute Computertastatur der Marke Logitech® verwendet. Diese Tastatur verfügte lediglich über 9

rot markierte Tasten, während die restlichen Tasten mittels Plexiglasverkleidung verdeckt wurden.

Für die akustischen Anleitungen und Signale wurde ein handelsüblicher Kopfhörer verwendet.

Wichtige Software-Elemente waren einerseits das Programm *Study4DA via MATLAB*, welches einen zeitlich strukturierten Ablauf ermöglichte und den Studienteilnehmer über visuelle und akustische Anleitungen durch die Testung führte.

Andererseits spielte das Programm *eMotionEDFViewer* der Firma Faros® eine entscheidende Rolle, da diese Software dazu diente, die aufgezeichneten EKG Signale zu verarbeiten und zu visualisieren.

Zusätzlich wurde für die Verarbeitung und Aufzeichnung des Mittenecker Zeigerversuchs das Programm *Mittenecker Pointing Test-German* ©G.Schulter, E.Mittenecker 2009, Department of Psychology, KFU Graz verwendet.

## **2.4 Gruppeneinteilung**

Primär wurde die Zuteilung der 40 Studienteilnehmer zu der jeweiligen Gruppe „sportlich“ oder „nicht sportlich“ nach WHO-Definition festgelegt. Diese besagt, dass jemand der mehr als 150 Minuten pro Woche Sport betreibt bzw. sportlich aktiv ist, auch als „sportlich“ bezeichnet werden kann.

Um diese 150 Minuten auch zu validieren und zu dokumentieren, wurde für diese Studie der Freiburger Fragebogen für körperliche Aktivität verwendet. Dieser Fragebogen beinhaltet nicht nur Fragen zu regelmäßiger körperlicher Aktivität, sondern eben auch, wie in Kapitel 2.3.2 erläutert, die alltägliche körperliche Belastung, die meist nicht als sportliche Aktivität wahrgenommen wird, jedoch einen positiven Benefit für das kardiovaskuläre System darstellt.

Nach Auswertung des Fragebogens unter dem Gesichtspunkt der 150-Minuten-Grenze konnte erkannt werden, dass diese Grenze ein ungenügendes Einteilungskriterium ist, da die Probanden vielfältige weitere körperliche Aktivitäten setzten, welche nicht unmittelbar in der sportlichen Aktivität abgebildet sind.

Aus diesem Grund wurde der Freiburger Fragebogen zur körperlichen Aktivität vollständig ausgewertet und der metabolische Index als Gruppierungskriterium herangezogen.

Dieser Index bezieht sich nicht nur auf regelmäßige sportliche Aktivität, sondern beinhaltet nun auch die Alltagsaktivitäten, wie beispielsweise Fußwege, Spaziergehen, Treppensteigen statt Liftfahren.

Um das heterogene Kollektiv in zwei gleich große Gruppen zu teilen, wurde ein Mediansplit getätigt. Hier weist ein hoher metabolischer Index auf eine sportliche und ein niedriger metabolischer Index auf eine unsportliche Konstitution hin.

## ***2.5 Statistische Auswertung***

Für die Analyse der Daten wurde eine in Matlab (The MathWorks, Inc.) entwickelte Analysesoftware der Arbeitsgruppe „applied interdisciplinary PsychoPhysiology“ (aiPP) verwendet. Aufgrund des automatisierten Programmablaufs konnten exakte Synchronisationspunkte innerhalb der Datenerhebung ermittelt werden. Die mit dieser Software berechneten physiologischen Variablen wurden dann für die statistische Analyse in das Programm SPSS importiert. Die nachfolgend beschriebenen Analysen wurden immer getrennt für die jeweilig interessierenden Parameter berechnet.

Im ersten Schritt wurde auf Basis der Gruppenzuteilung Unterschiede mittels univariater Varianzanalyse geprüft. Weiterführende Analysen wurden mit Varianzanalysen für Messwiederholung (*between subject factor* „Gruppe“, d.h. unsportlich/sportlich) durchgeführt, wobei der Haupteffekt „Messzeitpunkt“ auf Basis der Fragestellung unterschiedlich ist. Die Greenhouse-Geisser Korrektur wurde verwendet, sofern die Sphärizität bei den durchgeführten Varianzanalysen verletzt wurde. Bei signifikanten Mittelwertsunterschieden wurden Bonferroni Posttests berechnet.

### 3 Ergebnisse

Die Gruppen *unsportlich* bzw. *sportlich* unterscheiden sich nicht hinsichtlich Alter ( $23,8 \pm 1,9$  zu  $24,8 \pm 2,3$  Jahre,  $F(1,38) = 2,42$ , *ns.*), Körpergröße ( $180 \pm 6$  zu  $181 \pm 8$  cm,  $F(1,38) = 0,39$ , *ns.*), Körpergewicht ( $76,5 \pm 14,1$  zu  $78,7 \pm 7,2$  kg,  $F(1,38) = 0,39$ , *ns.*) und Body Mass Index ( $23,6 \pm 4,1$  zu  $24,0 \pm 2,8$  kg/m<sup>2</sup>,  $F(1,38) = 0,14$ , *ns.*).

#### 3.1 Freiburger Fragebogen zur körperlichen Fitness

	Gruppe "Unsportlich"	Gruppe "Sportlich"	F-Statistik
Basisaktivität [h/Woche]	1,95 ± 1,50	3,41 ± 1,71	F (1,38)=8,13; p<.01
Freizeitaktivität [h/Woche]	0,73 ± 0,80	1,69 ± 2,11	F (1,38)=3,75; p=.066
Sportaktivität [h/Woche]	1,02 ± 1,43	3,83 ± 3,02	F (1,38)=14,06; p<.001
Gesamtaktivität [h/Woche]	3,71 ± 1,51	8,82 ± 3,77	F (1,38)=31,73; p<.001
Basisaktivität [MET]	7,45 ± 5,65	15,57 ± 9,36	F (1,38)=11,02; p=.002
Freizeitaktivität [MET]	2,28 ± 2,69	5,46 ± 8,26	F (1,38)=2,67; p=.110
Sportaktivität [MET]	5,71 ± 6,27	22,91 ± 15,69	F (1,38)=19,22; p<.001
Gesamtaktivität [MET]	15,30 ± 6,35	43,96 ± 19,23	F (1,38)=40,04; p<.001

Tabelle 2: Mittelwert±Std und Statistik der Skalenwerte des FFkA.

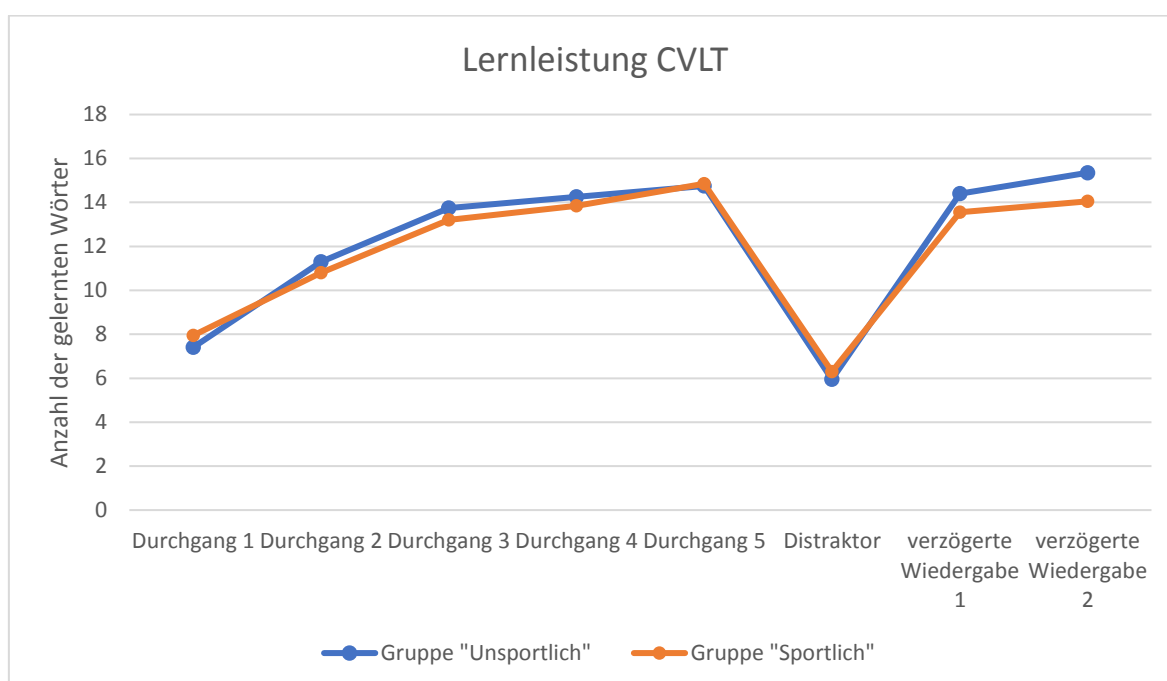
In Tabelle 2 sind die Unterschiede der Skalenwerte des FFkA in h/Woche bzw. MET auf Basis der Gruppeneinteilung mittels „Gesamtaktivität“ ersichtlich. Die Basisaktivität der Probanden (wie z.B. Wege zu Fuß, etc.) sowie die Sport- bzw. Gesamtaktivität unterscheiden sich sowohl in der Dauer als auch im metabolischen Äquivalent. Die entsprechenden Statistikresultate sind in Tabelle 2 zu sehen.

#### 3.2 Lernleistung im CVLT

Die Veränderung der Lernleistung im CVLT wurde mit einer Varianzanalyse mit Messwiederholung geprüft. Dabei zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt „Messzeitpunkt“ ( $F(7,266) = 349,97$ ;  $p < .001$ ), der Haupteffekt „Gruppe“ zeigt keinen signifikanten Unterschied ( $F(1,38) = 0,56$ , *ns.*). Die Wechselwirkung „Messzeitpunkt x Gruppe“ verweist auf einen unterschiedlichen Verlauf ( $F(7,266) = 2,99$ ;  $p < .05$ ), welcher primär durch die geringere Leistung der „Sportlichen“ im Bereich des Langzeitgedächtnisses begründet ist.

	<i>Gruppe "Unsportlich"</i>	<i>Gruppe "Sportlich"</i>
	<i>Mittelwert</i>	<i>Mittelwert</i>
Durchgang 1	7,40 ±1,39	7,95 ±1,43
Durchgang 2	11,30 ±1,98	10,80 ±1,94
Durchgang 3	13,75 ±1,83	13,2 ±2,19
Durchgang 4	14,25 ±1,37	13,85 ±1,84
Durchgang 5	14,75 ±1,21	14,85 ±1,31
Distraktor	5,95 ±1,47	6,30 ±1,69
verzögerte Wiedergabe 1	14,40 ±1,47	13,55 ±2,21
verzögerte Wiedergabe 2	15,35 ±1,04	14,05 ±2,65

**Tabelle 3: Deskriptive Statistik für Lernleistung im CVLT. Im Vergleich Gruppe "Unsportlich" und Gruppe „Sportliche“.**



**Abbildung 8: Veränderung der Lernleistung im CVLT über die Durchgänge. Die beiden Gruppen im Vergleich.**

Die Bewertung des CVLT hinsichtlich „schwierig“, „angestrengt“ bzw. „beansprucht“ nach der „Verzögerten Freien Wiedergabe I“ bzw. „Verzögerten Freien Wiedergabe II“ war nicht unterschiedlich (siehe Abbildung 8).

### 3.3 MPT

Der Mittenecker Pointing Test wurde primär als Distraktoraufgabe zwischen der ersten und der zweiten freien Wiederholung der CVLT Wortlisten eingesetzt. Für diese Diplomarbeit wurde die *Symbol Redundancy*, ein Kennwert für den generierten Informationsgehalt bzw. die *Context Redundancy*, ein Maß für die kognitive Flexibilität, analysiert. Die Werte für die *Symbol Redundancy* bzw. die *Context Redundancy* sind in Tabelle 4 ersichtlich.

Weder für die *Symbol Redundancy* noch für die *Context Redundancy* zeigten sich Unterschiede zwischen den Gruppen „Sportlich“ und „Unsportlich“ ( $F(1,38) = 0,189$ , *ns.* bzw.  $F(1,38) = 0,412$ , *ns.*).

	<i>Gruppe "Unsportlich"</i>	<i>Gruppe "Sportlich"</i>
Symbol Redundancy	0,0073 $\pm$ 0,0063	0,0064 $\pm$ 0,0078
Context Redundancy	0,2067 $\pm$ 0,0414	0,1963 $\pm$ 0,0591

**Tabelle 4: Deskriptive Statistik für die Ergebnisse aus dem MPT hinsichtlich Symbol Redundancy und Context Redundancy. Beide Gruppen im Vergleich.**

### 3.4 Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität

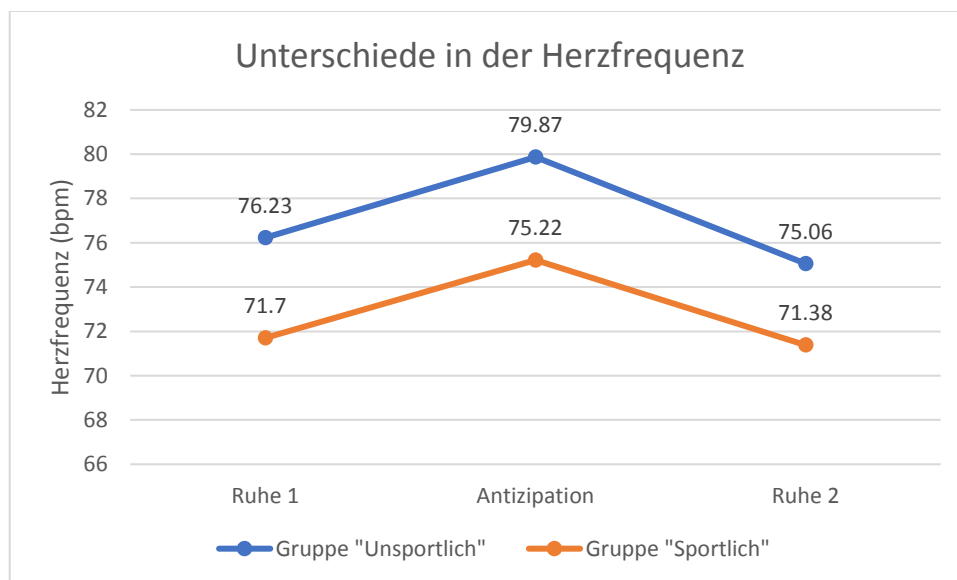
#### 3.4.1 Herzfrequenz

Die Herzfrequenz zeigt einen signifikanten Unterschied zwischen den Phasen der Datenerhebung (Haupteffekt „Messzeitpunkt“,  $F(2,76) = 19,08$ ;  $p < .001$ ), allerdings gibt es keinen Unterschied im zeitlichen Verlauf der Herzfrequenzänderung der drei Phasen Ruhe 1, Antizipation und Ruhe 2 zwischen den beiden Gruppen (Wechselwirkung „Messzeitpunkt x Gruppe“:  $F(2,76) = 0,25$ ; *ns.*). Tendenziell weist die Gruppe „Unsportlich“ eine höhere Herzfrequenz auf (Haupteffekt „Gruppe“,  $F(1,38) = 3,19$ ,  $p = .08$ ).

	<i>Gruppe "Unsportlich"</i>			<i>Gruppe "Sportlich"</i>		
	<i>Ruhe 1</i>	<i>Antizipation</i>	<i>Ruhe 2</i>	<i>Ruhe 1</i>	<i>Antizipation</i>	<i>Ruhe 2</i>
HR [bpm]	76,2 ±8,6	79,9 ±9,0	75,1 ±6,6	71,7 ±8,1	75,2 ±8,8	71,4 ±7,0
SDNN [ms]	63,6 ±26,4	76,0 ±21,6	66,8 ±28,3	72,1 ±25,1	82,5 ±26,0	70,8 ±23,2
rMSSD [ms]	42,9 ±26,2	43,6 ±21,1	42,5 ±21,3	49,7 ±26,	48,9 ±23,2	45,8 ±21,1
lnLF [ms <sup>2</sup> ]	7,34 ±0,89	7,72 ±0,58	7,42 ±0,83	7,73 ±0,99	7,89 ±0,66	7,8 ±0,78
lnHF [ms <sup>2</sup> ]	6,36 ±1,031	6,35 ±0,89	6,26 ±0,99	6,33 ±1,07	6,36 ±0,99	6,13 ±0,94
ln(LF/HF) [-]	0,98 ±0,94	1,37 ±0,64	1,16 ±0,65	1,41 ±0,91	1,53 ±0,81	1,67 ±0,81

**Tabelle 5: Deskriptive Statistik der Faktoren der Herzrate über die 3 Messzeitpunkte im Vergleich Gruppe "Unsportlich" und Gruppe "Sportlich".**

*Anmerkung: HR=Herzrate, SDNN = Standardabweichung aller RR-Intervalle einer Messung, rMSSD = mittlere Herzfrequenzvariabilität (Quadratwurzel des quadrierten Mittelwerts der Änderung der Herzfrequenz von einem Herzschlag zum nächsten), lnLF = Logarithmus des low-frequency-bands, lnHF = Logarithmus des high-frequency-bands, ln(LF/HF) = Logarithmus des Verhältnisses zwischen low-und high-frequency band.*

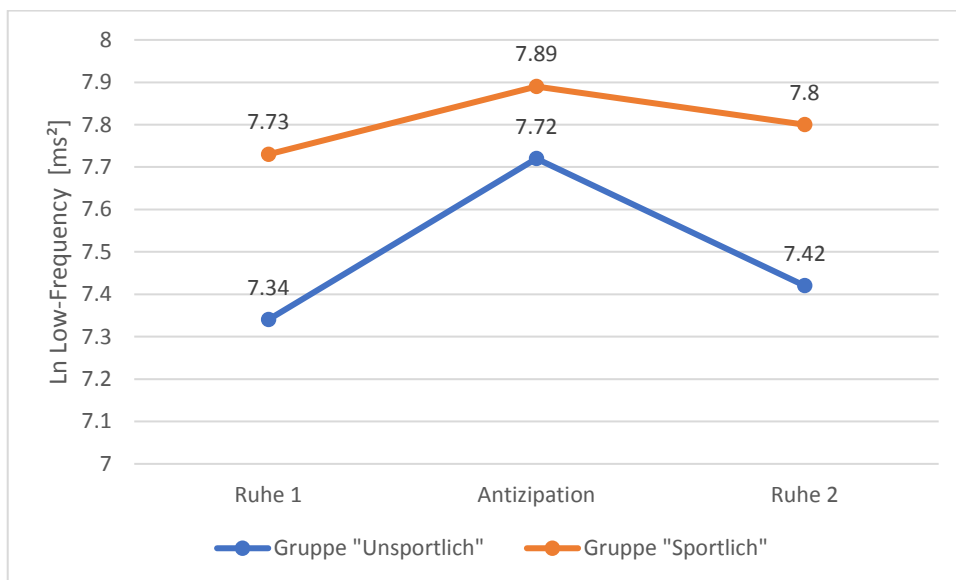


**Abbildung 9: Unterschiede in der Herzfrequenz verglichen für Ruhephase 1 vor Erläuterung des CVLT, Antizipationsphase unmittelbar vor CVLT und Ruhephase 2 nach 1.verzögerter Wiedergabe. Gruppe "Sportlich" und "Unsportlich" im Vergleich.**

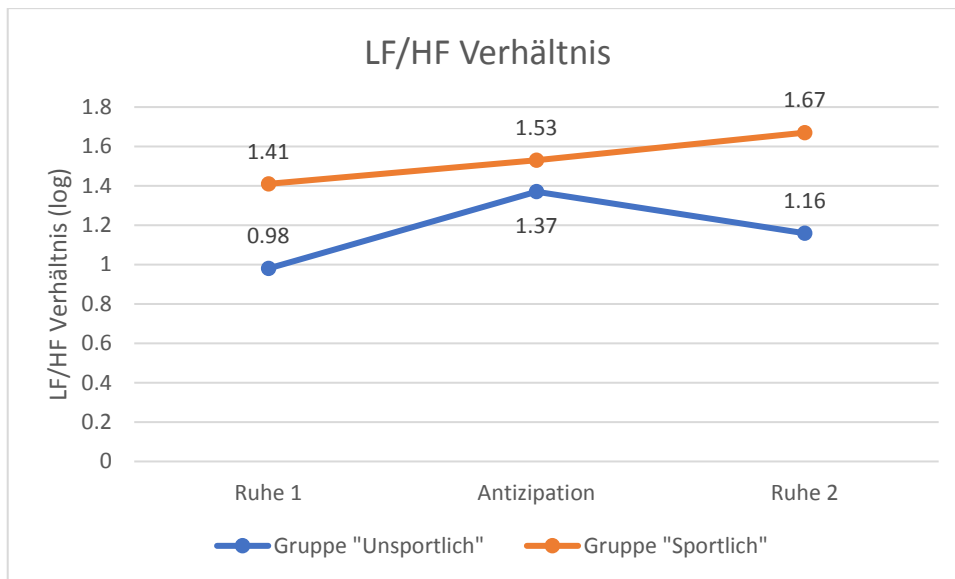
### 3.4.2 Herzfrequenzvariabilität

Es zeigt sich ein signifikanter Unterschied über alle drei Phasen der SDNN (Standardabweichung der gemessenen Intervalle (Haupteffekt „Messzeitpunkt“ ( $F(2,76) = 8,58$ ;  $p < .001$ )). Der Posttest zeigt, dass dies aus der höheren SDNN in der Antizipation bezogen auf die Ruhephasen resultiert. Dies bedeutet, dass trotz der höheren Herzfrequenz in dieser Phase (und damit kürzeren R-R-Intervall) die Variabilität zunimmt.

Der tendenzielle Unterschied über die drei Phasen im LF-Band der Herzfrequenz-variabilität ( $\ln LF$ ) bzw. von  $\ln(LF/HF)$  lassen auf eine primär sympathisch bedingte Erhöhung der HRV in der Antizipation schließen (Haupteffekt „Messzeitpunkt“,  $F(2,76) = 2,51$ ,  $p = .088$  bzw.  $F(2,76) = 2,54$ ,  $p = .085$ ). Dies wird dadurch unterstützt, dass keine Unterschiede in rMSSD und  $\ln(LF/HF)$  gezeigt werden können ( $F(2,76) = 0,63$ , *ns.* bzw.  $F(2,76) = 1,81$ , *ns.*).



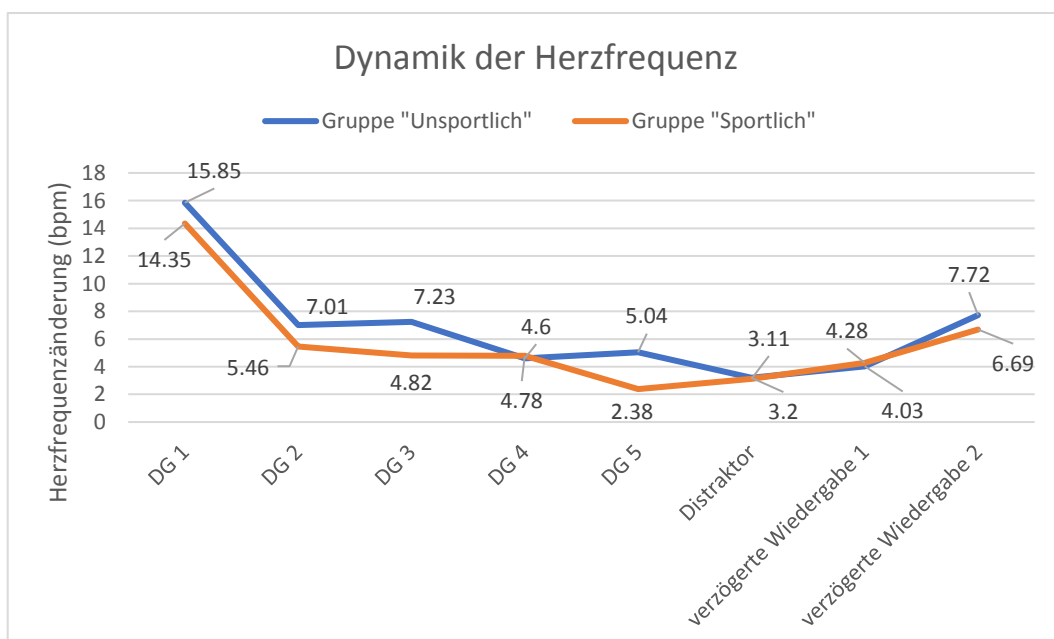
**Abbildung 10: Beide Gruppen im Vergleich hinsichtlich Low-Frequency Band zwischen Ruhephase 1 vor CVLT, Antizipationsphase vor CVLT und Ruhephase 2 nach der 1. verzögerten Wiedergabe.**



**Abbildung 11: Beide Gruppen im Vergleich hinsichtlich low-frequency/high-frequency Verhältnis zwischen Ruhephase 1 vor CVLT, Antizipationsphase vor CVLT und Ruhephase 2 nach der 1. verzögerten Wiedergabe.**

### 3.4.3 Herzfrequenzdynamik

Abbildung 12 zeigt die Herzfrequenzdynamik in den einzelnen Durchgängen des CVLT anhand von Herzfrequenzveränderung im Vergleich zur Ruheherzfrequenz (Ruhe 1). Auf Basis des Herzfrequenzanstiegs ist ersichtlich, dass der CVLT als (moderater) Stressor geeignet ist und das Studienparadigma den Erwartungen entspricht. Ein Unterschied der beiden Gruppen kann jedoch auf Basis der Varianzanalyse nicht gezeigt werden.

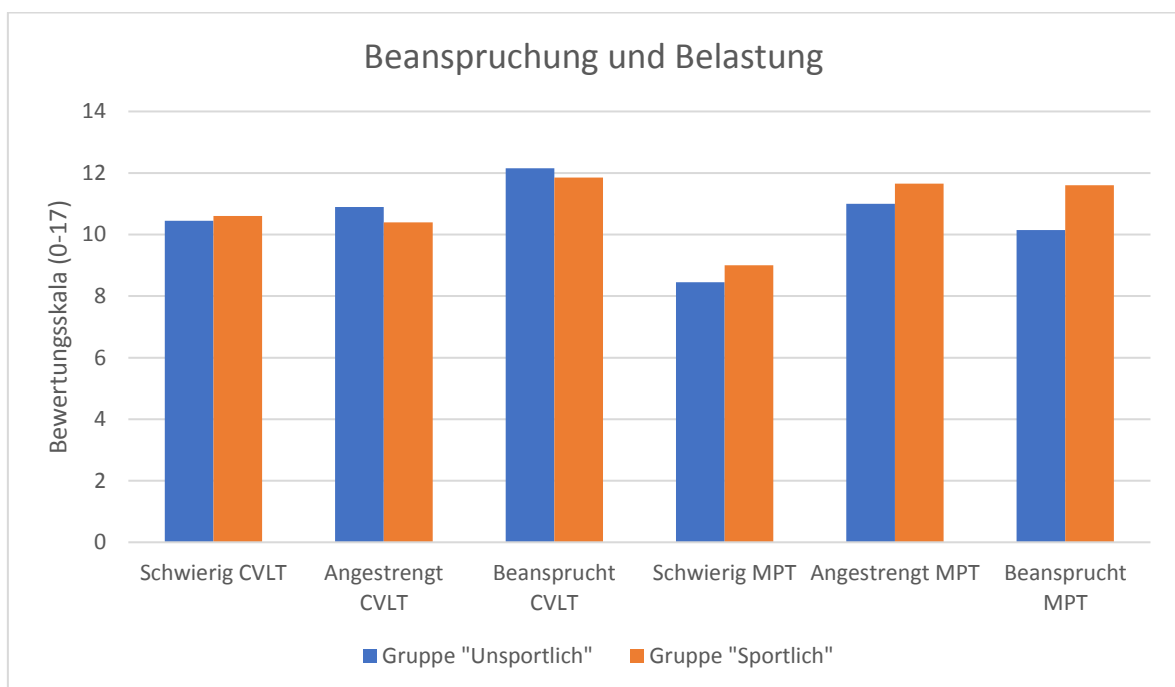


**Abbildung 12: Dynamik der Herzfrequenz als Frequenzänderung in bpm im Verlauf des CVLT. Beide Gruppen im direkten Vergleich.**

### 3.5 Belastung und Beanspruchung

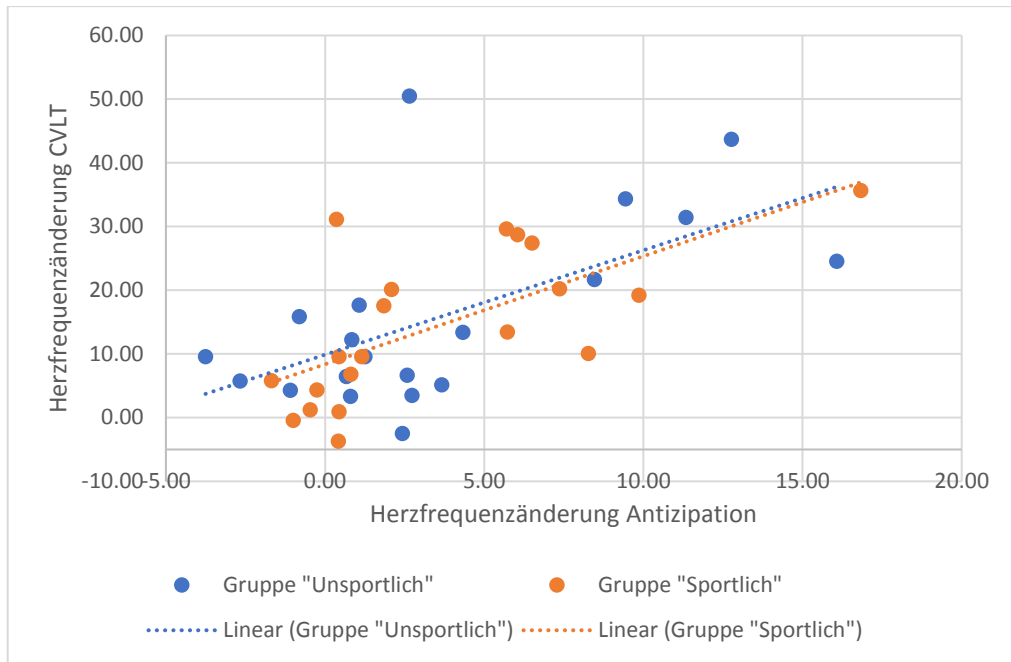
Die Varianzanalyse mit anschließendem Posttest zeigt, dass der Mittenecker Pointing Test von den Teilnehmern als signifikant leichter empfunden wurde, als der CVLT ( $F(2,76) = 62,04, p < .001$ ). Ein Unterschied zwischen den beiden Gruppen besteht jedoch nicht.

Die selbstbeurteilte Anstrengung und Beanspruchung zeigt ähnliche Ergebnisse, d.h. der MPT wird als weniger anstrengend bzw. beanspruchend empfunden ( $F(2,76) = 25,55, p < .001$  bzw.  $F(2,76) = 72,80, p < .001$ ). Auch hier gibt es keinen Unterschied zwischen der Gruppe „Sportlich“ bzw. „Unsportlich“.



**Tabelle 6: Darstellung der Bewertungsskala bzgl. Beanspruchung und Belastung nach CVLT und MPT. Beide Gruppen im Vergleich.**

Die Analyse der Herzfrequenzänderungen der Antizipation bezogen auf die Ruhe 1 ( $dHrAHR1 = \text{Herzfrequenz Antizipation} - \text{Herzfrequenz Ruhe 1}$ ) bzw. in der ersten Phase des CVLT ( $dHrDG11 = \text{Herzfrequenz CVLT [Counter von Durchgang 1]} - \text{Herzfrequenz Ruhe 1}$ ) zeigt eine Korrelation nach Pearson von  $r = 0,631, p < .001$ . Dies besagt, dass die Änderung der Herzfrequenz in der Antizipation als ein möglicher Prädiktor für die Herzfrequenzdynamik interpretiert werden kann.

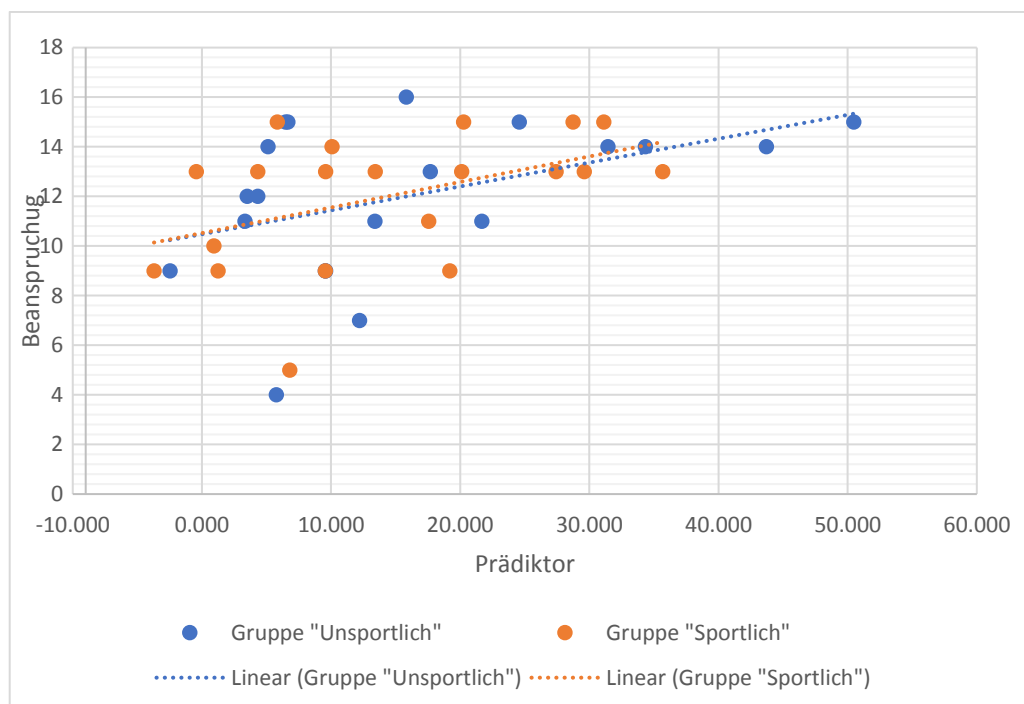


**Abbildung 13: Die Änderung der Herzfrequenz in der Antizipation als ein möglicher Prädiktor für die Herzfrequenzdynamik.**

### 3.5.1 Ergänzende Analyse

Durch weiterführende Analyse losgelöst von der körperlichen Fitness lässt sich eine Tendenz dazu finden, dass die erlebte Beanspruchung direkt mit der Herzfrequenzveränderung korreliert.

Die Analyse der Herzfrequenzänderungen während der Beanspruchung bezogen auf die subjektive Angabe der Beanspruchung über die Bewertungsskala zeigt eine Korrelation nach Pearson von  $r = 0,444$ ,  $p < 0,01$ . Aus Abbildung 14 ist ersichtlich, dass eine höhere Angabe der Beanspruchung eine höhere Herzfrequenzänderung mit sich bringt.



**Abbildung 14: Herzfrequenzdynamik im Vergleich zur angegebenen Beanspruchung unabhängig von der körperlichen Fitness.**

## 4 Diskussion

### 4.1 *Freiburger Fragebogen zur körperlichen Fitness*

Der für die Erfassung der körperlichen Aktivität der jeweiligen Probanden verwendete Fragebogen war ein selbstständig auszufüllender Fragebogen mit Fragen zu regelmäßigen sportlichen Aktivitäten und auch alltäglichen Bewegungen. Da sich die Fragen lediglich auf den letzten Monat bezogen, wurden jene Personen nicht erfasst, die bereits seit Jahren sportlich aktiv waren, jedoch beispielsweise verletzungsbedingt im letzten Monat keinen Sport treiben konnten. Meiner Meinung nach führte dies dazu, dass einige Probanden die Antworten nicht auf den letzten Monat bezogen, sondern ihre Angaben modifizierten. Aus diesem Grund ist das Ergebnis dieses Fragebogens differenzierter zu betrachten. Zusätzlich ist es möglich, dass die offenen Antwortmöglichkeiten zu einer Verzerrung geführt haben. Schlussendlich resultierte daraus ein sehr homogenes Studienkollektiv, obwohl anfänglich bei der Vorauswahl davon ausgegangen wurde, dass es sich um zwei klar trennbare Gruppen handeln würde.

### 4.2 *CVLT*

Der California Verbal Learning Task wurde in dieser Studie dazu benutzt, um die Probanden in eine kognitive Stresssituation zu versetzen und dabei deren kardiovaskuläre Reaktionsdynamik zu erfassen. Zusätzlich zu dem Test selbst wurde in der Antizipationsphase, die Phase in der die bevorstehende Aufgabe erläutert wurde, ein merklicher Anstieg der Herzfrequenz festgestellt. Hier zeigte sich, dass allein die Ankündigung einer Aufgabe ausreicht um Stress auszulösen, der sich anhand von Herzfrequenzerhöhung widerspiegelt. Jene Probanden, die in der Phase der Antizipation eine merkliche Herzfrequenzsteigerung hatten, zeigten bei der kognitiven Belastung, also dem Test selbst, eine ebenso starke Beschleunigung.

Für den Test wurden ausschließlich Wörter des täglichen Sprachgebrauchs verwendet. Da das Bildungsniveau der jeweiligen Probanden sehr unterschiedlich war, kann keine pauschale Aussage zur Lernleistung getätigt werden. Die Anzahl der gelernten Wörter wurde von Durchgang zu Durchgang höher und liegt im, für das Kollektiv, erwarteten Bereich.

### **4.3 MPT**

Der MPT diente bei dieser Studie als milder Stressor und zielte primär auf die Untersuchung der kognitiven Flexibilität ab.

Dieser Test eignet sich laut Schulter et al. (2010) zur Feststellung von Beeinträchtigungen von ausführenden Funktionen und zur Testung der kognitiven Funktionen bei Gesunden.<sup>45</sup>

Schulter et al. (2010) zeigen in ihrer Studie mit 102 Teilnehmern und einem ähnlichen Kollektiv, mit jungen und gesunden Teilnehmern, eine Symbol Redundancy von  $0.010 \pm 0.008$  und eine Cortex Redundancy von  $0.217 \pm 0.078$ .<sup>45</sup> Im Vergleich dazu zeigen sich die Werte der Symbol Redundancy mit  $0,0073 \pm 0,0063$  und  $0,0064 \pm 0,0078$  und die Werte der Cortex Redundancy mit  $0,2067 \pm 0,0414$  und  $0,1963 \pm 0,0591$  sehr ähnlich.

Verglichen mit den Ergebnissen von Schulter et al. (2010) und den Ergebnissen der vorliegenden Studie zeigen sich keine Unterschiede und liegen im, für das Kollektiv, zu erwarteten Bereich. Auch zeigen sich keine Unterschiede zwischen den Gruppen.

### **4.4 Kardiovaskuläre Reaktionsdynamik**

In der durchgeführten Studie konnte gezeigt werden, dass die Herzfrequenz in der Antizipationsphase und der Testphase signifikant ansteigt.

Betrachtet man die zwei Ruhephasen, dann ist ersichtlich, dass die Herzfrequenz in der zweiten Ruhephase annähernd das Level der Herzfrequenz in der ersten Ruhephase erreicht, wobei die Baselines der Herzfrequenz sehr variiert haben. Vor allem in der Gruppe der „nicht-sportlichen“ Probanden zeigte sich eine erhöhte Ruheherzfrequenz, wobei man in diesem Setting von Baseline der Herzfrequenz spricht.

Im Vergleich dazu war die durchschnittliche Baseline der Herzfrequenz bei den „sportlichen“ Probanden nicht signifikant verringert. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass sich die beiden zu vergleichenden Gruppen sehr ähnlich waren, da man sich prinzipiell hätte erwarten können, dass jene Probanden die regelmäßig sportlich aktiv sind, eine deutlich niedrigere Ruheherzfrequenz aufweisen würden als nicht sportliche.

Da dieses Setting eine Ausnahmesituation für jeden Studienteilnehmer bedeutet hat, muss man davon ausgehen, dass sich diese Tatsache in einer Erhöhung der kardialen Reaktionsdynamik widerspiegelt. So sei zu erwähnen, dass Wright et al. (2002) beobachtet haben, dass Personen die bei einer Tätigkeit von höher ausgebildeten Person beobachtet

werden, eine erhöhte Reaktionsdynamik aufweisen. Ebenso könnte es sich durch Beobachtung des Studienleiters so verhalten haben.

Vergleicht man die Herzratenvariabilität der „sportlichen“ Gruppe, als Parameter der kardialen Reaktionsdynamik, mit der HRV der „nicht sportlichen“ Gruppe so lässt sich keine Signifikanz, lediglich eine Tendenz festmachen.

Entgegen der Cross Stressor Adaption Hypothesis zeigt sich kein Nachweis dafür, dass die Gruppe der „sportlichen“ Probanden eine geringere Reaktionsdynamik während kognitiver Belastung aufweisen als jene Gruppe der „nicht sportlichen“. Dieses Ergebnis bestärkt Gerber (2008) und Buchheit (2014) in ihrer Aussage, dass Sport nicht immer einen signifikanten Einfluss auf die kardiale Reaktionsdynamik bei sportfernen Stressoren hat.

#### ***4.5 Resümee***

Die hier durchgeführte Studie mit dem Thema „Kardiale Reaktionsdynamik bei kognitiver Belastung unter Berücksichtigung der körperlichen Fitness“ konnte die „cross stressor adaptation hypothesis“ nicht wie erwartet untermauern. Trotz sorgfältiger Durchführung konnte kein signifikanter Unterschied zwischen sportlicher und nicht sportlicher Gruppe im Hinblick auf die Herzratenvariabilität gezeigt werden. Dieses Ergebnis unterstreicht jedoch aktuelle Angaben der Fachliteratur<sup>4,46</sup>

#### ***4.6 Limitation der Studie***

Was die Erhebung der körperlichen Fitness mittels Freiburger Fragebogen zur körperlichen Fitness betrifft, muss berücksichtigt werden, dass das Ergebnis eine persönliche Selbsteinschätzung eines jeden Probanden widerspiegelt. Dabei sei zu beachten, dass es hierbei zu Falschangaben gekommen sein könnte und so die Homogenität der beiden Gruppen erklären könnte.

Hierzu berichten Schwerdtfeger et al. (2004) über das Scheitern von Selbstwahrnehmung in Bezug auf Vorhersage von psychophysiologischer Reaktivität.<sup>47</sup>

#### ***4.7 Ausblick***

Die Daten der vorliegenden Studie geben keinen Aufschluss darüber, ob die „Cross Stressor Adaptation Hypothese“ bestätigt werden kann. Die erhaltenen Daten müssen vor allem in

weiterführenden Studien in Zusammenschau neu interpretiert und analysiert werden. Die Herzfrequenzvariabilität stellt nach wie vor einen sehr sensiblen Messparameter des vegetativen Nervensystems dar. Um zu klären welche neuronalen Einflüsse für welche Effekte verantwortlich sind, wären gezielte Folgeexperimente erforderlich. Dies erlaubt in weiterer Folge eine zuverlässige Differenzierung von Sympathikus und vagalen Einflüssen auf das Herz-Kreislauf-System.<sup>48</sup>

Lackner et al. (2015) berichten hierzu über einen möglichen Nutzen für die Erfassung der Motivation.<sup>48</sup>

Abschließend ist zu sagen, dass die Herzfrequenzvariabilität zur Erfassung des vegetativen Nervensystems ein noch weitgehend sehr unerforschtes Gebiet darstellt. Weiterführende Studien und Forschungen sind auf diesem Bereich zu erwarten.

## 5 Literaturverzeichnis

1. Hollmann W, Strüder HK. *Sportmedizin-Grundlagen für körperliche Aktivität, Training und Präventivmedizin*. 5th ed. Stuttgart: Schattauer; 2009.
2. Pape HC, Kurtz A, Silbernagl S, eds. *Physiologie*. 7.th ed. Stuttgart: Thieme; 2014.
3. Sothmann MS, Buckworth J, Claytor RP, Cox RH, White-Welkley JE, Dishman RK. Exercise training and the cross-stressor adaptation hypothesis. *Exercise and sport sciences reviews*. 1996;24:267-287.
4. Gerber M. Sportliche aktivität und stressreaktivität: Ein review. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*. 2008;59(7-8):168-174.
5. Gronwald T, Schulze S, Ludyga S, Hottenrott K. Evaluierung individueller Trainingsvorgaben auf basis der herzfrequenzvariabilität für ein lauftraining im freizeit- und gesundheitssport. *Praxis*. 2016;105:1065-1070.
6. Klaperski S, v.Dawans B, Heinrichs M, Fuchs R. Does the level of physical exercise affect physiological and psychological responses to psychosocial stress in women? *Psychology of Sport and Exercise*. 2013;14:266-274.
7. Gibson OR, Taylor L, Watt PW, Maxwell NS. Cross-adaptation: Heat and cold adaptation to improve physiological and cellular responses to hypoxia. *Sports Med*. 2017;47:1751-1768.
8. Chauhan E, Bali A, Singh N, Jaggi SA. Cross stress adaptation: Phenomenon of interactions between homotypic and heterotypic stressors. *Life Sciences*. 2015;137:98-104.
9. Billmann GE. The effect of heart rate on the heart rate variability response to autonomic interventions. *Front Physiol*. 2013;4:1-9.
10. Hon E, Lee S. Electronic evaluations of the fetal heart rate patterns preceding fetal death: Further observation. *American Journal of Obstretic and Gynecology*. 1965(87):814-826.

11. Ewing D, Martin C, Young R, Clarke B. The value of cardiovascular autonomic function tests: 10 years experience in diabetes. *Diabetic Care*. 1985;5(8):491-8.
12. Kleiger R, Miller J, Bigger J, Moss A, and the Multicenter Post-Infarction Research Group. Decreased heart rate variability and its association with increased mortality after acute myocardial infarction. *American Journal of Cardiology*. 1987;59:256-62.
13. Malik M, Bigger JT, Camm AJ, et al. Heart rate variability-standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *European Heart Journal*. 1996;17:354-381.
14. Eller-Berndl D. *Herzratenvariabilität*. 1.th ed. Wien: Verlagshaus der Ärzte; 2010.
15. Silbernagel S, Lang F. *Taschenatlas Pathophysiologie*. 4.Auflage ed. Stuttgart: Thieme; 2013.
16. Silbernagel S, Despopoulos A. *Taschenatlas Physiologie*. 8.Auflage ed. Stuttgart: Thieme; 2012.
17. Geißendörfer J, Höhn A. Stress und gesundheitsfolgen. In: Elsevier U, ed. *Medizinische Psychologie und Soziologie*. 1.th ed. München: Elsevier; 2007:54-57.
18. Selye H. *The stress of life*. New York: McGraw-Hill; 1956.
19. Aschbacher K, O'Donovan A, Wolkowitz OM, Dhabhar FS, Su Y, Epel E. Good stress, bad stress and oxidative stress: Insights from anticipatory cortisol reactivity. *Psychoneuroendocrinology*. 2013;38(9):1698-1708.
20. Schneiderman N, Ironson G, Siegel SD. STRESS AND HEALTH: Psychological, behavioral, and biological determinants. *Annu Rev Clin Psychol*. 2005;1:607-628.
21. Golbidi S, vFrisbee JC, Laher XI. Chronic stress impacts the cardiovascular system: Animal models and clinical outcomes. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2015(308):1476-1498.
22. Richter G. Stress, psychische Ermüdung, Monotonie, psychische Sättigung. In: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, ed. *Arbeitswissenschaftliche*

*erkenntnisse-Forschungsergebnisse für die Praxis*

*psychische Belastung und Beanspruchung*. Dortmund: ; 2000:1-13.

23. Metz A-, Rothe H-. Psychische belastung, psychische beanspruchung und beanspruchungsfolgen. In: *Screening psychischer Arbeitsbelastung*. Wiesbaden: Springer; 2017:5-21.

24. Föhr T, Tolvanen A, Myllymäki T, et al. Subjective stress, objective heart rate variabilitybased stress, and recovery on workdays among overweight and psychologically distressed individuals: A cross-sectional study. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*. 2015;10(39):1-9.

25. Gorban A, Tyukina T, Smirnova E, Pokidysheva L. Evolution of adaptation mechanisms: Adaptation energy, stress, and oscillating death. *J Theor Biol*. 2016, Sep 21;405:127-39.

26. Selye H. The general adaptation syndrome and the diseases of adaptation. *J Clin Endocrinol Metab*. 1946;6:117-230.

27. Selye H. Experimental evidence supporting the conception of "adaptation energy". *Amer J Physiol*. 1938;123:758-758.

28. Goldstone B. The general practitioner and the general adaptation syndrome. *S Afr Med J*. 1952;26(6):106-9.

29. Haley DW, Cordick J, Mackrell S, Ryan-Harrison A, Ryan-Harrison M. Infant anticipatory stress. *Biology Letters, Neurobiology*. 2011;7:136-138.

30. Van Paridon KN, Timmis MA, Nevison CM, Bristow M. The anticipatory stress response to sport competition; a systematic review with meta-analysis of cortisol reactivity. *BMJ Open Sport Exerc Med*. 2017:1-11.

31. Christian E. Waugh, C. E., Panage S, Mendes WB, Gotlib IH. Cardiovascular and affective recovery from anticipatory threat. *Biol Psychol*. 2010;84(2):169-175.

32. Chrousos GP. Stress and disorders of the stress system. *Nat Rev Endocrinol*. 2009;5:374-381.

33. Cannon W. Organization for physiological homeostasis. *Physiol Rev.* 1929;9:399-43.
34. Abercrombie ED, Nisenbaum LK, Zigmond MJ. Impact of acute and chronic stress on release and synthesis of norepinephrine in brain: Microdialysis studies in behaving animals. In: Gordon&Breach, ed. *Stress: Neuroendocrine and molecular approaches*. Philadelphia: ; 1992:29-42.
35. Konarska M, Stewart RE, McCarry R. Habituation and sensitization of plasma catecholamine responses to chronic intermittent stress: Effects of stressor intensity. *Physiol Behav.* 1990;47:647-652.
36. Brown DR. Exercise, fitness, and health: Consensus of current knowledge. In: *Exercise, fitness, and mental health*. Human Kinetics; 1990:607-626.
37. Hand GA, Phillips KD, Wilson MA. Central regulation of stress reactivity and physical activity. In: Acevedo EO, Ekkekakis P, eds. *Psychobiology of physical activity*. Human Kinetics; 2006:189-202.
38. Rudolph DL, McAuley E. Self-efficacy and salivary cortisol responses to acute exercise in physical active and less active adults. *J Sport Exercise Psy.* 1995;17:206-213.
39. Boutcher SH, Hamer M. Psychobiological reactivity, physical activity, and cardiovascular health. In: Acevedo EO, Ekkekakis P, eds. *Psychobiology of physical activity*. Champaign: Human Kinetics; 2006:161-176.
40. Péronnet F, Szabo A. Sympathetic response to acute psychosocial stressors in humans: Linkage to physical exercise and training. In: Seragianian P, ed. *Exercise psychology: The influence of physical exercise on psychological processes*. New York: Wiley; 1993:172-217.
41. Mick O. *Das Verhalten der Herzratenvariabilität (HRV) vor und nach symptomlimitierter Fahrradergospirometrie*. [Dr.med]. Medizinische Universität Graz; 2010.
42. Hottenrott K, Hoos O, Esperer HD. Herzfrequenzvariabilität und sport. *Herz.* 2006(31):544-552.

43. Frey I, Berg A, Grathwohl D, Keul J. Freiburger Fragebogen zur körperlichen Aktivität-Entwicklung, Prüfung und Anwendung. *Sozial-und Präventivmedizin*. 1999;44:55-64.
44. Delis DC, Kramer JH, Kaplan E, Ober BA. *California verbal learning test-german adaptation*. 2.th ed. Pearson; 2008.
45. Schulter G, Mittenecker E, Papousek I. A computer program for testing and analyzing random generation behavior in normal and clinical samples: The mittenecker pointing test. *Behavior Research Methods*. 2010;42(1):333-341.
46. Buchheit M. Monitoring training status with HR measures: Do all roads lead to rome? *frontiers in physiology*. 2014;5(73):1-19.
47. Schwerdtfeger, A. Predicting autonomic reactivity to public speaking: Don't get fixed on self-report data! *International Journal of Psychophysiology*. 2004, 52, 217–224. doi:10.1016/j.ijpsycho.2003.10.008.
48. Lackner, H. K.; Gramer, M.; Paechter, M.; Wimmer, S.; Hinghofer-Szalkay, H.; Papousek, I. Academic Goal Orientation and Cardiovascular Reactivity in a Performance Situation. *Appl Psychophysiol Biofeedback*. (2015) 40:189–200; DOI 10.1007/s10484-015-9287-8

# Anhang -Fragebogen und Testbeispiel

## Freiburger Fragebogen zur körperlichen Aktivität - Kurzform

Name: ..... Größe: .....cm Gewicht: .....kg  
Datum: .....

1) Sind Sie berufstätig (auch Hausfrau) oder in Ausbildung?

- nein  ja Ihre berufliche Tätigkeit beinhaltet hauptsächlich:  
 sitzende Tätigkeiten (z.B.: Büro, Student...)  
 mäßige Bewegung (z.B.: Handwerker, Hausmeister, Hausfrau...)  
 intensive Bewegung (z.B.: Postzusteller, Wald- und Bauarbeiter...)

2) Waren Sie in der letzten Woche zu Fuß unterwegs,

- a) ... auf dem Weg zur Arbeit oder zum Einkaufen usw.?  nein  ja  
 Wenn ja, wie lange sind Sie dabei gegangen? **insgesamt** ..... Minuten/Stunden  
 b) ... zum Spaziergehen?  nein  ja  
 Wenn ja, wie lange waren Sie letzte Woche spazieren? **insgesamt** ..... Minuten/Stunden

3) Sind Sie in der letzten Woche Fahrrad gefahren,

- a) ... zur Arbeit oder zum Einkaufen usw.?  nein  ja  
 Wenn ja, wie lange sind Sie dabei geradelt? **insgesamt** ..... Minuten/Stunden  
 b) ... auf dem Heimtrainer bzw. auf Radtouren?  nein  ja  
 Wenn ja, wie lange sind Sie dabei geradelt? **insgesamt** ..... Minuten/Stunden  
 ..... Watt

4) Haben Sie einen Garten?

- ja  nein Wenn ja, wie viele Stunden haben Sie letzte Woche in Ihrem Garten verbracht?  
 Davon sind ..... Stunden Gartenarbeit und ..... Stunden Ruhe und Erholung

5) Steigen Sie regelmäßig Treppen?

- nein  ja, ..... Stockwerke, ..... mal am Tag

6) Sind Sie im letzten Monat geschwommen?

- nein  ja, ca..... Stunden im Monat (reine Schwimmzeit)

7) Haben Sie im letzten Monat Sport betrieben?

(z.B.: Jogging, Fußball, Handball, Federball, Squash, Gymnastik, Tennis, Tischtennis .....)

- nein  ja wenn ja, welchen Sport

Beispiel:  
 .....1.. Dauerlauf..... ca. ....30... Minuten/Stunden pro Woche/Monat  
 .....2.. Federball..... ca. ....2... Minuten/Stunden pro Woche/Monat

1. .... ca. .... Minuten/Stunden pro Woche/Monat  
 2. .... Minuten/Stunden pro Woche/Monat  
 3. .... Minuten/Stunden pro Woche/Monat  
 4. .... Minuten/Stunden pro Woche/Monat

8) Gehen Sie zu Tanzveranstaltungen und/oder kegeln Sie?

- Tanzen:  nein  ja .....mal / Monat je: ..... Stunden  
 Kegeln:  nein  ja .....mal / Monat je: ..... Stunden

Vielen Dank

Beispiel eines CVLT											
06.04.2017		AF13									
	Liste A	DG1	DG2	DG3	DG4	DG5	Liste B	WGB	VFW I	VFW II	
1	Gurke	1	7	12	14	8	Saft		4	4	
2	Toaster	3	8	14	9	11	Grill	8	10	12	
3	Schal	2	9	1	4		Bohrer	1	7	8	
4	Kabeljau	4	5	6	10	12	Heilbutt		11	13	
5	Dosenöffner		4	5	8	10	Schüssel	3	9	11	
6	Lachs	6	13	8	13	14	Tee		14	15	
7	Krawatte		11	3	7	4	Scholle			10	
8	Porree		2		2	1	Feile			2	
9	Makrele	5		7	11	13	Thunfisch	7	13	16	
10	Quirl		3	10	3	2	Reibe		2	3	
11	Zwiebel			13	15	9	Spaten		3	5	
12	Bluse		10	4	6	6	Kakao		8	9	
13	Rotbarsch		6	9	12	15	Bratpfanne	4	12	14	
14	Sieb		1		1	3	Axt	2	1	1	
15	Kohlrabi	7	12	11	16	7	Dorsch	6	5	6	
16	Socken			2	5	5	Malzbier	5	6	7	
17		Dill						Schüssel			
18											
19											
Richtige		8	13	14	16	15		8	14	16	
Wiederholungen		1	1	1	1	0		0	0	0	
Instrusionen		0	0	1	0	0		0	1	0	

## Anhang - Projektplan

<p><b>(Arbeits-)Titel</b></p> <p><i>Das Thema der Diplomarbeit ist einem der im Curriculum festgelegten Prüfungsfächer zu entnehmen.</i></p>	<p>Kardiale Reaktionsdynamik bei kognitiver Belastung unter Berücksichtigung der körperlichen Fitness</p>
<p><b>Untertitel</b> (optional)</p>	
<p>Konzept erstellt von:</p> <p>Erstellt am:</p> <p>Revisionsdatum bei Änderungen:</p> <p>Version: <i>(Erste eingereichte Version ist „01“)</i></p> <p>Matrikelnummer:</p> <p>Studienkennzahl:</p>	<p>Daniel Pum</p> <p>01.05.2017</p> <p></p> <p>01</p> <p>0911604</p> <p>O202</p>
<p>Betreuer/in:</p> <p>Institut/Klinik:</p> <p>Kontakt: <i>(Adresse, Telefonnummer, E-Mail)</i></p> <p>Zweite/r Betreuer/in:</p> <p>Kontakt: <i>(Adresse, Telefonnummer, E-Mail)</i></p> <p>MitarbeiterInnen:</p>	<p>Priv.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. Helmut Karl Lackner</p> <p>Institut für Physiologie</p> <p><a href="mailto:helmut.lackner@medunigraz.at">helmut.lackner@medunigraz.at</a></p> <p>Mag.<sup>a</sup> Dr.<sup>in</sup> rer.nat. Karin Schmid-Zalaudek</p> <p><a href="mailto:karin.schmid@medunigraz.at">karin.schmid@medunigraz.at</a></p>
<p><b>Kernfrage</b> und Zielsetzung</p> <p><i>Wie lautet die Fragestellung? Warum ist diese Frage von Bedeutung? Welche Ergebnisse sind im Wesentlichen zu erwarten? Worin besteht der theoretische Kern der Arbeit?</i></p> <p>Sind die Forschungsfrage und die mit dem Projekt angestrebte Zielsetzung für Männer und Frauen gleichermaßen bedeutsam? Detaillierte Angaben!</p>	<p>Ziel ist es die „cross-stressor adaptation hypothesis“ (Sothmann, 1996, 2006) auf Basis eines bestehenden Studienparadigmas unter Berücksichtigung der körperlichen Fitness zu untersuchen.</p> <p>Stress wird mit einer Vielzahl von (chronischen) Erkrankungen in Zusammenhang gebracht, Sport hingegen wird eine protektive bzw. gesundheitsfördernde Funktion zugeschrieben.</p> <p>Erwartet wird eine Replikation literaturkonformer Ergebnisse hinsichtlich höherer Herzratenvariabilität und einer besseren Erholungsfähigkeit von Personen, die durch regelmäßigen Sport einen positiven Reiz auf ihr kardiovaskuläres System setzen.</p> <p>Zusätzlich soll durch das eingesetzte Studienparadigma gezeigt werden, dass durch einen Mangel an körperlicher Fitness (keine bzw. wenig körperliche Aktivität im Alltag) die Dynamik der Herzfrequenzveränderung (Reaktionsdynamik) bei kognitiver Belastung reduziert ist. Dies würde auf eine verringerte „Anpassungsfähigkeit“ bzw. Reaktion auf einen (milden) kognitiven Stressor hinweisen und die „cross-stressor adaptation hypothesis“ – d.h. <i>trainingsbedingte Anpassungsprozesse können sich auch auf sportfremde Stressoren übertragen</i> – unterstützen.</p> <p>Die Forschungsfrage ist für Männer und Frauen gleichermaßen bedeutsam, in dieser Diplomarbeit werden jedoch auf Grund der Stichprobengröße nur männliche Probanden im Alter von 20 bis 30 Jahren untersucht.</p>
<p><b>Kurzbeschreibung</b> (max. 20 Zeilen)</p> <p><i>Worin besteht der Neuigkeitswert?</i></p>	<p>Dynamische Veränderungen der HR zeigen einen typischen Verlauf und können durch verschiedene Stressreize experimentell induziert werden.</p> <p>Im Rahmen dieser Diplomarbeit soll ein erprobtes, computerunterstütztes Studienparadigma der Arbeitsgruppe <i>aiPP</i> (Institut für Physiologie) zur Anwendung kommen um die „cross-stressor adaptation hypothesis“ (Sothmann 1996, 2006) neben den gängigen Verfahren (Herzfrequenz-variabilität und -reaktivität)</p>

	<p>insbesondere hinsichtlich der <u>hochsynchron erfassten Reaktionsdynamik</u> der Herzfrequenz bezogen auf (milde) dynamische Stressoren zu analysieren.</p> <p>Durch die Verwendung von drei unterschiedlichen kognitiven Tests (CVLT, MPT, d2-Test) bei gleichzeitiger synchroner Ableitung der Herzaktivität mittels hochauflösendem EKG soll im zeitlichen Verlauf gezeigt werden, wie sich die Dynamik der Herzfrequenz bei verschiedenen kognitiven Reizen verhält.</p> <p>Die regelmäßige körperliche Aktivität wird mit dem Freiburger Fragebogen zur körperlichen Aktivität (FFkA) abgefragt, die Belastung/Beanspruchung bei kognitiver Testung unmittelbar nach Ende der jeweiligen Aufgabe mittel der KUSTA-Skalen.</p>
<p><b>Methodenwahl</b></p> <p><i>Welche Methoden stehen zur Beantwortung der Frage zur Verfügung? Wieso wählen Sie genau diese Methode?</i></p>	<p>Erhebung der Daten mittels synchrone kontinuierliche EKG- Messung</p> <p>CVLT: der California Verbal Learning Task (CVLT, Niemann et al., 2008) dient der Bestimmung der verbalen Lern- und Gedächtnisleistung</p> <p>MPT: der Mittenecker Pointing Test (Schulter et al., 2010) erfasst u.a. die kognitive Flexibilität</p> <p>d2-Test: der Aufmerksamkeits-Belastungs-Test (Brickenkamp, 2010) stellt einen psychologischen Leistungstest dar.</p> <p>Die drei verwendeten milden Stressoren ermöglichen die Differenzierung unterschiedlicher Aspekte der kognitiven Verarbeitung im Kontext der erfassten Reaktionsdynamik.</p>
<p><b>Ethikkommissionsvotum</b></p> <p><i>Ist ein Votum der Ethikkommission erforderlich? Siehe Informationsblatt „Genehmigung Ethikkommission“</i></p>	<p><input checked="" type="checkbox"/> Erforderlich</p> <p><input type="checkbox"/> Nicht erforderlich</p> <p><input type="checkbox"/> Bereits vorhanden</p>
<p><b>Datenerhebung</b> (falls zutreffend)</p> <p><i>Werden aufgrund der oben genannten Methodenwahl medizinische Daten benötigt? Wenn ja, welche? Mit welcher Fallzahl ist zu rechnen? Wie wurde die Fallzahl ermittelt? Wie ist das PatientInnenkollektiv zu beschreiben (Mindest-/Höchstalter, Geschlechtsverteilung, Begleiterkrankungen, etc.)?</i></p> <p><i>Bitte beachten Sie, dass eine Weitergabe der Daten an projektfremde Personen gemäß Datenschutzgesetz nicht zulässig ist. Das Bekanntwerden von PatientInnendaten ist durch Pseudonymisierung (Codierung mit fortlaufender Nummer) und ggf. Zugriffsbeschränkungen zu verhindern.</i></p>	<p>Inkludiert werden 40 gesunde männliche Probanden (20-30Jahre), diese teilen sich in ‚sportliche‘ und ‚nicht sportliche‘. Die Zuordnung in die jeweilige Gruppe erfolgt über einen standardisierten Fragebogen (FFkA).</p> <p>Die Fallzahl orientiert sich neben der Effektgröße (Herzfrequenzdynamik; auf Basis laufender Studien) auch am Zeitrahmen einer Diplomarbeit.</p> <p>Die Codierung der Probanden erfolgt über eine 4-stellige Kombination aus Buchstaben und Zahlen.</p>
<p><b>Datenauswertung</b></p> <p><i>Welche Hauptzielgröße wird analysiert (z.B. Alter bei Diagnosestellung/Alter bei Operation/Diagnose, etc.)? Wie wird die Hauptzielgröße analysiert? Welche Nebenzielparameter sollen betrachtet werden? Mit welchen Methoden erfolgt die Auswertung?</i></p>	<p>Hauptzielgröße:</p> <p>Herzfrequenz (Variablen der Herzfrequenzvariabilität und -reaktivität sowie Reaktionsdynamik)</p> <p>Nebenzielgrößen:</p> <p>Kognitive Funktionen, Lern- und Gedächtnisleistungen</p> <p>Statistische Verfahren: deskriptive Statistik sowie ANOVA</p>
<p><b>Zeitplan</b> (grob strukturiert)</p> <p><i>Wann wird mit der Arbeit begonnen? Wann wird ein Antrag bei der Ethikkommission gestellt, sofern ein Votum erforderlich ist? Welche Meilensteine wurden zwischen dem/der Studierenden und den BetreuerInnen vereinbart? Wann ist voraussichtlich mit der Beendigung der Arbeit zu rechnen? Welche formalen Schritte sind für die Umsetzung der Diplomarbeit notwendig?</i></p>	<p>Erarbeitung der relevanten Literatur: Mai/Juni 2017</p> <p>Datenerhebung: Juni/Juli 2017</p> <p>Datenanalyse: Juli 2017</p> <p>Verschriftlichung der Diplomarbeit: August/September 2017</p> <p>Beendigung: Oktober/November 2017</p>
<p><b>Referenzen</b></p> <p><i>Welche Literatur ist relevant? Gibt es Vergleichsstudien?</i></p>	<p>Relevante Literatur: 1996 Sothmann et al., <i>Exercise training and the cross-stressor adaptation hypothesis</i>. 2006 Sothmann, <i>Psychobiology of physical activity</i>.</p>

**Benötigte Ressourcen**

*Werden Geld- oder Sachmittel von Einrichtungen der Med Uni Graz benötigt?*

Die Vergabe ist nur zulässig, wenn die Leiterin/der Leiter dieser Einrichtung über die beabsichtigte Vergabe informiert wurde und diese nicht binnen eines Monats untersagt hat.

Benötigt wird das Messequipment (Emotion Faros 180; Bestand) sowie EKG-Elektroden; FFKa wird unentgeltlich zur Verfügung gestellt.

Zugang zu PubMed, Ovid und der Bibliothek der Med Uni Graz

---