

Resonanz Frequenz Atmung Intervention zur Beeinflussung der Herzfrequenzvariabilität bei Golfern auf dem Putting Grün

Masterthesis im M.Sc. Sportphysiotherapie

von

Bastiaan Schipper

Deutsche Sporthochschule Köln
Köln 2025

Resonanz Frequenz Atmung Intervention zur Beeinflussung der Herzfrequenzvariabilität bei Golfern auf dem Putting Grün

Masterthesis im M.Sc. Sportphysiotherapie

von

Bastiaan Schipper

Deutsche Sporthochschule Köln
Köln 2025

Betreuer: Prof. Dr. rer. Medic. Martin Alfuth
Institut für Therapiewissenschaften
Fachbereich Gesundheitswesen

Danksagung

Hiermit bedanke ich mich bei meinem Erstkorrektor Prof. Dr. rer. Medic. Martin Alfuth, welcher immer sehr freundlich und zuvorkommend auf meine Fragen und Probleme reagierte. Ein besonderer Dank geht außerdem an Herrn Niko Rockensüss, der mich mit der Bereitstellung der technischen Messinstrumente unterstützte. Weiterhin möchte ich mich bei meinen Korrekturlesern Jeffrey Schipper und Alina Reeg bedanken.

Abstract Deutsch

Mentale Belastung stellt im Golfsport einen zentralen Einflussfaktor dar, da sowohl psychische als auch physische Komponenten unter Stressbedingungen negativ auf die sportliche Leistungsfähigkeit wirken können. Dabei ist die Herzfrequenzvariabilität (HRV) ein Indikator für Stress, da sie die Balance zwischen sympathischem und parasympathischem Nervensystem widerspiegelt und so Aufschluss über die Anpassungsfähigkeit des Körpers an Belastung gibt. Atemtechniken wie die Resonanz-Frequenz-Atmung (resonance frequency breathing, RFB) werden als mögliche Methode zur Stressbewältigung eingesetzt, um die HRV zu beeinflussen. Ziel ist es, durch die Modulation der HRV den mentalen Stress während des Golf-Putts zu reduzieren und die Optimierung der Treffsicherheit, insbesondere in Drucksituationen, zu verbessern. In dieser experimentell prospektiven randomisierten Interventionsstudie wurde der Einfluss einer regulierten Atemfrequenz (RFB) auf HRV und Putt-Leistung bei Freizeitgolfern untersucht. Die Probanden putteten unter kontrollierter und willkürlicher Atmung, während HRV und Atemfrequenz mittels validierter Sensoren erfasst wurden. Auditive Reize simulierten eine stressähnliche Wettkampfsituation. Die Studie folgte einem Messwiederholungsdesign, wobei jede Person als eigene Kontrolle diente. Die psychophysiologische Beanspruchung während des Experiments wurde mittels eines standardisierten Fragebogens erfasst und anschließend mit dem Wilcoxon-Rang-Test ausgewertet. Insgesamt wurden 28 Golfer*innen ($M_{\text{Alter}} = 50.96 \pm 8.32$ Jahre) untersucht. Die Ergebnisse zeigten, dass eine Reduktion der Atemfrequenz signifikante Veränderungen in den HRV-Parametern der Herzfrequenz (HF) ($p = 0.003$), dem RR-Intervall ($p = 0.003$) und dem SDNN ($p = 0.039$) bewirkte. Allerdings konnte diese Veränderung keinen statistisch signifikanten Leistungsunterschied im Puttergebnis aus zwei Meter Distanz ($p = 0.284$) und vier Meter Distanz ($p = 0.458$) zwischen den Gruppen hervorbringen. Der NASA-Task-Load-Index-Fragebogen deutete auf eine signifikant höhere psychophysiologische Belastung ($p < 0.001$) in der Interventionsgruppe hin. Die vorliegende Studie zeigt, dass signifikante Veränderungen der HRV durch eine bewusste Reduktion der Atemfrequenz möglich sind. Die fehlende Leistungsverbesserung könnte darauf zurückzuführen sein, dass die gleichzeitige Durchführung der RFB und der experimentellen Aufgabe die Leistung beeinträchtigt hat, möglicherweise aufgrund der kurzen Eingewöhnungsphase. Zudem könnte das festgelegte Atemmuster der RFB (4 Sekunden Einatmung zu 6 Sekunden Ausatmung)

nicht für alle Teilnehmer optimal gewesen sein. Obwohl die RFB signifikante Veränderungen in manchen HRV-Parametern bewirkte, konnte kein direkter Zusammenhang mit einer verbesserten Putt-Leistung festgestellt werden. Zukünftige Studien sind erforderlich, um zu untersuchen, ob ein längeres RFB-Training zu einer effektiveren Unterstützung und Leistungssteigerung führt. Weiterhin könnten individuell angepasste Atemmuster eine größere Wirkung haben. Es wird empfohlen, bei HRV-Studien, die die parasympathische Erregung untersuchen, körperliche Bewegung auf ein Minimum zu reduzieren, da diese die Messergebnisse beeinflussen und eine Interpretation erschweren.

Abstract English

Mental strain represents a central influencing factor in golf, as both psychological and physical components can negatively affect athletic performance under stress conditions. Heart rate variability (HRV) is an indicator of stress reflecting the balance between the sympathetic and parasympathic nervous systems and thus providing information about the body's ability to adapt to stress. Breathing techniques, such as resonance frequency breathing (RFB), are a possible method of stress management to influence HRV. The aim is to reduce mental stress during golf putting by modulating HRV and thus improving athletic performance, especially in stressful situations. In this experimental prospective randomized interventional study, the influence of RFB on HRV and putting performance in recreational golfers was investigated. The subjects putted under controlled and voluntary breathing, while HRV and respiratory rate were recorded using validated sensors. Auditory stimuli simulated a stress-like competitive situation. The study followed a repeated measurement design, with each subject serving as a separate control. Psychophysiological stress during the experiment was recorded using a standardized questionnaire. 28 golfers (*median age* = 50.96 ± 8.32 years) were examined. A reduction in breathing rate by applying RFB caused significant changes in the HRV parameters of heart rate ($p = 0.003$), RR interval ($p = 0.003$) and SDNN ($p = 0.039$). However, this change did not produce a statistically significant difference in putter performance from two meters distance ($p = 0.284$) and four meters distance ($p = 0.458$) between the groups. The standardized questionnaire indicated a significantly higher psychophysiological stress ($p < 0.001$) in the intervention group compared with the control group. Significant changes in HRV are possible by deliberately reducing the breathing rate. The absence of performance improvement may be attributable to the fact that the simultaneous execution of the RFB and the experimental task impaired performance, potentially due to an insufficient familiarization phase. Furthermore, the predetermined breathing pattern of the RFB (4 seconds inhalation to six seconds exhalation) may not have been optimal for all participants. Although RFB induced significant changes in some HRV parameters, no direct correlation with improved putting performance was proven. Future studies should investigate whether longer RFB training leads to more effective support and improved performance. Furthermore, customized breathing patterns could have a greater effect. It is recommended that in HRV studies investigating

parasympathic arousal, physical exercise should be minimized as it affects the measurement results and makes interpretation more difficult.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	1
1 Einleitung	4
1.1 Der Golfsport	4
1.2 Der Golf-Putt.....	4
1.3 Mentale Konditionierung im Golfsport.....	5
1.4 “Choking“	6
1.5 Das “Yips“ Phänomen	6
1.6 Neuronale Grundlagen	7
1.6.1 Somatisches und vegetatives Nervensystem	7
1.6.2 Stress	8
1.7 Kardiovaskuläre Grundlagen	8
1.7.1 Das Elektrokardiogramm	9
1.7.2 Die Herzfrequenzvariabilität.....	10
1.8 Respiratorische Grundlagen	12
1.8.1 Die Resonanz-Frequenz-Atmung	13
1.9 Studienlage zur Stressbewältigung auf dem Putting-Grün	14
1.10 Ziele und Erkenntnisinteresse	17
2 Methodik	19
2.1 Forschungshypothese	19
2.1.1 Messstandards und Messinstrumente.....	20
2.1.2 Stresssituation auf dem Putting-Grün.....	22
2.2 Stichprobengröße	22
2.2.1 Probandenrekrutierung.....	24
2.3 Struktur des Experiments	26
2.3.1 Ablauf der Messung.....	27
2.3.2 Die Messzeitpunkte der HRV und Atemfrequenz.....	28
2.3.3 Dauer der Aufzeichnung.....	29
2.3.4 Umgebungssituation während der Messung	29
2.3.5 Die Atemfrequenz während der Messung.....	29
2.3.6 Artefakt Korrektur der Messdaten	30
2.3.7 Der interne Wettbewerb.....	30
2.4 Die exemplarische Falldarstellung.....	31
2.4.1 Darstellung der Basisdaten	31
2.4.2 Relevante Messparameter	34
3 Ergebnisse.....	37
3.1 Die Stichprobe	37
3.2 HRV-Parameter	37
3.2.1 Normalverteilung HRV-Parameter	37
3.2.2 Mittelwertvergleich HRV-Parameter	38
3.3 Atemfrequenz Messparameter	43
3.3.1 Normalverteilung Atemfrequenzparameter.....	43
3.3.2 Mittelwertvergleich Atemfrequenz.....	44
3.4 Mittelwertvergleich Putt-Resultat	45

3.4.1	Zwei-Meter-Putt-Resultat in Abhängigkeit von den HRV-Parametern	48
3.4.2	Differenz der Gesamttrefferquote in Abhängigkeit von den HRV-Parametern	49
3.5	Subgruppenanalyse bei Probanden mit Atemtechnik-Erfahrung	50
3.5.1	Putt-Resultat bei Probanden mit Atemtechnik-Erfahrung.....	50
3.5.2	HRV-Parameter bei Probanden mit Atemtechnik-Erfahrung.....	50
3.5.3	Atemfrequenz bei Probanden mit Atemtechnik-Erfahrung	51
3.5.4	Intervention Atemfrequenz bei Rauchern vs. Nichtraucher	52
3.6	NASA – Task-Load-Index Fragebogen.....	52
4	<i>Diskussion</i>.....	55
4.1	HRV-Parameter	55
4.2	Atemfrequenz	57
4.3	Putt-Resultat	58
4.4	Interne und externe Aufmerksamkeitsprozesse	61
4.5	“Choking“	62
5	<i>Kritische Betrachtung und Limitationen</i>	63
6	<i>Schlussfolgerung</i>.....	65
7	<i>Literaturverzeichnis</i>	66
8	<i>Anhang</i>.....	76

Abkürzungsverzeichnis

A	Anstrengung
Af	Atemfrequenz
Az	Atemzüge
Anz	Anzahl
Az/min	Atemzüge pro Minute
ca.	zirka
CVA	Herz-Vagus-Aktivität
EKG	Elektrokardiogramm
F	Frustration
GA	geistige Anforderung
Hcp.	Handicap
HF	Herzfrequenz
HRV	Herzfrequenzvariabilität
IBI	inter beat interval
I	Interventionsgruppe
K	Kontrollgruppe
KA	körperliche Anforderung
L	Leistung
m	Meter
min	Minuten
ms	Millisekunden
NASA-TLX	NASA-Task-Load-Index
N. vagus	Nervus vagus
Pt2	zwei Meter Putt
Pt4	vier Meter Putt
RR	RR-Intervall
RMSSD	Root Mean Square of Successive Differences
RSA	respiratorische Sinusarrythmie

S/min	Schläge pro Minute
SDNN	Standard Deviation of the NN-Intervall
sek	Sekunden
ZA	zeitliche Anforderung
z. B.	zum Beispiel

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Herz- Lungenkreislauf, https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fquizlet.com%2Fde%2Fkarteikarten%2Fherz-kreislauf-system-1-	9
Abbildung 2: Sinusrhythmus im Elektrokardiogramm, Laborde, S., Mosley, E., & Thayer, J. F. (2017). Heart Rate Variability and Cardiac Vagal Tone in Psychophysiological Research – Recommendations for Experiment Planning, Data Analysis, and Data Reporting. Frontiers in Psychology, 08. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00213	10
Abbildung 3: Mindfield eSense Pulse Sensor mit Brustband, eigene Aufnahme.....	21
Abbildung 4: Mindfield eSense Respiration mit Bauchgurt und Adapter zur Verknüpfung mit Rekorder, eigene Aufnahme	21
Abbildung 5: Sony WH-1000XM Kopfhörer, eigene Aufnahme	22
Abbildung 6: Ablauf der Messung, eigene Darstellung	27
Abbildung 7: Probandin auf dem Putting-Grün mit angeschlossenen Messinstrumenten, eigene Aufnahme	28
Abbildung 8: Mindfield eSense-Pulse HRV-Diagramm mit Basisdaten, eigene Darstellung	32
Abbildung 9: Mindfield eSense Respiration Atemfrequenz-Diagramm mit Basisdaten, eigene Darstellung	33
Abbildung 10: Durchschnittliche Herzfrequenz, eigene Darstellung	40
Abbildung 11: Durchschnittliches RR-Intervall, eigene Darstellung	40
Abbildung 12: Durchschnittliche Standard Deviation of NN-Intervall, eigene Darstellung	41
Abbildung 13: Durchschnittlicher Root-Mean-Square-of-Successive-Differences, eigene Darstellung.....	42
Abbildung 14: Durchschnittlicher NN50, eigene Darstellung	43

Abbildung 15: Durchschnittliche Atemfrequenz, eigene Darstellung	45
Abbildung 16: Anzahl gelochter Putts aus zwei Meter Distanz, eigene Darstellung	47
Abbildung 17: Anzahl gelochter Putts aus vier Meter Distanz, eigene Darstellung..	47
Abbildung 18: Gesamtanzahl gelochter Putts aus beiden Distanzen, eigene Darstellung	47
Abbildung 19: Ergebnisse des NASA Task-Load-Index Fragebogen, eigene Darstellung	54

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Demografie der Stichprobe, eigene Darstellung	37
Tabelle 2: Mittelwertvergleich der HRV-Messdaten, eigene Darstellung.....	39
Tabelle 3: Mittelwertvergleich der HRV-Parameter, welche die parasympathische Aktivität präsentieren, eigene Darstellung	41
Tabelle 4: Mittelwertvergleich der Atemfrequenz Messdaten, eigene Darstellung...	44
Tabelle 5: Mittelwertvergleich des Putt-Resultats, eigene Darstellung	46
Tabelle 6: Signifikanz nach Test auf Normalverteilung der HRV-Parameter, eigene Darstellung	81
Tabelle 7: Signifikanz nach Test auf Normalverteilung der Atemfrequenz, eigene Darstellung	81

1 Einleitung

1.1 Der Golfsport

Golf hat in den letzten Jahren einen Boom erlebt (European Golf Association, 2021), gefördert durch die Outdoor-Aktivität, die persönliche Herausforderung und die Möglichkeit, im Team zu spielen. Gespielt wird meist in kleinen Gruppen, was Networking und soziale Interaktion fördert. Die Sportart wird auf unterschiedlichen Leistungsniveaus betrieben. Die Spielstärke der Spieler*innen wird dabei durch das Handicap ausgedrückt, das die Differenz zwischen der Anzahl benötigter Schläge und der Standardvorgabe für eine 18-Loch-Runde angibt. In Mannschafts- und individuellen Golfwettbewerben wird der Sieger durch die niedrigste Anzahl der Golfschläge bestimmt. Trainingsmethoden zur Verbesserung der konditionellen Fähigkeiten mit dem Ziel, Schlagweite und Präzision zu steigern, befinden sich in einem stetigen Entwicklungsprozess (Hume et al., 2005). Dabei kommen zunehmend moderne Messinstrumente zum Einsatz, die eine gezielte Leistungsdiagnostik und -optimierung ermöglichen. Weitere Forschungsfragen zur Leistungssteigerung im Golfsport befassten sich zudem mit der Kinematik des Golfschwungs (Bourgain et al., 2022), der physischen Konditionierung eines Golfers (Ehlert, 2021) sowie der Entstehung und der Prävention von golfspezifischen Verletzungen (Hasley et al., 2023).

1.2 Der Golf-Putt

Der Golfschwung ist eine Technik, mit der der Ball über weite Distanzen geschlagen wird, um ihn mit möglichst wenigen Schlägen nahe an das Loch zu befördern. Übliche Schläger hierfür sind so genannte Driver, Hölzer und Eisen, die den größten Anteil des Schlägersets ausmachen. Im Zielbereich der Spielbahn befindet sich das „Grün“, auf dem der Ball mit einem sogenannten Putter eingelocht und die Spielbahn mit einem Resultat abgeschlossen wird. Grundlegend für einen erfolgreichen Putt sind die Ausrichtung zum Loch und die Schlagstärke, mit der der Ball gespielt wird. Die Ansprechposition zum Ball bei einem Putt sowie die Griffhaltung können individuell gewählt werden. In der Regel findet sich der Golfer in einem schulterbreiten Stand mit nach vorne geneigter Oberkörperposition und herabhängenden Armen wieder. Der eigentliche Schlag ist eine Pendelbewegung aus dem Oberkörper.

Beim Erreichen des Grüns beginnt der Spieler*in mit einer Orientierungsphase, in der die Neigung und Geschwindigkeit des Grüns festgestellt werden soll. Nach der Ausrichtung durchlaufen eine Vielzahl von Spielern eine "Pre-Shot-Routine" mit Probeschwüngen, in der sie ihren Fokus auf den bevorstehenden Putt richten. Spieler nutzen die Übungsschwünge vor dem Putt für die Feinabstimmung, das Gefühl und die Vorprogrammierung ihres Schwungs (Hellström, 2009). Für die Phase auf dem Grün bis zur Ausführung des Putts hat der Golfer wenig physische Belastung und keine zeitliche Vorgabe.

1.3 Mentale Konditionierung im Golfsport

Viele Golfspielende streben in der technisch anspruchsvollen und motorisch herausfordernden Sportart eine stetige Leistungssteigerung bis hin zum Expertenniveau an. Da jedoch nicht alle dieses Ziel erreichen, untersuchen Forschende die Schlüsselfaktoren, die die Entwicklung solcher Expertise beeinflussen. Dabei können aus sportwissenschaftlicher Sicht bedeutende Erkenntnisse von professionellen Athleten abgeleitet und auf Leistungs- oder Hobbyathleten übertragen werden.

Gegenwärtiges Augenmerk für jeden Golfsportler liegt dabei auf 6 verschiedenen Kompetenzen (Gulgin et al., 2014):

1. Wesentliche Instruktion: Regelkunde, Etikette.
2. Schlagfähigkeiten: Einflussnahme auf die Flugbahn des Balles durch Schlagtechnik (Draw, Fade).
3. Platzmanagement: Kennenlernen des Platzes und der einzelnen Löcher gegebenenfalls durch Spielen einer Proberunde.
4. Ausrüstung: Zusammensetzung der maximal vierzehn Schläger, die in der Golftasche vorhanden sein dürfen.
5. Mentale/emotionale Konditionierung: Aufrechterhaltung von Konzentration über gesamte Spieldauer. Umgang mit Stress und Versagensängsten.
6. Physische Konditionierung: Zusammensetzung der konditionellen Fähigkeiten wie Kraft, Beweglichkeit, Schnelligkeit und Ausdauer eines Spielers.

Die Entwicklung dieser Kompetenzen fällt größtenteils in den Aufgabenbereich des Golftrainers, der passendes Know-how und Verbesserung der Schlagtechnik anbietet. Die Kompetenz der mentalen sowie emotionalen Belastung bei einer Platzrunde über 18 Löcher (Spielzeit ca. vier Stunden) wird dabei oft unterschätzt und bei einer Trainingseinheit in der Regel wenig berücksichtigt. Dabei kann die mentale Belastungsfähigkeit eines Spielers von hoher Bedeutung sein, um Fehl- oder Strafschläge in einem Turnier zu vermeiden.

1.4 “Choking“

Nach der Studie von Nicholls et al. (2005) zählen zu den Hauptursachen für Stress bei Golfspielern leistungsbezogene Gedanken wie das Streben nach einer möglichst hohen Platzierung, Fehleinschätzungen wie die falsche Wahl des Schlägers, ergebnisorientierter Druck, Bewertungsängste im Wettbewerb sowie der Vergleich mit stärkeren Gegnern.. Baumeister (1984) definierte den Leistungsabfall unter Druckbedingungen (choking under pressure) als "jeder Faktor oder jede Kombination von Faktoren, die die Bedeutung einer guten Leistung bei einer bestimmten Gelegenheit erhöhen". Die Überwindung von Leistungseinbußen unter Druck ist eine ernsthafte Herausforderung für viele Sportler.

1.5 Das “Yips“ Phänomen

Unter “Yips“ versteht man im Golfsport plötzlich auftretende unwillkürliche, ruckartige Muskelzuckungen, die insbesondere beim Putten auftreten (Fischer, 2007). Die genaue Ursache der Muskelzuckungen, des Zitterns oder des Erstarrens im Unterarm/Handgelenk ist in der Wissenschaft noch nicht bekannt. Bisherige Untersuchungen deuten auf eine Dystonie (neurologische Störung), “choking“ (psychologische Störung) oder eine Kombination aus beiden Störungen hin. Eine mögliche pathophysiologische Erklärung der “Yips“ ist eine erworbene Verschlechterung der Funktion der Basalganglien und bei anderen eine Folge von extremer Versagensangst. Die Symptome verschlimmern sich, wenn eine Schwelle von hohem Stress und Erregung überschritten wird (Smith et al., 2003). Mit der Fokussierung auf die Atmung soll ein Hilfsmittel zur Vorbeugung der plötzlich auftretenden Muskelzuckungen bereitgestellt werden.

1.6 Neuronale Grundlagen

1.6.1 Somatisches und vegetatives Nervensystem

Über das somatische und vegetative Nervensystem ist der menschliche Körper in der Lage, willkürliche und unwillkürliche Aktionen auszuführen. Während das somatische Nervensystem willkürliche und bewusste Aktionen wie z. B. Bewegung ansteuert, ist das vegetative Nervensystem für unwillkürliche Aktionen wie z. B. Herzschlag oder Verdauung verantwortlich (Mattle & Fischer, 2021). Das vegetative Nervensystem besteht aus dem sympathischen, dem parasympathischen und dem enterischen Nervensystem. Sympathikus und Parasympathikus vermitteln teils antagonistische Wirkungen. Die präganglionären Neuronen befinden sich im Seitenhorn des Rückenmarks vom distalen Halsbereich bis in den Bereich der Lendenwirbelkörper (thorakolumbales System). Der sympathische Grenzstrang besteht aus Ganglien, die sich parallel zur Wirbelsäule aufreihen. Hier werden die Reize der präganglionären Neuronen in den Ganglien umgeschaltet und gelangen dann zu ihren Zielstrukturen (Mattle & Fischer, 2021). Neurotransmitter des ersten Ganglions ist Acetylcholin und des zweiten Ganglions am Zielorgan Noradrenalin. Seine Hauptaufgabe ist es, den Körper in Leistungsbereitschaft zu versetzen (fight or flight) (Lohninger, 2021). Der Gegenspieler des Sympathikus ist der Parasympathikus, welcher seinen anatomischen Ursprung im Hirnstamm und im sakralen Rückenmark aufweist. Bestandteil des vom kranial kommenden Parasympathikus sind vier Hirnnerven. Der für diese Arbeit wichtigste Nerv ist der zehnte Hirnnerv, der N. vagus. Er versorgt den Hals-, Brust- und Bauchraum bis zur linken Kolonflexur (Cannon-Böhmscher Punkt) (Mattle & Fischer, 2021). Mit seinen Verzweigungen im gesamten Bauchraum leistet der N. vagus, welcher aus 80 % afferent sensorischen Fasern und 20 % efferent motorischen Fasern besteht, innerhalb unseres Organismus, einen hohen Beitrag zur Selbstregulation (Laborde et al., 2018). Neurotransmitter des Parasympathikus ist ausschließlich Acetylcholin.

1.6.2 Stress

Stress ist eine Belastung, die auf den Körper einwirkt. Nach Haurand et al. (2018) können Stressoren psychischer, physischer oder umweltbedingte Ursprünge haben. Diese können beispielsweise durch Zeitdruck, Schlafmangel oder Druck anderer Personen entstehen. In der Folge treten psychologische und physische Reaktionen als spezifische Antwort auf den Stressor ein. Die Stärke der Reaktion hängt von mehreren Faktoren ab, wie zum Beispiel Vorerfahrung, Erziehung und Persönlichkeitsstruktur (Haurand et al., 2018). Nach Eintritt des “Stressors“ folgt eine Einschätzung des Reizes mit anschließender Ausschüttung von Adrenalin, Noradrenalin und Cortisol, wodurch das sympathische Nervensystem aktiviert wird. Mit Ausschüttung dieser Hormone und der Sympathikusaktivierung wird der Körper in Alarmbereitschaft versetzt, was die Herzfrequenz (HF) und den Blutdruck erhöht. Der Körper wird so auf eine “fight or flight“-Situation vorbereitet (Haurand et al., 2018).

1.7 Kardiovaskuläre Grundlagen

Das kardiovaskuläre System ist für die Aufrechterhaltung des Blutkreislaufs zuständig und besteht aus dem Herzen und den Blutgefäßen (Abbildung 1). Funktionell kann es dabei in ein Hochdrucksystem (Arterien) und in ein Niederdrucksystem (Venen) unterteilt werden, die durch verschiedene Einflüsse reguliert werden (Lüscher & Landmesser, 2024). Ein Beispiel hierfür sind Barorezeptoren an der Halsschlagader (Glomus carotis) und der herznahen Hauptschlagader (Aorta ascendens, Aortenbogen). Diese messen die Dehnung der Gefäßwand und somit den Druck im Hochdrucksystem. Durch eine Aktivierung der Rezeptoren bei Druckanstieg wird der Parasympathikus aktiviert und der Sympathikus gedämpft. Durch eine Reduktion des Schlagvolumens, Senkung der HF und eine Dilatation der peripheren Widerstandsgefäße wird der Blutdruck gesenkt (Lüscher & Landmesser, 2024).

Die Erregung des Herzens zur Generierung eines suffizienten Herzzeitvolumens (Herzfrequenz • Schlagvolumen), um die Organdurchblutung sicherzustellen, unterliegt ebenfalls der Steuerung des vegetativen Nervensystems. Die Erregung des Herzens entsteht physiologischerweise im Sinusknoten, welcher im rechten Vorhof lokalisiert ist. Von dort findet die Weiterleitung über den AV-Knoten, His-Bündel und Tawara-Schenkeln bis in die Purkinje-Fasern statt, welche die Erregung letztlich auf

die Myokardzellen übertragen. Dieser Vorgang kann mittels Elektrokardiogramm (EKG) verfolgt werden (siehe 1.7.1 Das Elektrokardiogramm) (Lohninger, 2021).

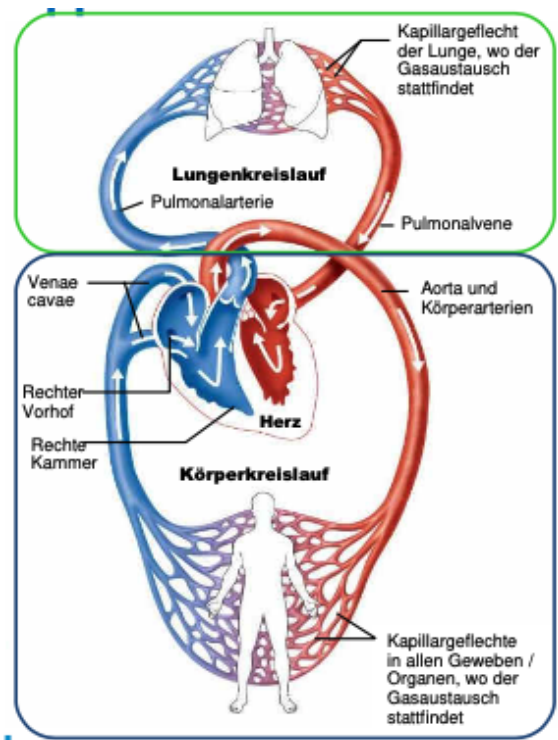


Abbildung 1: Herz- Lungenkreislauf,
<https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fquizlet.com%2Fde%2Fkarteikarten%2Fherz-kreislauf-system-1->

Der Parasympathikus hat antagonistische Wirkungen auf die oben beschriebenen sympathischen Wirkungen und verlangsamt die HF, setzt die Erregbarkeit herab und verlangsamt die Erregungsüberleitung (Lohninger, 2021).

1.7.1 Das Elektrokardiogramm

Das EKG misst die elektrische Aktivität des Herzens. Diese elektrische Aktivität der Herzmuskelfasern wird normalerweise im Sinusknoten ausgelöst und auf das herzeigene elektrische Leitsystem von spezialisierten Herzmuskelzellen übertragen (siehe 1.7 Kardiovaskuläre Grundlagen). Die elektrischen Spannungsänderungen innerhalb des Herzleitsystems lassen sich an der Körperoberfläche messen und über den Zeitverlauf aufzeichnen (Lohninger, 2021). In Abbildung 2 ist ein normaler Sinusrhythmus zu sehen. Die Impulse werden im Sinusknoten gebildet und auf die Vorhöfe übergeleitet. Mit dem Impuls im Sinusknoten folgen die P-Welle und der QRS-Komplex, welche ein wiederholendes Muster der elektrischen Herzaktion darstellen. Die R-Zacken einer Sinuskurve repräsentieren dabei die Depolarisation des

Herzens. Dieser Zeitabstand zwischen den einzelnen Herzschlägen variiert ständig (Lohninger, 2021).

1.7.2 Die Herzfrequenzvariabilität

Gängige Kenngröße in der Wissenschaft ist die HF. Sie beschreibt, wie oft das Herz pro Minute schlägt und ist beim Menschen abhängig von Belastung, Alter und körperlicher Fitness. Ein weiterer Parameter in der Physiologie ist die Herzfrequenzvariabilität (HRV), die durch Veränderung des Zeitintervalls zwischen zwei R-Zacken im EKG gemessen wird (Abbildung 2). Die Grundlage für Untersuchungen und Arbeiten mit HRV wurde vor 30 Jahren durch Malik et al. (1996) und Berntson et al. (1993) gelegt. Seitdem gilt die HRV in der Physiologie als ein häufig genutzter Prognoseparameter für Herz- und Immungesundheit. Ein Grund für die häufige Nutzung der HRV ist, dass die Kenngröße kostengünstig über Biofeedback-Messgeräte wie beispielsweise Smartwatches in Echtzeit erfasst werden können. Außerdem ist eine Aufzeichnung der HRV schmerzfrei und nicht invasiv realisierbar. Eine hohe HRV wird damit als Befähigung des Körpers verstanden, auf Veränderungen im Körper selbst oder seiner unmittelbaren Umgebung (z. B. Stress) zu reagieren. Die Interaktion von Sympathikus und Parasympathikus spielt bei der Anpassung der HF und des Blutdrucks eine wichtige Rolle. Entsprechend macht sich der Einfluss von sportlicher Aktivität, Stress oder Schlaf mit einer Beschleunigung oder Entschleunigung des Herzschlags bemerkbar (Laborde et al., 2022).

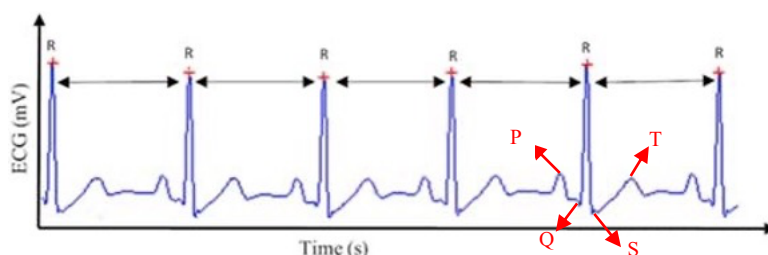


Abbildung 2: Sinusrhythmus im Elektrokardiogramm, Laborde, S., Mosley, E., & Thayer, J. F. (2017). *Heart Rate Variability and Cardiac Vagal Tone in Psychophysiological Research – Recommendations for Experiment Planning, Data Analysis, and Data Reporting. Frontiers in Psychology*, 08. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00213>

Schwankungen über die Zeit zwischen den RR-Intervallen im EKG deuten dabei auf eine Einflussnahme der Atmung hin (respiratorische Sinusarrhythmie). Diese Schwankungen werden mittels der “Standard Deviation of the NN-Intervall“ (SDNN) erfasst, welche die Intervallabweichung im Mittel vom Durchschnitt aller Intervalle

wiedergibt. Ein weiterer Wert der zeitbasierten HRV-Parameter ist der “Root Mean Square of Successive Differences“ (RMSSD), welcher die Varianz der zeitlichen Differenzen zwischen den aufeinanderfolgenden Herzschlägen darstellt. Höhere Werte weisen dabei auf vermehrte parasympathische Aktivität hin. Diese Werte sind Parameter für die Anpassungsfähigkeit des Herzens an verschiedene Einflüsse. In der Literatur werden sie auch zur Beurteilung der Regenerationsfähigkeit herangezogen (Lohninger, 2021).

Eine mögliche Erläuterung über die Intervention zwischen Herz-Vagus-Aktivität (CVA) und Selbstregulation stellt das “Neuroviscerale Integrationsmodell“ dar (Thayer et al., 2009). Dieses Modell postuliert Verknüpfungen zwischen CVA und deren positiven Auswirkungen auf ausführende Funktionen, Emotionen und Gesundheit im Zusammenhang mit HRV. Aufgrund dessen hat der N. vagus eine regulierende Wirkung auf die HF und kann den Schlag-zu-Schlag-Rhythmus bei jedem Herzschlag beeinflussen. Ausschlaggebend für die ständige Anpassung des Schlag-zu-Schlag-Rhythmus sind die Neurotransmitter von Sympathikus und N. vagus, die auf den Sinusknoten einwirken. Sympathikusaktivität sorgt mit Noradrenalin nach einer Latenzzeit von 1 - 2 Sekunden für eine Zunahme der HF, die nach 30 - 60 Sekunden ihr Maximum erreicht. Deutlich schneller wirkt das Acetylcholin des Parasympathikus auf den Sinusknoten ein, dass eine Verlangsamung der HF bereits nach 150 Millisekunden einleitet. Außerdem wird im Sinusknoten durch die Acetylcholintransferase die Wirkung des Acetylcholins schneller aufgehoben, als der Abstand zwischen zwei Herzschlägen andauert (Lohninger, 2021). Demnach kann der Vagus durch die CVA den Herzschlag stetig von Schlag zu Schlag ändern.

1.8 Respiratorische Grundlagen

Die Atemfrequenz bezeichnet die Anzahl der Atemzyklen, die ein Organismus innerhalb einer definierten Zeiteinheit durchführt, wobei die Angabe in der Regel in Atemzügen pro Minute erfolgt. Erwachsene atmen in Ruhe etwa 12–18-mal pro Minute ein und aus (Hall et al., 2021). Über willkürlichen Einfluss können Atemfrequenz, Atemtiefe, Betonung von Ein- und/oder Ausatmung, Atempausen sowie Betonung von Brust- oder Bauchatmung moduliert werden. Ohne willkürliche Einflussnahme unterliegt die Steuerung der Atmung dem vegetativen Nervensystem. Interaktionen zwischen Sympathikus und Parasympathikus werden bei der Atmung erkennbar. Bei der Einatmung tritt eine Aktivierung des Sympathikus auf, während eine Vagus-Stimulation nach der Einatmung und in der ersten Phase der Ausatmung eintritt. Dies hängt mit Dehnungsrezeptoren im Lungengewebe zusammen, die mit zunehmender Inspiration erregt werden. Jene Dehnungsrezeptoren erfassen über viszeroafferente Fasern des N. vagus eine Überdehnung der Lungenalveolen bei der Inspiration und beenden diese ab einem definierten Dehnungsgrad (Hering-Breuer-Reflex) (Lohninger, 2021).

Durch die Atmung wird ein leicht unregelmäßiger Sinusrhythmus bedingt, dies bezeichnet man als respiratorische Sinusarrhythmie (RSA). Dabei wird die HF bei der Inspiration beschleunigt und bei der Expiration verlangsamt. Ursache für diese atembedingten Schwankungen der HF können auf die Veränderung des intrathorakalen Druckes bei der Atmung zurückgeführt werden (Berntson et al., 1993). Messbar wird die Schwankung der RSA mit einem EKG, die physiologische Kenngröße ist die HRV. Die HRV ist ein Parameter zur Messung der neurokardialen Aktivität. Die Regulierung dieser neurokardialen Aktivität findet dabei über den N. vagus statt und wird als CVA bezeichnet (Laborde et al., 2017).

1.8.1 Die Resonanz-Frequenz-Atmung

Die Resonanz-Frequenz-Atmung (RFB) stellt eine Methode der willentlichen Atemregulation dar, bei der die Atemfrequenz gezielt auf unter zehn Atemzyklen pro Minute gesenkt wird. Sie ist damit eine spezifische Form des sogenannten "slow paced breathing (SPB)" (Russo et al., 2017).

Die RFB nach (P. Lehrer et al., 2013) ist eine spezielle Atemtechnik, die darauf abzielt, die HRV zu optimieren und das autonome Nervensystem zu regulieren. Sie basiert auf langsamer, gleichmäßiger Atmung mit einer Frequenz von etwa 4,5 bis 6 Atemzügen pro Minute, wodurch eine maximale Kopplung zwischen Atmung und HRV erreicht wird. Diese Atemfrequenz, bei der die RSA maximal ist, wird als "Resonanzfrequenz" bezeichnet. Ziel ist eine Synchronisation der HF, des Blutdrucks (Baroreflex) und der Atmung. Eingeleitet wird diese Synchronisation durch eine ruhige und rhythmische Atmung, welche die HF, den Blutdruck und die Atmung in Homogenität bringen soll. Durch die Maximierung der RSA wird ein größerer Gasaustausch auf der Alveolen-Ebene gefördert und gleichzeitig eine größere Schwankung des Blutdrucks in jeder Atmungsphase (Inspiration oder Expiration) angeregt (Hayano et al., 1996). Dies führt zu einer stärkeren Stimulierung des Baroreflex-Mechanismus und ermöglicht eine höhere Effizienz bei der Modulation des autonomen Nervensystems (P. M. Lehrer et al., 2000).

P. Lehrer et al. (2013) stellen in ihrer Studie ein HRV-Biofeedback-Trainingsprotokoll vor, das aus fünf Sitzungen besteht und darauf abzielt, die individuelle optimale Atemfrequenz zu ermitteln, bei der der Resonanzeffekt am stärksten ausgeprägt ist. Aufgrund von limitiertem Zugang zu EKG-Messinstrumenten, der gesunden Stichprobe und der begrenzten Zeitspanne wird die Atemfrequenz in dieser Studie für jeden Probanden auf sechs Atemzyklen pro Minute festgesetzt. Nach P. Lehrer et al. (2013) und gegenwärtigen wissenschaftlichen Erkenntnissen von Laborde et al. (2022) ist dies die durchschnittliche Atemfrequenz, bei der erwachsene Personen den maximalen Resonanzeffekt im Herz-Kreislauf-System erzielen und ein Anstieg der CVA verstärkt wird.

1.9 Studienlage zur Stressbewältigung auf dem Putting-Grün

Die feinmotorische Puttbewegung wird von jedem Golfer*in auf dem Grün genutzt, um den Golfball einzulochen. Der Golf-Putt kann aufgrund dessen spielentscheidend werden und den Athleten unter Druck setzen. Eine entscheidende Voraussetzung für den Erfolg von Athleten ist deshalb die Fähigkeit, auch unter Druck Höchstleistungen zu erbringen. Daher erlernen leistungsorientierte Spieler oft psychologische Methoden, die ihnen helfen, mit Druck umzugehen und ihre Leistung zu optimieren. Bewährte psychologische Methoden zur Leistungssteigerung bei erfahrenen Golfern sind nach Hellström (2009) Aktivitäten, die das Vertrauen stärken und eine positive Visualisierung fördern. Die Spieler sollten ihre Aufmerksamkeit auf den aktuellen Moment richten („Schlag für Schlag spielen“) und den Schwung ohne bewusstes Nachdenken ausführen. Aufmerksamkeitsprozesse wie diese haben sich als wichtiger psychologischer Faktor für das Erlernen von Fähigkeiten erwiesen (Abernethy et al., 2007). Dies spricht für eine „Pre-Shot-Routine“ mit standardisierter Schlagvorbereitung, die nach Hellström (2009) Spitzensportler von Hobbygolfern unterscheidet.

Als Mittel zur Steigerung der Konzentrationsfähigkeit auf dem Weg zum Grün oder als „Pre-Shot-Routine“ zum Abbauen von Stress können diese Vorbereitungsphasen ideal zur Anpassung der Atemfrequenz genutzt werden. Dabei soll die Resonanz Frequenz Atemmethode in Hinblick auf einen leistungssteigernden Effekt (Optimierung der Treffsicherheit) und Abbau von Stress in dieser Studie untersucht werden. Einhergehende psychophysiologische Wirkungsmechanismen, welche durch eine Anpassung der Atemfrequenz hervorgerufen werden, sollen dabei eine beruhigende Wirkung zeigen, um beispielsweise die HF zu senken und störende Gedanken, Zweifel oder Versagensängste auszublenden.

Nach gegenwärtiger Literaturrecherche sind allerdings nur wenige wissenschaftliche Studien zum Thema Atmung auf/um das Putting-Grün bekannt. Daraus lässt sich ableiten, dass diese Thematik im Golfsport bislang wenig erforscht ist. Mögliche Atemfrequenzanpassungen, welche durch Golftrainer vermittelt werden, basieren dabei auf nicht untersuchten Annahmen. Mit dem stark wachsenden Zulauf an Golfspielern in den vergangenen Jahren und der mangelnden Aufmerksamkeit der

mentalener Kompetenz im Golfsport hat diese Thematik einen Mehrwert für jeden Golfspieler*in.

Boutcher & Zinsser (1990) untersuchten Herz-, Atem- und Verhaltensmuster zwischen Elite- und Anfänger-Golfern ohne Intervention bei der Ausführung von Putts aus zwei unterschiedlich langen Distanzen. Die Golfanfänger zeigten im Gegensatz zu den Elitgolfern keine konsistenten Verhaltensroutinen vor dem Putten wie bspw. Anzahl der Übungsschwünge oder Blicke zum Loch. Weitere Erkenntnisse waren eine signifikante Senkung der HF sowie eine signifikante Verlängerung des Intervalls zwischen den Herzschlägen innerhalb der letzten vier Herzzyklen vor dem Schlag des Balls. Hassmén & Koivula (2001) untersuchten in ihrer Studie bei jungen männlichen Elite-Golfern mit und ohne Angstgefühle die Putt-Leistung unter Lärmeinfluss in Abhängigkeit der HF. Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass sich die HF in den letzten fünf Inter-Beat-Intervallen (IBI) vor dem Putt in beiden Gruppen senkte. Ähnliche Beobachtungen, wie die Senkung der HF vor der Handlung, wurden bei Leistungssportlern im Schießsport festgestellt (Tremayne & Barry, 2001).

Die Studie von Neumann & Thomas (2009) untersuchte die Beziehung zwischen dem Leistungsniveau und den Mustern der Herzfrequenzsenkung, der absoluten HF, der HRV und der Atmungsaktivität während des Puttens. Als Schlussfolgerung ergab sich, dass Elite- und erfahrene Golfer eine höhere Leistung in der niedrigfrequenten Herzfrequenzvariabilitätskomponente und eine ausgeprägtere Verlangsamung der HF unmittelbar vor dem Putt aufwiesen. Als mögliche Ursache für den Leistungsunterschied und die Senkung der HF vor dem Ereignis sehen Neumann & Thomas (2009) eine Aufmerksamkeitsverschiebung auf einen externen Stimulus. Gestützt wird diese Hypothese durch das Konzept von Lacey et al. (1974) „Aufnahme-Ablehnung Hypothese“, welche die Beziehung zwischen Veränderungen der HF und der motorischen Leistung erklären soll. Eine weitere Erkenntnis der Studie von Neumann & Thomas (2009) war die Tendenz der Ausatmung vor dem Putt bei Leistungsgolfern im Gegensatz zu Golfanfängern.

Elektronenzephalogramm-(EEG)-Messungen bei Elite-Golfern zeigen in der Studie von Crews & Landers (1993) eine erhöhte Aktivität der rechten Hemisphäre, die nach Ansicht der Autoren als eine Erleichterung der Aufmerksamkeitsfokussierung im

Gegensatz zu einem Zustand der aktiven Verarbeitung gedeutet wurde. Es wurde angenommen, dass die erfolgreicher Golfer sich in einem mentalen Zustand befanden, der es ihnen ermöglichte, sowohl interne als auch externe Informationen aufzunehmen. Im Gegensatz dazu versuchten die weniger erfolgreichen Golfer, ihre Muskelbewegungen bewusst zu steuern, um den Puttschlag zu kontrollieren. Eine inkonstante Routine vor dem Schlag kann auf eine suboptimale Schlagvorbereitung hinweisen, beispielsweise auf nicht automatisierte Abläufe. Dabei scheinen interne und externe Aufmerksamkeitsprozesse von Bedeutung zu sein (Hellström, 2009). Eine möglicherweise vielversprechende, jedoch im Vergleich zu anderen psychologischen Kennzeichen wie der Vorstellungskraft, Konzentration und Vertrauen (McCaffrey & Orlick, 1989; Thain, 2012) wenig erforschte Technik ist die gezielte Verlangsamung der Atmung.

Zusammenfassend lässt sich aus der aktuellen Studienlage ableiten, dass leistungsorientierte Golfer auf dem Putting-Grün vor dem Schlag am Ende der “Pre-Shot-Routine“ eine verlängerte Herzschlagintervall-Dauer aufweisen (Boutcher & Zinsser, 1990; Neumann & Thomas, 2009). Nach Hellström (2009) kann dies auf einen besonders effektiven mentalen Zustand hindeuten. Sowohl interne als auch externe Aufmerksamkeitsprozesse spielen in dieser Phase eine entscheidende Rolle, da sie den automatisierten Bewegungsablauf unmittelbar beeinflussen können. Sportphysiotherapeuten und Bewegungswissenschaftler übernehmen eine vermittelnde Rolle, indem sie Athletinnen und Athleten evidenzbasierte Interventionsmethoden wie gezielte Atemtechniken näherbringen. Durch die bewusste Regulation der Atmung kann das autonome Nervensystem gezielt beeinflusst und die HRV verbessert werden. Eine gesteigerte HRV steht dabei im Zusammenhang mit einer erhöhten psychophysiologischen Anpassungsfähigkeit und wird mit positiven Effekten bei der Behandlung von stressbedingten Beschwerden wie Angststörungen, chronischen Schmerzen, Herz-Kreislauf-Erkrankungen sowie Atemwegserkrankungen wie Asthma in Verbindung gebracht (Tehrany et al., 2018). Diese Maßnahmen können somit einen wertvollen Beitrag zur Förderung der Gesundheit und zur Optimierung der sportlichen Leistungsfähigkeit leisten.

1.10 Ziele und Erkenntnisinteresse

Primäres Ziel dieser experimentellen prospektiven randomisierten Interventionsstudie ist es zu untersuchen, ob Golfer*innen durch die Intervention mittels der RFB-Methode die Anzahl der benötigten Putt-Schläge zum Einlochen des Golfballs reduzieren können. Darüber hinaus wird als sekundäres Studienziel geprüft, ob sich HRV-Parameter während des Puttens durch die RFB-Methode beeinflussen lassen und inwiefern die HRV als Maß für den subjektiv erlebten Stress der Probanden*innen bewertet werden kann.

Folgende Aspekte werden zur Beantwortung der Forschungsfrage untersucht:

1. Einfluss der RFB-Methode zur Optimierung der Treffsicherheit aus zwei unterschiedlich langen Distanzen beim Golf-Putt.
2. Untersuchung des Einflusses der RFB-Methode auf die HRV-Parameter im Rahmen des Golf-Putt-Experiments.
3. Einfluss von psychophysiologischer Beanspruchung der RFB-Methode während des Golf-Putt-Experiments, ermittelt durch standardisierten Fragebogen.
4. Einfluss der gleichzeitigen Belastung durch RFB-Methode und der experimentellen Aufgabe auf die Treffsicherheit beim Golf-Putt, ermittelt durch standardisierten Fragebogen.

Entsprechend sollen folgende Hypothesen durch diese Arbeit überprüft werden:

Hypothese 1:

- H_0 : Es gibt keinen Unterschied in der Treffsicherheit zwischen „normalem Putt“ und „RFB-Putt“.
- H_1 : Es gibt einen Unterschied in der Treffsicherheit zwischen „normalem Putt“ und „RFB-Putt“.

Hypothese 2:

- H_0 : Die RFB-Methode hat keinen positiven Einfluss auf die HRV-Parameter.
- H_1 : Die RFB-Methode hat einen positiven Einfluss auf die HRV-Parameter.

Hypothese 3:

- H_0 : Die RFB-Methode hat keinen Einfluss auf die psychophysiologische Beanspruchung während des Golf-Putt-Experiments.
- H_1 : Die RFB-Methode hat einen Einfluss auf die psychophysiologische Beanspruchung während des Golf-Putt-Experiments.

Hypothesen 4:

- H_0 : Die gleichzeitige Belastung durch die RFB-Methode und die experimentelle Aufgabe hat keinen Einfluss auf die Treffsicherheit beim Golf-Putt.
- H_1 : Die gleichzeitige Belastung durch die RFB-Methode und die experimentelle Aufgabe hat einen Einfluss auf die Treffsicherheit beim Golf-Putt.

2 Methodik

2.1 Forschungshypothese

In den vorangegangenen Abschnitten wurde das Forschungsvorhaben mit aktuellem Forschungsstand und den Zielen der Studie erarbeitet. Es werden nun die Herangehensweise und die Methodik der vorgelegten Studie erläutert. Da dieses Forschungsvorhaben eine prospektive Datenerhebung vorsieht, wurde vor der Rekrutierung der Versuchspersonen ein Ethikantrag bei der Deutschen Sporthochschule Köln gestellt (siehe Anhang 1). Das entsprechende Ethikvotum wurde unter folgender Kennnummer 207/2024 erteilt.

Angesichts dieses Wissens und der mangelnden Studienlage zu Atemtechniken im Golfsport soll mit Hilfe der RFB als Form eines internen Atemstimulus, die eine Verbesserung der HRV bewirken soll, die Treffsicherheit beim Golf-Putt im Vergleich zu einer willkürlichen Atemfrequenz untersucht werden.

Die Atemfrequenz wird dabei auf sechs Atemzyklen pro Minute reduziert, wodurch ein Resonanzeffekt eintritt (siehe 1.8.1 Resonanz-Frequenz-Atmung, S. 13). Induzierter physischer Wirkungsmechanismus ist die aktiv verlängerte Ausatmung, die die Sympathikus-Aktivität reduziert und den Parasympathikus über die CVA anregen soll. Golfer*innen sollen durch die RFB-Methode eine einfache Methode erlernen, um ihre Treffsicherheit zu steigern und die Schlaganzahl zu reduzieren. Der Ergebnisunterschied zwischen “normalem-Putt“ und “RFB-Putt“ ist dabei durch die Anzahl der eingelochten Putts definiert.

Aufgrund der doppelten Aufgabenbelastung in der Interventionsgruppe von gesteuerter Atemfrequenzvorgabe und Putt-Experiment soll mit dem NASA-Task-Load-Index-Fragebogen (NASA-TLX-Fragebogen) die psychophysiologische Beanspruchung während des Experiments untersucht werden. Dabei wird ein möglicher psychophysiologischer Beanspruchungsunterschied zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe untersucht, der Aufschluss über die Anforderung der experimentellen Aufgabe geben soll.

2.1.1 Messstandards und Messinstrumente

Der eSense Pulse (Mindfield Biosystems Ltd., Gronau, Deutschland) ist ein validiertes Messgerät und zeichnet ein 1-Kanal-EKG mit 500-Hz-Abtastung auf und gibt das RR-Intervall in Millisekunden an. Das 1-Kanal-EKG beschreibt die Anzahl der Ableitungen, die das Messgerät registriert. Für die exakte Bestimmung der RR-Zacken im EKG ist die Abtastrate des Messgeräts maßgebend. Die Abtastrate von 500 Hz gibt die Anzahl der Messpunkte eines Messsignals pro Sekunde an und wie diese in einem HRV-Rekorder gespeichert werden. Die Abtastrate bestimmt also die zeitliche Auflösung dieser digitalen Signale (Lohninger, 2021). Für die Aufzeichnung eines Ruhe-EKGs oder einer Aufzeichnung niedrig intensiver Belastung, welche in dieser Studie vorgefunden wird, ist eine Abtastrate von 500 Hz ausreichend. Der Brustgurt ist mit zwei Sensoren ausgestattet, die auf der Haut aufliegen. Vor dem Umschnallen werden die Elektroden mit einem Kontaktspray leicht befeuchtet, um die Leitfähigkeit des Signals zu steigern. Nach jedem Probandenwechsel wird der Brustgurt gereinigt und desinfiziert. Das eigentliche Messgerät wird an den Brustgurt angeknüpft, welches das "inter-beat-intervall (IBI)" registriert und die Daten über Bluetooth an die Software übermittelt (Abbildung 3). Die IBI-Methode erfasst das Signal über die Breite der P- bis zur T-Welle und setzt einen randomisierten Messpunkt in das Signal (Lohninger, 2021). Aufgrund von niedrigen Herzfrequenzen ist die Variabilität der Messzeitpunkte innerhalb des IBI-Signals zu vernachlässigen. Wiedergegeben werden die Messdaten auf der eSense-App (Software), die sich auf einem Smartphone oder Tablet kostenfrei installieren lässt. Während der Aufzeichnung sollte der Brustgurt keinen Einfluss auf die Putt-Bewegung haben oder diese irritieren und beeinflusst somit das Experiment nicht.

Ein zusätzliches Brustband, welches mit dem eSense-Pulse-HRV-Messgerät synchronisiert werden kann, ist der eSense Respiration (Mindfield Biosystems Ltd., Gronau, Deutschland), der den Einsatz von Ein- und Ausatmung bei der RFB-Atmung aufzeichnet (Abbildung 4). Dieser Gurt kann um die Brust oder den Bauch geschnallt werden und ist abhängig von der Brust- oder Bauchatmung. Aufgrund des bereits vorhandenen Brustgurts für die Aufzeichnung des IBI-Signals wird der eSense Respiration bei allen Probanden um den Bauch geschnallt. Dieser Sensor registriert mit Hilfe einer sensiblen Feder die Expansion und Kompression der Bauchatmung. Vor jedem Messtag wurden die Messgeräte mit einem Testdurchlauf geprüft, um gegebenenfalls Probleme bei der Aufzeichnung der HRV oder des Aufzeichnungssignals zu identifizieren.



Abbildung 3: Mindfield eSense Pulse Sensor mit Brustband, eigene Aufnahme



Abbildung 4: Mindfield eSense Respiration mit Bauchgurt und Adapter zur Verknüpfung mit Rekorder, eigene Aufnahme

2.1.2 Stresssituation auf dem Putting-Grün

Eine Stresssituation, wie sie unter Wettkampfbedingungen existiert, kann bei dieser Untersuchung nicht imitiert werden. Um realitätsnahe Bedingungen zu schaffen, sollen die Probanden während des Putts einen auditiven Reiz erfahren. Dieser auditive Stressreiz soll dem Probanden über die gesamte Messdauer zugeführt und über Kopfhörer (Sony WH-1000XM) übertragen werden (Abbildung 5). Die auditiven Stressreize imitieren realitätsnahe Geräusche wie beispielsweise vorbeifahrende Autos, sprechende Menschen oder bellende Hunde.



Abbildung 5: Sony WH-1000XM Kopfhörer, eigene Aufnahme

2.2 Stichprobengröße

Die Bestimmung der Stichprobengröße wurde mit der statistischen G-Power-Analyse ermittelt (Faul et al., 2009). Vorgesehen ist ein gepaarter Mittelwertvergleich der eingelochten Putts (abhängige Variable) nach Kontroll- und Interventionsatmung.

Zur Bestimmung der Stichprobengröße wird eines der geplanten Experimente herangezogen, bei dem jeweils zehn Puttversuche mit und ohne Intervention aus einer Distanz von zwei Metern durchgeführt werden (siehe 2.3 Struktur des Experiments). Dies ist motiviert mit der Beobachtung, dass bei dieser Distanz die Erwartung an einen direkten Putterfolg bei etwa 50 % liegt und diese Distanz somit ein kritischer Schwellenwert für viele Golfer darstellt. Dies stellt somit das Kernexperiment und ist für die Stichprobengröße am entscheidendsten.

Die Zielsetzung dieser Arbeit ist es, einen relevanten Effekt der Intervention nachzuweisen. Kleine Veränderungen würden eine geringe Sinnhaftigkeit dieser Intervention implizieren. Sollten auch kleinere Effekte noch als vielversprechend erachtet werden, müssten diese in einer Studie mit größeren Ressourcen nachgewiesen werden. Aus diesem Grund wird von einer recht bedeutsamen Vergrößerung des Putterfolgs um 15% ausgegangen.

Für die Bemessung der Stichprobengröße wird eine homogene Population angenommen, bei der der Putterfolg stets mit derselben Wahrscheinlichkeit $p < 1 - \frac{15}{100}$ eintritt. Damit wäre der Effekt der Intervention eine neue Erfolgswahrscheinlichkeit $p_e = p + \frac{15}{100}$. Ein einzelner Putt-Versuch lässt sich als Bernoulli-Zufallsvariable X_K (Kontrolle) bzw. X_I (Intervention) auffassen. Die Anzahl der erfolgreichen Putts bei 10 Versuchen Y_K , Y_I ist somit – mit der streitbaren Annahme von stochastisch unabhängigen Versuchen – binomialverteilt $B(10, p)$.

Neben den Wahrscheinlichkeiten für die Fehler erster und zweiter Art ist die Effektstärke ein zentraler Kennwert für die Bestimmung der Stichprobengröße mittels der G-Power-Analyse. Berechnet wird die Effektstärke in diesem Fall mit Cohen's d für gepaarte Mittelvergleiche:

$$d = \frac{\mu_K - \mu_I}{s_D}$$

Aus den obigen Annahmen ergibt sich für die Mittelwertdifferenz der Wert 1.5 (10-mal die Differenz des Mittelwerts eines einzelnen Puttversuchs von $\frac{15}{100}$). Da keine präzisen Informationen über die Grundgesamtheit der Golfclubs vorlagen, wurde für die Erfolgswahrscheinlichkeit beim Putten ein Wert von 0.5 angenommen. Diese Annahme stellt in diesem Kontext die konservativste Schätzung dar, da sie mit der maximalen Varianz und somit der größten Standardabweichung einhergeht.

Damit gilt für die Standardabweichung der Differenzen zwischen Kontroll- und Interventionsdurchlauf:

$$\begin{aligned} Var(Y_K - Y_I) &= 10 * Var(X_K - X_I) = 10 * (Var(X_K) + Var(X_I)) \\ &= 10 * (0.25 + 0.22) = 4.7. \end{aligned}$$

Somit liegt die Standardabweichung bei $\sqrt{4.7} = 2.17$. Für Cohens d ergibt sich damit der Wert von 0.69.

Infolge der statistischen G-Power-Analyse zur Berechnung der Stichprobengröße bei einem gepaarten Mittelwertvergleich und einer geschätzten mittleren Effektstärke von $d = 0.69$, $\alpha = 5\%$ und einer Teststärke ($1 - \text{Beta}$) von 0.95 wird somit ein Stichprobengrößenumfang von mindestens 26 Probanden benötigt.

2.2.1 Probandenrekrutierung

Die Rekrutierung der Probanden wurde über die Mitgliederdatenbank der umliegenden Golfclubs in der Region Zentralschweiz (Schweiz) und in der Region Schwarzwald (Deutschland) vorgenommen. Bei der Kontaktaufnahme mit den einzelnen Golfclubs sind diese über die wissenschaftliche Studie und das Vorhaben informiert und aufgeklärt worden. Nach Einwilligung der Golfclubs zur Mitwirkung an der Studie ist eine Informationsmail über das Vorhaben an die Mitglieder gesendet worden, welche sich im Anschluss beim Projektleiter anmelden konnten.

Folgende Clubs wirkten bei der Datenerhebung mit:

1. Golfclub Rastenmoos, Zentralschweiz
2. Golfclub Sempach, Zentralschweiz
3. Golfclub Meggen, Zentralschweiz
4. Golfclub Königsfeld (Schwarzwald), Süddeutschland

Folgende Einschlusskriterien wurden festgelegt. Das Lebensalter soll zwischen 40 und 65 Jahre betragen. Die obere Altersgrenze mit 65 Jahren ist aufgrund einer altersbedingt reduzierten HRV definiert, da die SDNN-, RMSSD- und NN50-Werte mit einem erhöhten Mortalitätsrisiko ab 65 Jahren einhergehen (Umetani et al., 1998). Weitere Einschlusskriterien sind mindestens 2 Jahre aktive Golferfahrung sowie ein aktives Handicap von 10 bis 40. Das Einverständnis der Probanden wird vorab mittels schriftlicher Einwilligung sichergestellt (siehe Anhang 2). Ausschlusskriterien sind koronare Herzkrankheiten, Herzklappenfehler oder Herzrhythmusstörungen sowie die Einnahme von β -Blockern und Psychopharmaka. Weitere Ausschlusskriterien sind

respiratorische Vorerkrankungen wie zum Beispiel Asthma, chronische Bronchitis/COPD oder eine akute Coronavirusinfektion und akute orthopädische Erkrankungen.

Vor dem Experiment wurden folgende Größen über die Probanden erfasst:

Demographie- und Lifestyle-Variablen:

- Alter und Geschlecht
- Gewicht und Größe
- Golf-Handicap
- Golferfahrung in Jahren
- Raucher (ja/nein)
- Alkoholkonsum: Falls ja, wie oft und wie viel?
- Einnahme von herzaktivierenden Medikamenten, Antidepressiva, Antipsychotika und Antihypertonika
- Erfahrung mit Atemtechniken

Die untersuchten periinterventionellen Variablen wurden den teilnehmenden Probanden vor dem Experiment von der Untersuchungsleitung mitgeteilt. Die Probanden wurden angehalten, diese möglichst vergleichbar zwischen den beiden Messungen zu halten.

Folgende periinterventionelle Variablen wurden durch die Untersuchungsleitung festgelegt:

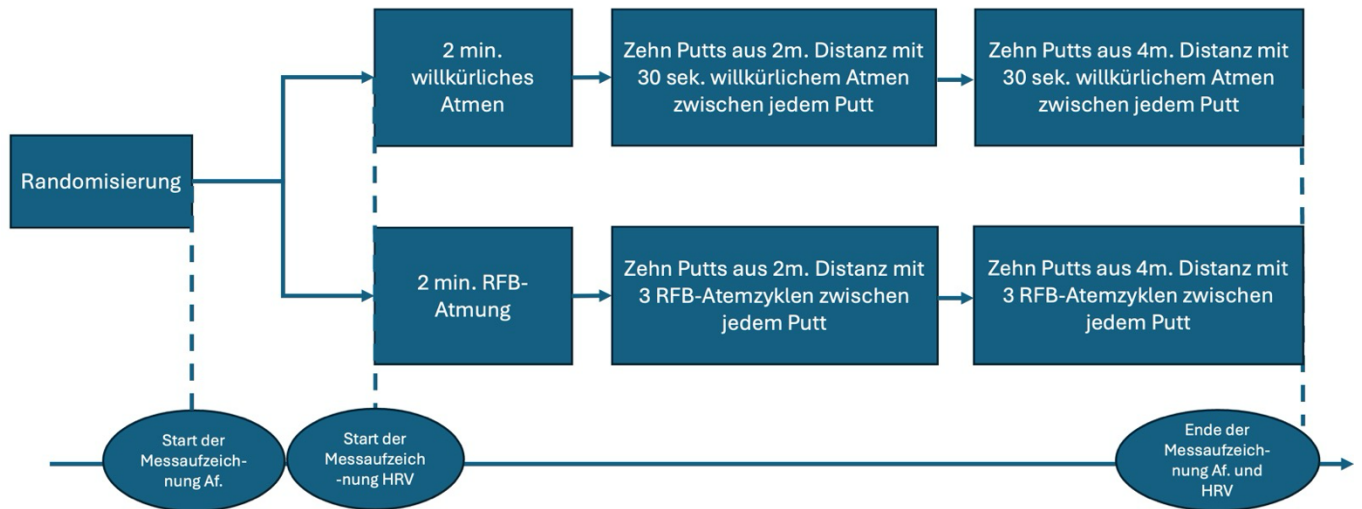
- Einhalten einer normalen Schlafroutine am Tag vor dem Experiment und eine natürliche Aufwachzeit
- Kein intensives physisches Training am Tag vor dem Experiment
- Keine Mahlzeit 2 Stunden vor dem Experiment
- Kein Kaffee oder koffeinhaltiges Getränk wie Energy-Drink oder Tee zwei Stunden vor dem Experiment
- Kein Alkoholabusus vor dem Experiment
- Nachfragen, ob die Toilette vor Beginn des Experiments genutzt werden muss

2.3 Struktur des Experiments

Grundlegend für die Struktur der experimentellen Studie ist ein Design mit Messwiederholung. Dabei werden alle teilnehmenden Probanden der unabhängigen Variable (RFB-Atemfrequenz) ausgesetzt und bilden bei der Messwiederholung (willkürliche Atmung) ihre eigene individuelle Kontrolle (abhängige Stichprobe). Vorteil sind das Ausschließen von individuellen Atemfrequenzunterschieden sowie eine geringere Stichprobengröße aufgrund der höheren statistischen Power und das Verringern von externen Einflussfaktoren wie Medikamente, Alkohol oder Rauchen. Die Einteilung und Randomisierung der zwei Gruppen (Intervention und Kontrolle) findet vor dem Testtag statt und wird durch den Untersuchungsleiter durchgeführt. Dabei wissen die Probanden nicht, welcher Gruppe sie zugeteilt wurden. Die Randomisierung der beiden Gruppen findet dabei durch die Zufallsfunktion über Microsoft Excel statt. Am Testtag durchlaufen die Probanden das Experiment im Wechsel. Das bedeutet, dass auf einen Probanden nach Abschluss der Messaufzeichnung des RFB-Putting ein Proband mit Kontroll-Putting folgt. Mit dem Wechsel der startenden Putt-Reihenfolge soll ein Reihenfolgeeffekt verhindert werden. Außerdem soll bei der Messwiederholung der Probanden, die an unterschiedlichen Tagen durchgeführt wird, dieselbe Tageszeit wie bei der vorangegangenen Messung eingehalten werden.

Abhängige Variable des Experiments ist die Anzahl der erforderlichen Treffer für das Einlochen von zwanzig Putts aus zwei unterschiedlichen Distanzen (2m & 4m) auf dem Putting-Grün. Die Probanden müssen exakt denselben Standort für das Einlochen des Balls verwenden. Gewährleistet wird dies durch Markierungen auf dem Putting-Grün, die sich im Abstand von zwei und vier Metern zum Loch befinden. Zwischen den Probanden kann der Putt-Standort gewechselt werden, solange die genaue Distanz von 2 und 4 Metern eingehalten wird. Probanden dürfen ihre eigenen Putting-Schläger nutzen. Es wurden fünf Bälle desselben Herstellers bereitgestellt.

2.3.1 Ablauf der Messung



min. = Minuten; sek. = Sekunden; m. = Meter; RFB = Resonanz Frequenz Atmung; Af. = Atemfrequenz; HRV = Herzfrequenzvariabilität

Abbildung 6: Ablauf der Messung, eigene Darstellung

Nach Einverständnis der Probanden sind diese mehrere Tage vor der Durchführung des Experiments über die Methode und Verhaltensweisen (siehe Anhang 3) vor dem Experiment informiert worden. Am Tag der Messung sind die Messinstrumente geprüft, die exakten Markierungen von zwei und vier Metern Abstand zum Loch gekennzeichnet und die nötigen Hilfsmittel aufgebaut worden. Geputtet wurde auf einer ebenen Puttfläche ohne Schräglagen und mit gepflegter Rasenoberfläche. Vor dem Start des Experiments bekam der Proband noch einmal eine genaue Instruktion über den Ablauf, der in Abbildung 6 dargestellt ist. Danach wurde den Probanden*innen der Brustgurt zur Erfassung der HRV appliziert. Im nächsten Schritt erfolgte die Anbringung des Bauchgurts zur Messung der Atemfrequenz, gefolgt vom Aufsetzen der Kopfhörer. Anschließend begab sich die Versuchsperson zur Zwei-Meter-Markierung, an welcher die Aufzeichnung der Kontroll- oder Interventions-Atemfrequenz initiiert wurde. Nach einer zweiminütigen Adaptationsphase wurde der erste von insgesamt zehn Putts aus einer Distanz von zwei Metern ausgeführt (Abbildung 6). Zur Sicherstellung einer Mindestaufzeichnungsdauer von fünf Minuten der HRV-Daten (Malik, 1996) wurde zwischen den Putts aus zwei und vier Metern eine standardisierte Pause von etwa 30 Sekunden eingehalten. Um einheitliche

Bedingungen vor jedem Putt zu realisieren und damit eine Beeinflussung der HRV-Parameter durch Bewegung zu überwachen, wurde den Probanden die strikte Einhaltung der identischen “Pre-Shot-Routine“ vor jedem Schlag vorgegeben. Bei der Interventionsatmung erfolgte der Putting-Schlag gezielt während der Ausatmung. Während des Experiments ist die Anzahl der eingelochten Putts durch den Untersuchungsleiter notiert worden. Nach Abschluss des letzten Putts aus vier Meter Distanz sind die Messgeräte gestoppt und der NASA-TLX-Fragebogen ist ausgehändigt und ausgefüllt worden.



Abbildung 7: Probandin auf dem Putting-Grün mit angeschlossenen Messinstrumenten, eigene Aufnahme

2.3.2 Die Messzeitpunkte der HRV und Atemfrequenz

Die Messung der RFB-Atemfrequenz mit dem eSense Respiration wird über den gesamten Zeitraum (Abschnitt 1 - 3) des Experiments erhoben. Die Aufzeichnung der HRV-Messung mit dem eSense Pulse wird mit dem 2. Abschnitt gestartet und endet mit dem letzten Putt aus Abschnitt 3.

1. Abschnitt: Anpassung der Atemfrequenz, RFB-Atmung oder willkürliche Atmung (zwei Minuten) mit drei Probe-Putts ohne Aufzeichnung der HRV
2. Abschnitt: zehn Putts aus zwei Meter Distanz (ca. fünf Minuten)
3. Abschnitt: zehn Putts aus vier Meter Distanz (ca. fünf Minuten)

2.3.3 Dauer der Aufzeichnung

Die Zeit der Aufnahme von HRV-Kurzzeitmessungen soll nach Malik (1996) mindestens fünf Minuten betragen, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit anderen Studien zu gewährleisten. Aufgrund der drei Abschnitte (siehe 2.3.2 Messzeitpunkte HRV und Atemfrequenz) nahm die gesamte Messung etwa zehn Minuten in Anspruch. Für die spätere Datenauswertung der HRV-Messdaten werden die Zeitfenster von Abschnitt 2 und 3 ausgewertet. Die Messdaten der Atemfrequenz wurden über die gesamten drei Abschnitte ausgewertet, um nachvollziehen zu können, ob der Proband mit der RFB-Methode geatmet hat.

2.3.4 Umgebungssituation während der Messung

Die gesamte Messung hat im Freien auf einer der oben beschriebenen Putting-Übungsanlagen stattgefunden. Über den gesamten Messzeitraum befindet sich der Proband in einer stehenden Position (Abbildung 7). Die genaue Instruktion über den Ablauf der Messung wird dem Probanden mindestens drei Tage vor dem Testtag in einem Informationsschreiben per E-Mail zugestellt (Anhang 4).

2.3.5 Die Atemfrequenz während der Messung

Um die Atemfrequenz der RFB-Methode einzuhalten, wird zur Vereinfachung eine visuelle Bildgebung genutzt, die den Rhythmus der vier Sekunden Einatmung und der sechs Sekunden Ausatmung darstellt. Zwischen den einzelnen "Interventions-Putts" werden drei RFB-Atemzyklen durchgeführt oder 30 Sekunden Pause mit willkürlicher Atmung bei der Kontrollgruppe eingehalten. Der Schlag beim "Interventions-Putt" wird während der Ausatmung des letzten RFB-Atemzyklus durchgeführt.

2.3.6 Artefakt Korrektur der Messdaten

Zu den häufigsten Artefakten gehören im 1-Kanal-EKG ein schlechter Hautkontakt der Elektroden sowie physiologischerweise Seufzen und Husten. Im Vergleich zu einer EKG-Messung bietet die IBI-Aufzeichnung mit dem eSense-Puls nur die Möglichkeit einer automatischen Artefakt Korrektur über die Mindfield-eSense-Software, da die Referenzpunkte des EKGs nicht aufgezeichnet werden.

2.3.7 Der interne Wettbewerb

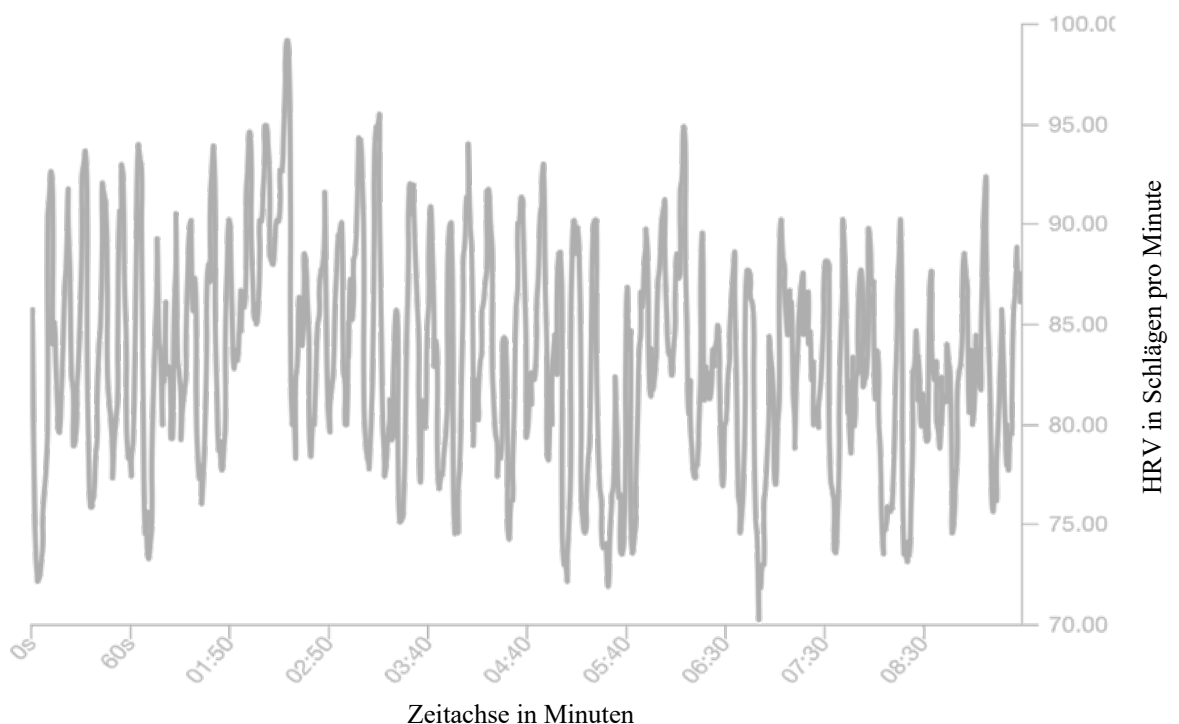
Um einen Anreiz für die Teilnahme an der Studie zu schaffen, soll ein kleiner interner Wettbewerb die Motivation der Probanden über die gesamte Untersuchungsdauer aufrechterhalten. Dabei wird die Anzahl der gelochten Putts aus zwei und vier Metern über beide Untersuchungstage (40 Putts) summiert. Der Gewinner*in ist derjenige, der die meisten Putts eingelocht hat und erhält einen kleinen Preis (Golfbuch). Außerdem soll mit diesem Wettbewerb die Ausfallquote der Studie minimiert werden.

2.4 Die exemplarische Falldarstellung

Nachdem im vorangegangenen Kapitel die verwendeten Messgeräte beschrieben und die Struktur des Experiments erläutert wurde, folgt ein exemplarisches Beispiel. Die Aufzeichnung zeigt die HRV- und die Atemfrequenzkurve eines Probanden sowie die Zusammenstellung der für die Studie relevanten Messparameter.

2.4.1 Darstellung der Basisdaten

Präsentiert wird ein männlicher Spieler, 44 Jahre alt, mit vierjähriger Golferfahrung und einer Spielstärke von 26,8 (Handicap). Die folgenden Abbildungen (Abbildungen 8 & 9) zeigen eine Messaufzeichnung mit vorgegebener RFB-Atemfrequenz. Nach Beendigung des HRV-Messvorgangs mit dem Mindfield-eSense-Pulse und dem eSense-Respiration sind folgende Daten durch die Software abrufbar: Die gesamten Messdaten der einzelnen Messzeitpunkte lassen sich ebenfalls als CSV-Datei exportieren.

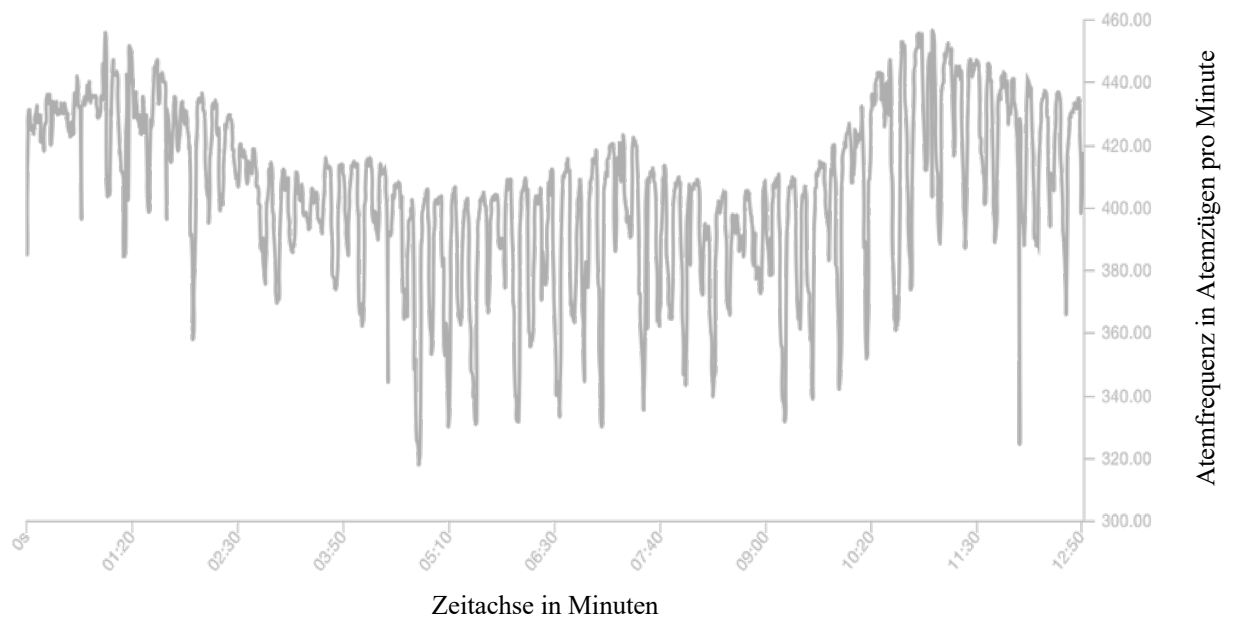


MAXIMUM 99,20 HR	MINIMUM 70,20 HR
DIFFERENZ MIN/MAX 29,00 HR	DURCHSCHNITT SESSION 83,26 HR
BEFESTIGUNG DER ELEKTRODEN: Brustgurt	WIE FÜHLEN SIE SICH? 3
IHRE PUNKTE: 839,11	SDNN 46,90 ms
RMSSD 22,55 ms	NN50 31
PNN50 3,97 %	STRESS INDEX 108,97
DURCHSCHNITT HR 82,90 HR	DURCHSCHNITT RR 723,63 ms
ANZAHL KORRIGIERTER WERTE 0	KORRIGIERTE WERTE PROZENT 0,00 %

Abbildung 8: Mindfield eSense-Pulse HRV-Diagramm mit Basisdaten, eigene Darstellung

Die Abbildung 8 zeigt ein Zeitreihen-Diagramm in Abhängigkeit von der HRV. Dabei ist zu erkennen, dass die Linie zwischen 70 und 100 Herzschlägen pro Minute schwankt. Diese Schwankungen tangieren unter anderem das oben beschriebene Zusammenspiel zwischen Sympathikus und Parasympathikus. Steigt die Linie im Graph an, folgen die aufeinanderfolgenden Herzschläge in einem kürzeren Intervall und die HF nimmt zu. Gegenätzlich vermindert sich die HF, wenn die Linie im Graph sinkt und daher das Intervall zwischen den RR-Zacken länger wird.

Abbildung 9 stellt ein Zeitreihen-Diagramm der Atemfrequenz dar. Auf der Ordinate wird die Atemfrequenz abgebildet, welche die Tiefe der Inspiration und Expiration aufzeichnet. In diesem Beispiel schwankt die respiratorische Amplitude zwischen knapp 310 und 470. Zu erkennen ist, dass im ersten Drittel des Diagramms die respiratorische Amplitude weniger stark ausgeprägt ist als im zweiten und dritten Drittel. Daraus lässt sich ableiten, dass die Expansion und Kompression der Bauchatmung und damit die Tiefe der Inspiration und Expiration des Probanden im ersten Drittel gehemmt ist. Möglicherweise hatte der Proband in der Eingewöhnungsphase der RFB-Atemfrequenz Mühe mit der zeitlichen Vorgabe des Atemmusters.



MAXIMUM 466,23 RA	MINIMUM 314,04 RA
DURCHSCHNITTLICHERATEMZUG PRO MINUTE 17,03	KOHÄRENZ 0-30 % 0,00 %
KOHÄRENZ 30-70 % 100,00 %	KOHÄRENZ 70-100 % 0,00 %
Atemzüge pro Minute 3-6 1,15 %	Atemzüge pro Minute 6-9 1,44 %
Atemzüge pro Minute 9-12 1,73 %	Atemzüge pro Minute >12 95,68 %
DURCHSCHNITT SESSION 405,81 RA	WIE FÜHLEN SIE SICH? 7

Abbildung 9: Mindfield eSense Respiration Atemfrequenz-Diagramm mit Basisdaten, eigene Darstellung

2.4.2 Relevante Messparameter

Mindfield e-Sense Pulse

- Durchschnittliche Herzfrequenz (HF)

Definition: Die HF bezeichnet die Anzahl der Herzaktionen während einer bestimmten Zeiteinheit (pro Minute).

Die HF wurde über den gesamten Messzeitraum von ca. zehn Minuten aufgezeichnet und der Durchschnitt ermittelt.

- Durchschnitt RR-Intervalle (RR)

Definition: Durchschnittliches Zeitintervall zwischen zwei aufeinanderfolgenden R-Zacken (im EKG), gemessen in Millisekunden (ms).

Gemessen wird der Zeitraum zwischen erstem Putt aus zwei Meter Distanz bis letztem Putt aus vier Meter Distanz, wovon der Durchschnitt berechnet wurde.

- Standard Deviation of NN Interval (SDNN)

Definition: Bezeichnet die Standardabweichung aller normalen NN-Intervalle (RR-Intervalle) in einem definierten Zeitraum, gemessen in Millisekunden (ms).

Hohe Werte bezeichnen eine hohe Variabilität und damit eine große Anpassungsfähigkeit. Der Messzeitraum ist identisch mit HF und RR.

- Root Mean Square of Successive Differences (RMSSD)

Definition: Quadratwurzel aus dem arithmetischen Mittel der quadrierten Differenzen zwischen benachbarten NN-Intervallen.

- NN50

Definition: Anzahl der Paare benachbarter NN-Intervalle (RR-Intervalle) in der gesamten Aufzeichnung, die mehr als 50ms voneinander abweichen.

Höhere Werte von RMSSD und NN50 weisen auf vermehrte parasympathische Aktivität hin. Der gemessene Zeitraum ist kongruent zu den zuvor beschriebenen Parametern (siehe Flussdiagramm "Ablauf der Messung", S. 27).

Mindfield e-Sense Respiration

- Durchschnittliche Atemfrequenz

Definition: Als Atemzüge bezeichnet man die Zahl der Atemzüge pro Zeiteinheit (pro Minute).

Die Atemfrequenz wurde über den Zeitraum der zweiminütigen Eingewöhnungsphase bis zum letzten Putt aus vier Metern Distanz aufgezeichnet und davon der Durchschnitt errechnet (siehe Flussdiagramm “Ablauf der Messung“, S. 27).

Manuelle Dokumentation

- Anzahl gelochter Putts aus zwei Meter Distanz
- Anzahl gelochter Putts aus vier Meter Distanz

NASA – Task-Load-Index-Fragebogen

Der NASA-TLX-Fragebogen ist ein standardisierter Fragebogen mit einer mehrdimensionalen Skala, welche die subjektive Arbeitsbelastung einer Person während oder unmittelbar nach der Durchführung einer Aufgabe ermitteln soll (siehe Anhang 4). Er wurde am Ames Research Center der NASA entwickelt und findet in verschiedenen Bereichen Anwendung – etwa in der Luftfahrt zur Bewertung der Arbeitsbelastung von Piloten, in der Medizin zur Beurteilung der Beanspruchung von Chirurgen und Pflegepersonal sowie im Militär zur Einschätzung der Arbeitsbelastung von Soldaten. Der Fragebogen ist in sechs Subskalen unterteilt und bewertet die Belastung von 0 bis 20. Der Wert jeder Subskala ist ein Einzelmesswert. Je nach Fragestellung können Subskalen auch einzeln verwendet oder untereinander kombiniert werden (Hart, 2006).

Den Probanden wird der Fragebogen direkt nach Abschluss der quantitativ erhobenen Messdaten auf dem Putting-Grün ausgehändigt. Im Anhang 4 wird auf die Kurzfassung des NASA-TLX-Fragebogens hingewiesen. Der zeitliche Aufwand für die Probanden zum Ausfüllen des Fragebogens sollte maximal fünf Minuten betragen.

- Geistige Anforderung (GA)
Beschreibung: Wie viel geistige Anstrengung war bei der Informationsaufnahme und -verarbeitung erforderlich (z. B. Denken, Entscheiden, Rechnen, Erinnern, Hinsehen, Suchen)? War die Aufgabe leicht oder anspruchsvoll, einfach oder komplex, erforderte sie hohe Genauigkeit oder war sie fehlertolerant?

- Körperliche Anforderung (KA)
Beschreibung: Wie viel körperliche Aktivität war erforderlich (z. B. Ziehen, Drücken, Drehen, Steuern, Aktivieren)? War die Aufgabe leicht oder schwer, einfach oder anstrengend, erholsam oder mühselig?

- Zeitliche Anforderung (ZA)
Beschreibung: Wie viel Zeitdruck empfanden Sie hinsichtlich der Häufigkeit oder des Taktes, mit dem Aufgaben oder Aufgabenelemente auftraten? War die Abfolge langsam und geruhsam oder schnell und hektisch?

- Leistung (L)
Beschreibung: Wie erfolgreich haben Sie Ihrer Meinung nach die vom Versuchsleiter (oder Ihnen selbst) gesetzten Ziele erreicht? Wie zufrieden waren Sie mit Ihrer Leistung bei der Verfolgung dieser Ziele?

- Anstrengung (A)
Beschreibung: Wie hart mussten sie arbeiten, um Ihren Grad an Aufgabenerfüllung zu erreichen?

- Frustration (F)
Beschreibung: Wie unsicher, entmutigt, irritiert, gestresst und verärgert (versus sicher, bestätigt, zufrieden, entspannt und zufrieden mit sich selbst) fühlten Sie sich während der Aufgabe?

- Durchschnitt aller Subskalen des NASA -TLX-Fragebogens

3 Ergebnisse

3.1 Die Stichprobe

Die erhobenen Daten wurden einer statistischen Analyse unterzogen, um ihre Aussagekraft und Relevanz im Hinblick auf die Beantwortung der Untersuchungsfragen zu evaluieren. Hierzu erfolgte die Auswertung sämtlicher Messreihen unter Verwendung der Software SPSS Version 30.0 (Statistical Package for the Social Science).

Es wurden insgesamt 28 Probanden untersucht, wovon 9 weibliche und 19 männliche Teilnehmer waren. Es haben $n = 7$ Teilnehmer Erfahrung mit Atemtechniken, die sie beispielsweise im Yoga praktizieren. Insgesamt wurden $n = 4$ Drop-outs registriert, die nur einen der zwei Messvorgänge durchgeführt hatten und deshalb von der statistischen Auswertung ausgeschlossen wurden. Das durchschnittliche Alter der Testpersonen liegt bei knapp 51 Jahren ($M = 50.96$, $SD = 8.32$ Jahre). Weitere durchschnittliche Merkmale der Stichprobe waren das Handicap ($M = 28.68$, $SD = 10.29$ Hcp.) und die Anzahl Jahre der Golferfahrung ($M = 7.25$, $SD = 3.54$ Jahre, Tabelle 1).

	Mittelwert (M)	Standardabweichung (SD)
Alter (Jahre)	50.96	8.32
Handicap (Hcp.)	28.68	10.29
Golf-Erfahrung (Jahre)	7.25	3.54

Tabelle 1: Demografie der Stichprobe, eigene Darstellung

3.2 HRV-Parameter

3.2.1 Normalverteilung HRV-Parameter

Die statistische Auswertung beginnt mit der Prüfung der Normalverteilung der relevanten HRV-Messparameter. Hierfür wurde der Kolmogorov-Smirnov-Test verwendet, der die empirische Verteilung der Messdaten mit der theoretischen Verteilung vergleicht. Die entsprechenden Signifikanzwerte (p-Werte) sind in Tabelle 6 im Anhang aufgeführt.

In der Literatur wird für den Kolmogorov-Smirnov-Test ein Signifikanzniveau von $\alpha = 10\%$ empfohlen, welches bei der durchschnittlichen HF der Kontrollgruppe, dem SDNN-Wert der Kontrollgruppe, dem RMSSD-Wert beider Gruppen und dem NN50-Wert beider Gruppen nicht erreicht wurde. Normwerte der HRV werden gegenwärtig in der Wissenschaft noch immer untersucht, dies gilt sowohl für Langzeitmessungen (24 Stunden) als auch für Kurzzeitmessungen (5 - 15 Minuten), da diese von vielen Einflussfaktoren wie Alter, Gesundheitszustand und Fitnesslevel abhängig sind (Lohninger, 2021). Vergleichbare Messwerte für Kurzzeitmessungen sind daher diskutabel (Nunan et al., 2010). Aufgrund der kleinen Stichprobengröße, der homogenen Altersgruppe und keinerlei Anzeichen auf Messartefakte oder Verzerrungen wird das Signifikanzniveau des Kolmogorov-Smirnov-Tests auf $\alpha = 5\%$ herabgesetzt und es wird davon ausgegangen, dass in diesem Experiment die Verteilung der entsprechenden Größen die allgemeine Population reproduziert. Mit dieser Herabstufung wird davon ausgegangen, dass die durchschnittliche HF der Kontroll- und Interventionsgruppe ($p > 0.05$), der durchschnittliche RR der Kontroll- und Interventionsgruppe ($p > 0.05$) sowie der SDNN der Kontroll- und Interventionsgruppe ($p > 0.05$) und der RMSSD der Interventionsgruppe ($p > 0.05$) normalverteilt ist. Trotz der Herabstufung des Signifikanzniveaus weisen drei HRV-Parameter, RMSSD der Kontrollgruppe ($p < 0.05$) und die NN50-Werte beider Gruppen ($p < 0.05$) keine normalverteilten Werte auf, und somit eine Interpretation auf die Gesamtpopulation nicht zulässig ist.

3.2.2 Mittelwertvergleich HRV-Parameter

Nachdem die Voraussetzung für einen gepaarten Mittelwertvergleich durch die Normalverteilung der Messwerte von HF, RR-Intervall und SDNN gegeben ist, wird im folgenden Abschnitt ein gepaarter t-Test der HRV-Messdaten durchgeführt. Aufgrund der nicht normalverteilten RMSSD-Messwerte und NN50-Messwerte wird die Signifikanzprüfung durch den Wilcoxon-Rang-Test vorgenommen. Anlässlich der bewussten Senkung der Atemfrequenz durch die Interventionsatmung wird angenommen, dass die zeitbasierten HRV-Parameter sich signifikant von der Kontrollgruppe unterscheiden.

Die Ergebnisse des Mittelwertvergleichs der HRV-Messdaten finden sich in Tabelle 2. In der Gegenüberstellung der beiden Gruppen ist zu sehen, dass die Mittelwerte des ersten Paares HF-K ($M = 91.85$; $SD = 11.10$) und HF-I ($M = 86.38$; $SD = 8.10$) eine Differenz von -5,47 Herzschlägen pro Minute aufweisen und damit die HF der Interventionsgruppe über den Messzeitraum signifikant langsamer geschlagen hat ($t(27) = 3.236$, $p = 0.003$, $Cohen's d_z = -0.612$). Die nächste Zeile gibt das Paar der durchschnittlichen Mittelwerte der RR-Intervalle RR-K ($M = 661.30$; $SD = 78.13$) und RR-I ($M = 700.68$; $SD = 68.62$) an, welche eine Differenz von 39.38 Millisekunden zeigt. Ein höheres durchschnittliches Zeitintervall zwischen den einzelnen Herzschlägen korreliert mit einer geringeren durchschnittlichen HF und ist innerhalb dieser Stichprobe statistisch signifikant ($t(27) = -3.331$, $p = 0.003$, $Cohen's d_z = 0.626$). Aussagekräftiger Parameter für die Variabilität ist die Größe des SDNN, der die zeitliche Anpassungsfähigkeit der HF kennzeichnet. Mit einem durchschnittlichen Mittelwert der Interventionsgruppe SDNN-I ($M = 62.46$; $SD = 24.80$) ist dieser größer als der der Kontrollgruppe SDNN-K ($M = 53.85$; $SD = 29.26$). Die Differenz der Variabilität ist damit 8.61 Millisekunden größer und ist statistisch signifikant ($t(27) = -2.171$, $p = 0.039$, $Cohen's d_z = 0.410$). Daher wird die zuvor aufgestellte Hypothese, dass die Anpassung der Atemfrequenz einen positiv signifikanten Einfluss auf die durchschnittliche HF, das durchschnittliche RR-Intervall und den SDNN-Wert hat, angenommen.

	Mittelwert (M)	Standardabweichung (SD)	Mittelwert- differenz (I-K)	Signifikanz (zweiseitiges p)	Cohen's d_z (Effektstärke r)
HF-K (S/min)	91.85	11.10	-5.47	0.003	-0.612 (-0.293)
HF-I (S/min)	86.38	8.10			
RR-K (ms)	661.30	78.13	39.38	0.003	0.626 (0.299)
RR-I (ms)	700.68	68.62			
SDNN-K (ms)	53.85	29.26	8.61	0.039	0.410 (0.201)
SDNN-I (ms)	62.46	24.80			

HF-K/I = Herzfrequenz der Kontrollgruppe/Interventionsgruppe; S/min = Schläge pro Minute; RR-K/I = RR-Intervall der Kontrollgruppe/Interventionsgruppe; ms = Millisekunden; SDNN-K/I = Standard Deviation of NN-Intervall der Kontrollgruppe/Interventionsgruppe

Tabelle 2: Mittelwertvergleich der HRV-Messdaten, eigene Darstellung

Zur Veranschaulichung der oben beschriebenen Messwerte werden im Folgenden die drei Paare in einem Säulendiagramm graphisch dargestellt (Abbildungen 10-12). Zu sehen sind die durchschnittliche HF mit dazugehöriger Standardabweichung sowie das durchschnittliche RR-Intervall und durchschnittliche SDNN. Aus den Grafiken wird der zuvor angenommene Unterschied zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe ersichtlich. Auffallend ist, dass die Standardabweichung der HF-I, RR-I und SDNN-I der Interventionsgruppe in allen drei Fällen geringer ist als die der Kontrollgruppe, was auf eine geringere Varianz der Messwerte hindeutet.

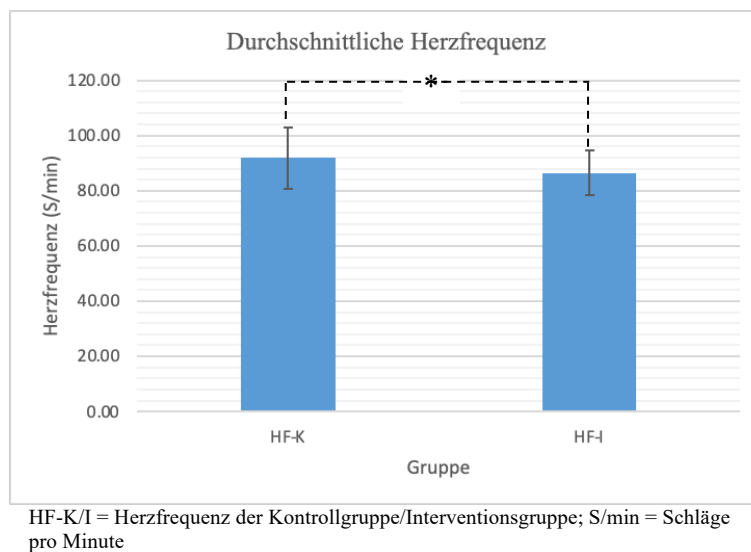


Abbildung 10: Durchschnittliche Herzfrequenz, eigene Darstellung

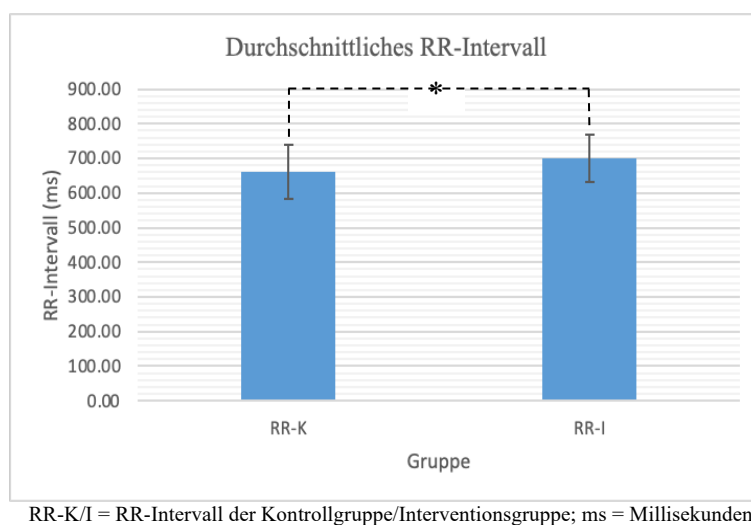
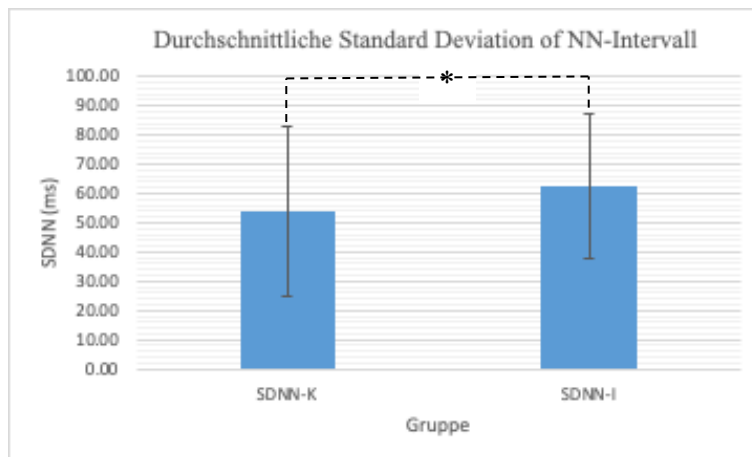


Abbildung 11: Durchschnittliches RR-Intervall, eigene Darstellung



SDNN-K/I = Standard Deviation of NN-Intervall der Kontrollgruppe/Interventionsgruppe; ms = Millisekunden

Abbildung 12: Durchschnittliche Standard Deviation of NN-Intervall, eigene Darstellung

Nachfolgend werden der RMSSD- und NN50-Wert der Kontroll- und Interventionsgruppe tabellarisch aufgezeigt (Tabelle 3). In der Literatur werden diese Werte zur Beurteilung der parasympathischen Aktivität herangezogen, da sie anzeigen, wie effektiv der Organismus zwischen Phasen von Belastung und Erholung wechseln kann (Lohninger, 2021). Durch die standardisierte Vorgabe der Atemfrequenz im Rahmen der RFB-Intervention soll eine maximale Aktivierung des vegetativen Nervensystems erreicht und die Balance sowie das Zusammenspiel zwischen Sympathikus und Parasympathikus gezielt angeregt werden.

	Mittelwert (M)	Standardabweichung (SD)	Mittelwert-differenz (I-K)	Signifikanz (zweiseitiges p)	Cohen's d_z (Effektstärke r)
RMSSD-K (ms)	33.78	38.53	-1.71	0.452	-0.072 (-0.036)
RMSSD-I (ms)	32.07	21.39			
NN50-K (Anz)	41.39	63.73	10.61	0.112	0.315 (0.155)
NN50-I (Anz)	52.00	60.02			

RMSSD-K/I = Root Mean Square of Successive Differences der Kontrollgruppe/Interventionsgruppe; NN50-K/I = NN50 der Kontrollgruppe/Interventionsgruppe; ms = Millisekunden; Anz = Anzahl

Tabelle 3: Mittelwertvergleich der HRV-Parameter, welche die parasympathische Aktivität präsentieren, eigene Darstellung

Die mittels des Wilcoxon-Rang-Tests bestimmten Signifikanzwerte (Tabelle 3) für die Differenz der Paare des durchschnittlichen RMSSD-K ($M = 33.78$, $SD = 38.53$) und RMSSD-I ($M = 32.07$, $SD = 21.39$) sowie der durchschnittlichen NN50-K ($M = 41.39$, $SD = 63.73$) und NN50-I ($M = 52.00$, $SD = 60.02$) überschreiten das festgelegte Signifikanzniveau von $\alpha = 5\%$ mit RMSSD ($z = -0.751$, $p = 0.452$, *Cohen's $d_z = -0.072$*) und NN50 ($z = -1.588$, $p = 0.112$, *Cohen's $d_z = 0.315$*). Folglich sind die Ergebnisse nicht signifikant. Die zuvor formulierte Hypothese, dass die RFB-Atmung alle für diese Untersuchung relevanten HRV-Parameter signifikant beeinflusst, muss daher für die RMSSD- und NN50-Werte verworfen werden. Die Analyse der Standardabweichungen (Tabelle 3) zeigt, dass in drei von vier Fällen (RMSSD-K, NN50-K und NN50-I) die Standardabweichung den jeweiligen Mittelwert übersteigt. Die Messwerte zeigen eine hohe Variabilität, was durch das Vorhandensein von Ausreißern oder Störfaktoren bedingt sein kann. Die ausgeprägte Streuung der Messwerte wird in den Abbildungen 13 und 14 grafisch veranschaulicht.

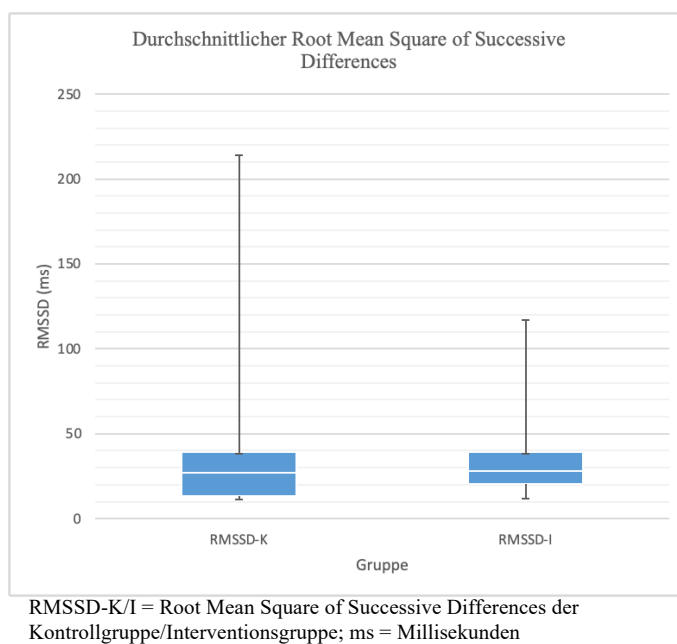


Abbildung 13: Durchschnittlicher Root-Mean-Square-of-Successive-Differences, eigene Darstellung

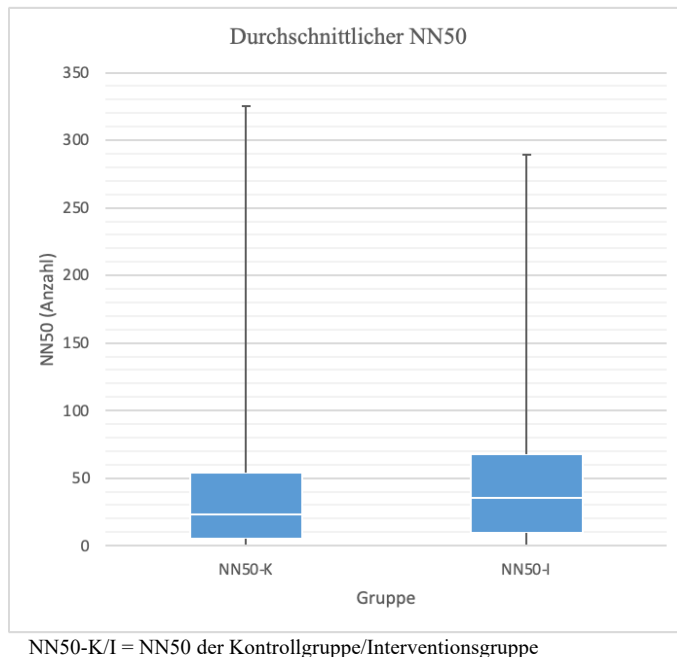


Abbildung 14: Durchschnittlicher NN50, eigene Darstellung

3.3 Atemfrequenz Messparameter

3.3.1 Normalverteilung Atemfrequenzparameter

Bevor ein Mittelwertvergleich der Atemfrequenz zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe durchgeführt werden kann, soll das Kriterium der Normalverteilung mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnov-Tests geprüft werden. In beiden Gruppen ist eine Überschreitung des Grenzwerts von $\alpha = 10\%$ (Kolmogorov-Smirnov-Tests) gegeben (siehe Tabelle 7 im Anhang). Aufgrund dieser Überschreitung des Grenzwerts kann davon ausgegangen werden, dass die Messwerte der Atemfrequenzmessung in der Kontrollgruppe, $p > 0.10$ und Interventionsgruppe, $p > 0.10$ normalverteilt sind. Fortführend kann damit die Berechnung des gepaarten t-Tests der Atemfrequenzmesswerte stattfinden.

3.3.2 Mittelwertvergleich Atemfrequenz

Hinsichtlich der Atemfrequenz sollte diese auf ungefähr sechs Atemzyklen pro Minute reduziert werden, um den größtmöglichen Resonanzeffekt auf den Baroreflex zu erzielen (siehe 1.8.1. Resonanz-Frequenz-Atmung, S.13). Überprüft werden soll das Vorliegen eines signifikanten Unterschiedes der Atemfrequenz zwischen der bewusst gesteuerten Atmung der Interventionsgruppe und der willkürlichen Atemfrequenz der Kontrollgruppe.

Die Ergebnisse aus Tabelle 4 zeigen das untersuchte Paar zwischen der durchschnittlichen Atemfrequenz von Kontroll- und Interventionsgruppe. Die Kontrollgruppe (Af.-K) atmete mit einem gemittelten Wert von 19.98 Atemzügen pro Minute ($SD = 4.86$). Des Weiteren ist der Mittelwert der durchschnittlichen Atemfrequenz der Interventionsgruppe (Af.-I) ($M = 13.57$, $SD = 4.27$) zu sehen, der mit 13.57 Atemzügen pro Minute deutlich höher liegt als die Vorgabe der RFB.

	Mittelwert (M)	Standardabweichung (SD)	Mittelwert- differenz (I-K)	Signifikanz (zweiseitiges p)	Cohen's d_z (Effektstärke r)
Af.-K (Az/min)	19.98	4.86	-6.41	<0.001	-1.552 (-0.613)
Af.-I (Az/min)	13.57	4.27			

Af-K/I = Atemfrequenz der Kontrollgruppe/Interventionsgruppe; Az/min = Atemzüge pro Minute

Tabelle 4: Mittelwertvergleich der Atemfrequenz Messdaten, eigene Darstellung

Tabelle 4 zeigt einen signifikanten Unterschied zwischen der Atemfrequenz der Kontroll- und Interventionsgruppe ($t(27) = 6.869$, $p < 0.001$, $Cohen's d_z = -1.552$). Die folgende Abbildung (Abbildung 15) verdeutlicht die oben beschriebenen Atemfrequenz-Messwerte mit den dazugehörigen Standardabweichungen.

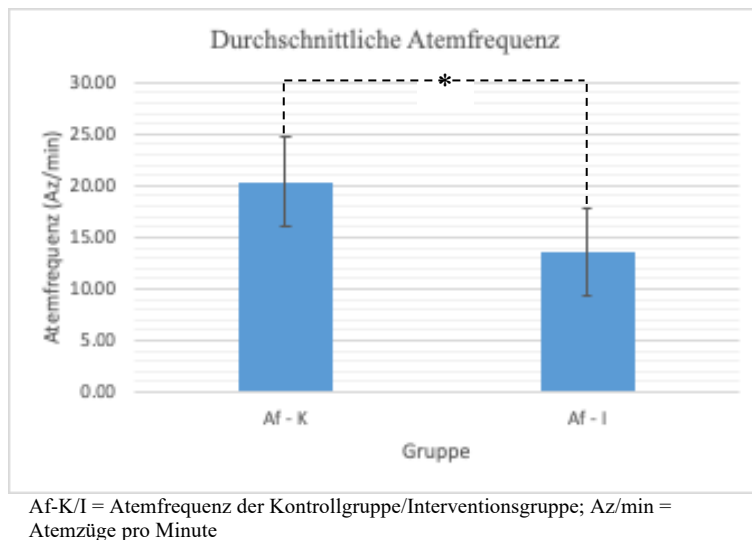


Abbildung 15: Durchschnittliche Atemfrequenz, eigene Darstellung

3.4 Mittelwertvergleich Putt-Resultat

Die Auswertung der Putt-Statistik erfolgte mittels gepaarten t-Tests. Geputtet wurde aus zwei Metern Distanz (Pt2-K und Pt2-I) sowie aus vier Metern Distanz (Pt4-K und Pt4-I). Die Analyse erfolgte anhand der Anzahl erfolgreich eingelochter Putts (nach einem Schlag) aus den jeweiligen Distanzen sowie einer Gesamttrefferquote zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe (Gesamt-Pt-K und Gesamt-Pt-I). Die maximal erreichbare Anzahl erfolgreicher Putts nach einem Schlag betrug zwanzig eingelochte Putts über beide Distanzen hinweg.

In Tabelle 5 sind die Mittelwerte der Anzahl gelochter Putts aus zwei und vier Meter Distanz dargestellt. Der Mittelwert der Interventionsgruppe ($M = 5.54$, $SD = 2.38$) aus zwei Meter Distanz (Pt2-I) hat im Durchschnitt mit 5,54 eingelochten Putts aus 10 möglichen Treffern ein besseres Putt-Resultat als die Kontrollgruppe ($M = 4.96$, $SD = 2.69$) erzielt. Der Unterschied war jedoch nicht signifikant ($t(27) = -1.092$, $p = 0.284$, $Cohen's d_z = 0.209$). Hingegen sind in der Interventionsgruppe aus vier Metern Distanz ($M = 2.00$, $SD = 1.33$) mehr Schläge notwendig gewesen als in der Kontrollgruppe ($M = 2.25$, $SD = 1.62$). Der Unterschied war jedoch ebenfalls nicht signifikant ($t(27) = 0.753$, $p = 0.458$, $Cohen's d_z = -0.142$). Bei der Betrachtung der entsprechenden Standardabweichungen fällt auf, dass diese in der Interventionsgruppe mit 2,38 und 1,33 Schlägen geringer ausgefallen sind als die der Kontrollgruppe. Die Gesamttrefferquote lag bei der Interventionsgruppe mit ($M = 7.54$, $SD = 3.06$) leicht

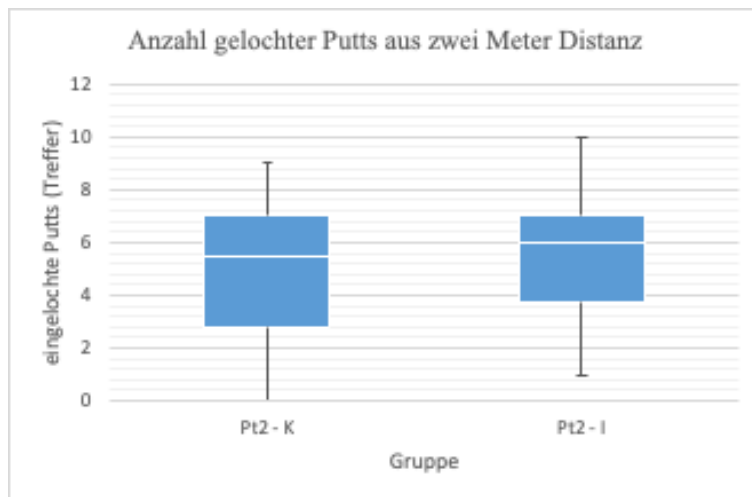
höher als bei der Kontrollgruppe ($M = 7.21$, $SD = 3.35$) war statistisch nicht signifikant ($t(27) = -0.474$, $p = 0.640$, *Cohen's d_z* = 0.092).

	Mittelwert (M)	Standardabweichung (SD)	Mittelwert-differenz (I-K)	Signifikanz (zweiseitiges p)	Cohen's d_z (Effektstärke r)
Pt2-K (Schläge)	4.96	2.69	0.58	0.284	0.209 (0.104)
Pt2-I (Schläge)	5.54	2.38			
Pt4-K (Schläge)	2.25	1.62	-0.25	0.458	-0.142 (-0.071)
Pt4-I (Schläge)	2.00	1.33			
Gesamt Pt-K (Schläge)	7.21	3.35	0.33	0.640	0.092 (0.046)
Gesamt Pt-I (Schläge)	7.54	3.06			

Pt2-K/I = zwei Meter Putt der Kontrollgruppe/Interventionsgruppe; Pt4-K/I = vier Meter Putt der Kontrollgruppe/Interventionsgruppe; Gesamt-Pt-K/I = Gesamte Trefferquote der Kontrollgruppe/Interventionsgruppe

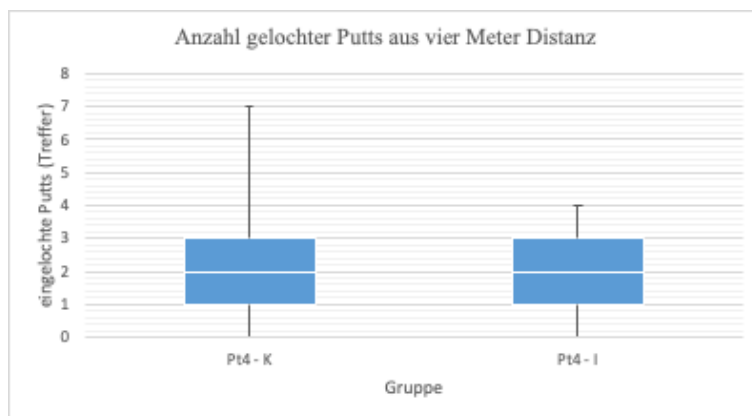
Tabelle 5: Mittelwertvergleich des Putt-Resultats, eigene Darstellung

Daraus lässt sich ableiten, dass der Effekt der Intervention keinen signifikanten Einfluss auf das Putt-Resultat hat und damit die Nullhypothese nicht zurückgewiesen werden kann. Die Interventionsgruppe (Pt2-I) weist im Vergleich zur Kontrollgruppe (Pt2-K) eine geringere Streuung bei den Putt-Ergebnissen aus zwei Metern auf (siehe Abbildung 16). Diese verringerte Variabilität deutet auf eine gehäufte Anzahl an Putts im Bereich von vier bis sechs erfolgreichen Versuchen hin, wodurch der Median auf sechs eingelochte Putts ansteigt. In Abbildung 17 wird hingegen eine weitgehend homogene Verteilung der Putt-Ergebnisse aus einer Distanz von vier Metern sichtbar. Ein auffälliger Unterschied zeigt sich lediglich in der Kontrollgruppe, in der ein deutlicher Ausreißer mit sieben erfolgreichen Putts zu beobachten ist, wodurch der durchschnittliche Mittelwert der Kontrollgruppe (Pt4-K) nach oben beeinflusst wird. Die Gesamttrefferquote der Kontrollgruppe (Gesamt-K) und der Interventionsgruppe (Gesamt-I) zeigt in Abbildung 18 ebenfalls eine größtenteils homogene Verteilung.



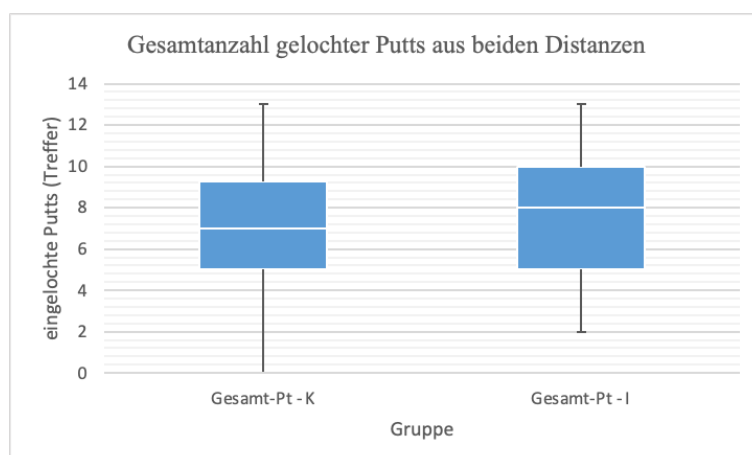
Pt2-K/I = zwei Meter Putt der Kontrollgruppe/Interventionsgruppe

Abbildung 16: Anzahl gelochter Putts aus zwei Meter Distanz, eigene Darstellung



Pt4-K/I = vier Meter Putt der Kontrollgruppe/Interventionsgruppe

Abbildung 17: Anzahl gelochter Putts aus vier Meter Distanz, eigene Darstellung



Gesamt-Pt-K/I = Gesamt-Putt-Resultat aus beiden Distanzen der Kontrollgruppe/Interventionsgruppe

Abbildung 18: Gesamtanzahl gelochter Putts aus beiden Distanzen, eigene Darstellung

Dennoch konnte im Mittel das Putt-Resultat aus zwei Meter Distanz um 0.58 Treffer und die Gesamtreffsicherheit in der Interventionsgruppe um 0.33 Treffer aus zehn Puttversuchen verbessert werden. Aufgrund dessen sollen im folgenden Abschnitt mögliche Einflussfaktoren der HRV-Messdaten mit dem Putt-Resultat aus zwei Meter Distanz und die Gesamtreffsicherheit noch einmal genauer untersucht werden.

3.4.1 Zwei-Meter-Putt-Resultat in Abhängigkeit von den HRV-Parametern

Betrachtet man die Steigerung der Putt-Erfolgsquote aus zwei Meter Distanz stellt sich die Frage, welche Wirkungsmechanismen für diese Verbesserung verantwortlich sind. Zur Untersuchung der Wirkungsmechanismen, die für eine Verbesserung der Putt-Erfolgsquote verantwortlich sind, werden die HRV-Messdaten in Abhängigkeit vom Zwei-Meter-Putt-Erfolg untersucht. Zur Bestimmung eines möglichen linearen Zusammenhangs wird eine multiple lineare Regressionsanalyse durchgeführt. Berücksichtigte HRV-Prädiktoren sind aufgrund der Voraussetzung von normalverteilten Messdaten die durchschnittliche HF (HF-K & I), das durchschnittliche RR-Intervall (RR-K & I) und der SDNN (SDNN-K & I). Ermittelt werden soll, ob eine niedrige HF, ein hohes RR-Intervall oder ein großes SDNN in einem positiv linearen Zusammenhang zum Zwei-Meter-Putt-Erfolg stehen.

Die Ergebnisse der multiplen linearen Regressionsanalyse zeigen, dass die Prädiktoren HF, RR-Intervall und SDNN keinen signifikanten Einfluss auf die Varianz des Putt-Resultats aus einer Distanz von zwei Metern haben ($R^2_{adj} = -0.035$; $F(3,52) = 0.387$, $p = 0.763$). Die Veränderung der HF beträgt -0.054 Schläge pro Minute ($\beta = -0.054$; $t(52) = -0.254$; $p = 0.801$). Für das RR-Intervall ergibt sich eine geschätzte Abnahme um -0,012 Millisekunden ($\beta = -0,012$; $t(52) = -0.432$; $p = 0.674$), während für SDNN eine geschätzte Zunahme von 0.007 Millisekunden beobachtet wird ($\beta = 0.007$; $t(52) = 0.491$; $p = 0.626$). Die Ergebnisse zeigen, dass die Steigerung der Erfolgsquote beim Putten aus zwei Metern Distanz nicht durch die Variablen HF, RR-Intervall oder SDNN erklärt werden können.

3.4.2 Differenz der Gesamttrefferquote in Abhängigkeit von den HRV-Parametern

Im Rahmen der Analyse wird untersucht, ob sich aus der Differenz der Gesamttrefferquoten zwischen Interventions- und Kontrollgruppe ($\text{Gesamt}_{\text{Diff}}$) Rückschlüsse auf die Wirksamkeit der RFB-Methode im Hinblick auf das Gesamt Putt-Resultat ziehen lassen. Ziel ist es, festzustellen, ob die Interventionsgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe eine signifikant höhere Treffsicherheit in Abhängigkeit von bestimmten HRV-Parametern aufweist. Zur Prüfung eines möglichen linearen Zusammenhangs wird eine multiple lineare Regressionsanalyse durchgeführt. Dabei werden als Prädiktoren – unter der Voraussetzung der Normalverteilung der Messdaten – die Differenz der durchschnittlichen HF_{Diff} (HF-I minus HF-K), die Differenz des durchschnittlichen RR_{Diff} (RR-I minus RR-K) sowie die Differenz des $\text{SDNN}_{\text{Diff}}$ (SDNN-I minus SDNN-K) berücksichtigt.

Die Ergebnisse der multiplen linearen Regressionsanalyse zeigen, dass eine negative Korrelation ($R^2_{\text{adj}} = -0.022$; $F(3,24) = 0.806$, $p = 0.503$) zwischen den unabhängigen Variablen (HF_{Diff} , RR_{Diff} und $\text{SDNN}_{\text{Diff}}$) und der abhängigen Variablen ($\text{Gesamt}_{\text{Diff}}$) besteht. Des Weiteren ist keiner der Regressionskoeffizienten statistisch signifikant (HF_{Diff} . $p = 0.384$; RR_{Diff} . $p = 0.507$; $\text{SDNN}_{\text{Diff}}$. $p = 0.303$). Damit muss die Hypothese eines signifikanten Zusammenhangs zwischen der Differenz der Trefferquote von Kontroll- und Interventionsgruppe im Putt-Resultat durch die Veränderung der HF, des RR-Intervall sowie des SDNN verworfen werden.

3.5 Subgruppenanalyse bei Probanden mit Atemtechnik-Erfahrung

3.5.1 Putt-Resultat bei Probanden mit Atemtechnik-Erfahrung

Aufgrund des zuvor analysierten Einflusses der HRV-Parameter auf das Putt-Resultat, der sich als nicht signifikant erweist, wird im folgenden Abschnitt der Fokus auf Probanden gelegt, die Erfahrung mit Atemtechniken angegeben haben. Da der Stichprobenumfang der Probanden mit Atemtechnik-Erfahrung mit $n = 7$ gering ist, kommt der Wilcoxon-Rang-Test zur Anwendung. Untersucht wird, ob Probanden mit Erfahrung in Atemtechniken zwischen willkürlicher Atmung (Kontrollgruppe) und bewusst gesteuerter Atmung (Interventionsgruppe) eine Optimierung der Treffsicherheit bei den Putt-Distanzen aus zwei und vier Metern zeigen.

Die Ergebnisse des Wilcoxon-Rang-Tests zeigen unterschiedliche Resultate für die beiden untersuchten Putt-Distanzen. Während für die Probanden mit Atemtechnik-Erfahrung in der Interventionsgruppe aus einer Distanz von zwei Metern gegenüber der Kontrollgruppe ein statistisch signifikanter Unterschied hinsichtlich des Putt-Resultats beobachtet wurde ($z = -2.226$, $p = 0.026$), konnte für die Putt-Distanz von vier Metern kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen nachgewiesen werden ($z = -0.707$, $p = 0.480$). Damit wird die zuvor formulierte Hypothese bei Probanden mit Erfahrung in Atemtechniken durch das Ergebnis aus zwei Metern Distanz gestützt, hingegen muss diese für die vier Meter Putt-Distanz verworfen werden.

3.5.2 HRV-Parameter bei Probanden mit Atemtechnik-Erfahrung

Auf die im vorherigen Abschnitt dargelegten Putt-Resultat-Messdaten der sieben Probanden mit Atemtechnik-Erfahrung folgt die statistische Auswertung der dazugehörigen HRV-Parameter. Diese Analyse wird mit einem Wilcoxon-Rang-Test durchgeführt, der Aufschluss über einen möglichen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der Kontroll- und Interventionsgruppe geben soll. Aufgrund des positiv signifikanten Unterschiedes in der durchschnittlichen HF, dem durchschnittlichen RR-Intervall und dem durchschnittlichen SDNN zwischen den beiden Gruppen innerhalb der gesamten Stichprobe (siehe Tabelle 2) wird auch bei

den Probanden mit Erfahrung in Atemtechniken ein signifikanter Unterschied angenommen. Zusätzlich wurden die HRV-Parameter RMSSD und NN50 in die Analyse einbezogen, da für dieses Testverfahren keine Normalverteilung der Daten vorausgesetzt wird. Es wird angenommen, dass sich auch diese beiden Parameter signifikant unterscheiden.

Die statistische Analyse der oben beschriebenen HRV-Parameter bei Probanden mit Atemtechnik-Erfahrung zeigt keine statistisch signifikanten Unterschiede hinsichtlich HF ($z = -0.338, p = 0.735$), RR-Intervall ($z = -0.507, p = 0.612$), SDNN ($z = -0.338, p = 0.735$), RMSSD ($z = -1.183, p = 0.237$) und NN50 ($z = -0.524, p = 0.600$) zwischen willkürlicher Atmung (Kontrollgruppe) und bewusst gesteuerter Atmung (Interventionsgruppe). Daher muss die zuvor angenommene Hypothese eines statistisch signifikanten Unterschieds der HRV-Parameter zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe von Probanden mit Atemtechnik-Erfahrung verworfen werden.

3.5.3 Atemfrequenz bei Probanden mit Atemtechnik-Erfahrung

Zur Vervollständigung werden in diesem Abschnitt die Atemfrequenzen der Probanden mit Atemtechnik-Erfahrung im Vergleich zu den Probanden ohne Atemtechnik-Erfahrung hinsichtlich signifikanter Unterschiede untersucht. Anlässlich der kleinen Stichprobe von $n = 7$ mit Atemtechnik-Erfahrung gegenüber $n = 21$ Probanden ohne Atemtechnik-Erfahrung wird die Signifikanzprüfung mit dem Wilcoxon-Rang-Test erfolgen. Es wird die Hypothese untersucht, dass Probanden mit Erfahrung in Atemtechniken eine signifikant niedrigere Atemfrequenz bei der Interventionsatmung aufweisen im Vergleich zu den Probanden ohne entsprechende Erfahrung.

Die Analyse zeigt einen statistisch signifikanten Unterschied von Probanden mit Erfahrung in der Anwendung von Atemtechniken zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe ($z = -2.197, p = 0.028$), sowie der Probanden ohne Vorerfahrung zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe ($z = -3.458, p < 0.001$). Jedoch atmeten die Probanden ohne Vorerfahrung in der Interventionsgruppe entgegen den Erwartungen im Durchschnitt langsamer ($M = 13,01, SD = 4.61$), als die Probanden der Interventionsgruppe mit Atemtechnik-Erfahrung ($M = 15.25, SD = 2.60$).

3.5.4 Intervention Atemfrequenz bei Rauchern vs. Nichtrauchern

Als Ergänzung werden die durchschnittlichen Interventionsatemfrequenzen zwischen Rauchern ($n = 10$) und Nichtrauchern ($n = 18$) untersucht. Geprüft wird mit einem Mittelwertvergleich, ob das Rauchen eine mögliche Beeinträchtigung der RFB darstellt. Vermutet wird, dass die Raucher größere Mühe hatten, die Interventionsatemfrequenz einzuhalten.

Nach Prüfung auf Normalverteilung (Nichtraucher $p > 0.10$; Raucher $p > 0.10$) zeigten sich sowohl bei Nichtrauchern ($M = 13.95$, $SD = 4.60$) als auch bei Rauchern ($M = 12.89$, $SD = 3.72$) ein signifikanter Unterschied (jeweils $p < 0.001$). Die Mittelwertdifferenz ($\Delta = 1.06$ Atemzüge pro Minute) zeigt eine geringere Atemfrequenz bei Rauchern gegenüber Nichtrauchern während der Intervention.

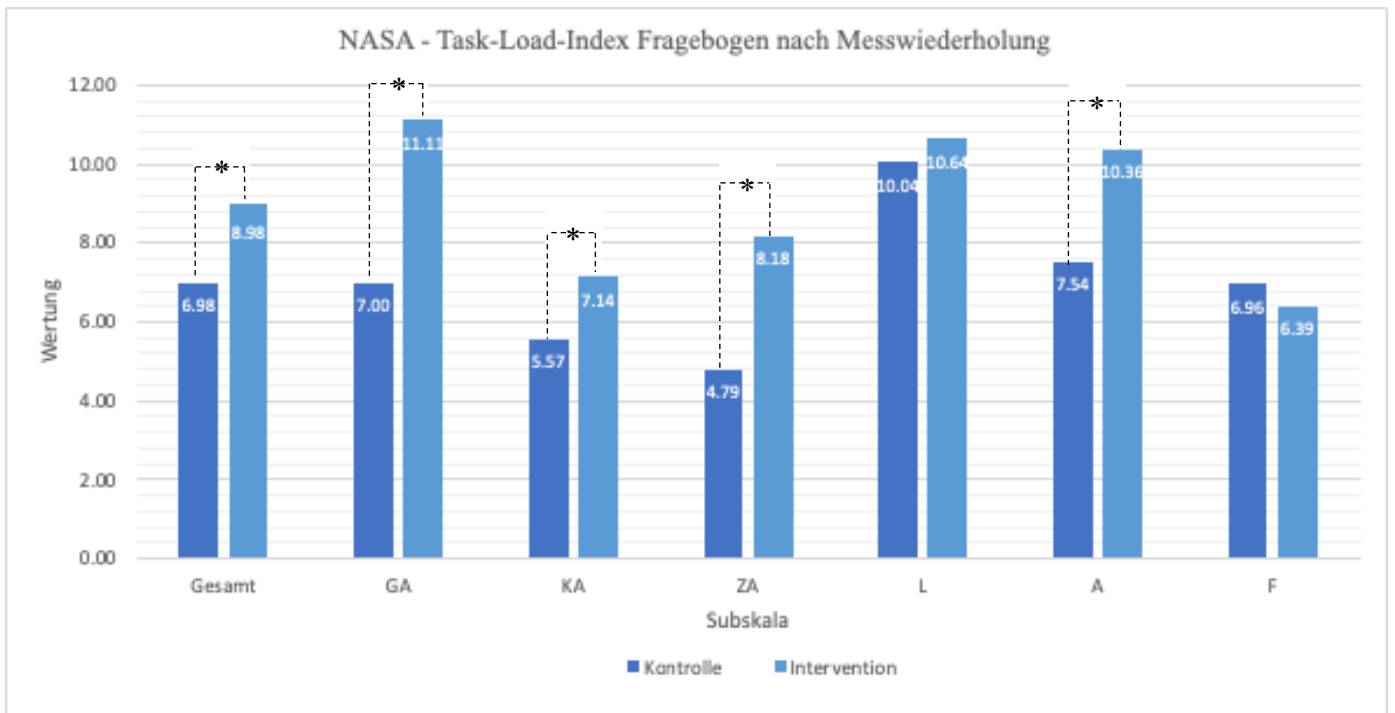
3.6 NASA – Task-Load-Index Fragebogen

Der NASA-TLX ist ein standardisierter Fragebogen zur Bewertung der wahrgenommenen Arbeitsbelastung bei der Ausführung von Aufgaben. Innerhalb dieser Studie wird dieser eingesetzt, um die psychophysiologische Beanspruchung während des Putt-Experiments einzuschätzen. Der Fragebogen wurde nach der Durchführung des Experiments von den Probanden der Kontroll- und Interventionsgruppe ausgefüllt. Die Auswertung der Gesamtbewertung und der sechs unterschiedlichen Subskalen erfolgt durch einen Wilcoxon-Rang-Test, der Aufschluss über einen möglichen statistisch signifikanten Belastungsunterschied geben soll. Die zugehörige Hypothese postuliert, dass die Interventionsbedingung mit einer erhöhten psychophysiologischen Beanspruchung der Probanden einhergeht.

Im Säulendiagramm von Abbildung 19 sind die durchschnittlichen Ergebnisse der psychophysiologischen Beanspruchung sowie die durchschnittlichen Ergebnisse der sechs Subskalen des NASA-TLX Fragebogens abgebildet. Die Analyse der geistigen Anforderung (GA) ergab, dass die mentale Beanspruchung während des Experiments unter der Bedingung der bewussten Atemfrequenzsteuerung signifikant höher war als in der Kontrollgruppe ($M = 7.00$, $SD = 4.30$ vs. $M = 11.11$, $SD = 3.73$; $z = -3.926$, $p < 0.001$, *Cohen's* $d_z = 0.954$). Ebenso zeigte sich für die körperliche Anforderung (KA) ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der Kontrollgruppe ($M = 5.57$, $SD =$

3.30) und der Interventionsgruppe ($M = 7.14$, $SD = 4.54$; $z = -2.159$, $p = 0.031$, *Cohen's* $d_z = 0.427$), obwohl sich die physische Belastung ausschließlich durch die Atemintervention unterschieden hat. Dieser Belastungsunterschied von GA und KA zeigt, dass die kognitiven und motorischen Ressourcen, die für das Bewältigen der doppelten Aufgabenstellung von Putt-Schlagausführung und Anpassung der Atemfrequenz in der Interventionsgruppe signifikant höher waren. Hinsichtlich der zeitlichen Anforderung (ZA) zwischen Kontrollgruppe ($M = 4.79$, $SD = 2.94$) und Interventionsgruppe ($M = 8.18$, $SD = 4.36$) kann ausgesagt werden, dass die Interventionsgruppe unter signifikant höherem Zeitdruck während des Experiments stand ($z = -3.306$, $p < 0.001$, *Cohen's* $d_z = 0.729$). Die zeitliche Belastung zwischen der Ausführung der einzelnen Putts war bei beiden Gruppen identisch, jedoch kann die zeitliche Belastung der Atemintervention von vier Sekunden einatmen und sechs Sekunden ausatmen zwischen den Putt-Schlägen dem Probanden ein Gefühl von Zeitdruck vermitteln. Die Subskala der Leistung (L) wurde in Abhängigkeit von der Erfolgsquote der eingelochten Putts bewertet, welche nach der Analyse des Putt-Resultats (Tabelle 5) kein signifikantes Ergebnis hervorbrachte. Dementsprechend zeigt sich auch kein statistisch signifikanter Unterschied in der Leistung im NASA-TLX-Fragebogen ($z = -0.641$, $p = 0.522$, *Cohen's* $d_z = 0.104$) zwischen Kontrollgruppe ($M = 10.04$, $SD = 3.81$) und Interventionsgruppe ($M = 10.64$, $SD = 4.97$). Aus der Auswertung der bewerteten Anstrengung (A) geht hervor, dass die Probanden der Interventionsgruppe ($M = 10.36$, $SD = 4.32$) gegenüber der Kontrollgruppe ($M = 7.54$, $SD = 4.08$) einen höheren Aufwand betreiben mussten, um die vorgegebene Aufgabenstellung des Experiments zu erfüllen. Diese signifikant erhöhte Anstrengung ($z = -3.007$, $p = 0.003$, *Cohen's* $d_z = 0.676$), ist möglicherweise direkt auf die doppelte Belastung durch Einhaltung der Atemfrequenz und Putt-Schlag-Ausführung zurückzuführen. Die letzte der sechs untersuchten Subskalen behandelt die Frustration (F) während des Experiments, welche den Grad der Irritation/Stress versus Zufriedenheit/Entspannung messen soll. Die Analyse der subjektiven Bewertung zeigt ein kongruentes Ergebnis ohne statistische Signifikanz ($z = -0.754$, $p = 0.451$, *Cohen's* $d_z = -0.164$) zwischen Kontrollgruppe ($M = 6.96$, $SD = 3.56$) und Interventionsgruppe ($M = 6.39$, $SD = 3.93$). Betrachtet man die durchschnittliche Gesamtbeanspruchung des NASA-TLX-Fragebogens (Gesamt) zwischen Kontrollgruppe ($M = 6.98$, $SD = 1.67$) und Interventionsgruppe ($M = 8.98$, $SD = 2.31$) ist ein statistisch signifikanter Belastungsunterschied festzustellen ($z = -3.917$, $p < 0.001$, *Cohen's* $d_z = 0.847$).

Zusammengefasst zeigt die Untersuchung der psychophysiologischen Beanspruchung zwischen der Kontroll- und der Interventionsgruppe signifikante Belastungsunterschiede in den Subskalen der GA, KA, ZA, A und der Gesamtbeanspruchung. Damit wird die Hypothese der signifikant höheren psychophysiologischen Beanspruchung unter der Interventionsbedingung mit RFB angenommen.



Gesamt = Durchschnittliche Gesamtbeanspruchung; GA = Geistige Anforderung; KA = Körperliche Anforderung; ZA = Zeitliche Anforderung; L = Leistung; A = Anstrengung; F = Frustration

Abbildung 19: Ergebnisse des NASA Task-Load-Index Fragebogen, eigene Darstellung

4 Diskussion

Die HRV ist ein wichtiger Indikator für die Anpassungsfähigkeit des autonomen Nervensystems an Belastungen und wird zunehmend in der Sportwissenschaft untersucht. Faktoren, die die HRV im Sport beeinflussen, sind Fitnesslevel (Plews et al., 2013), mentale und emotionale Faktoren (Kim et al., 2018), Schlaf und Erholung (Lohninger, 2021) sowie Ernährung (Young & Benton, 2018). Der Golfsport ist keine körperlich hochintensive Sportart, in der die Belastungsgrenze des Herzkreislaufsystems aufgesucht wird. Durchschnittliche Herzfrequenzen einer Platzrunde von 18 Löchern liegen bei 105 +/- 10 Schlägen pro Minute (Luscombe et al., 2017). Der spielentscheidende Unterschied der Präzisionssportart ist deshalb nicht nur auf physische Faktoren, sondern auch auf psychische Faktoren zurückzuführen. Dabei können psychischer Stress, Wettkampfangst und Drucksituationen zu einer Verringerung der HRV führen, da sie die sympathische Aktivität erhöhen.

4.1 HRV-Parameter

Ziel der hier vorgestellten psychophysiologischen Analyse war es, eine umfassende Beschreibung der HRV-Parameter beim Puttschlag zu erstellen. Anhand der durchgeführten Messungen können fundierte Aussagen zur Beeinflussung der HRV durch die RFB bei Golfspielern während des Putt-Schlags getroffen werden. Die Studie zeigt, dass sich HRV-Parameter wie HF, RR-Intervall und SDNN durch eine bewusste Verlangsamung der Atemfrequenz signifikant beeinflussen lassen. Dies unterstützt den oben postulierten physiologischen Wirkungsmechanismus der RSA, welcher durch eine erhöhte Amplitude den Baroreflex stimuliert und eine Regulierung des Blutdrucks bewirkt. Vergleichbare Messergebnisse der HRV-Parameter zeigt die Studie von Paul & Garg (2012), welche bei Basketball Spielern durch die Anpassung der Atemfrequenz nach dem Protokoll von P. M. Lehrer et al. (2000) signifikante Veränderungen im RR-Intervall feststellen konnte. Die beiden nicht signifikanten Parameter der HRV-Messergebnisse waren der RMSSD- und NN50-Wert, welche in einer hohen Ausprägung auf die Stärke der parasympathischen Aktivität hindeuten und damit Aufschluss über den Vagus-Tonus geben. Ein möglicher Störfaktor der Invarianz der RMSSD- und NN50-Messergebnisse ist auf die Tatsache zurückzuführen, dass die Aufzeichnung der HRV unter Einfluss von Bewegung

stattgefunden hat. Die HRV spiegelt die Aktivität des sympathischen und parasympathischen Nervensystems wider und wird direkt durch körperliche Bewegung beeinflusst, da beide Systeme maßgeblich an der Regulation körperlicher Anforderungen beteiligt sind (Brodal, 2010). Über diese physiologischen Effekte hinaus kann Bewegung auch kognitive, emotionale, soziale und gesundheitliche Prozesse modulieren (Laborde et al., 2017). Das neuroviszerale Integrationsmodell nach Thayer et al. (2009) beschreibt eine enge funktionale Verbindung zwischen Herz, Gehirn und autonomem Nervensystem. Veränderungen in der HRV infolge körperlicher Aktivität spiegeln somit nicht nur Anpassungen des autonomen Nervensystems wider, sondern können auch Rückwirkungen auf die Gehirnfunktion sowie auf die Regulation kognitiver und emotionaler Prozesse haben. Ein Vergleich der RMSSD-Messwerte mit ähnlichen HRV-Studien im Golfsport (Finkenzeller et al., 2012) zeigt, dass die ausgeprägte Streuung dieser Daten kein Einzelfall ist. Für eine valide Interpretation über die Einflussnahme des vagalen Tonus während des Experiments wäre eine ergänzende Dokumentation der auftretenden Körperbewegungen erforderlich. Bewegungen, die die HRV während der Aufzeichnung beeinflussen können, umfassen beispielsweise die Anzahl der Probeschwünge, die Körperausrichtung in Richtung des Lochs sowie Blickbewegungen zum Loch. Aufgrund der experimentellen Rahmenbedingungen war eine simultane Erfassung dieser Bewegungen mit zeitlicher Synchronisation der HRV-Daten nicht realisierbar, da hierfür zusätzliche Versuchsleiter erforderlich gewesen wären. Für zukünftige Studien, die HRV-Messungen unter körperlicher Aktivität erfassen, wird daher empfohlen, Bewegungen auf ein Minimum zu reduzieren und unvermeidbare Bewegungen präzise zu dokumentieren, um deren Einfluss in der Datenanalyse adäquat berücksichtigen zu können. Eine alternative Methode zur Untersuchung der Auswirkungen langsamer Zwerchfellatmung auf eine Präzisionssportart unter Stressbedingung wurde von Conlon et al. (2022) vorgeschlagen. In dieser Studie wurden drei Gruppen verglichen: eine Gruppe mit langsamer Zwerchfellatmung (sechs Atemzüge pro Minute), eine Gruppe mit rhythmischer Atmung (zwölf Atemzüge pro Minute) und eine Kontrollgruppe. Die jeweiligen Atemfrequenzen wurden während einer fünfminütigen Interventionsphase vor der eigentlichen Schießaufgabe praktiziert, während die HRV über die gesamte Dauer des Experiments erfasst wurde. Ein Vorteil dieses methodischen Ansatzes besteht darin, dass die HRV sowohl in Ruhe als auch unter körperlicher Bewegung

gemessen wird, was eine differenzierte und aussagekräftigere Interpretation des vagalen Tonus ermöglicht.

4.2 Atemfrequenz

Die Ergebnisse der Atemfrequenz-Aufzeichnung dieser Studie zeigen, dass die Probanden der Interventionsgruppe mit durchschnittlich 13,5 Atemzügen/min. deutlich über der Vorgabe von 6 Atemzügen/min. geatmet haben, was auf eine erhöhte psychophysiologische Beanspruchung während des Experiments hindeutet. Diskussionspunkte für die Diskrepanz zwischen vorgegebener Atemfrequenz und gemessener Atemfrequenz können auf mehrere Ursachen zurückgeführt werden. Zum einen hatten die Probanden Schwierigkeiten mit dem Atemmuster und dessen zeitlicher Anforderung von vier Sekunden Einatmen und sechs Sekunden Ausatmen (6 Atemzüge pro Minute), was durch die signifikanten Ergebnisse der ZA belegt wird. Dies könnte daran liegen, dass die RFB-Methode zum ersten Mal durchgeführt wurde und die zweiminütige Eingewöhnungsphase den Probanden nicht genügend Übung bot, um die Interventionsatmung während des gesamten Experiments aufrechtzuerhalten. Schwierigkeiten mit der Einhaltung der Atemfrequenz von vier Sekunden für die Einatmung und sechs Sekunden für die Ausatmung konnten Conlon et al. (2022) in der experimentellen Gruppe ($M_{\text{Alter}} = 20,39 \pm 3.19$ Jahre) ebenfalls feststellen. Die Probanden der experimentellen Gruppe, die die festgelegte Atemfrequenz einhalten sollten, konnten diese im Verlauf des Experiments nicht erreichen. Im Durchschnitt überschritten sie die Vorgabe um 2,5 Atemzüge. Aktuelle Forschungsarbeiten haben gezeigt, dass es sinnvoll sein kann, wenn die Probanden vor einer Intervention mit unterschiedlichen Frequenzen trainieren, um die Gleichmäßigkeit der vorgegebenen Atemtechnik einzuhalten (Gholamrezaei et al., 2021). Andererseits wäre bei Probanden mit Vorerfahrung in Atemtechniken zu erwarten gewesen, dass die Einhaltung der RFB-Methode leichter fällt. Die Ergebnisse der Atemfrequenz zeigen jedoch entgegen dieser Annahme ein gegenteiliges Muster: In der Interventionsgruppe der Teilnehmenden mit Atemtechnik-Erfahrung wurde eine höhere Atemfrequenz pro Minute gemessen als in der Gruppe ohne entsprechende Vorerfahrung. Dies lässt darauf schließen, dass spezifische Atemtechniken trainiert werden müssen und nicht automatisch auf andere Atemmuster übertragbar sind. Zum anderen verkürzt sich die Atemfrequenz durch eine frühzeitige Ein- oder Ausatmung und die Anzahl der benötigten Atemzüge pro Minute steigt. Die Vitalkapazität der

Lungen setzt sich aus dem inspiratorischen Reservevolumen, dem Atemzugvolumen und dem expiratorischen Reservevolumen zusammen. Sie wird durch Faktoren wie Alter, Geschlecht, Körpergröße, Ethnie und Trainingszustand beeinflusst (Quanjer et al., 2012) und kann somit die Vitalkapazität beeinflussen. Zudem hat die Studie von Townsend et al. (1991) gezeigt, dass Raucher im Vergleich zu Nichtrauchern eine geringere Vitalkapazität aufweisen können. Entgegen der Vermutung zeigt der Mittelwertvergleich zwischen Nichtrauchern und Rauchern ein unerwartetes Resultat. Die Differenz der beiden Mittelwerte weist zu Gunsten der Raucher eine niedrigere Atemfrequenz während der Durchführung der Intervention auf. Damit hatten Raucher gegenüber Nichtrauchern im Durchschnitt keine höhere Anstrengung bei der Durchführung der Interventionsatemfrequenz. Dieses Ergebnis könnte jedoch aufgrund des kleinen Stichprobenumfangs verzerrt sein. Vorgabe für das Experiment war eine Bauchatmung, da der Sensor für die Aufzeichnung der Atemfrequenz um den Bauch gespannt war. Probanden, die vorzugsweise über eine Brustatmung oder beide Techniken einatmen, hatten möglicherweise Mühe mit der ausschließlichen Bauchatmung, welche mit der signifikant höheren Arbeitsbelastung in der Interventionsgruppe zusammenhängen könnte.

4.3 Putt-Resultat

Obwohl ein signifikanter Unterschied zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe hinsichtlich der Atemfrequenz vorlag, zeigte die RFB-Atemmethode keinen signifikanten Einfluss auf die Optimierung der Trefferquote beim Golf-Putting. Die Interventionsgruppe konnte ihr Putt-Resultat aus einer Distanz von zwei Metern im Mittel um 0,58 zusätzlich erfolgreiche Putts verbessern, verzeichnete jedoch eine Verschlechterung um 0,25 Treffer aus einer Distanz von vier Metern. Das Gesamtergebnis verbesserte sich im Mittel um 0,33 Treffer auf zehn Puttversuche. Dieses unerwartete Resultat, das nicht mit den Befunden früherer Studien übereinstimmt (Jiménez Morgan & Molina Mora, 2017), legt nahe, dass die positiven Effekte der RFB-Atemmethode primär auf kognitive Leistungen übertragbar sind, jedoch nicht zwingend auf spezifische sportliche Fertigkeiten (Chaitanya et al., 2022). Ein Vergleich der Putt-Resultate zwischen verschiedenen Studien gestaltet sich schwierig, da die methodischen Rahmenbedingungen häufig variieren. So wurden in den Untersuchungen von Neumann & Thomas (2009) und Finkenzeller et al. (2012)

Bedingungen verwendet, bei denen das Putten auf Kunstgrasmatte erfolgte. Darüber hinaus unterscheiden sich die gewählten Distanzen zum Loch, sowie die Anzahl der durchgeführten Putts zwischen den Studien. Ein Beispiel hierfür ist die Studie von Neumann & Thomas (2009), in der erfahrene Golfer aus einer Distanz von 2,4 Metern eine Trefferquote von durchschnittlich 13,31 Putts bei insgesamt zwanzig Versuchen erreichten. Innerhalb dieser Studie wurde beim 2-Meter-Putt-Experiment eine deutlich geringere Effektstärke (Cohen's $d_z = 0.209$) beobachtet als ursprünglich angenommen ($d = 0.69$). Dies liegt an der mittleren Verbesserung des Putterfolgs von lediglich 0.58 Treffern gegenüber den ursprünglich angenommenen 1.5 zusätzlichen erfolgreichen Putts. Die Standardabweichung der beobachteten Putterfolgs-Differenzen aus zwei Metern Distanz beträgt 2.77 Treffer und ist damit größer als die anfänglich angenommene Standardabweichung, abgeleitet aus der Modellierung eines einzelnen Puttversuchs mittels der Bernoulli-Verteilung mit $p = 0.5$. Somit wurde bei dem Untersuchungsdesign der Erhebungen die Wirksamkeit der Intervention überschätzt. Sollte die Methode auch bei einer erheblich geringeren Verbesserung des Putterfolgs im Bereich von 0.5 von 10 Putts noch von Interesse sein, müsste diese Untersuchung mit einer entsprechend angepassten Stichprobengröße von etwa 220 Probanden wiederholt werden, um die statistische Signifikanz der Effekte nachweisen zu können. Ein weiterer Punkt ist, dass die gestellte Aufgabe für die Probanden neu war, was möglicherweise zu den nicht signifikanten Putting-Ergebnissen beigetragen hat. Während die eigentliche Ausführung des Puttschlags aus einer Distanz von zwei und vier Metern für die Teilnehmenden vertraut ist, muss berücksichtigt werden, dass die angebrachten Messinstrumente im Bereich von Brust und Bauch sowie die verwendeten Kopfhörer eine unnatürliche Umgebung schufen und potenziell die gewohnte "Pre-Shot-Routine" beeinträchtigten. Eine hohe Variabilität in der Pre-Shot-Routine kann auf eine ineffiziente oder unzureichend automatisierte Schlagablauffolge hinweisen. Dies kann sich in detaillierten technischen Überlegungen äußern, wie etwa dem bewussten Versuch, den Ballflug durch gezielte Schwungkontrolle zu beeinflussen. Ebenso kann eine übermäßige Fokussierung auf interne Prozesse wie Gedanken und Emotionen anstelle der eigentlichen Aufgabe die Leistungsfähigkeit beeinträchtigen (Hellström, 2009). Eine weitere mögliche Erklärung für das Ausbleiben signifikanter Effekte könnte die HRV-Aufzeichnung unter kontrollierter Atemfrequenzvorgabe sein. Die Einhaltung der vorgegebenen RFB-Atemfrequenz erfordert zusätzliche kognitive Ressourcen, was die

Konzentration der Probanden beeinflussen und somit die experimentelle Aufgabe beeinträchtigen könnte. Gestützt wird diese Hypothese durch die Studie von Gray (2004), welcher eine doppelte Aufgabenbewältigung während einer sportlichen Leistung untersuchte. In der Studie führten erfahrene und unerfahrene Baseballspieler unter auditivem Reiz eine simulierte Baseball-Schlagaufgabe aus. Dabei konzentrierten sich die Spieler einmal auf den auditiven Reiz und einmal auf die motorische Schlagaussführung. Anfänger zeigten eine verschlechterte Schlagleistung, wenn sie gleichzeitig die Tonfolge beurteilten, während die Schlagleistung von Experten nicht darunter litt. Weitere Beobachtungen waren, dass sich vermehrt Schlagfehler und Bewegungsabweichungen bei Experten zeigten, sobald sie ihre Aufmerksamkeit auf den motorischen Ablauf richteten, während sich bei den Anfängern keine signifikanten Effekte zeigten. Dies legt nahe, dass eine gezielte Fokussierung auf die Ausführung einer automatisierten motorischen Fähigkeit die Leistungsfähigkeit möglicherweise negativ beeinflusst. Vergleichbare Ergebnisse durch die Einflussnahme von simultan durchgeführter motorischer und kognitiver Belastung während des Golfputts wurden in der Studie von Beilock et al. (2002) untersucht. Dabei verglich die Studie die Puttleistung von Anfängern und erfahrenen Golfern unter Putten in Isolation (Einzelaufgabe) und Doppelaufgabe (Putten während eines auditiven Worträtsels), wobei entweder ein Standard-Putter oder ein willkürlich geformter Putter verwendet wurde. Erfahrene Golfer zeigten mit dem Standard-Putter keine Unterschiede in der Putt-Genauigkeit zwischen der Einzel- und der Doppelaufgaben-Bedingung und erzielten zudem ein besseres Wiedererkennungsgedächtnis für die während des Puttens gehörten Wörter im Vergleich zu Anfängern. Beim Einsatz eines willkürlich geformten Putters, der die automatisierte Bewegungsausführung beeinträchtigte, nahm hingegen die Putt-Genauigkeit erfahrener Golfer unter der Doppelaufgaben-Bedingung ab, ebenso wie ihre Erinnerungsleistung an die Wörter der sekundären Aufgabe. Die Autoren schlussfolgern, dass neuartige Bedingungen die Aufmerksamkeit erfahrener Spieler stärker auf die Bewegungsausführung lenken. Bei Anfängern, die sowohl mit dem Standard- als auch mit dem willkürlich geformten Putter keine Vorerfahrung hatten, zeigten sich vergleichbare Leistungsmuster unter beiden Versuchsbedingungen. Nach Schaefer (2014) können kognitiv-motorische Doppelaufgaben dabei von einer Vielzahl von Faktoren beeinflusst werden, wie z. B. dem internen bzw. externen Fokus der Aufmerksamkeit.

4.4 Interne und externe Aufmerksamkeitsprozesse

Die bewusste Steuerung der Atmung während des Experiments kann sowohl interne als auch externe Aufmerksamkeitsprozesse umfassen. Beim internen Aufmerksamkeitsprozess richtet sich der Fokus auf den physiologischen Atemvorgang, wobei Atembewegung, Luftstrom und Atemfrequenz bewusst wahrgenommen werden. Gleichzeitig können jedoch auch externe Komponenten involviert sein, insbesondere wenn die Atmung mit externen Signalen synchronisiert wird, beispielsweise durch Biofeedback-Anwendungen, die mit Atemtechnik-Apps oder Anweisungen eines Trainers unterstützt werden.

Die Studie von Nevo et al. (2024) untersuchte den Einfluss interner und externer Aufmerksamkeitslenkung auf die Genauigkeit beim Golf-Putting und stützte sich dabei auf die “Constrained-Action-Hypothese“ von Wulf et al. (2001). Diese Hypothese besagt, dass ein interner Fokus die bewusste Kontrolle über Bewegungen verstärkt, wodurch jedoch automatische Prozesse gehemmt und die motorische Leistung potenziell beeinträchtigt werden. Im Gegensatz dazu fördert ein externer Fokus unbewusste, reflexive Prozesse, die eine höhere Bewegungseffizienz und Automatisierung begünstigen. Die Ergebnisse von Nevo et al. (2024) zeigten eine anfängliche Leistungssteigerung in der Gruppe mit externem Fokus am ersten Tag des Experiments, die sich jedoch an den darauffolgenden Tagen nicht weiter bestätigte. In der vorliegenden Untersuchung beanspruchte die bewusste Steuerung der Atmung sowohl interne als auch externe Aufmerksamkeitsprozesse. Während RFB einen internen Fokus auf den physiologischen Atemprozess erfordert, wurde die Atemfrequenz zusätzlich über ein externes bildgebendes Verfahren reguliert. Aufgrund dieser Kombination kann keine eindeutige Zuordnung der Atmungssteuerung zu einem der beiden Aufmerksamkeitsprozesse erfolgen. Für zukünftige Studien wird empfohlen, eine klare methodische Differenzierung vorzunehmen, beispielsweise durch die Bildung getrennter Versuchsgruppen für interne Atemstimuli und externe Aufmerksamkeitsprozesse (wie z.B. Einlochen des Golfballs), um deren jeweilige Effekte gezielt zu untersuchen.

4.5 “Choking“

“Choking“ bezieht sich im sportlichen Kontext auf den Leistungsabfall unter Druckbedingungen und tritt auf, wenn Sportler aufgrund von Stressoren schlechter abschneiden als normal. Als Reaktion auf den Stressor können Athleten physische Veränderungen der HF und/oder Atmung sowie mentale Veränderungen wie Angst und/oder Verwirrung wahrnehmen. Gemessen werden können diese psychophysiologischen Veränderungen durch die HRV.

Die vorliegende Studie untersuchte, ob auditive Hintergrundgeräusche einen realitätsnahen Wettkampfstress simulieren können. Da die Subskala der Frustration des NASA-TLX-Fragebogens jedoch keinen signifikanten Unterschied im Stresslevel zwischen den Probanden der Kontroll- und Interventionsgruppe aufzeigte, ist fraglich, inwieweit die RFB zur Regulation von empfundenem Stress wirkt. Des Weiteren ist fraglich ob auditive Hintergrundgeräusche eine psychisch belastende Wettkampfsituation vermitteln, in der die Sympathikusaktivität steigt. Eine frühere Studie von Hassmén & Koivula (2001) zeigte, dass Leistungsgolfer unter auditiven Stressbedingungen keine signifikanten Unterschiede in ihren Putt-Ergebnissen aufwiesen. Darüber hinaus ist die Validität des NASA-TLX-Fragebogens zur Erfassung von psychischem Stress in diesem spezifischen Kontext als eingeschränkt zu bewerten, da unklar bleibt, ob die Proband*innen den auditiven Reiz isoliert oder das gesamte Experiment als stressauslösend wahrnahmen. Eine aktuelle Literaturrecherche ergab, dass für diese Fragestellung bislang kein standardisierter und validierter Fragebogen existiert, weshalb der NASA-TLX eingesetzt wurde, da er in anderen Fachbereichen als gut validiert gilt und sich zur Erfassung subjektiver Belastung bewährt hat. Für zukünftige Studien zum Thema Stress wird jedoch die Verwendung eines spezifischeren Fragebogens wie des “State-Trait Anxiety Inventory“ (Spielberger, 2010) empfohlen, um differenziertere und reliablere Ergebnisse zu erzielen. Ein Beispiel für das Nutzen des “State-Trait Anxiety Inventory“ unter Druckbedingungen ist die Studie von Hine & Takano (2020). Diese deutet darauf hin, dass die Reduktion der HF nach körperlicher Anstrengung eine wirksame Methode sein könnte, um "Choking" zu reduzieren, da die Kontrolle der HF helfen kann, mit Angstzuständen umzugehen, die zu Leistungsabfall unter Druck führen können. Des Weiteren bleibt ungeklärt, ob die RFB und deren psychophysiologischer Wirkungsmechanismus dem “Yips“ Phänomen, welches

womöglich durch eine erhöhte Stresspräsenz verstärkt wird, vorbeugen kann. Fehlende Ressourcen zur Diagnostik der motorischen und psychischen Störung bei Probanden mit “Yips“ waren innerhalb dieser Studie nicht realisierbar. Jedoch haben frühere Untersuchungen gezeigt, dass Atemtechniken die sportliche Leistung verbessern, wenn sie während der Ausführung der Aufgabe eingesetzt werden (z. B. beim Bogenschießen; Mohamed et al. (2014). Golfspezifisch gibt es zwei Fallstudien von Lagos et al. (2008 & 2011), die sich mit der HRV-Biofeedbackmessung bei einem 14-Jährigen und einer 21-Jährigen Golfer*in befassten, welche über ein 10-wöchiges RFB-Training die Anzahl ihrer benötigten Schläge über 18 Löcher deutlich reduzieren konnten. Das Fazit der beiden Fallstudien war, dass das HRV-Biofeedback-Training den Athleten helfen kann, ihren Wettkampfstress zu bewältigen, und/oder die neuromuskuläre Funktion verbessert werden kann. Daher könnte die Tatsache, dass die RFB-Atemmethode mit festgelegter Atemfrequenz in der vorliegenden Studie durch die Aufgabestellung und durch die erstmalige Praktizierung die Effektivität des Putt-Resultats erklärt.

5 Kritische Betrachtung und Limitationen

Obwohl diese Studie keine schlüssigen Beweise für leistungssteigernde Effekte beim Golf-Putt durch die RFB-Atemmethode aufzeigen konnte, sollten einige Stärken hervorgehoben werden.

Diese Studie stellt nach aktueller Recherche die erste ihrer Art dar. Sie liefert neue Erkenntnisse zur methodischen Herangehensweise, insbesondere im Hinblick auf die Interpretation von HRV-Messdaten unter Bewegung. Um valide Ergebnisse zu gewährleisten, sollten die zu untersuchenden Zielvariablen – wie der Einfluss des vagalen Tonus auf physische oder psychische Belastung – bereits vor Beginn der Studie eindeutig definiert werden. Ein weiterer methodischer Vorteil dieser Untersuchung liegt in der realitätsnahen Durchführung, da das Experiment auf einem Putting-Grün mit natürlicher Rasenoberfläche und unter freiem Himmel stattfand. Allerdings ist dabei die Jahreszeit als potenzieller Einflussfaktor zu berücksichtigen. Witterungsbedingungen wie Regen oder Kälte könnten die Messergebnisse beeinflussen und sollten daher bei der Planung und Analyse zukünftiger Studien angemessen berücksichtigt werden. Darüber hinaus liegt ein zusätzlicher Vorteil

dieser Studie im Studiendesign der gepaarten Stichprobe mit Messwiederholung. Dieses Verfahren ermöglicht einen präziseren Vergleich der objektiv erfassten HRV-Parameter, da sensitive interindividuelle Störfaktoren beim Gesundheitszustand oder Fitnesslevel weitgehend ausgeschlossen werden. Im Gegensatz dazu verwendeten bisherige HRV-Studien überwiegend ein Design mit ungepaarten Stichproben (Conlon et al., 2022; Neumann & Thomas, 2009).

Trotz der genannten Stärken unterliegt diese Studie bestimmten Limitationen. Ein wesentlicher Aspekt ist die begrenzte Zeit, die für das Erlernen und Praktizieren der Atemtechnik zur Verfügung stand. Während die Dauer von Ateminterventionen in früheren Kurzzeitstudien zwischen 2 und 30 Minuten variierte (z. B. De Couck et al., 2019; Yadav & Mutha, 2016) könnte die in dieser Untersuchung angewendete Interventionsdauer von lediglich 2 Minuten möglicherweise nicht ausreichend gewesen sein, um eine signifikante Leistungsverbesserung zu erzielen. Für zukünftige Studien wird daher empfohlen, eine längere Eingewöhnungsphase vor der Durchführung der Intervention zu berücksichtigen, insbesondere wenn Kurzzeitmessungen im Rahmen der RFB angewendet werden. Ein weiterer potenzieller Limitationsfaktor dieser Studie ist das festgelegte Atemmuster mit einem Verhältnis von vier Sekunden Einatmung zu sechs Sekunden Ausatmung. Das optimale Verhältnis zwischen Ein- und Ausatmung zur Erzielung des Resonanzeffekts und einer maximalen Stimulation des N. vagus wird dabei in derzeitigen Studien diskutiert (z. B. 5-7 in De Couck et al., 2019; 4,5-5,5 in You et al., 2022) und ist vom Individuum abhängig (P. Lehrer et al., 2013). Daher könnte das in dieser Untersuchung gewählte Verhältnis von vier zu sechs möglicherweise nicht ausreichend gewesen sein, um eine ausreichende Aktivierung des N. vagus zu bewirken. Künftige Forschungsarbeiten sollten untersuchen, inwieweit unterschiedliche Ein- und Ausatemverhältnisse die Effektivität der Atemintervention beeinflussen und ob individuell angepasste Atemmuster eine größere Wirkung auf die experimentellen Ergebnisse haben. Ein weiterer wichtiger Aspekt, der als Limitation dieser Studie betrachtet werden muss, ist die Stichprobengröße, die möglicherweise zu gering war, um tatsächliche Effekte der RFB-Atemmethode auf die Putt-Leistung statistisch signifikant nachzuweisen. Zukünftige Studien sollten größere Stichproben verwenden, um die Ergebnisse zu bestätigen.

6 Schlussfolgerung

Die vorgelegte Studie hat untersucht, ob die Beeinflussung der HRV durch die RFB während des Puttens unter auditivem Stress die Trefferquote verbessert. Es konnte gezeigt werden, dass eine Reduktion der Atemfrequenz signifikante Veränderungen in den HRV-Parametern der HF, des RR-Intervalls und des SDNN der Interventionsgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe bewirken. Allerdings konnte diese Veränderung keine statistisch signifikante Optimierung der Trefferquote im Puttergebnis (Anzahl der eingelochten Putts) aus kurzer oder langer Distanz zwischen den Gruppen nachweisen. Des Weiteren wird für nachfolgende HRV-Studien, welche darauf abzielen, den vagalen Tonus zu untersuchen, empfohlen, körperliche Bewegung auf ein Minimum zu reduzieren, da diese die Messergebnisse beeinflussen können. Zusätzlich wurde die psychophysiologische Beanspruchung während des Experiments mithilfe des NASA-TLX-Fragebogens erhoben, welcher einen signifikanten Unterschied in der Höhe der Belastung zum Nachteil der Interventionsgruppe aufzeigte. Dies deutet darauf hin, dass die gleichzeitige Durchführung der RFB und der experimentellen Aufgabe die Treffsicherheit möglicherweise beeinträchtigt hat, was vermutlich auf die kurze Eingewöhnungsphase zurückzuführen ist. Zukünftige Studien mit angemessener Stichprobengröße sollten daher untersuchen, ob die RFB als effektive Unterstützung dienen kann, wenn sie über einen längeren Zeitraum praktiziert wird, beispielsweise durch tägliches Training. Methodische Differenzierungen, wie getrennte Versuchsgruppen für interne Atemstimuli und externe Aufmerksamkeitsprozesse, könnten in zukünftigen Studien ebenfalls hilfreich sein, um die jeweiligen Effekte gezielt zu untersuchen.

7 Literaturverzeichnis

- Abernethy, B., Maxwell, J. P., Masters, R. S. W., Kamp, J. V. D., & Jackson, R. C. (2007). Attentional Processes in Skill Learning and Expert Performance. In G. Tenenbaum & R. C. Eklund (Hrsg.), *Handbook of Sport Psychology* (1. Aufl., S. 245–263). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118270011.ch11>
- Baumeister, R. F. (1984). Choking under pressure: Self-consciousness and paradoxical effects of incentives on skillful performance. *Journal of Personality and Social Psychology*, 46(3), 610–620. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.46.3.610>
- Beilock, S. L., Wierenga, S. A., & Carr, T. H. (2002). Expertise, attention, and memory in sensorimotor skill execution: Impact of novel task constraints on dual-task performance and episodic memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 55(4), 1211–1240. <https://doi.org/10.1080/02724980244000170>
- Berntson, G. G., Cacioppo, J. T., & Quigley, K. S. (1993). Respiratory sinus arrhythmia: Autonomic origins, physiological mechanisms, and psychophysiological implications. *Psychophysiology*, 30(2), 183–196. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1993.tb01731.x>
- Bourgain, M., Rouch, P., Rouillon, O., Thoreux, P., & Sauret, C. (2022). Golf Swing Biomechanics: A Systematic Review and Methodological Recommendations for Kinematics. *Sports*, 10(6), 91. <https://doi.org/10.3390/sports10060091>
- Boutcher, S. H., & Zinsser, N. W. (1990). Cardiac Deceleration of Elite and Beginning Golfers During Putting. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 12(1), 37–47. <https://doi.org/10.1123/jsep.12.1.37>

- Brodal, P. (2010). *The central nervous system: Structure and function* (4th ed). Oxford University Press.
- Chaitanya, S., Datta, A., Bhandari, B., & Sharma, V. K. (2022). Effect of Resonance Breathing on Heart Rate Variability and Cognitive Functions in Young Adults: A Randomised Controlled Study. *Cureus*.
<https://doi.org/10.7759/cureus.22187>
- Conlon, A., Arnold, R., Preatoni, E., & Moore, L. J. (2022). Pulling the Trigger: The Effect of a 5-Minute Slow Diaphragmatic Breathing Intervention on Psychophysiological Stress Responses and Pressurized Pistol Shooting Performance. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 44(3), 206–219.
<https://doi.org/10.1123/jsep.2021-0213>
- Crews, D. J., & Landers, D. M. (1993). Electroencephalographic measures of attentional patterns prior to the golf putt: *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 25(1), 116–126. <https://doi.org/10.1249/00005768-199301000-00016>
- De Couck, M., Caers, R., Musch, L., Fliegauf, J., Giangreco, A., & Gidron, Y. (2019). How breathing can help you make better decisions: Two studies on the effects of breathing patterns on heart rate variability and decision-making in business cases. *International Journal of Psychophysiology*, 139, 1–9.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2019.02.011>
- Ehlert, A. (2021). The correlations between physical attributes and golf clubhead speed: A systematic review with quantitative analyses. *European Journal of Sport Science*, 21(10), 1351–1363.
<https://doi.org/10.1080/17461391.2020.1829081>

- European Golf Association. (2021). *European Golf Participation Report 2021*.
https://www.egagolf.ch/sites/default/files/2021_european_golf_participation_report.pdf
- Faul, F., Erdfelder, E., Buchner, A., & Lang, A.-G. (2009). Statistical power analyses using G*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behavior Research Methods*, 41(4), 1149–1160.
<https://doi.org/10.3758/BRM.41.4.1149>
- Finkenzeller, T., Doppelmayr, M., & Amesberger, G. (2012).
 Herzfrequenzvariabilität als Indikator des Aufmerksamkeitsfokus bei Golfern unterschiedlichen Leistungsniveaus. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 19(1), 26–36. <https://doi.org/10.1026/1612-5010/a000064>
- Fischer M. (2007). *Motorische Organisation und dystonische Störungen im kurzen Golfspiel. Das «Yips» Phänomen. Dissertation.*
- Gholamrezaei, A., Van Diest, I., Aziz, Q., Vlaeyen, J. W. S., & Van Oudenhove, L. (2021). Psychophysiological responses to various slow, deep breathing techniques. *Psychophysiology*, 58(2), e13712.
<https://doi.org/10.1111/psyp.13712>
- Gray, R. (2004). Attending to the Execution of a Complex Sensorimotor Skill: Expertise Differences, Choking, and Slumps. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 10(1), 42–54. <https://doi.org/10.1037/1076-898X.10.1.42>
- Gulgin, H. R., Schulte, B. C., & Crawley, A. A. (2014). Correlation of Titleist Performance Institute (TPI) Level 1 Movement Screens and Golf Swing Faults. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(2), 534–539.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31829b2ac4>

- Hall, J. E., Hall, M. E., & Guyton, A. C. (2021). *Guyton and Hall textbook of medical physiology* (14th edition). Elsevier.
- Hart, S. G. (2006). Nasa-Task Load Index (NASA-TLX); 20 Years Later. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 50(9), 904–908. <https://doi.org/10.1177/154193120605000909>
- Hasley, I. B., Ostby, T. D., Fjosne, C. M., & Jelsing, E. J. (2023). Etiology and Prevention of Common Injuries in Golf. *Current Sports Medicine Reports*, 22(6), 210–216. <https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000001075>
- Hassmén, P., & Koivula, N. (2001). Cardiac Deceleration in Elite Golfers as Modified by Noise and Anxiety during Putting. *Perceptual and Motor Skills*, 92(3_suppl), 947–957. <https://doi.org/10.2466/pms.2001.92.3c.947>
- Haurand, C., Ullrich, H., & Weniger, M. (2018). *Stressmedizin: Beratung, Vorbeugung, Behandlung*. Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.
- Hayano, J., Yasuma, F., Okada, A., Mukai, S., & Fujinami, T. (1996). Respiratory Sinus Arrhythmia: A Phenomenon Improving Pulmonary Gas Exchange and Circulatory Efficiency. *Circulation*, 94(4), 842–847. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.94.4.842>
- Hellström, J. (2009). Psychological Hallmarks of Skilled Golfers: *Sports Medicine*, 39(10), 845–855. <https://doi.org/10.2165/11317760-000000000-00000>
- Hine, K., & Takano, Y. (2020). Decreasing Heart Rate After Physical Activity Reduces Choking. *Frontiers in Psychology*, 11, 550682. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.550682>
- Hume, P. A., Keogh, J., & Reid, D. (2005). The Role of Biomechanics in Maximising Distance and Accuracy of Golf Shots: *Sports Medicine*, 35(5), 429–449. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535050-00005>

- Jiménez Morgan, S., & Molina Mora, J. A. (2017). Effect of Heart Rate Variability Biofeedback on Sport Performance, a Systematic Review. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 42(3), 235–245.
<https://doi.org/10.1007/s10484-017-9364-2>
- Kim, H.-G., Cheon, E.-J., Bai, D.-S., Lee, Y. H., & Koo, B.-H. (2018). Stress and Heart Rate Variability: A Meta-Analysis and Review of the Literature. *Psychiatry Investigation*, 15(3), 235–245.
<https://doi.org/10.30773/pi.2017.08.17>
- Laborde, S., Mosley, E., & Mertgen, A. (2018). Vagal Tank Theory: The Three Rs of Cardiac Vagal Control Functioning – Resting, Reactivity, and Recovery. *Frontiers in Neuroscience*, 12, 458. <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00458>
- Laborde, S., Mosley, E., & Thayer, J. F. (2017). Heart Rate Variability and Cardiac Vagal Tone in Psychophysiological Research – Recommendations for Experiment Planning, Data Analysis, and Data Reporting. *Frontiers in Psychology*, 08. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00213>
- Laborde, S., Zammit, N., Iskra, M., Mosley, E., Borges, U., Allen, M. S., & Javelle, F. (2022). The influence of breathing techniques on physical sport performance: A systematic review and meta-analysis. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 1–56.
<https://doi.org/10.1080/1750984X.2022.2145573>
- Lacey, B. C., Lacey, J. I., & Obrist, P. A. (1974). *Studies of heart rate and other bodily processes in sensorimotor behavior: Cardiovascular psychophysiology: Current issues in response mechanisms, biofeedback, and methodology*.
- Lagos, L., Vaschillo, E., Vaschillo, B., Lehrer, P., Bates, M., & Pandina, R. (2011). Virtual Reality–Assisted Heart Rate Variability Biofeedback as a Strategy to

- Improve Golf Performance: A Case Study. *Biofeedback*, 39(1), 15–20.
<https://doi.org/10.5298/1081-5937-39.1.11>
- Lagos, L., Vaschillo, E.G., & Lehrer, P.M. (2008). *Heart Rate Variability Biofeedback as a Strategy for Dealing with Competitive Anxiety: A Case Study*.
- Lehrer, P. M., Vaschillo, E., & Vaschillo, B. (2000). Resonant frequency biofeedback training to increase cardiac variability: Rationale and manual for training. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 25(3), 177–191.
<https://doi.org/10.1023/A:1009554825745>
- Lehrer, P., Vaschillo, B., Zucker, T., Graves, J., Katsamanis, M., Aviles, M., & Wamboldt, F. (2013). Protocol for Heart Rate Variability Biofeedback Training. *Biofeedback*, 41(3), 98–109. <https://doi.org/10.5298/1081-5937-41.3.08>
- Lohninger, A. (2021). *Herzratenvariabilität: Das HRV-Praxis-Lehrbuch* (2., überarb. Auflage). Facultas.
- Lüscher, T. F., & Landmesser, U. (Hrsg.). (2024). *Herz-Kreislauf* (3. Aufl. 2024). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-67718-6>
- Luscombe, J., Murray, Andrew, Jenkins, Evan, & Archibald, Daryll. (2017). *A rapid review to identify physical activity accrued while playing golf*.
<https://doi.org/doi:10.1136/bmjopen-2017-018993>
- Malik M. (1996). Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Circulation*, 93(5), 1043–1065.
- Mattle, H., & Fischer, U. (2021). *Kurzlehrbuch Neurologie* (5. vollständig überarbeitete Auflage). Thieme.

- McCaffrey, N., & Orlick, T. (1989). Mental factors related to excellence among top professional golfers. *International Journal of Sport Psychology*, 20(4), 256–278.
- Mohamed, M. N., Wan Norman, W. M. N., Linoby, A., Sariman, M. H., & Mohd Azam, M. Z. (2014). Breathing Pattern Influence to the Shooting Performance. In R. Adnan, S. I. Ismail, & N. Sulaiman (Hrsg.), *Proceedings of the International Colloquium on Sports Science, Exercise, Engineering and Technology 2014 (ICoSSEET 2014)* (S. 321–333). Springer Singapore.
https://doi.org/10.1007/978-981-287-107-7_34
- Neumann, D. L., & Thomas, P. R. (2009). The relationship between skill level and patterns in cardiac and respiratory activity during golf putting. *International Journal of Psychophysiology*, 72(3), 276–282.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2009.01.001>
- Nevo, M., Halperin, I., & Ziv, G. (2024). Do the effects last? A comparison between internal and external focus of attention instructions on golf putting accuracy over multiple days. *PeerJ*, 12, e17718. <https://doi.org/10.7717/peerj.17718>
- Nicholls, A. R., Holt, N. L., & Polman, R. C. J. (2005). A Phenomenological Analysis of Coping Effectiveness in Golf. *The Sport Psychologist*, 19(2), 111–130. <https://doi.org/10.1123/tsp.19.2.111>
- Nunan, D., Sandercock, G. R. H., & Brodie, D. A. (2010). A Quantitative Systematic Review of Normal Values for Short-Term Heart Rate Variability in Healthy Adults: REVIEW OF SHORT-TERM HRV VALUES. *Pacing and Clinical Electrophysiology*, 33(11), 1407–1417. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8159.2010.02841.x>

- Paul, M., & Garg, K. (2012). The Effect of Heart Rate Variability Biofeedback on Performance Psychology of Basketball Players. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 37(2), 131–144. <https://doi.org/10.1007/s10484-012-9185-2>
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Stanley, J., Kilding, A. E., & Buchheit, M. (2013). Training Adaptation and Heart Rate Variability in Elite Endurance Athletes: Opening the Door to Effective Monitoring. *Sports Medicine*, 43(9), 773–781. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0071-8>
- Quanjer, P. H., Stanojevic, S., Cole, T. J., Baur, X., Hall, G. L., Culver, B. H., Enright, P. L., Hankinson, J. L., Ip, M. S. M., Zheng, J., Stocks, J., & the ERS Global Lung Function Initiative. (2012). Multi-ethnic reference values for spirometry for the 3–95-yr age range: The global lung function 2012 equations. *European Respiratory Journal*, 40(6), 1324–1343. <https://doi.org/10.1183/09031936.00080312>
- Russo, M. A., Santarelli, D. M., & O’Rourke, D. (2017). The physiological effects of slow breathing in the healthy human. *Breathe*, 13(4), 298–309. <https://doi.org/10.1183/20734735.009817>
- Schaefer, S. (2014). The ecological approach to cognitive–motor dual-tasking: Findings on the effects of expertise and age. *Frontiers in Psychology*, 5. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01167>
- Smith, A. M., Adler, C. H., Crews, D., Wharen, R. E., Laskowski, E. R., Barnes, K., Valone Bell, C., Pelz, D., Brennan, R. D., Smith, J., Sorenson, M. C., & Kaufman, K. R. (2003). The ‘Yips’ In Golf: A Continuum Between a Focal Dystonia and Choking. *Sports Medicine*, 33(1), 13–31. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333010-00002>

- Spielberger, C. D. (2010). State-Trait Anxiety Inventory. In I. B. Weiner & W. E. Craighead (Hrsg.), *The Corsini Encyclopedia of Psychology* (1. Aufl., S. 1–1). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470479216.corpsy0943>
- Tehrany, R., DeVos, R., & Bruton, A. (2018). Breathing pattern recordings using respiratory inductive plethysmography, before and after a physiotherapy breathing retraining program for asthma: A case report. *Physiotherapy Theory and Practice*, 34(4), 329–335. <https://doi.org/10.1080/09593985.2017.1400139>
- Thain, E. (2012). *Science and Golf IV*. Routledge.
- Thayer, J. F., Hansen, A. L., Saus-Rose, E., & Johnsen, B. H. (2009). Heart Rate Variability, Prefrontal Neural Function, and Cognitive Performance: The Neurovisceral Integration Perspective on Self-regulation, Adaptation, and Health. *Annals of Behavioral Medicine*, 37(2), 141–153. <https://doi.org/10.1007/s12160-009-9101-z>
- Townsend, M. C., DuChene, A. G., Morgan, J., & Browner, W. S. (1991). Pulmonary function in relation to cigarette smoking and smoking cessation. *Preventive Medicine*, 20(5), 621–637. [https://doi.org/10.1016/0091-7435\(91\)90059-D](https://doi.org/10.1016/0091-7435(91)90059-D)
- Tremayne, P., & Barry, R. J. (2001). Elite pistol shooters: Physiological patterning of best vs. worst shots. *International Journal of Psychophysiology*, 41(1), 19–29. [https://doi.org/10.1016/S0167-8760\(00\)00175-6](https://doi.org/10.1016/S0167-8760(00)00175-6)
- Umetani, K., Singer, D. H., McCraty, R., & Atkinson, M. (1998). Twenty-Four Hour Time Domain Heart Rate Variability and Heart Rate: Relations to Age and Gender Over Nine Decades. *Journal of the American College of Cardiology*, 31(3), 593–601. [https://doi.org/10.1016/S0735-1097\(97\)00554-8](https://doi.org/10.1016/S0735-1097(97)00554-8)

- Wulf, G., McNevin, N., & Shea, C. H. (2001). The automaticity of complex motor skill learning as a function of attentional focus. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 54(4), 1143–1154.
<https://doi.org/10.1080/713756012>
- Yadav, G., & Mutha, P. K. (2016). Deep Breathing Practice Facilitates Retention of Newly Learned Motor Skills. *Scientific Reports*, 6(1), 37069.
<https://doi.org/10.1038/srep37069>
- You, M., Laborde, S., Salvotti, C., Zammit, N., Mosley, E., & Dosseville, F. (2022). Influence of a Single Slow-Paced Breathing Session on Cardiac Vagal Activity in Athletes. *International Journal of Mental Health and Addiction*, 20(3), 1632–1644. <https://doi.org/10.1007/s11469-020-00467-x>
- Young, H. A., & Benton, D. (2018). Heart-rate variability: A biomarker to study the influence of nutrition on physiological and psychological health? *Behavioural Pharmacology*, 29(2 and 3), 140–151.
<https://doi.org/10.1097/FBP.0000000000000383>

8 Anhang

Anhang 1: Ethikvotum



Deutsche
Sporthochschule Köln
German Sport University Cologne

Deutsche Sporthochschule Köln · 50927 Köln

Institut für Kreislaufforschung
und Sportmedizin
Institute of Cardiology
and Sports Medicine

Herrn Bastiaan Schipper

Abteilung Molekulare
und Zelluläre Sportmedizin
Am Sportpark Müngersdorf 6
50933 Köln · Deutschland
Telefon +49(0)221 4982-1234
Telefax +49(0)221 4982-4321
w.bloch@dshs-koeln.de
www.dshs-koeln.de

Köln, 18.11.2024

Ethikantrag Nr. 207/2024

*Resonanz Frequenz Atmung Intervention zur Beeinflussung der
Herzfrequenzvariabilität bei Golfern auf dem Putting Grün*

Sehr geehrter Herr Schipper,

hiermit darf ich Ihnen mitteilen, dass die Ethikkommission
gegenüber Ihrem geplanten Forschungsvorhaben keinerlei Bedenken
erhebt.

Hinweis: Die Ethikkommission beurteilt nicht die Einhaltung
gängiger Datenschutz-Vorschriften!

Ich wünsche Ihnen für die Durchführung viel Erfolg!

Mit freundlichem Gruß

Univ.-Prof. Dr. med. Wilhelm Bloch

Anhang 2: Einwilligungserklärung

Einwilligungserklärung

Projekttitel: «Resonanz Frequenz Atmung Intervention zur Beeinflussung der Herzfrequenzvariabilität bei Golfern auf dem Putting Grün»

Durchführender Projektleiter: Herr Bastiaan Schipper,
Ulmenstrasse 28,
6003 Luzern, Schweiz
E-Mail: bastiaan.schipper@web.de

Verantwortlicher Projektleiter: Prof. Dr. rer. medic. Martin Alfuth
Institut für Therapiewissenschaften/Fachbereich
Gesundheitswesen
Ondereyckstr. 3-5, 47805 Krefeld, Gebäude H, Raum H201
Hochschule Niederrhein
E-Mail: martin.alfuth@hs-niederrhein.de

Meine Forschungsarbeit befasst sich mit aktiven Golfspielern und deren Atem Technik auf dem Golf Putting Grün. Anhand der quantitativ erhobenen Daten (Untersuchung) möchte ich herausfinden, ob die Atem Technik Einfluss auf das Putting Resultat hat. Ihre Aufgabe als Proband wird darin bestehen die Anweisungen des Untersuchungsleiters aufmerksam zu verfolgen und an einem ausgewählten Zeitpunkt 40 Putts auf einem Putting Grün durchzuführen. Der Zeitaufwand für dieses Experiment wird pro Probanden ungefähr 15 Minuten in Anspruch nehmen.

Die Untersuchung sollte für Sie weder schmerzhaft noch unangenehm sein. Sie haben das Recht jederzeit Fragen zu stellen und falls sonstige Nachteile entstehen sollten, die Möglichkeit die Untersuchung abubrechen.

Die Deutsche Sporthochschule Köln hat keine Probandenversicherung für dieses Vorhaben abgeschlossen. Eine Haftung für Schäden gegen die Sporthochschule und ihre Mitarbeiter ist ausgeschlossen, es sei denn, der entstandene Schaden beruht auf Vorsatz oder grober Fahrlässigkeit.

Einwilligung zur Verarbeitung personenbezogener Daten:

Eine Verarbeitung Ihrer personenbezogenen Daten im Rahmen des oben genannten Forschungsprojekts ist nur mit Ihrer ausdrücklichen und freiwilligen Einwilligung möglich.

Hiermit willigen Sie ausdrücklich ein, dass die Deutsche Sporthochschule Köln zum Zwecke des Forschungsprojekts folgende personenbezogene Daten von Ihnen erheben, speichern und nutzen darf: Anschrift, Mail Adresse, biometrische Daten, Gesundheitsdaten und Spielniveau.

Eine Veröffentlichung Ihrer Daten erfolgt nur in anonymisierter Form, also ohne die Möglichkeit, einen Rückschluss auf Ihre Person zu ziehen.

Sie können diese Einwilligung jederzeit mit Wirkung für die Zukunft ohne Nachteile widerrufen. In diesem Falle werden Ihre personenbezogenen Daten unverzüglich gelöscht. Durch den Widerruf der Einwilligung wird die Rechtmässigkeit, der aufgrund der Einwilligung bis zum Widerruf erfolgten Verarbeitung nicht berührt. Eine (weitere) Teilnahme am Forschungsprojekt ist nur bei Vorliegen der Einwilligung möglich.

Mit dieser Unterschrift bestätigen Sie, dass sie sich freiwillig zur Teilnahme an dieser Untersuchung entschlossen haben.

Proband (Datum, Name)

Zeuge (Datum, Name)

Anhang 3: Erfassung von Demographie und Lifestyle Variablen sowie periinterventionelle Variablen und Verhaltensweise

Probanden Instruktion vor und am Messtag

Um einen möglichst reibungslosen Messtag sicherzustellen, bitte ich Sie, folgende Angaben vor dem Experiment zu beantworten:

Name: _____

E-Mail: _____

Alter und Geschlecht: _____

Golf Handicap: _____

Golferfahrung in Jahren: _____

Raucher: _____

Alkoholkonsum, falls ja wie oft und wie viel: _____

Gewicht und Körpergrösse: _____

Nehmen Sie herzaktivierende Medikamente, Antidepressiva, Antipsychotika oder Antihypertonika (Blutdrucksenker) ein?

Haben Sie Erfahrung mit Atemtechniken, falls ja, welche?

Zur Neutralisierung von beeinflussenden Nebeneffekten auf das Experiment und eine möglichst identische Ausgangssituation bei der Messwiederholung, bitte ich um die Einhaltung folgender Einflussgrössen:

- Einhalten einer normalen Schlafroutine am Tag vor dem Experiment und einer natürlichen Wachenszeit
- Kein intensives physisches Training am Tag vor dem Experiment
- Keine Mahlzeit 2h vor dem Experiment
- Keinen Kaffee oder koffeinhaltiges Getränk wie Energy-Drink oder Tee 2h vor dem Experiment
- Keinen Alkoholabusus 24h vor dem Experiment

Für einen flüssigen Ablauf des Experiments am Messtag teile ich Ihnen hiermit noch ein paar wichtige Einzelheiten und die Vorgehensweise mit.

- Kommen Sie am Messtag in Ihrem gewöhnlichen Golfoutfit zu der angegebenen Uhrzeit auf das Putting-Grün. Bitte tragen Sie nicht zu viele Kleidungsschichten, da ein Brustgurt um den Körper gespannt wird.
- Bringen Sie bitte ihren eigenen Putter mit.
- Falls Sie die Toilette nutzen müssen, erledigen Sie dies bitte vor dem Experiment.
- Das Experiment wird ungefähr 10-15 Minuten andauern.

Vorgehensweise und Ablauf der Messung:

1. Randomisierung der Probanden/Einteilung in zwei Gruppen
2. Aufklärung von Probanden über den Ablauf der Messung und der RFB-Atemmethode (vier Sekunden Einatmung und sechs Sekunden Ausatmung)
3. Umschnallen von Brustgurt und Bauchgurt
4. Messstart mit der Aufzeichnung der Atemfrequenz für zwei Minuten (stehende Körperposition) und der Durchführung der drei Probe-Putts
5. Positionierung an der Zwei-Meter-Markierung und Start mit der Aufzeichnung von Herzfrequenzvariabilität.
 - Anschliessend Beginn mit dem ersten von zehn Putts aus zwei Meter Distanz.
 - Zwischen den einzelnen Putts wird eine Pause von 30 Sekunden eingehalten, in der die Atemfrequenz willkürlich oder nach RFB-Atemmethode (in Abhängigkeit von Gruppenzugehörigkeit) eingehalten wird.
6. Positionierung an der Vier-Meter-Markierung und Start mit dem ersten von zehn Putts.
 - Einhaltung von 30 Sekunden Pause zwischen den Putts mit willkürlicher Atmung oder drei RFB-Atemzyklen.
7. Aufzeichnung Stopp von Herzfrequenzvariabilität und Atemfrequenz
8. Ausfüllen des NASA-Task-Load-Index-Fragebogens

Anhang 4: Kurzfassung des NASA – Task-Load-Index Fragebogen

Geben Sie jetzt für jede der untenstehenden Dimensionen an, wie hoch die Beanspruchung war. Markieren Sie dazu bitte auf den folgenden Skalen, in welchem Maße Sie sich in den sechs genannten Dimensionen von der Aufgabe beansprucht oder gefordert gesehen haben:

Geistige Anforderung Gering <table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td></tr> </table> Hoch											Wie viel geistige Anforderung war bei der Informationsaufnahme und bei der Informationsverarbeitung erforderlich (z.B. Denken, Entscheiden, Rechnen, Erinnern, Hinsehen, Suchen ...)? War die Aufgabe leicht oder anspruchsvoll, einfach oder komplex, erfordert sie hohe Genauigkeit oder ist sie fehlertolerant?
Körperliche Anforderung Gering <table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td></tr> </table> Hoch											Wie viel körperliche Aktivität war erforderlich (z.B. ziehen, drücken, drehen, steuern, aktivieren ...)? War die Aufgabe leicht oder schwer, einfach oder anstrengend, erholsam oder mühselig?
Zeitliche Anforderung Gering <table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td></tr> </table> Hoch											Wie viel Zeitdruck empfanden Sie hinsichtlich der Häufigkeit oder dem Takt mit dem die Aufgaben oder Aufgabenelemente auftraten? War die Aufgabe langsam und geruhsam oder schnell und hektisch?
Leistung Gut <table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td></tr> </table> Schlecht											Wie erfolgreich haben Sie Ihrer Meinung nach die vom Versuchsleiter (oder Ihnen selbst) gesetzten Ziele erreicht? Wie zufrieden waren Sie mit Ihrer Leistung bei der Verfolgung dieser Ziele?
Anstrengung Gering <table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td></tr> </table> Hoch											Wie hart mussten Sie arbeiten, um Ihren Grad an Aufgabenerfüllung zu erreichen?
Frustration Gering <table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td><td style="width: 10%; height: 20px;"></td></tr> </table> Hoch											Wie unsicher, entmutigt, irritiert, gestresst und verärgert (versus sicher, bestätigt, zufrieden, entspannt und zufrieden mit sich selbst) fühlten Sie sich während der Aufgabe?

Anhang 5: Normalverteilung der HRV-Parameter und Atemfrequenz

	HR-K	HR-I	RR-K	RR-I	SDNN-K	SDNN-I
Signifikanz (2-seitig)	0.055	0.200	0.111	0.200	0.063	0.167

	RMSSD-K	RMSSD-I	NN50-K	NN50-I
Signifikanz (2-seitig)	< 0.001	0.070	< 0.001	0.009

Tabelle 6: Signifikanz nach Test auf Normalverteilung der HRV-Parameter, eigene Darstellung

	Atemfrequenz- Kontrollgruppe (Az/min)	Atemfrequenz- Interventionsgruppe (Az/min)
Signifikanz (2-seitig)	0.200	0.200

Tabelle 7: Signifikanz nach Test auf Normalverteilung der Atemfrequenz, eigene Darstellung

Durchschnittliche Mittelwerte der HRV-Messparameter

Proband	HF-K (S/min)	HF-I (S/min)	RR-K (ms)	RR-I (ms)	SDNN-K (ms)	SDNN-I (ms)
P.1	82.1	85	730.5	705.75	21.88	31.29
P.2	84.7	85.7	708.36	699.2	63.2	69.45
P.3	100.6	97.3	596.14	616.4	23.78	38.99
P.4	83.9	88.2	714.88	679.95	62.26	38.55
P.5	83.9	80.2	715.02	748.38	54.47	107.84
P.6	78.9	79.7	760.87	752.32	45.44	64.7
P.7	81.4	67.6	737.5	886.99	54.54	67.28
P.8	96.4	79.6	622.26	753.96	24.02	43.4
P.9	92.6	76.3	647.72	786.35	42.7	69.56
P.10	86.8	82.9	665.63	723.63	31.75	46.9
P.11	108.4	86.9	553.52	690.3	31.98	37.27
P.12	104.4	90.6	574.6	662.28	29.59	28.96
P.13	116.9	95.8	513.36	626.16	12.49	27.92
P.14	84.9	89.3	707.04	672.19	62.98	36.35
P.15	89.4	92.7	670.87	647.1	126.06	83.71
P.16	71.4	71.2	839.82	843.24	45.04	60.83
P.17	91.6	89.4	654.71	671.21	37.48	61.97
P.18	110.6	91.4	542.55	656.23	18.59	40.69
P.19	104.1	88.4	576.11	678.85	108.44	104.15
P.20	97.1	92.7	617.86	646.92	111.81	109.61
P.21	103.5	87.9	579.83	682.31	50.47	99.18
P.22	83.6	87.6	717.59	684.79	51.51	48.6
P.23	94.3	104.7	636.53	572.97	52.12	48.4
P.24	84.6	80.8	709.06	742.65	79.06	87.68
P.25	99.6	97.7	602.3	614.01	62.46	67.1
P.26	94.2	88.4	637.07	678.53	32.48	65.56
P.27	77.4	78.2	774.77	766.89	96.66	75.32
P.28	84.5	82.3	709.87	729.39	74.57	87.65

Proband	RMSSD-K (ms)	RMSSD-I (ms)	NN50-K (Anzahl)	NN50-I (Anzahl)
P.1	9.25	9.7	1	0
P.2	24.64	32.84	35	70
P.3	13.69	15.86	4	7
P.4	51.96	21.15	70	19
P.5	25.78	58.72	35	146
P.6	30.89	29.2	23	46
P.7	28.77	38.95	23	55
P.8	4.46	18.82	0	10
P.9	23.93	39.73	9	60
P.10	11.77	22.55	0	31
P.11	39.08	14.66	32	6
P.12	5.66	11.34	0	0
P.13	2.49	8.58	0	0
P.14	57.87	27.82	54	8
P.15	213.86	117.15	325	289
P.16	39.74	25.61	8	33
P.17	19.36	28.15	10	28
P.18	9.05	13.99	2	1
P.19	46.2	41.46	99	80
P.20	47.79	47.23	83	88
P.21	19.05	45.25	15	67
P.22	24.4	23.4	37	29
P.23	29.4	21.9	54	38
P.24	51.49	57.58	98	131
P.25	36.46	23.33	22	27
P.26	13.16	33.15	6	56
P.27	37.81	39.11	85	82
P.28	27.8	30.75	29	49

Durchschnittliche Atemfrequenz über den Messzeitraum

Proband	Af - K (Az/min)	Af - I (Az/min)
P.1	17.04	11.96
P.2	26.94	15.35
P.3	20.17	13.29
P.4	18.93	16.36
P.5	16.64	17.81
P.6	20.73	12.57
P.7	20.01	10.59
P.8	19.54	3.4
P.9	24.41	17.42
P.10	22.68	17.03
P.11	27.69	13.97
P.12	18.86	17.1
P.13	25.13	16.18
P.14	23.13	18.2
P.15	18.75	14.14
P.16	24.5	11.81
P.17	28.26	25.63
P.18	19.08	14.14
P.19	23.8	13.98
P.20	14.6	6.8
P.21	15.27	10.16
P.22	20.37	14.99
P.23	20.34	7.86
P.24	17.76	10.1
P.25	10.74	10.02
P.26	11.78	10.35
P.27	19.67	13.66
P.28	22.5	15.05

Putt-Resultat

Proband	Pt2 - K (Treffer)	Pt2 - I (Treffer)	Pt4 - K (Treffer)	Pt4 - I (Treffer)
P.1	3	5	3	0
P.2	8	10	1	1
P.3	3	3	2	2
P.4	7	4	3	1
P.5	0	1	0	1
P.6	2	3	1	2
P.7	4	7	2	3
P.8	8	7	4	2
P.9	8	9	1	2
P.10	7	4	1	0
P.11	6	7	1	0
P.12	9	5	2	0
P.13	2	6	3	2
P.14	7	7	3	2
P.15	7	9	6	3
P.16	5	3	2	0
P.17	2	6	7	4
P.18	9	3	4	2
P.19	8	4	2	4
P.20	6	7	0	4
P.21	6	9	2	4
P.22	5	7	2	3
P.23	2	6	0	2
P.24	3	7	2	2
P.25	1	2	1	1
P.26	6	7	3	4
P.27	1	5	2	2
P.28	4	2	3	3

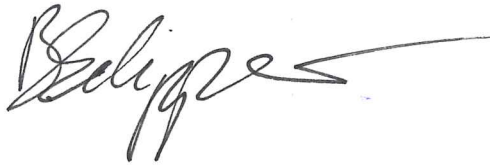
Durchschnittliche Wertung des NASA – Task-Load-Index Fragebogen

Proband	Gesamt-K	Gesamt - I	GA - K	GA - I	KA - K	KA - I	ZA - K	ZA - I
P.1	7.3	4.5	6	9	6	3	8	3
P.2	7.8	8.8	16	14	11	7	1	9
P.3	9.3	9.8	12	15	5	6	7	12
P.4	6.2	9.7	8	11	4	5	4	13
P.5	4.8	6.7	5	8	3	3	7	10
P.6	6	6.7	5	5	3	3	2	4
P.7	7	10.5	10	15	6	12	8	8
P.8	6.8	8.3	4	8	5	6	3	7
P.9	8.8	11.7	7	10	13	17	7	11
P.10	4.3	8	2	16	3	4	1	8
P.11	8	7.8	1	12	6	4	2	4
P.12	9	10	11	11	7	13	7	10
P.13	5.5	6.2	2	5	2	3	2	1
P.14	8.8	11.8	7	16	10	16	3	6
P.15	5.2	10.7	5	13	7	4	4	9
P.16	6	10.5	4	13	3	4	4	16
P.17	7.7	10.7	9	10	3	10	14	14
P.18	4.2	6.5	3	9	3	3	3	3
P.19	8	7.8	7	8	7	8	7	8
P.20	10.2	11.2	14	9	13	14	7	10
P.21	9	8.2	9	12	6	5	7	5
P.22	6.8	9.7	5	8	2	6	6	12
P.23	5.7	5.7	2	5	4	4	6	2
P.24	7.2	7.5	12	16	11	11	2	6
P.25	6.7	8.7	12	15	5	5	5	5
P.26	4.8	14.7	2	16	2	16	2	19
P.27	5.3	6.8	2	6	2	3	2	4
P.28	9	12.2	14	16	4	5	3	10

Proband	L - K	L - I	A - K	A - I	F - K	F - I
P.1	5	4	9	3	10	5
P.2	7	9	5	9	7	5
P.3	13	15	9	5	10	6
P.4	10	6	6	13	5	10
P.5	4	6	4	6	6	7
P.6	4	6	16	16	6	6
P.7	5	13	8	11	5	4
P.8	15	10	9	12	5	7
P.9	12	14	9	12	5	6
P.10	16	5	3	12	1	3
P.11	12	1	16	13	11	13
P.12	16	8	8	10	5	8
P.13	7	10	10	11	10	7
P.14	15	12	15	19	3	2
P.15	6	18	6	15	3	5
P.16	8	3	4	13	13	14
P.17	11	10	6	14	3	6
P.18	8	6	5	13	3	5
P.19	13	14	7	6	7	3
P.20	7	17	15	14	5	3
P.21	13	15	7	7	12	5
P.22	8	16	11	13	9	3
P.23	9	17	4	4	9	2
P.24	12	7	1	4	5	1
P.25	6	9	5	5	7	13
P.26	15	19	5	15	3	3
P.27	11	13	2	4	13	11
P.28	13	15	6	11	14	16

Eidesstattliche Versicherung

Hiermit versichere ich an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Die Stellen meiner Arbeit, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken und Quellen entnommen sind, habe ich unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht. Dasselbe gilt sinngemäß für Tabellen, Karten und Abbildungen. Diese Arbeit habe ich in gleicher oder ähnlicher Form oder auszugsweise nicht im Rahmen einer anderen Prüfung eingereicht.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Bastiaan Schipper', with a long horizontal stroke extending to the right.

Bastiaan Schipper