

Einfluss verschiedener Essensfenster auf die Herzratenvariabilität als Biomarker kardialer und gastraler Interozeption:

Eine kontrollierte, randomisierte
Interventionsstudie

Bachelorarbeit an der
Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg
Fakultät Gesundheit
Department Ökotrophologie

Erstbetreuung: Prof. Dr. Jürgen Lorenz
Zweitbetreuung: Prof. Dr. Anja Carlsohn

vorgelegt am 27.04.2026
von Insa Corino, [REDACTED]

[REDACTED]
[REDACTED]

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis	IV
Zusammenfassung	1
Abstract	2
1 Einführung	3
2 Theoretischer Hintergrund	5
2.1 Zeitlich begrenztes Essen (time-restricted eating)	5
2.1.1 Fastenregime	5
2.1.2 Auswirkungen auf den Stoffwechsel	6
2.1.3 Präventivmedizinische und therapeutische Ansätze	8
2.1.4 Auswirkungen auf die HRV und Interozeption	9
2.2 Herzratenvariabilität (HRV)	10
2.2.1 Definition und physiologische Grundlagen	10
2.2.2 HRV als Biomarker	11
2.3 Interozeption	12
2.3.1 Allgemeine Definition	12
2.3.2 Dimensionen	12
2.3.3 Modalitäten, deren physiologische Grundlagen und Erfassung	13
3 Methode	16
3.1 Ablauf des Studienzeitraumes	16
3.1.1 Rekrutierung, Screening, Stichprobe	16
3.1.2 Prä- und Post-Messung	17
3.1.3 Interventionszeitraum	17
3.2 Erhebungsverfahren, Erhebungsinstrumente und deren Auswertung	18
3.2.1 Literaturrecherche	18
3.2.2 Fragebogen	18
3.2.3 Adaptierte Version der Heartbeat Counting Task (HCT)	19
3.2.4 HRV-Messung (EKG unter getakteter Atmung)	19
3.2.5 Water Load Test (WLT)	20
3.2.6 Ernährungsprotokolle und Energiebilanzberechnung	21
3.3 Datenanalyse	21
3.3.1 Datenaufbereitung	21
3.3.2 Statistische Analyse	22
4 Ergebnisse	24
4.1 Ergebnisse der Energiebilanzberechnung	24
4.2 Ergebnisse der HRV-Messung (EKG unter getakteter Atmung)	25

4.3	Ergebnisse des WLT	29
4.4	Ergebnisse der adaptierten Version der HCT	32
5	Diskussion	37
5.1	Methodendiskussion	37
5.1.1	HRV-Messung (EKG unter getakteter Atmung)	39
5.1.2	Adaptierte Version der HCT	42
5.1.3	WLT	44
5.1.4	Ernährungsprotokolle und Energiebilanzberechnung	46
5.2	Ergebnisdiskussion	47
6	Schlussfolgerung	50
	Literaturverzeichnis	51
	Anhang	57
	A: Ethikvotum der Ethikkommission der HAW Hamburg	57
	B: Aufrufschreiben zur Probandenrekrutierung	58
	C: Informationsbogen für Studieninteressenten (inkl. Einwilligung)	59
	D: Fragebogen zur Basisdatenerhebung	66
	E: Fragebogen zur Nachmessung	68
	F: Instruktionen zu HCT, EKG unter getakteter Atmung und WLT	69
	G: Ernährungsprotokoll-Vorlage	71
	H: SPSS-Syntax der GLMM-Analysen	71
	I: Eidesstattliche Erklärung	73

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Definition relevanter Fastenregime und fastenbezogenen Begrifflichkeiten (eigene Darstellung mit Inhalten von (Koppold, et al., 2024))	5
Tabelle 2: Atemfrequenzabhängige Anpassung der Herzfrequenzbandbreite	20
Tabelle 3: Feste Effekte der GLMM für die logRespHRV-FFT und die RMSSD	25
Tabelle 4: Feste Effekte des GLMM für die WLT-Trinkmenge	29
Tabelle 5: Feste Effekte des GLMM für den HCT-Score	32
Tabelle 6: Gruppengleichheit geprüft auf akute gesundheitliche Beschwerden	38
Tabelle 7: Gruppengleichheit geprüft auf sportliche Aktivität	38

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Effekt des Messzeitpunktes auf die logRespHRV-FFT ($F(1,190) = 18,532, p < 0,001$)	25
Abbildung 2: Effekt des Alters auf die logRespHRV-FFT ($\beta = -0,205; p = 0,002$)	26
Abbildung 3: Effekt der Atemfrequenz auf die logRespHRV-FFT ($F(5,185) = 175,676, p < 0,001$)	26
Abbildung 4: Effekte von HCT-Score ($\beta = 0,176, p = 0,008$) bzw. WLT-Trinkmenge ($\beta = -0,136, p = 0,041$) auf die residualisierte logRespHRV-FFT (adjustiert für Atemfrequenz und Alter)	27
Abbildung 5: Interaktionseffekt von Messung*Versuchsgruppe*Atemfrequenz auf logRespHRV-FFT ($F(10, 185) = 0,272, p = 0,987$)	27
Abbildung 6: Interaktionseffekt von Messung*Geschlecht auf RMSSD ($F(1, 189) = 7,232, p = 0,008$)	28
Abbildung 7: Interaktionseffekt von Messung*Versuchsgruppe*Atemfrequenz auf RMSSD ($F(10, 184) = 2,701, p = 0,004$)	28
Abbildung 8: Effekt des Messzeitpunktes auf die WLT-Trinkmenge ($F(1, 213) = 6,885, p = 0,009$)	29
Abbildung 9: Effekt des Geschlechts auf die WLT-Trinkmenge ($F(1, 11) = 6,636, p = 0,025$)	30
Abbildung 10: Interaktionseffekt von Messung*Versuchsgruppe auf die WLT-Trinkmenge ($F(1, 206) = 5,950, p = 0,016$)	30
Abbildung 11: Interaktionseffekt von Messung*Versuchsgruppe auf WLT-Trinkmenge ($F(1, 210) = 3,055, p = 0,082$)	31
Abbildung 12: Effekt von sportlicher Aktivität auf die WLT-Trinkmenge ($\beta = 0,608, p < 0,001$)	31
Abbildung 13: Effekt des HCT-Scores auf die WLT-Trinkmenge ($\beta = 0,480, p < 0,001$)	32
Abbildung 14: Effekt des Messzeitpunktes auf den HCT-Score ($F(1, 213) = 5,636, p = 0,018$)	33
Abbildung 15: Interaktionseffekt von Messung*Geschlecht auf den HCT-Score ($F(1, 206) = 4,994, p = 0,027$)	33
Abbildung 16: Effekt der WLT-Trinkmenge auf den HCT-Score ($\beta = 0,480, p < 0,001$)	34
Abbildung 17: Effekt von sportlicher Aktivität auf den HCT-Score ($\beta = 0,238, p < 0,001$)	34

Abkürzungsverzeichnis

A

ADF *alternate-day fasting (tagesalternierendes Fasten)*

C

CER *continuous energy restriction (kontinuierliche Energierestriktion)*

CR *caloric restriction (Kalorienrestriktion)*

G

GLMM *Generalized Linear Mixed Model (verallgemeinertes lineares gemischtes Modell)*

H

HCT *Heartbeat Counting Task*
HEP *heartbeat-evoked potential (herzschlag-evoziertes Potenzial)*
HF *high-frequency power (Leistung im Hochfrequenzbereich)*
HRV *heart rate variability (Herzratenvariabilität)*

I

IAC *interoceptive accuracy (interozeptive Genauigkeit)*
IAw *interoceptive awareness (interozeptives Bewusstsein)*
IER *intermittent energy restriction (intermittierende Energierestriktion)*
IF *intermittent fasting (intermittierendes Fasten)*
IS *interoceptive sensibility (interozeptive Sensibilität)*

L

LF *low-frequency power (Leistung im Niederfrequenzbereich)*
logRespHRV-FFT *log-transformed respiratory-related heart rate variability derived using the Fast Fourier Transform (log-transformierte, atembezogene Herzratenvariabilität, berechnet mittels Fast-Fourier-Transformation)*

M

mADF *modified alternate-day fasting (modifiziertes tagesalternierendes Fasten)*

P

PF *periodic fasting (periodisches Fasten)*
PNS Index *parasympathetic nervous system index (Index des parasympathischen Nervensystems)*

R

RMSSD *root mean square of successive differences (Quadratwurzel der aufeinanderfolgenden Differenzen)*
RSA *respiratory sinus arrhythmia (respiratorische Sinusarrhythmie)*

S

SD1 *standard deviation 1 (Standardabweichung 1)*
SD2 *standard deviation 2 (Standardabweichung 2)*
SDANN *standard deviation of the average NN intervals (Standardabweichung der Mittelwerte der NN-Intervalle)*
SDNN *standard deviation of NN intervals (Standardabweichung der NN-Intervalle)*
SI *stress index (Stress-Index)*
SNS Index *sympathetic nervous system index (Index des sympathischen Nervensystems)*

T

TP *total power (Gesamtleistung)*
TRE *time-restricted eating (zeitlich begrenztes Essen)*

W

WLT *Water Load Test*

Einfluss verschiedener Essensfenster auf die Herzratenvariabilität als Biomarker kardialer und gastraler Interozeption:

Eine kontrollierte, randomisierte Interventionsstudie

Zusammenfassung

Zeitlich begrenztes Essen (TRE**Fehler! Textmarke nicht definiert.**, time-restricted eating) als Form des intermittierenden Fastens (IF**Fehler! Textmarke nicht definiert.**) wird mit positiven metabolischen und kardiovaskulären Effekten assoziiert. Erste Befunde deuten auf Einflüsse auf Herzratenvariabilität (HRV**Fehler! Textmarke nicht definiert.**) und Interozeption hin, wobei die Studienlage uneinheitlich und insbesondere zur Interozeption begrenzt ist. Ziel dieser randomisierten, kontrollierten Interventionsstudie ist es, den Einfluss verschiedener Essensfenster auf HRV, kardiale und gastrale Interozeption zu untersuchen und die Eignung der HRV als Biomarker für Interozeption zu prüfen. Insgesamt wurden 19 Datensätze in die Analyse eingeschlossen. Studienteilnehmer waren der Interventionsgruppe (Essensfenster < acht Stunden) oder der Kontrollgruppe (Essensfenster > zwölf Stunden) zugeordnet. Vor und nach dem 13-tägigen Interventionszeitraum wurde die HRV anhand verschiedener HRV-Parameter (nichtlinear, Zeitbereich, Frequenzbereich) aus EKGs unter getakteter Atmung berechnet, die kardiale Interozeption mittels einer adaptierten Version der Heart-beat Counting Task (HCT) bewertet und die gastrale Interozeption mithilfe des Water Load Tests (WLT) erfasst. Die statistische Analyse erfolgte unter Anwendung von GLMM und ergänzenden Regressionsanalysen in IBM SPSS Statistics. Die Intervention zeigte keinen Effekt auf HRV oder kardiale Interozeption, jedoch eine Verbesserung der gastralen Interozeption in der Interventionsgruppe. Signifikante positive Zusammenhänge konnten dafür zwischen HRV und Maßen kardialer und gastraler Interozeption gefunden werden. Sportliche Aktivität scheint die kardiale Interozeption zu erhöhen, allerdings auch die Trinkmenge. Die Befunde können die Steigerung vagaler Aktivität gemessen anhand der HRV durch intermittierendes Fasten nicht eindeutig stützen. Dafür konnte die potenzielle Eignung der HRV als Biomarker für Interozeption nachgewiesen werden. Aufgrund der Komplexität der zugrunde liegenden Zusammenhänge sollten die Ergebnisse in weiteren Forschungsarbeiten mit größeren Stichproben überprüft werden.

Abstract

Time-restricted eating (TRE), a subtype of intermittent fasting (IF), has been linked to beneficial metabolic and cardiovascular outcomes. Emerging evidence indicates potential effects on heart rate variability (HRV) and interoception; however, current findings are inconsistent and particularly scarce regarding interoceptive processes. This randomized controlled intervention study aimed to examine the effects of different eating windows on HRV, cardiac interoception, and gastric interoception, and to evaluate HRV as a potential biomarker of interoception. Nineteen datasets were included in the analysis. Participants were assigned to either an intervention group (eating window < eight hours) or a control group (eating window > twelve hours). HRV was assessed before and after the 13-day intervention using nonlinear, time-domain, and frequency-domain parameters derived from ECG recordings under paced breathing. Cardiac interoception was measured using an adapted version of the Heartbeat Counting Task (HCT), and gastric interoception via the Water Load Test (WLT). Data were analyzed using generalized linear mixed models (GLMM) and supplementary regression analyses in IBM SPSS Statistics. The intervention had no effect on HRV or cardiac interoception but improved gastric interoception in the intervention group. Significant positive associations were observed between HRV and both cardiac and gastric interoception. Physical activity was associated with enhanced cardiac interoception, but also with increased water intake. Overall, the findings do not clearly support an IF-induced increase in vagal activity as indexed by HRV. Nonetheless, HRV showed potential as a biomarker of interoception. Given the complexity of these relationships, further studies with larger samples are warranted.

1 Einführung

Das zeitliche Beschränken der Nahrungsaufnahme auf ein bestimmtes Essensfenster, woraus ein tägliches Fastenfenster von mindestens 14 Stunden resultiert, wird als zeitlich beschränktes Essen (TRE, time-restricted eating **Fehler! Textmarke nicht definiert.**) bezeichnet und ist eine Form des intermittierenden Fastens (IF, intermittent fasting) (Koppold, et al., 2024). IF kann durch verschiedene Mechanismen wie eine reduzierte Energieaufnahme, gesteigerte Insulinsensitivität, verbesserte Fettverbrennung, antiinflammatorische Effekte sowie der Aktivierung von autophagischen Prozessen das Gewichtsmanagement erleichtern, die metabolische Gesundheit verbessern und das Erkrankungsrisiko einiger Krankheiten, darunter auch kardiovaskulärer Erkrankungen, senken (Hua, et al., 2025).

Neueste Forschung zeigt, dass während eines dreitägigen 16:8-Fastenregimes die Herzratenvariabilität (HRV, heart rate variability **Fehler! Textmarke nicht definiert.**), beziehungsweise genauer genommen der Parameter der RMSSD (root mean square of successive differences **Fehler! Textmarke nicht definiert.**), vom Essensfenster zum Fastenfenster signifikant angestiegen ist, wobei vor allem bei Individuen mit ursprünglich niedriger RMSSD ein zuverlässiger Anstieg zu verzeichnen war. Neben der RMSSD stiegen für die jeweiligen Individuen auch die Messwerte für kardiale interozeptive Genauigkeit (IAC, interoceptive accuracy) und interozeptive Sensibilität (IS, interoceptive sensibility) signifikant an. Laut Schwertfeger und Rominger ist eine Veränderung der Aktivität des autonomen Nervensystems ursächlich für diese Effekte (Schwertfeger & Rominger, 2024).

Dies deutet auf einen positiven Zusammenhang zwischen IF und kardialer interozeptiver Wahrnehmung hin, wobei sich die HRV als Biomarker für die kardiale Interozeption anbietet.

Die HRV scheint sich darüber hinaus als Marker für den allgemeinen Gesundheitszustand sowie für kurzfristige Entwicklungen des Gesundheitszustands zu etablieren. Die Arbeit von Young und Benton beschreibt nämlich, dass eine niedrige HRV mit Erkrankungen wie Diabetes, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Entzündungen, Übergewicht und psychiatrischen Störungen assoziiert ist, genauso wie auch eine Assoziation mit einer hohen Zufuhr an gesättigten Fettsäuren, trans-Fettsäuren und hochglykämischen Kohlenhydraten, eher weniger gesundheitsförderlichen Lebensmittelbestandteilen, besteht (Young & Benton, 2018). Die Effekte einer Ernährungsintervention wie dem IF könnten so in Zukunft möglicherweise anhand der HRV als nicht-invasivem Gesundheitsmarker bewertet werden.

Die respiratorische Sinusarrhythmie (RSA, respiratory sinus arrhythmia **Fehler! Textmarke nicht definiert.**) beschreibt die HRV in Abhängigkeit von der Atmung, wobei Inspiration die R-R-Intervalle eines EKGs verkürzt und Expiration diese verlängert. Das Phänomen wurde das erste Mal im 19. Jahrhundert von Ludwig beschrieben (Ludwig, 1847). Weil getaktete Atmung die Reproduzierbarkeit von Messungen der HRV leicht verbessern kann (Kobayashi, 2009; Pinna, et al., 2007) und

insbesondere die Validität der Messung durch Kontrolle der Atemfrequenz verbessert wird (Matyevich, et al., 2025; Soer, Dijkstra, Bieleman, Oosterveld, & Rijken, 2021), wird in dieser Studie der Einfluss der Respiration durch die RSA auf die HRV im Rahmen eines sechsminütigen EKGs unter getakteter Atmung berücksichtigt.

Interozeptionsforschung konnte feststellen, dass der Grad der kardialen Interozeptionsfähigkeit, gemessen in der Heartbeat Counting Task (HCT), negativ mit dem getrunkenen Wasservolumen, gemessen im Water Load Test (WLT), korreliert (Dyck, et al., 2016; Herbert, Muth, Pollatos, & Herbert, 2012). Wenn eine stärkere Wahrnehmung der Herzfunktion also mit einer stärkeren Wahrnehmung des Magens einhergeht, spricht dies dafür, „that there is a general sensitivity for interoceptive processes across the gastric and cardiac modality“ (Herbert, Muth, Pollatos, & Herbert, 2012, S. 1). Daher sollen in der geplanten Studie die Auswirkungen des IF auf die Viszerozeption von Herz und Magen parallel betrachtet werden.

Darüber hinaus besitzt die gastrointestinale Interozeption auch für sich genommen eine hohe Relevanz, denn ist sie gestört, so begünstigt dies eine fehlerhafte Darm-Hirn-Interaktion, die wiederum Nahrungsaufnahme und Darmmotilität beeinflusst und damit die Entstehung von Adipositas fördert (Chang, Thaiss, Knight, & Khalsa, 2025). Nebenwirkungsarme Therapien zu finden, die gastrale Interozeptionsfähigkeit von betroffenen Individuen zu verbessern, ist demnach von großer medizinischer Relevanz.

Aus den vorab erläuterten Zusammenhängen ergeben sich die Hypothesen, dass sich bei der Interventionsgruppe mit der Intervention des 16:8-Intervallfastens (1) die HRV, (2) die kardiale Interozeption und (3) die gastrale Interozeption über die Interventionszeit im Vergleich zur Kontrollgruppe verbessert und (4) die HRV als Biomarker für kardiale und gastrale Interozeption dienen kann.

Im Folgenden werden zunächst im theoretischen Hintergrund Definitionen und weiterführende Hintergrundinformationen zu dem zeitlich begrenzten Essen und zur Interozeption präsentiert, Anschließend wird das methodische Vorgehen inklusive der Erhebungsverfahren und der Datenanalyse erläutert. Statistische Ergebnisse der Interventionsstudie werden dargelegt und in methodischer und fachlicher Hinsicht diskutiert, woraus sich die Implikationen für Forschung und Praxis ableiten, die in einer Schlussfolgerung zusammengefasst werden. Literaturangaben und Anhang bilden den Abschluss.

2 Theoretischer Hintergrund

Im diesem Kapitel werden für die vorliegende Arbeit relevante Definitionen erläutert, Einordnungen vorgenommen und Hintergrundinformationen zur Verfügung gestellt, die dem Verständnis dienen und die Relevanz der Forschungsthematik weiter verdeutlichen.

2.1 Zeitlich begrenztes Essen (time-restricted eating)

Zentraler Gegenstand und Intervention dieser Forschung ist das zeitlich auf verschiedene Essensfenster begrenzte Essen, dessen Formen, Auswirkungen und Potenziale in den kommenden Abschnitten genauer beleuchtet werden.

2.1.1 Fastenregime

Fasten ist die „voluntary abstinence from some or all foods or foods and beverages for preventive, therapeutic, religious, cultural, or other reasons“ (Koppold, et al., 2024, S. 1782).

Folgende Tabelle definiert die für das Verständnis dieser Arbeit relevanten Fastenregime und fastenbezogenen Begrifflichkeiten nach Koppold et al. Dabei ist anzumerken, dass sich diese Definitionen nicht uneingeschränkt auf alle in diese Arbeit einbezogenen Studien übertragen lassen, da diese größtenteils vor 2024 veröffentlicht wurden und leicht abweichende Definitionen nicht ausgeschlossen werden können.

Tabelle 1: Definition relevanter Fastenregime und fastenbezogenen Begrifflichkeiten (eigene Darstellung mit Inhalten von (Koppold, et al., 2024))

Fastenmodell	Definition	Beispiele/ Varianten
Caloric restriction (CR)	Reduktion der Energiezufuhr unter den Energiebedarf, der zum Halten des aktuellen Körpergewichtes notwendig wäre, ohne eine Mangelernährung zu verursachen	CER
Continuous energy restriction (CER)	Tägliche CR	
Intermittent energy restriction (IER)	Sich abwechselnde Phasen von Energie-restriktion und ad-libitum-Nahrungsaufnahme	IF

Periodic fasting (PF)	Sich in regelmäßigen Abständen (täglich, wöchentlich, monatlich) wiederholendes Fasten	IF
Intermittent fasting (IF)	Sich wiederholende Fastenperioden, die bis zu 48 Stunden dauern	5:2 ADF TREFehler! Textmarke nicht definiert.
Time-restricted eating (TRE)	Sich täglich wiederholende Fastenperioden, die mindestens 14 Stunden dauern und sich mit uneingeschränkter Nahrungsaufnahme abwechseln	16:8 20:4
Alternate-day fasting (ADF)	Sich abwechselnde Tage mit uneingeschränkter Nahrungsaufnahme und ausschließlichem Wasserkonsum	ADMF
Alternate-day modified fasting (ADMF)	Sich abwechselnde Tage mit uneingeschränkter Nahrungsaufnahme und modifiziertem Fasten (< 25 % des Energiebedarfs)	

Bei dem 16:8-Fastenregime, welches die Interventionsgruppe dieser Pilotstudie als Intervention umsetzte, führt ein Essensfenster von maximal acht Stunden zu einem täglichen Fastenfenster von 16 Stunden. Das 16:8-Fasten ist folglich im engeren Sinne als TREFehler! Textmarke nicht definiert. zu klassifizieren. Die Energieaufnahme innerhalb des täglichen Essensfensters ist dabei nicht limitiert. Im weitergefassten Sinne lässt sich das 16:8-Fasten auch den Oberbegriffen der IER, sich abwechselnden Phasen von Energierestriktion und Nahrungsaufnahme nach Belieben, und des IF, wiederholten Fastenperioden, die maximal 48 Stunden dauern und in verschiedenen Mustern auftreten können, unterordnen (Koppold, et al., 2024).

2.1.2 Auswirkungen auf den Stoffwechsel

Die Nahrungskarenz beim IF führt nach 12-36 h, in denen das Glykogen in der Leber durch Glykogenolyse zu Glykose gespalten und zur Energiegewinnung genutzt wird, zur Erschöpfung der Leberglykogenspeicher. Ursächlich für die zeitliche Variation sind dabei der ursprüngliche Füllstand des

Glykogenspeichers in der Leber und das Aktivitätslevel nach der letzten Nahrungsaufnahme. Es kommt zum „metabolischen Switch“, bei dem der Körper seine Energiegewinnung aus Glukose auf die aus freien Fettsäuren und Ketonkörpern umstellt (Anton, et al., 2018), was den gewichtsreduzierenden Effekt von IF induziert.

Die eingeschränkte Verfügbarkeit von Makro- und Mikronährstoffen als Folge der Nahrungskarenz (reduzierter Glukosespiegel und reduzierte Aminosäureverfügbarkeit), führen zur Deaktivierung der Proteinkinase mTOR (mechanistic target of rapamycin), weil diese von Aminosäuren und Wachstumsfaktoren aktiviert wird. AMPK (AMP-activated proteinkinase) hingegen wird von den Bedingungen unter Nährstoffmangel aktiviert und reguliert Glukoseaufnahme, Fettsäureoxidation, Ketogenese und verhindert weitere Lipogenese (Hofer, Carmona-Gutierrez, Mueller, & Madeo, 2022).

Neigen sich die Glykogenspeicher dem Ende zu, kann Glukose in kleineren Mengen durch Glukoneogenese aus glukogenen Aminosäuren vom Körper hergestellt werden, wofür körpereigenes Protein abgebaut wird (Hofer, Carmona-Gutierrez, Mueller, & Madeo, 2022).

Lipolyse in Adipozyten führt zur Freisetzung von freien Fettsäuren in die Blutbahn. Angelangt in Hepatozyten, werden sie durch β -Oxidation zu den Ketonen β -OHB und Acetoacetat umgebaut, die möglicherweise auch von Astrozyten produziert werden. Die Ketonkörper werden zu energiebedürftigen Zellen transportiert und zu Acetyl-Coenzym A verstoffwechselt, um über den Tricarbonsäurezyklus ATP zur Energieabsicherung zu erzeugen (Anton, et al., 2018).

Der Fastenzustand resultiert in einem Absinken der Blutspiegel von den Metaboliten Glukose, glukogenen Aminosäuren, Triglyceriden und Markern für oxidativen Stress, dem Wachstumsfaktor IGF-1 (insulin-like growth factor), Entzündungsmarkern wie dem CRP (C-reactive protein), und den Hormonen Insulin, dem das Sättigungsgefühl verursachenden Leptin und dem Schilddrüsenhormon T3, das verantwortlich für den Energieverbrauchsabfall bei Kalorienrestriktion ist (Hofer, Carmona-Gutierrez, Mueller, & Madeo, 2022).

Andersherum steigen im Blut die Konzentrationen an den Metaboliten der freien Fettsäuren und Ketonkörper, die der Energiegewinnung dienen, möglicherweise den Muskelerhalt fördern (Anton, et al., 2018), und gleichzeitig Signalfunktion gegenüber Hormonen und Transkriptionsfaktoren haben. Einen Anstieg weist zudem der Wachstumsfaktor FGF21 auf, der Glukoseaufnahme in Fettzellen fördert. Ferner steigen die Konzentrationen der Hormone Ghrelin, das ein Hungergefühl hervorruft, und Adiponektin, das Glukoseaufnahme, Insulinsensitivität und Fettsäureoxidation fördert (Hofer, Carmona-Gutierrez, Mueller, & Madeo, 2022).

Um dem nährstoffmangelinduzierten Stress zu begegnen, werden durch ein Zusammenspiel zahlreicher Transkriptionsfaktoren (FOXO1, NRF2, Sirtuine SIRT1 und SIRT3, PPAR-a und PGC-1a) die

Abwehr von oxidativem Stress, die Reparatur von DNA sowie Prozesse der Mito- und Autophagie hochgefahren (Hofer, Carmona-Gutierrez, Mueller, & Madeo, 2022).

All die durch Fasten initiierten Mechanismen schützen vor altersbedingter mitochondrialer Dysfunktion, Störung der Proteostase, Zellalterung und Telomerverkürzung und können damit in Tiermodellen gesundes Altern fördern (Hofer, Carmona-Gutierrez, Mueller, & Madeo, 2022).

2.1.3 Präventivmedizinische und therapeutische Ansätze

Übersichtsarbeiten zeigen mittlerweile zahlreiche Krankheitsbilder auf, bei denen IF präventives oder therapeutisches Potenzial aufweist, und legen damit die Relevanz von IF im medizinischen Kontext dar.

2.1.3.1 Bei metabolischem Syndrom

IF wirkt sich positiv auf zahlreiche kardiometabolische Risikofaktoren aus und wirkt somit dem metabolischen Syndrom entgegen.

IF-Regime (ADF, ADMF, PF, TRE**Fehler! Textmarke nicht definiert.**) führten wie auch CER zu einem signifikanten Körpergewichtsverlust verglichen mit ad-libitum-Diäten, wobei ADMF die größten Effekte zeigt und sowohl den anderen Fastenformen als auch der CER in puncto Gewichtsreduktion überlegen ist. Was die Körperfettreduktion anbelangt, zeigten sowohl PF als auch TRE**Fehler! Textmarke nicht definiert.** eine signifikante Reduktion gegenüber normaler Diät, während ADF und ADMF keinen Vorteil gegenüber der normalen Diät boten. Verglichen mit normaler Diät führten ADMF, PF, TRE**Fehler! Textmarke nicht definiert.** wie auch CER zu einem verminderten Taillenumfang, während ADF keine Effekte hatte (Kibret, Peeters, Teegene, Mesfin, & Nichols, 2025). Bei einer anderen Meta-Analyse hingegen waren die Effekte auf Körpergewicht, Körperfett und Taillenumfang durchgängig beim ADF am stärksten ausgeprägt (Semnani-Azad, et al., 2025).

Verschiedene IF-Regime können eine leichte Verbesserung glykämischer Parameter (Nüchtern glukose, Nüchterninsulinspiegel, HOMA-IR oder HbA1c) bewirken und somit vor Diabetes schützen (Nowosad & Sujka, 2021). Besonders TRE**Fehler! Textmarke nicht definiert.** senkt den Glukosespiegel im nüchternen Zustand (Kibret, Peeters, Teegene, Mesfin, & Nichols, 2025). Zwei andere Meta-Analysen machten eine widersprüchliche Beobachtung bezüglich der HbA1c-Reduktion bei IF-Regimen im Vergleich zu normaler Diät (Borgundvaag, Mak, & Kramer, 2021; Semnani-Azad, et al., 2025). Außerdem fördert IF die metabolische Flexibilität, was Insulinresistenz entgegenwirken soll (Kibret, Peeters, Teegene, Mesfin, & Nichols, 2025).

Systolischer und diastolischer Blutdruck werden durch ADMF, PF, TRE**Fehler! Textmarke nicht definiert.** und CER im Vergleich zu normaler Ernährung signifikant gesenkt, wobei ADMF die

größten Effekte zeigt. ADF hingegen zeigt die geringsten Effekte bis hin zu keinem Vorteil gegenüber Standardernährung (Kibret, Peeters, Tegegne, Mesfin, & Nichols, 2025). Im Gegensatz dazu fanden Semnani-Azad et al. Verbesserungen von systolischem und in geringem Maße auch diastolischem Blutdruck nur bei ADF-Interventionen (Semnani-Azad, et al., 2025).

Eine signifikante Reduktion von LDL-Cholesterol zeigt bei Kibret et al. nur PF im Vergleich zu einer regulären Ernährung. ADF, ADMF, TRE**Fehler! Textmarke nicht definiert.** und CER haben keinen Effekt (Kibret, Peeters, Tegegne, Mesfin, & Nichols, 2025). Die Meta-Analyse von Semnani-Azad et al. ergab hingegen, dass nur ADF reduzierende Effekte auf Blutfettwerte wie Triglyceride, Gesamt- und LDL-Cholesterol hat. Der HDL-Spiegel zeigt keine Veränderung (Semnani-Azad, et al., 2025).

2.1.3.2 Bei neurologischen Erkrankungen

IF verzögert in Tiermodellen für Alzheimer, Parkinson und Huntington das Auftreten und Fortschreiten neuronaler Dysfunktionen und neurodegenerativer Prozesse, wobei verschiedene neuroprotektive Mechanismen (Verminderung von oxidativem Stress, Erhaltung der Mitochondrienfunktion, verstärkte Signalübertragung durch neurotrophe Faktoren und autophagische Prozesse) diskutiert werden (Mattson, Longo, & Harvie, 2017). Die altersbedingte Abnahme von Gedächtnisleistung konnte im Tiermodell kombiniert mit CR aufgehalten werden, wobei die Verstoffwechselung von Ketonen ursächlich sein könnte (Anton, et al., 2018).

Auch in Bezug auf Epilepsie (Anton, et al., 2018) und Schlaganfälle (Anton, et al., 2018; Mattson, Longo, & Harvie, 2017) soll Fasten in Tiermodellen neuroprotektive Effekte haben. IF zeigt also bei einer Bandbreite an neurologischen Erkrankungen neuroprotektives Potenzial.

2.1.3.3 Bei onkologischen Erkrankungen

In Tiermodellen verzögert Fasten das Neuauftreten von Tumoren und Tumorprogression, beim Menschen erhöht es die Anfälligkeit von Krebszellen gegenüber Zytostatika, während gleichzeitig gesunde Zellen geschützt und Nebenwirkungen der Medikation gesenkt werden (Hofer, Carmona-Gutierrez, Mueller, & Madeo, 2022; Mattson, Longo, & Harvie, 2017). Außerdem führt Fasten zur Reduktion einiger Krebs-Biomarker wie Insulin, Zytokinen, Leptin und Adiponektin, die den krebsrisikomindernden Effekt ausmachen könnte (Mattson, Longo, & Harvie, 2017). IF zeigt also antineoplastisches Potenzial bei der Prävention und Therapie von onkologischen Erkrankungen.

2.1.4 Auswirkungen auf die HRV und Interozeption

Nach aktuellem Forschungsstand sind die Auswirkungen von Fasten auf die HRV noch nicht eindeutig belegt, denn Primärstudien zeigen unterschiedliche Effekte, während die Studienlage zur Auswirkung auf Interozeption generell noch sehr begrenzt ist.

Mzoughi et al. stellte bei 20 hypertensiven Patienten nach Ramadan-Fasten eine signifikante Reduktion von der SDNN (standard deviation of NN intervals), der SDANN (standard deviation of the average NN intervals), der TP (total power) und der LF (low-frequency power) **Fehler! Textmarke nicht definiert.** fest, was auf erhöhte sympathische Aktivität hindeutet (Mzoughi, Zairi, Jabeur, & Kraiem, 2018). Auch die Studie von Flasbeck et al., die herzsschlag-evozierte Potenziale (HEP, heartbeat-evoked potential) als physiologisches Korrelat der Interozeption und die HRV zunächst nach einer 16-stündigen Fastenperiode und dann nach Aufnahme von nährstoffhaltigen Getränken gemessen hat, deutet auf einen Abfall an kardialer sympathischer Aktivität nach Beendigung des Fastens hin (Flasbeck, Bamberg, & Brüne, 2021). Diese Studienergebnisse sprechen für eine Erhöhung der sympathischen Aktivität durch Fasten, während weitere Studien ein anderes Bild zeigen.

Bei 58 Bluthochdruck-Patienten, die mit verschiedenen blutdrucksenkenden Medikamenten therapiert wurden, zeigte sich beim Ramadan-Fasten eine nachmittägliche HRV-Steigerung im Vergleich zur Woche nach dem Ramadan (Hammoud, et al., 2021). Eine erhöhte vagal-vermittelte HRV zeigte auch eine Studie mit 16:8-Fastenregime. Ein stärkerer Fasteneffekt auf die HRV war dabei mit einem größeren Anstieg der IAc in der HCT verbunden (Rominger, Weber, Aldrian, Berger, & Schwerdtfeger, 2021; Schwerdtfeger & Rominger, 2024). Ein weiteres 30-tägiges Fastenprotokoll mit einem 15-16-stündigen Fastenfenster ließ die RMSSD und die HF (high-frequency power **Fehler! Textmarke nicht definiert.**) bei Patienten mit kontrolliertem Hypertonus ansteigen, was sich durch einen gesteigerten parasympathischen Tonus erklären lässt (Demirci, et al., 2023). Ein einmaliges 24-Stunden-Fasten erhöhte bei 25 jungen, gesunden Erwachsenen unter kontrollierter Atmung die R-R-Intervalle und die normierte HF bei gleichzeitiger Abnahme der normierten LF, was auf eine erhöhte vagale HRV-Modulation hinweist (Gonzalez & Cooke, 2022). Neben den bisherigen Ergebnissen zu Fasteninterventionen der Kategorie des TREs zeigt auch Langzeit-Fasten von zwölf Tagen in Form des Buchinger-Fastens mit ungefähr 250 kcal pro Tag eine Erniedrigung des SNS Index (sympathetic nervous system index) bei gleichzeitiger Erhöhung der RMSSD, was für gesteigerte parasympathische Aktivität spricht (Mesnage, et al., 2025).

Es zeigt sich also bei gesamtheitlicher Betrachtung der aktuellen Literatur die Tendenz, dass Fastenregime die vagal-vermittelte HRV oder verwandte Parameter steigern und damit eine erhöhte parasympathische Aktivität anzeigen, die möglicherweise auch zu gesteigerter IAc führt.

2.2 Herzratenvariabilität (HRV)

Folgendes Kapitel soll die theoretischen Grundlagen der HRV verständlich machen und den Zusammenhang zur möglichen Eignung als Biomarker für interozeptive Prozesse darlegen.

2.2.1 Definition und physiologische Grundlagen

Die Herzratenvariabilität (HRV, heart rate variability) ist die zeitliche Variabilität aufeinanderfolgender Herzperiodendauern (R-R-Intervalle im EKG) (Young & Benton, 2018). Das dieser Variabilität zugrunde liegende Phänomen ist die respiratorische Sinusarrhythmie (RSA, respiratory sinus arrhythmia), die erstmals im 19. Jahrhundert von Ludwig beschrieben wurde. Sie kennzeichnet die physiologischen Schwankungen der Herzperiodendauer in Synchronisation zur Atmung: Während der Inspiration verkürzt sich das R-R-Intervall im EKG, wohingegen es sich während der Expiration verlängert (Ludwig, 1847). Neben der Atemphase (Ein- oder Ausatmung) beeinflussen auch Atemfrequenz, Atemvolumen, Lungenvolumen und Alter die Ausprägung der HRV (Hirsch & Bishop, 1981).

Die HRV gilt als zuverlässiger Indikator für autonome Regulation, da sie größtenteils vagal vermittelt wird (Martinmäki, Rusko, Kooistra, Kettunen, & Saalasti, 2006) und bis zu einem gewissen Grad positiv mit zunehmender parasympathischer Aktivität korreliert (Goldberger, Challapalli, Tung, Parker, & Kadish, 2001). Eine hohe HRV weist folglich auf eine ausgeprägte vagale Kontrolle hin, während eine niedrige HRV umgekehrt eine schwächere vagale Steuerung widerspiegelt.

2.2.2 HRV als Biomarker

Über ihre Aussagekraft hinsichtlich der sympathovagalen Balance hinaus besitzt die HRV das Potenzial, sich im klinischen Kontext als ein breit einsetzbarer nicht-invasiver Biomarker für den Einfluss von Ernährungsinterventionen auf physische und psychische Gesundheit zu etablieren. Denn es werden Zusammenhänge zwischen der HRV, gesundheitsförderlichen und weniger förderlichen Lebensstilmaßnahmen, Gesundheit und Morbidität beobachtet. So ist eine niedrige HRV mit der Entstehung von Diabetes, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Entzündungen, Adipositas und psychiatrischen Störungen assoziiert. Darüber hinaus scheint die HRV durch weniger gesundheitsförderliche Ernährungsgewohnheiten wie einer hohen Zufuhr an gesättigten Fettsäuren, Transfetten oder Kohlenhydraten mit hohem glykämischen Index reduziert zu werden, während gesundheitsförderliche Ernährungsweisen und -bestandteile wie eine mediterrane Ernährung, Omega-3-Fettsäuren, B-Vitamine, Probiotika, Polyphenole und eine generelle Gewichtsabnahme mit einer Steigerung der HRV verbunden sind (Young & Benton, 2018).

Da die HRV überwiegend über vagale Efferenten vermittelt ist (Martinmäki, Rusko, Kooistra, Kettunen, & Saalasti, 2006) und mit dem Grad an parasympathischer Aktivität korreliert (Goldberger, Challapalli, Tung, Parker, & Kadish, 2001) und sich auch interozeptive Wahrnehmung über vagale Afferenten bei stimuliertem Vagusnerv verbessert (Wareing, Readman, Longo, & Linkenauger, 2024), liegt die Annahme nahe, dass die HRV indirekt als objektiv messbarer, nicht-invasiver Biomarker für Interozeptionsvermögen dienen könnte. Das ist insbesondere nützlich vor

dem Hintergrund, dass die verhaltensbasierten Messmethoden stark diskutiert werden (siehe *Methodendiskussion*).

So konnten erste Studien zeigen, dass die HRV und deren Veränderungen in einem positiven Zusammenhang mit der kardialen Interozeption stehen (Lischke, Pahnke, Mau-Moeller, & Weippert, 2021; Rominger, Weber, Aldrian, Berger, & Schwerdtfeger, 2021; Schwerdtfeger & Rominger, 2024). Eine weitere Studie berichtet Zusammenhänge zwischen der HRV und der kardialen Interozeption, wobei die Richtung von Atemfrequenz und interozeptiver Dimension abhängig ist (Leganes-Fonteneau, et al., 2021).

Ein systematisches Review liefert Hinweise darauf, dass verschiedene HRV-Parameter bei Patienten mit entzündlichen Darmerkrankungen oder Reizdarmsyndrom im Vergleich zu gesunden Kontrollen signifikant herabgesetzt sind (Sadowski, Dunlap, Lacombe, & Hanes, 2021). Studien, die den direkten Zusammenhang von HRV und gastral Interozeption untersuchen, liegen bislang jedoch nicht vor.

2.3 Interozeption

Nachfolgend wird das Konstrukt der Interozeption, die in dieser Untersuchung Outcome-Parameter abbildet, in ihren wesentlichen Facetten dargestellt.

2.3.1 Allgemeine Definition

Interozeption ist die viszerale sensorische Psychobiologie. Ältere Definitionen bezeichnen mit Interozeption primär die Signalübertragung aus der viszeralen Körperperipherie an das zentrale Nervensystem. Die afferenten Informationen kommen dabei häufig aus dem Herz oder Magen-Darm-Trakt, können aber auch aus dem Atmungssystem, dem Urogenitalsystem oder dem endokrinen System stammen und dabei auf chemische, osmotische oder volumenbezogene Veränderungen zurückgehen (Cameron, 2001).

Sowohl nach Cameron als auch nach Craig sollte die Definition von Interozeption auf die Wahrnehmung aller afferenten Signale ausgeweitet werden, unabhängig davon, aus welchem Organsystem diese stammen. Diese Definition würde dann auch die Wahrnehmungen der Haut oder propriozeptive Wahrnehmungen einschließen (Cameron, 2001; Craig, 2002).

Abzugrenzen ist die Interozeption von Extero- und Propriozeption. Während die Exterozeption die Wahrnehmung äußerer Einflüsse über die Sinnesorgane beschreibt, liefert die Propriozeption Informationen über die Lage und Positionsveränderung des Körpers im Raum (Sherrington, 1906, zit.

nach (Garfinkel, Seth, Barrett, Suzuki, & Critchley, 2015)). Sie beziehen sich beide nicht auf die Wahrnehmung von Signalen aus dem Körperinneren.

2.3.2 Dimensionen

Nach aktuellem Forschungsstand wird Interozeption überwiegend als mehrdimensionales Konstrukt verstanden, das sich in drei Bereiche gliedern lässt. Garfinkel et al. unterscheidet aktuell folgende drei Dimensionen:

Die interozeptive Genauigkeit (IAc, interoceptive accuracy) bezeichnet objektive Leistung in empirisch auswertbaren Verhaltensaufgaben und gibt Auskunft darüber, wie exakt eine Person physiologische Signale aus dem Körperinneren wahrnimmt. Die interozeptive Sensibilität (IS, interoceptive sensibility) beruht hingegen auf subjektiver Selbsteinschätzung, die üblicherweise mithilfe von Selbstauskunftsfragebögen oder Confidence-Ratings während der Messungen erhoben wird. Dabei werden sowohl das Vertrauen in die eigenen interozeptiven Fähigkeiten als auch das Ausmaß, in dem Körpersignale wahrgenommen werden, abgefragt. Die dritte Dimension, das interozeptive Bewusstsein (IAw, interoceptive awareness) beschreibt die metakognitive Übereinstimmung zwischen der IAc und dem eigenen Confidence-Urteil, also die Fähigkeit, die eigene interozeptive Leistung realistisch einzuschätzen. Die Dreiteilung ist empirisch fundiert, denn die drei Dimensionen korrelieren nur teilweise und sind somit konzeptionell voneinander abgrenzbar (Garfinkel, Seth, Barrett, Suzuki, & Critchley, 2015).

Bei der Konzeption dieser Studie wurde sich ausschließlich auf die Messung des Effektes von 16:8-Fasten auf die Dimension der IAc beschränkt, denn die IS ist als subjektive Dimension als anfälliger für Verzerrungen durch soziale Erwünschtheit, situative Einflüsse, Erinnerungsverzerrungen oder Antworttendenzen einzustufen.

2.3.3 Modalitäten, deren physiologische Grundlagen und Erfassung

Interozeption umfasst verschiedene Modalitäten, die sich auf unterschiedliche Organsysteme beziehen, von denen afferente Signale und damit auch Wahrnehmungen ausgehen können. Einzelne Modalitäten können dabei korrelieren – so wie die kardiale und die gastrale Modalität in der Forschung von Herbert et al. (Herbert, Muth, Pollatos, & Herbert, 2012), weswegen beide der genannten Modalitäten im Rahmen dieser Untersuchung parallel betrachtet werden.

2.3.3.1 Kardiale Interozeption

Die kardiale Interozeption, auch Kardiozeption genannt, ist die Unterart der Interozeption, die sich auf die Wahrnehmung und Verarbeitung von Signalen aus dem Herzen konzentriert (Minenko, et al., 2023).

Afferente Signale, die aus dem Herzen stammen, werden über den Vagusnerv an das NTS (Nucleus tractus solitarius) übertragen und an weitere Hirnareale zur Verarbeitung weitergeleitet (Wareing, Readman, Longo, & Linkenauer, 2024).

Zur Messung von kardialer Interozeption existieren verschiedene methodische Ansätze:

Bei der HCT zählen Probanden still ihre Herzschläge für verschiedene Zeitintervalle, ohne den Puls physisch zu ertasten, wobei der HCT-Score dann aus den gezählten und tatsächlich gemessenen Schlägen berechnet wird, erstmalig beschrieben von Schandry (Schandry, 1981). Bei der Heartbeat Discrimination Task müssen Teilnehmer beurteilen, ob ein Tonsignal synchron oder asynchron zu ihrem Herzschlag erfolgt, erstmals dokumentiert von Whitehead (Whitehead, Drescher, Heiman, & Blackwell, 1977). Bei Tracking oder Tapping-Verfahren werden die Schläge durch eine motorische Handlung wie dem Drücken einer Taste oder dem Tippen auf eine Oberfläche mitgezählt (Minenko, et al., 2023). Darüber hinaus bieten sich verschiedene physiologische Korrelate von kardialer Interozeption für Rückschlüsse an. Die HEPs, elektrische Potenziale aus einem EEG, welche die kortikale Verarbeitung von Herzsignalen widerspiegeln, scheinen als zuverlässiger neurophysiologischer Marker zu dienen, um Interozeption objektiv zu bewerten (Flasbeck, Bamberg, & Brüne, 2021). Schließlich könnte sich auch die HRV indirekt als Biomarker für kardiale Interozeption eignen, da die Herzschlagwahrnehmung, gemessen in der Heartbeat Discrimination Task, und die HRV korrelieren (Lischke, Pahnke, Mau-Moeller, & Weippert, 2021).

Im vorliegenden Studiendesign wird die kardiale Interozeption mittels einer adaptierten Version der HCT erfasst, während die HRV zur Prüfung der Korrelation separat erhoben wird (siehe *Erhebungsverfahren, Erhebungsinstrumente und deren Auswertung*).

2.3.3.2 Gastrale Interozeption

Unter gastrointestinaler Interozeption versteht man die wechselseitige Interaktion zwischen dem Magen-Darm-Trakt und dem Gehirn. Afferente Signale von Seiten des Gastrointestinaltraktes erreichen dabei in Teilen das Bewusstsein, während andere Teile nur unbewusst verarbeitet werden (Chang, Thaïss, Knight, & Khalsa, 2025). Unter gastraler Interozeption ist dementsprechend die Interaktion zwischen Magen und Gehirn zu verstehen.

Die zugrunde liegende Hunger- und Sättigungsregulation erfolgt durch ein Zusammenspiel von mechanischen und chemischen Mechanismen. Die mechanische Ausdehnung des Magens wird über vagale afferente Nervenendigungen im Magen (IGLEs (intraganglionic laminar endings), IMAs (intramuscular arrays) und mucosal endings), die teilweise mechanosensitiv zu sein scheinen oder mit Mechanorezeptoren kommunizieren, detektiert (Umans & Liberles, 2018). Die chemischen Bestandteile innerhalb des Lumens (Nährstoffe, Gallensäuren, mikrobielle Abbauprodukte, Hormone, Neurotransmitter, Zytokine) werden hingegen durch Chemorezeptoren erkannt. Diese Chemorezeptoren

befinden sich häufig auf der Oberfläche von enteroendokrinen Zellen, die entlang der Epithel des Gastrointestinaltraktes sitzen. Nach Aktivierung durch einen Chemorezeptor produzieren die enteroendokrinen Zellen dann eine Vielzahl an Hormonen (Somatostatin, Gastrin, Ghrelin, Leptin, Motilin, INSL5, GLP-1, GIP, CCK und PYY) (Psichas, Reimann, & Gribble, 2015). Diese enteralen Hormone (z.B. CCK) haben möglicherweise wiederum einen sensibilisierenden Effekt auf die mechanischen Rezeptoren im Magen (Umans & Liberles, 2018), was die Integration von mechanischen und chemischen Mechanismen deutlich macht.

Neuronale Signale werden von vagalen Afferenzen über den Vagusnerv an das zentrale oder das enterische Nervensystem weitergeleitet, um Nahrungsaufnahme, Hunger, Sättigung und die Funktionen des Gastrointestinaltraktes zu steuern (Psichas, Reimann, & Gribble, 2015; Umans & Liberles, 2018).

Es existieren eine Bandbreite an Methoden, um die viszerale Sensitivität zu testen: Die mechanische Ausdehnung lässt sich durch die invasiven Barostat- oder Tensostat-Verfahren messen, während Nährstoff- oder Wassertrinktests nicht-invasive Alternativen bieten. Chemische Reize lassen sich durch Säureprovokation oder Capsaicingabe testen. Darüber hinaus sind auch elektrische und thermische Stimulation möglich (Andresen, 2009).

Bei der in dieser Studie betrachteten gastral Interzeption liegt der Fokus auf der Wahrnehmung der mechanischen Ausdehnung des Magens, die anhand des nicht-invasiven WLT erfasst wird.

3 Methode

Um den Einfluss von Intervallfasten auf die HRV als Biomarker kardialer und gastraler Interozeption zu untersuchen, wurde das Studiendesign einer kontrollierten und randomisierten Interventionsstudie gewählt. Studienteilnehmer wurden per Zufall in Interventions- und Kontrollgruppe eingeteilt. Während die Interventionsgruppe sich an ein Essensfenster von maximal acht Stunden halten sollte, was mit einem Fastenfenster von 16 Stunden zu dem TRE, einer Form des IFs, gezählt wird (Koppold, et al., 2024), sollte das Essensfenster der Kontrollgruppe mindestens zwölf Stunden betragen – ein Zeitrahmen, bei dem der „metabolische Switch“ nach aktueller Studienlage noch nicht eingetreten ist (Anton, et al., 2018). Um der methodischen Schwierigkeit, Ernährungsstudien zu verblinden, zu begegnen, wurde vor den Teilnehmenden weniger von IF gesprochen, sondern von „verschiedenen Fenstern, die untersucht werden sollen“. Den Teilnehmern sollte somit nicht sofort ersichtlich werden, ob sie sich in der Interventions- oder Kontrollgruppe befanden. Dadurch konnte die subjektive Relevanz der Teilnahme überwiegend erhalten werden, was erwartungsinduzierte Placeboeffekte minimal halten sollte.

Das Studiendesign wurde von der Ethikkommission der HAW Hamburg überprüft und genehmigt (siehe *A: Ethikvotum der Ethikkommission der HAW Hamburg*; *A: Ethikvotum der Ethikkommission der HAW Hamburg*).

3.1 Ablauf des Studienzeitraumes

3.1.1 Rekrutierung, Screening, Stichprobe

Die Rekrutierung der Studienteilnehmer erfolgte über Mundpropaganda und digitale Verbreitung eines Aufrufschreibens (siehe *B: Aufrufschreiben zur Probandenrekrutierung*) über Chatgruppen. Darunter befanden sich die Chatgruppen verschiedener Studiengänge und private Chatgruppen.

Studieninteressierte wurden mithilfe eines digital verschickten Informationsbogens (siehe *C: Informationsbogen für Studieninteressenten (inkl. Einwilligung)*) telefonisch über Ziele der Studie, Konditionen der Studienteilnahme sowie den Datenschutz aufgeklärt. Die Abfrage der Einwilligung in Studienteilnahme und Verarbeitung der erhobenen Daten erfolgte dann in Papierform unmittelbar vor der Basisdatenerhebung.

Eingeschlossen wurden Probanden, deren Alter zwischen 18 und unter 41 Jahren und deren Gewicht mit einem BMI von 18,0-25,4 maximal 0,5 unter oder über dem Normalbereich von 18,5-24,9 (Deutsche Gesellschaft für Ernährung e. V., 2026) lag.

Ausschlusskriterien waren das bewusste Praktizieren von regelmäßigem (mind. 2x wöchentlichen) IF in den letzten drei Monaten, ein aktiver Raucherstatus, dauerhafte Medikamenteneinnahme (mit Ausnahme von oralen Kontrazeptiva), bekannte genetische oder chronische Erkrankungen, die den Kreislauf, Gastrointestinaltrakt oder Atmungsapparat beeinträchtigen oder in das Spektrum der Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung fallen (chronisch entzündliche Darmerkrankungen, Bluthochdruck, Diabetes Mellitus, Essstörungen, Asthma bronchiale, ADHS), chronische Schmerzen, frühere Operationen an Herz, Gastrointestinaltrakt oder Atmungsapparat (mit Ausnahme der Appendektomie oder Leistenhernienoperation), akute Beschwerden oder Erkrankungen, die den Kreislauf, Gastrointestinaltrakt oder Atmungsapparat beeinträchtigen (Gastritis, Diarrhö, virale oder bakterielle Infekte).

Eine Studienteilnehmerin hat die Studie von sich aus krankheitsbedingt vorzeitig beendet (patient-initiated discontinuation). Die Ausfallquote liegt somit bei 0,05.

Darüber hinaus musste der Datensatz eines Studienteilnehmers nachträglich von der Studienleitung von der Auswertung aufgrund von nicht-protokollkonformer Einhaltung des Essensfensters ausgeschlossen werden (protocol deviation).

Die Stichprobe brachte somit 19 auswertbare Datensätze hervor. Die zugrunde liegenden Teilnehmer ($n(m) = 10$, $n(w) = 9$) hatten ein durchschnittliches Alter von 29,1 (SD = 5,3, range = 22-39) und einen durchschnittlichen BMI von 22,3 (SD = 2,0, range = 18,1-25,3).

3.1.2 Prä- und Post-Messung

Während die Basisdatenerhebung mit den Baseline-Messungen bei allen Probanden am Tag vor Interventionsbeginn stattfand, so markierte die Nachmessung am Tag nach Interventionsende das Ende des Studienzeitraumes für die Teilnehmenden. Bei beiden Messungen wurde jeweils ein Fragebogen ausgefüllt und eine adaptierte Version der HCT, ein sechsinütiges EKG unter getakteter Atmung zur HRV-Messung und der WLT durchgeführt. Die Dauer der Messungen betrug zwischen 30 und 50 Minuten.

3.1.3 Interventionszeitraum

Die Interventionsdauer betrug 13 Tage. Für diesen Zeitraum wurden Studienteilnehmer gebeten, ihre tägliche Energieaufnahme an eine vorgeschriebene Zeitspanne anzupassen. Während sich die Energieaufnahme der Interventionsgruppe auf maximal acht Stunden erstrecken sollte, sollte sich das Essensfenster der Kontrollgruppe auf mindestens zwölf Stunden täglich erstrecken. In der Wahl, zu welchem Zeitpunkt im Laufe des Tages die Teilnehmenden ihr Essensfenster starten wollten, waren sie hingegen vollständig frei. Auch die Art und die Menge an Lebensmitteln sollten nicht gezielt während der Intervention verändert werden. Außerhalb des achtstündigen Essensfensters sollte

ausschließlich auf kalorienfreie Getränke zurückgegriffen werden. Neben Wasser und ungesüßtem Tee waren auch mit kalorienfreien Süßstoffen gesüßte Getränke im individuell gewohnten Maß zugelassen, denn in Kurzzeitstudien haben diese keinen Einfluss auf den postprandialen Glukosespiegel oder die Insulinsekretion (Mathur & Bakshi, 2024; Nichol, Holle, & An, 2018; Zhang, Noronha, Khan, McGlynn, & Back, 2023). Ebenso zeigen sich keine relevanten Veränderungen der GLP-1-, GIP-, PYY-, Ghrelin- oder Glukagon-Reaktionen nach dem Konsum von mit kalorienfreien Süßstoffen gesüßten Getränken, was vergleichbar mit den Effekten nach dem Trinken von Wasser ist (Zhang, Noronha, Khan, McGlynn, & Back, 2023). Kalorienfreie Süßstoffe reduzieren bei kurzzeitigem Konsum zwar die Energieaufnahme, jedoch ohne sich dabei auf Hunger- und Sättigungsgefühle auszuwirken (Mathur & Bakshi, 2024). Eine Beeinflussung der Validität der WLT-Messungen oder der Auswirkungen der Fastenfenster auf den Metabolismus ist daher nicht zu erwarten.

Um den Effekt von IF gegenüber dem Effekt eines Kaloriendefizites abzugrenzen, trackte eine freiwillige Teilkohorte für vier Tage, die nach Möglichkeit aufeinanderfolgend sein, in der Mitte des Interventionszeitraumes liegen und einen freien Tag einschließen sollten, ihre Nahrungsaufnahme mithilfe eines Ernährungsprotokolls (siehe *G: Ernährungsprotokoll-Vorlage*).

3.2 Erhebungsverfahren, Erhebungsinstrumente und deren Auswertung

3.2.1 Literaturrecherche

Die narrative Literaturrecherche (für die Planung des Studiendesigns, den theoretischen Hintergrund und die Diskussion) im Rahmen dieser Studie erfolgte auf der Suchseite PubMed sowie mithilfe des KI-basierten Recherchetools Anara. Der Einsatz dieses Tools diente der effizienten Identifikation relevanter Literatur, wobei alle herangezogenen Inhalte kritisch geprüft und durch Auseinandersetzung mit den Originalquellen verifiziert wurden.

3.2.2 Fragebogen

Sowohl bei der Prä- als auch bei der Postmessung wurde jeweils ein Fragebogen ausgehändigt. Der Fragebogen zur Basisdatenerhebung (siehe *D: Fragebogen zur Basisdatenerhebung*) erfasste soziodemografische und anthropometrische Daten sowie Angaben zu Lebensstil und medizinischer Historie, um die Eignung zur Studienteilnahme zu bestätigen und für die Auswertung erforderliche Informationen zu sammeln. So enthielt der Fragebogen zur Nachmessung (siehe *E: Fragebogen zur Nachmessung*) Fragen zum Interventionszeitraum, um zu überprüfen, ob das Protokoll eingehalten wurde und der Datensatz auswertbar ist.

3.2.3 Adaptierte Version der Heartbeat Counting Task (HCT)

Bei dieser Aufgabe wurden die Versuchspersonen gebeten, in einem gemütlichen Stuhl sitzend für vier verschieden lange Sequenzen (25 Sekunden, 35 Sekunden, 45 Sekunden und 55 Sekunden), welche in randomisierter Reihenfolge stattgefunden haben, still ihren Herzschlag zu zählen. Dabei wurde sich an der adaptierten Versuchsinstruktion von Desmedt et al. orientiert (Desmedt, Luminet, & Corneille, 2018). Es sollten ausschließlich die tatsächlich in der Herzgegend wahrgenommenen Herzschläge gezählt und nicht die durch logische Schlussfolgerung oder aktives ertasten erschlossenen Pulse erfasst werden (siehe *F: Instruktionen zu HCT, EKG unter getakteter Atmung und WLT*).

Parallel zu den Sequenzen wurden jeweils die tatsächlichen Herzschläge mittels EKG aufgezeichnet. Hierfür kamen ein mobiles EKG-Gerät sowie die zugehörige Aufzeichnungs-App der Marke „CardioSecur“ zum Einsatz. Die Auszählung der Herzschläge pro Sequenz und Proband wurde anhand der angegebenen Herzfrequenz je EKG-Streifen mittels Dreisatz berechnet.

Der IAc-Score, der Ergebnis-Score der HCT, ergibt sich aus dem Verhältnis von gezählten zu tatsächlich gemessenen Herzschlägen über mehrere Sequenzen gemittelt:

$$IAc = (1/4) \sum (1 - |\text{tatsächliche} - \text{gezählte Herzschläge}| / \text{tatsächliche Herzschläge})$$

Ergebniswerte können zwischen 0 und 1 schwanken, wobei höhere Werte bessere IAc abbilden (Desmedt, et al., 2020; Heemskerk, et al., 2024).

3.2.4 HRV-Messung (EKG unter getakteter Atmung)

Diese Messung erstreckte sich über sechs Minuten. In einem gemütlichen Stuhl sitzend hörten die Studienteilnehmer ein regelmäßiges Akustiksignal, an das sie ihre Atmung anpassen sollten. Beginnend mit sechs Atemzügen pro Minute beschleunigte sich der Takt pro Minute um zwei Atemzüge auf 16 Atemzüge in der letzten Minute.

Die EKG-Daten wurden abermals mittels der mobilen Applikation von „CardioSecur“ aufgezeichnet.

Die Auswertung der HRV-Parameter erfolgte mithilfe der Software „Kubios HRV Premium“. Dabei wurden Parameter aus dem Frequenz- und Zeitbereich, nichtlineare Parameter und zusammengesetzte HRV-Indizes (logRespHRV-FFT (log-transformed respiratory-related heart rate variability derived from fast Fourier transform), RMSSD, SDNN, SI (stress index), SD1 (standard deviation 1), SD2 (standard deviation 2), SNS Index, PNS Index (parasympathetic nervous system index) geloggt. Für die Frequenzbereichsanalyse wurden die einzelnen EKG-Aufzeichnungen in einminütige Abschnitte unterteilt – entsprechend der Anzahl an Atemzügen pro Minute während der Messung (siehe *Tabelle 2*), wobei die Herzfrequenzbandbreite jeweils um die Atemfrequenz zentriert wurde.

Tabelle 2: Atemfrequenzabhängige Anpassung der Herzfrequenzbandbreite

Atemzüge pro Minute	Atemfrequenz in Hz (Atemzüge pro Minute / 60)	Angepasste Herzfrequenz- Bandbreite in Hz
6	0,1	0,06-0,14
8	0,133	0,09-0,17
10	0,167	0,13-0,21
12	0,2	0,16-0,24
14	0,233	0,19-0,27
16	0,267	0,23-0,31

3.2.5 Water Load Test (WLT)

Für diesen Test haben Probanden fünf Minuten Zeit, auf leeren Magen ad libitum Wasser zu trinken, bis sie subjektiv ein Gefühl von Magenfülle empfinden (Jones, Hoffman, Shah, Patel, & Ebert, 2003).

Probanden sollten nach nächtlicher Nahrungskarenz bis zur Messung keine Energie aufnehmen. Kaffeekonsum (ohne Milch und Zucker) wurde in gewohntem Maße toleriert. Flüssigkeitszufuhr war bis zu einer Stunde vor dem Messtermin erlaubt.

Bei dem Wasser sollte es sich um stilles, geschmacks- und kalorienfreies, raumtemperiertes Leitungswasser handeln. Aus organisatorischen und infrastrukturellen Gründen war das Garantieren der immer gleichen Raumtemperatur nicht möglich. Das Trinkgefäß war undurchsichtig und sollte mit einem Fassungsvermögen von 3,0 L zwar den Anschein erwecken, dass die trinkbare Menge unlimitiert ist. Das eingefüllte Wasservolumen war jedoch auf 1.500 mL beschränkt, um die Sicherheit der Teilnehmenden zu gewährleisten und einer Durchblutungsstörung (ab 3 L intraluminaler Flüssigkeitsmenge und einem intraluminalen Druck von 14 mmHg) oder einer Magenruptur (ab 4 L und 120 mmHg) vorzubeugen (Vettoretto, Viotti, Taglietti, & Giovanetti, 2010). Die Annahme, dass das Volumen von 1.500 mL zur Abdeckung der interindividuell stark variierenden Magenkapazitäten ausreicht, basiert auf einer Studie zum WLT, in der keiner der Teilnehmenden mehr als 1.250 mL Wasser aufnahm (Jones, Hoffman, Shah, Patel, & Ebert, 2003). Getrunken wurde durch einen Strohhalm, um die Schluckgröße der verschiedenen Versuchsteilnehmer zu normieren. Um Experimentatoreffekte minimal zu halten, hat die Studienleitung ihre Aufmerksamkeit während der Trinkphase vom Probanden abgewandt.

Die getrunkene Wassermenge wurde über die Differenz des Gesamtgewichts des Behälters inklusive Wasser vor und nach dem Trinkvorgang unter Verwendung einer Lebensmittelwaage ermittelt.

3.2.6 Ernährungsprotokolle und Energiebilanzberechnung

Für die Analyse der Nahrungsaufnahme wurde eine freiwillige Teilkohorte von fünf Probanden der Gesamtkohorte ($n = 19$) herangezogen. Diese setzte sich aus einem Proband der Kontrollgruppe ($n = 9$) und vier Probanden der Interventionsgruppe ($n = 10$) zusammen.

Die Nahrungsaufnahme wurde mittels eines Ernährungsprotokolls (siehe *G: Ernährungsprotokoll-Vorlage*), welches für vier aufeinanderliegende Tage mit einem freien Tag eingeschlossen in der Mitte des Interventionszeitraumes geführt werden sollte, erfasst. Mit Ausnahme weniger Mahlzeiten führten die Probanden ein Wiegeprotokoll. Die Auswertung der Protokolle erfolgte händisch mit der Software DGExpert. Aus den verschiedenen Energieaufnahmen der vier protokollierten Tage wurden die durchschnittlichen Energieaufnahmen der jeweiligen Probanden errechnet.

Der individuelle Kalorienbedarf wurde anhand von anthropometrischen Daten und den Angaben zu dem Aktivitätslevel im Alltag und der sportlicher Betätigung berechnet, wobei der Ruheenergieumsatz (REE) mithilfe der Mifflin-St-Jeor-Gleichung geschätzt wurde.

$$\text{REE} = (10 * \text{Gewicht in kg}) + (6.25 * \text{Größe in cm}) - (5 * \text{Alter in Jahren}) + 5$$

$$\text{REE} = (10 * \text{Gewicht in kg}) + (6.25 * \text{Größe in cm}) - (5 * \text{Alter in Jahren}) - 161$$

Diese wurde gegenüber anderen Formeln bevorzugt, da sie nachweislich präziser als ältere Gleichungen wie die von Harris-Benedict ist, welche den Ruheumsatz tendenziell überschätzt (Frankenfield, Roth-Yousey, & Compher, 2005; Haroun, Al Sharif, Al Ghali, & Smail, 2025; Karagun & Baklaci, 2024). In einer Studie lagen 50,4 % der Schätzungen der Mifflin-St-Jeor-Gleichung innerhalb von 10 % des Goldstandard-Wertes einer indirekten Kalorimetrie, verglichen mit nur 36,8 % bei der Harris-Benedict-Gleichung (Karagun & Baklaci, 2024). Die Energiebilanz ergab sich aus der Differenz zwischen dem berechneten durchschnittlichen Tagesbedarf und der hochgerechneten durchschnittlichen Kalorienaufnahme.

3.3 Datenanalyse

3.3.1 Datenaufbereitung

Es lagen keine fehlenden Messwerte vor, sodass keine Imputation erforderlich war. Die Aufbereitung der Rohdaten und die methodenspezifischen Auswertungsschritte sind bereits ausführlicher im Methodenteil beschrieben (siehe *Erhebungsverfahren, Erhebungsinstrumente und deren Auswertung*). Der Datensatz wurde in Excel strukturiert und für die statistische Analyse vorbereitet.

3.3.2 Statistische Analyse

Die statistische Auswertung der erhobenen Daten erfolgte mit der Software „IBM SPSS Statistics“.

Zunächst wurden für die erhobenen Outcome-Parameter (logRespHRV-FFT, RMSSD, SDNN, SD1 und SD2 erhoben beim EKG unter getakteter Atmung; WLT-Trinkmenge in g erhoben beim WLT; HCT-Score erhoben bei der HCT) verallgemeinerte lineare gemischte Modelle (GLMM, generalized linear mixed models) berechnet, um sowohl feste als auch zufällige Effekte innerhalb der wiederholten Messungen der Versuchspersonen simultan berücksichtigen zu können. Da sich für die verschiedenen HRV-Parameter nur geringfügige Unterschiede in den Analyseergebnissen zeigten, werden im Ergebnisteil ausschließlich die Resultate für die logRespHRV-FFT und die RMSSD berichtet. Die jeweils zugrunde liegenden Syntaxen sind dem Anhang beigelegt (siehe *H: SPSS-Syntax der GLMM-Analysen*).

Für die Modelle wurde eine Normalverteilung mit Identitäts-Verknüpfungsfunktion angenommen. Die Freiheitsgrade wurden nach der Satterthwaite-Methode bestimmt. Das Signifikanzniveau wurde auf $\alpha = 0,05$ festgelegt. Als feste Effekte wurden in Abhängigkeit vom jeweiligen Zielparameter die Messzeitpunkte, die Versuchsgruppe, das Geschlecht, das Alter, der BMI, die sportliche Aktivität, die Atemfrequenz, der HCT-Score oder die WLT-Trinkmenge festgelegt. Zusätzlich wurden die Interaktionseffekte Messung*Geschlecht, Messung*Versuchsgruppe, Atemfrequenz*Messung oder Atemfrequenz*Versuchsgruppe*Messung in die Modelle aufgenommen. Die Versuchspersonen wurden als zufälliger Effekt mit zufälligem Interzept modelliert, um interindividuelle Unterschiede der Ausgangswerte zu berücksichtigen. Zur Visualisierung von Gruppen- und Messzeiteffekten wurden geschätzte marginale Mittelwerte mit einfachen und paarweisen Kontrasten berechnet.

Basierend auf den Ergebnissen der GLMM wurden für die signifikanten metrischen Parameter zusätzliche Regressionsanalysen durchgeführt, um die Richtung der Zusammenhänge zu veranschaulichen.

Für die logRespHRV-FFT ergaben sich dabei Regressionen mit dem Alter, dem HCT-Score und der WLT-Trinkmenge. Da Atemfrequenz und Alter einen Großteil der Varianz binden, wurde die logRespHRV-FFT für die Regressionen mit dem HCT-Score und der WLT-Trinkmenge schrittweise um den Einfluss von Atemfrequenz und Alter bereinigt, indem mit den Residualvarianzen aus den Zusammenhängen von logRespHRV-FFT und Atemfrequenz bzw. Alter weitergerechnet wurde.

Für den HCT-Score wurden Regressionsanalysen mit der sportlichen Aktivität und der WLT-Trinkmenge durchgeführt. Analog dazu wurden für die WLT-Trinkmenge Regressionen mit der sportlichen Aktivität und dem HCT-Score berechnet. Da zwischen den beiden Outcome-Parametern ein signifikanter Zusammenhang festgestellt wurde, der jedoch entgegen der Erwartung nicht negativ ausfiel, und zudem jeweils ein positiver signifikanter Zusammenhang zur sportlichen Aktivität vorlag, wurde

ergänzend die Residualvarianz des Zusammenhangs zwischen sportlicher Aktivität und einem der beiden Parameter dem jeweils anderen Parameter gegenübergestellt.

Zur Überprüfung der Gruppengleichheit wurden Kreuztabellen erstellt, welche die Verteilung von Erkältungssymptomen und dem Maß sportlicher Aktivität zwischen den Versuchsgruppen aufgeteilt nach dem Geschlecht darstellen sollten.

4 Ergebnisse

Ziel dieser Interventionsstudie ist es, anhand einer zweiwöchigen 16:8-Fastenintervention die Hypothese zu prüfen, dass IF die vagal-vermittelte HRV, die kardiale Interozeption und die gastrale Interozeption steigert und sich die HRV als Biomarker für Interozeption eignet.

In den folgenden Abschnitten werden die statistischen Analyseergebnisse der GLMM und Regressionsanalysen zunächst ausführlich präsentiert – angefangen mit den Ergebnissen der HRV-Messungen, gefolgt von den Erkenntnissen zur gastralen und kardialen Interozeption, um dann anschließend in den Kernerkenntnissen zusammengefasst und mit den aufgestellten Hypothesen (siehe

Einführung) abgeglichen zu werden.

4.1 Ergebnisse der Energiebilanzberechnung

Der einzelne Proband der Kontrollgruppe, der das viertägige Ernährungsprotokoll führte, wies mit durchschnittlich +22 kcal eine annähernd isokalorische Energiebilanz auf. In der Interventionsgruppe lag die durchschnittliche Energiebilanz der vier Probanden bei -375 kcal (Einzelwerte: -944, -507, -360 und +311 kcal). Daraus lässt sich schlussfolgern, dass die Probanden der Interventionsgruppe mit dem verkürzten Essensfenster von maximal acht Stunden wahrscheinlich vermehrt ihren Energiebedarf unterschritten haben.

4.2 Ergebnisse der HRV-Messung (EKG unter getakteter Atmung)

Die nachstehende Tabelle zeigt die Schätzungen für die festen Effekte der GLMM für die log-RespHRV-FFT und die RMSSD (siehe *Tabelle 3*).

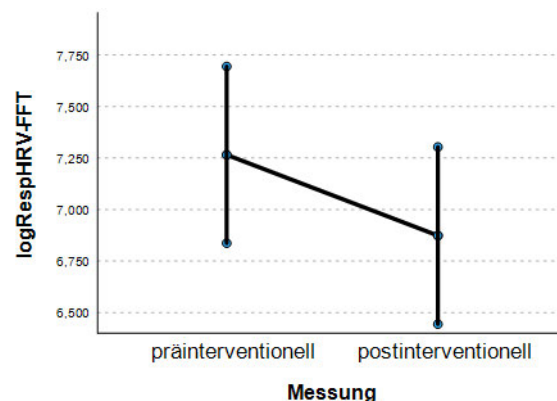
Tabelle 3: Feste Effekte der GLMM für die logRespHRV-FFT und die RMSSD

Feste Effekte ^a					Feste Effekte ^a				
Quelle	F	df1	df2	Sig.	Quelle	F	df1	df2	Sig.
Korrigiertes Modell	31,837	29	80	<,001	Korrigiertes Modell	11,307	29	80	<,001
Messung	18,532	1	190	<,001	Messung	3,672	1	190	,057
Versuchsgruppe	,056	1	14	,816	Versuchsgruppe	,869	1	14	,367
Geschlecht	1,608	1	19	,220	Geschlecht	2,629	1	18	,123
Alter	8,102	1	17	,011	Alter	4,460	1	16	,051
BMI	,008	1	16	,931	BMI	1,096	1	18	,309
Atemfrequenz	175,676	5	185	<,001	Atemfrequenz	54,488	5	184	<,001
HCTScore	8,183	1	147	,005	HCTScore	2,028	1	182	,156
WLTrinkmenge	10,740	1	116	,001	WLTrinkmenge	5,271	1	161	,023
Messung * Geschlecht	2,565	1	190	,111	Messung * Geschlecht	7,232	1	189	,008
Messung * Versuchsgruppe	,259	1	188	,611	Messung * Versuchsgruppe	,021	1	188	,884
Messung * Atemfrequenz	,721	5	185	,609	Messung * Atemfrequenz	,485	5	184	,787
Messung * Versuchsgruppe * Atemfrequenz	,272	10	185	,987	Messung * Versuchsgruppe * Atemfrequenz	2,701	10	184	,004

Wahrscheinlichkeitsverteilung: Normal
Verknüpfungsfunktion: Identität
a. Ziel: logRespHRV-FFT

Wahrscheinlichkeitsverteilung: Normal
Verknüpfungsfunktion: Identität
a. Ziel: RMSSD

In dem GLMM für die logRespHRV-FFT zeigen fünf verschiedene Effekte einen signifikanten Einfluss. So ergab der Messzeitpunkt nach Intervention unabhängig von der Versuchsgruppe niedrigere Werte der logRespHRV-FFT ($F(1,190) = 18,532, p < 0,001$) (siehe *Tabelle 3* und *Abbildung 1*). Dies könnte darauf hindeuten, dass die vagale Aktivität über die Studiendauer nicht gestiegen, sondern möglicherweise eher gesunken ist. Mögliche Ursachen werden im Diskussionsteil erörtert (siehe *Reliabilität*).



Stetige Einflussvariablen sind auf folgende Werte festgelegt: Alter = 29,05, BMI = 22,236, HCTScore = ,316, WLTrinkmenge = 669,39

Abbildung 1: Effekt des Messzeitpunktes auf die logRespHRV-FFT ($F(1,190) = 18,532, p < 0,001$)

An zweiter Stelle im GLMM zeigt auch das Alter einen signifikanten Einfluss auf die logRespHRV-FFT ($F(1, 17) = 8,102, p = 0,011$) (siehe *Tabelle 3*). Eine separate Regression veranschaulicht, dass mit zunehmendem Alter die HRV abnimmt ($\beta = -0,205; p = 0,002$) (siehe *Abbildung 2*).

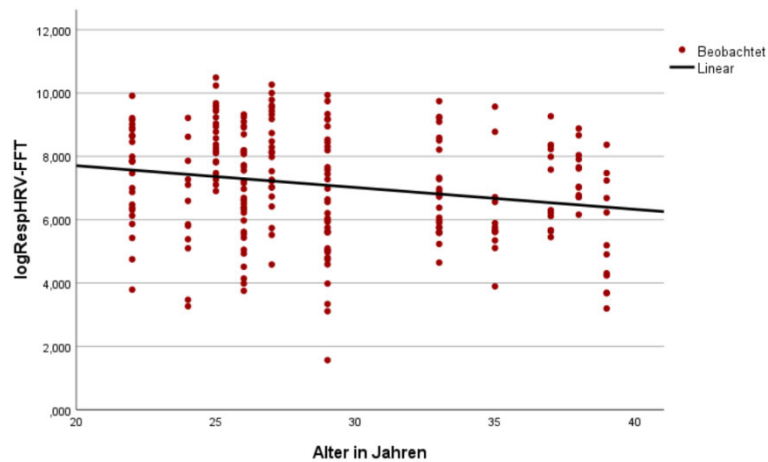
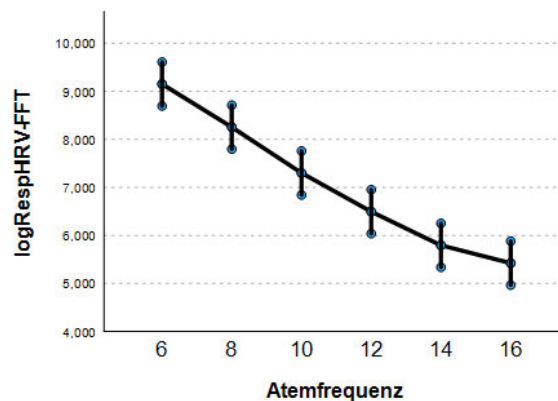


Abbildung 2: Effekt des Alters auf die logRespHRV-FFT ($\beta = -0,205; p = 0,002$)

Die Hauptvarianzkomponente stellt die Atemfrequenz dar ($F(5,185) = 175,676, p < 0,001$) (siehe *Tabelle 3*). Umso schneller die Atmung ist, desto geringer ist die logRespHRV-FFT (siehe *Abbildung 3*).



Stetige Einflussvariablen sind auf folgende Werte festgelegt: Alter = 29,05,
BMI = 22,236, HCTScore = ,316, WLTrinkmenge = 669,39

Abbildung 3: Effekt der Atemfrequenz auf die logRespHRV-FFT ($F(5,185) = 175,676, p < 0,001$)

Auch der HCT-Score ($F(1, 147) = 8,183, p = 0,005$) und die WLT-Trinkmenge ($F(1, 116) = 10,740, p = 0,001$) haben im GLMM einen signifikanten Effekt auf die logRespHRV-FFT (siehe *Tabelle 3*). Stellt man die beiden Interzeptionsparameter jeweils einzeln der logRespHRV-FFT in einer Regressionanalyse gegenüber, so sind die Effekte zunächst nicht signifikant. Werden jedoch zur

Kontrolle der Einflüsse von Atemfrequenz und Alter auf die logRespHRV-FFT die residualisierten Werte der logRespHRV-FFT verwendet, so errechnen sich ein signifikanter positiver Effekt des HCT-Scores ($\beta = 0,176, p = 0,008$) und ein signifikanter negativer Effekt der WLT-Trinkmenge ($\beta = -0,136, p = 0,041$) (siehe *Abbildung 4*). Je größer die residualisierte logRespHRV-FFT ist, desto besser sind die kardiale und die gastrale Interozeption.

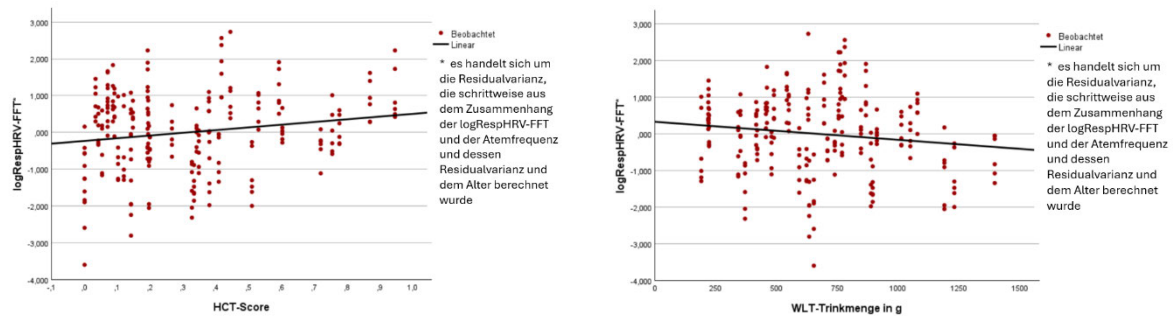
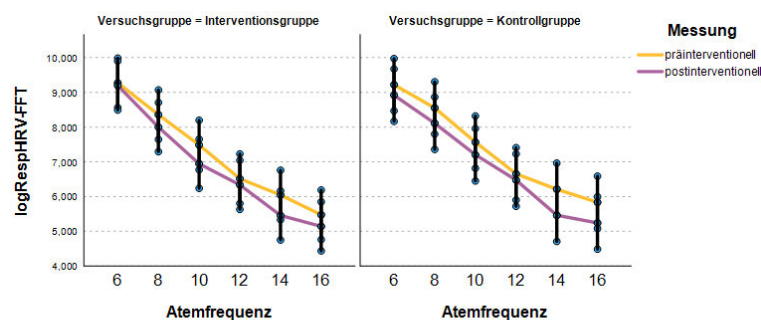


Abbildung 4: Effekte von HCT-Score ($\beta = 0,176, p = 0,008$) bzw. WLT-Trinkmenge ($\beta = -0,136, p = 0,041$) auf die residualisierte logRespHRV-FFT (adjustiert für Atemfrequenz und Alter)

Auch wenn der Interaktionseffekt von Messung*Versuchsgruppe*Atemfrequenz nicht signifikant ist und damit kein Effekt der Intervention nachweisbar ist ($F(10, 185) = 0,272, p = 0,987$) (siehe *Tabelle 3*), so lässt die Darstellung erkennen, dass die abgesunkenen logRespHRV-FFT-Werte bei der zweiten Messung (siehe *Abbildung 1*) über alle Atemfrequenzen hinweg gleichermaßen leicht abgesunken sind (siehe *Abbildung 5*).

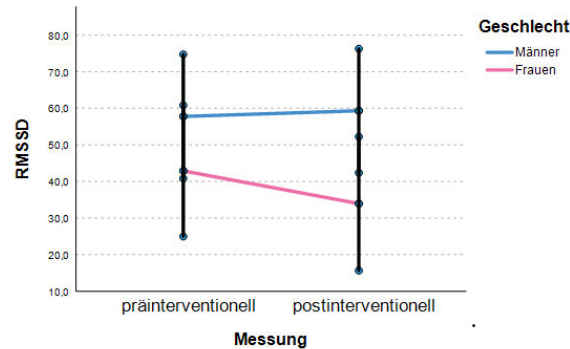


Stetige Einflussvariablen sind auf folgende Werte festgelegt: Alter = 29,05, BMI = 22,236, HCTscore = ,316, WLTrinkmenge = 669,39

Abbildung 5: Interaktionseffekt von Messung*Versuchsgruppe*Atemfrequenz auf logRespHRV-FFT ($F(10, 185) = 0,272, p = 0,987$)

Bei dem GLMM für die RMSSD ergaben darüber hinaus zwei Interaktionseffekte einen signifikanten Zusammenhang. Der Interaktionseffekt Messung*Geschlecht ($F(1, 189) = 7,232, p = 0,008$) (siehe *Tabelle 3*) zeigt, dass vor allem bei den Frauen die HRV über den Studienzeitraum abgesunken ist

(siehe *Abbildung 6*). Folglich kann die Senkung der postinterventionellen logRespHRV-FFT-Werte (siehe *Abbildung 1*) eventuell auf eine Senkung der HRV bei den Frauen zurückgeführt werden, auch wenn die zugrunde liegenden GLMM offensichtlich nicht dieselben HRV-Parameter (logRespHRV-FFT versus RMSSD) analysierten.

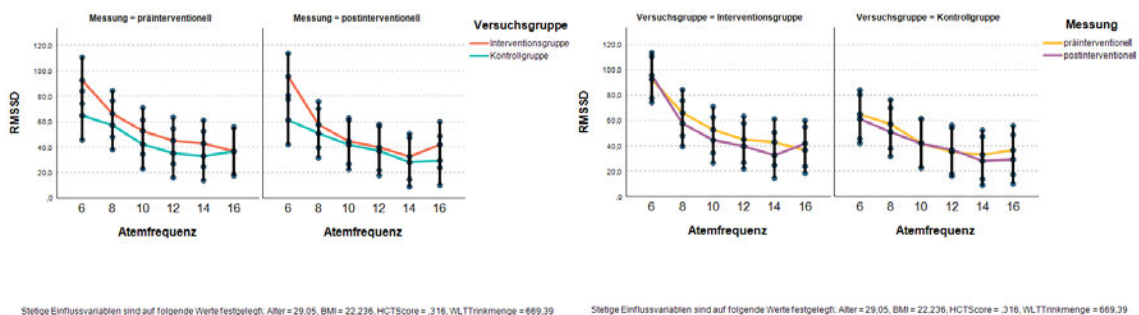


Stetige Einflussvariablen sind auf folgende Werte festgelegt: Alter = 29,05, BMI = 22,236, HCTScore = ,316, WLTrinkmenge = 669,39

Abbildung 6: Interaktionseffekt von Messung*Geschlecht auf RMSSD ($F(1, 189) = 7,232, p = 0,008$)

Ein weiterer signifikanter Interaktionseffekt von Messung*Versuchsgruppe*Atemfrequenz auf die RMSSD ($F(10, 184) = 2,701, p = 0,004$) (siehe *Tabelle 3*) scheint auf den ersten Blick auf einer Steigerung der RMSSD der Interventionsgruppe bei den randständigen Atemfrequenzen zu beruhen (siehe links *Abbildung 7*). Ordnet man die Parameter der Interaktion im Diagramm allerdings anders an, wird ersichtlich, dass stattdessen eine Absenkung der RMSSD der Interventionsgruppen bei den mittleren Atemfrequenzen verantwortlich für den signifikanten Unterschied ist (siehe rechts *Abbildung 7*).

Die stabile Reproduktion der RMSSD-Werte der Kontrollgruppe über die beiden Messzeitpunkte hinweg spricht für ein gute Reliabilität des Parameters der RMSSD (siehe *Abbildung 7*).



Stetige Einflussvariablen sind auf folgende Werte festgelegt: Alter = 29,05, BMI = 22,236, HCTScore = ,316, WLTrinkmenge = 669,39

Stetige Einflussvariablen sind auf folgende Werte festgelegt: Alter = 29,05, BMI = 22,236, HCTScore = ,316, WLTrinkmenge = 669,39

Abbildung 7: Interaktionseffekt von Messung*Versuchsgruppe*Atemfrequenz auf RMSSD ($F(10, 184) = 2,701, p = 0,004$)

4.3 Ergebnisse des WLT

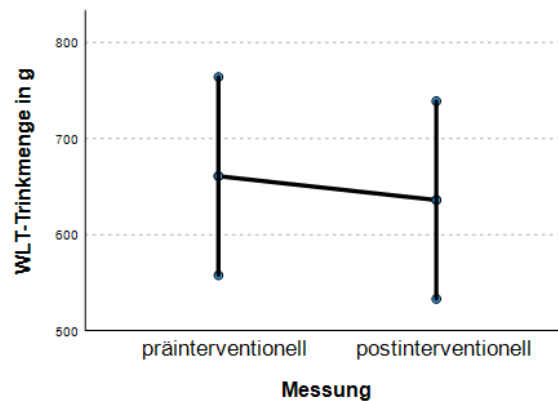
Der kommende Abschnitt bezieht sich auf die Ergebnisse des WLT. Die nächste Tabelle zeigt die Schätzungen der festen Effekte des GLMM für die WLT-Trinkmenge (siehe *Tabelle 4*).

Tabelle 4: Feste Effekte des GLMM für die WLT-Trinkmenge

Feste Effekte ^a				
Quelle	F	df1	df2	Sig.
Korrigiertes Modell	7,805	12	17	<,001
Messung	6,885	1	213	,009
Versuchsgruppe	1,068	1	12	,321
Geschlecht	6,636	1	11	,025
BMI	,566	1	26	,459
SportlicheAktivitaet	3,270	5	11	,047
HCTScore	36,726	1	215	<,001
Messung * Geschlecht	5,950	1	206	,016
Messung * Versuchsgruppe	3,055	1	210	,082

Wahrscheinlichkeitsverteilung: Normal
Verknüpfungsfunktion: Identität
a. Ziel: WLT-Trinkmenge in g

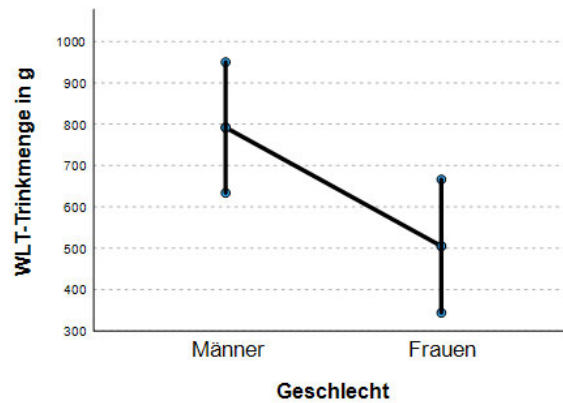
Ein signifikanter Unterschied besteht zwischen den Messzeitpunkten ($F(1, 213) = 6,885, p = 0,009$) (siehe *Tabelle 4*). Die getrunzene Wassermenge ist postinterventionell signifikant niedriger als bei der präinterventionellen Messung (siehe *Abbildung 8*).



Stetige Einflussvariablen sind auf folgende Werte festgelegt: BMI = 22,236,
HCTScore = ,316

Abbildung 8: Effekt des Messzeitpunktes auf die WLT-Trinkmenge ($F(1, 213) = 6,885, p = 0,009$)

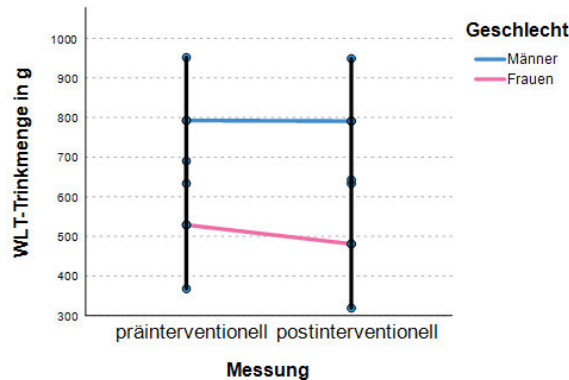
Zudem besteht ein signifikanter Geschlechterunterschied in der Trinkmenge ($F(1, 11) = 6,636, p = 0,025$) (siehe *Tabelle 4*). Frauen trinken im WLT ohne Berücksichtigung der Versuchsgruppe weniger als Männer (siehe *Abbildung 9*).



Stetige Einflussvariablen sind auf folgende Werte festgelegt: BMI = 22,236, HCTScore = ,316

Abbildung 9: Effekt des Geschlechts auf die WLT-Trinkmenge ($F(1, 11) = 6,636, p = 0,025$)

Betrachtet man nun den signifikanten Interaktionseffekt Messung*Geschlecht ($F(1, 206) = 5,950, p = 0,016$) (siehe *Tabelle 4*), kann geschlossen werden, dass die reduzierte Trinkmenge im WLT bei der postinterventionellen Messung auf eine reduzierte Trinkmenge der Frauen bei der postinterventionellen Messung zurückzuführen ist (siehe *Abbildung 10*).



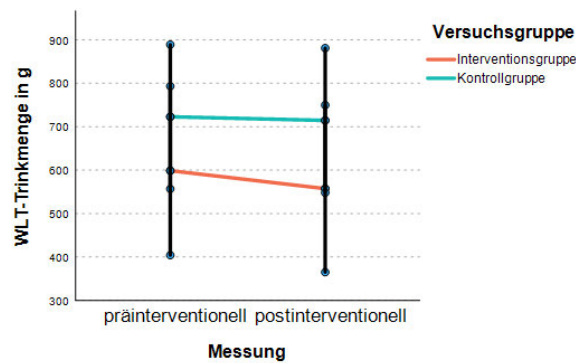
Stetige Einflussvariablen sind auf folgende Werte festgelegt: BMI = 22,236, HCTSc...

Abbildung 10: Interaktionseffekt von Messung*Versuchsgruppe auf die WLT-Trinkmenge ($F(1, 206) = 5,950, p = 0,016$)

Zieht man dann den marginal signifikanten Interaktionseffekt von Messung*Versuchsgruppe ($F(1, 210) = 3,055, p = 0,082$) (siehe *Tabelle 4*) zur Interpretation hinzu, der zeigt, dass nur die Interventionsgruppe in der postinterventionellen Messung weniger getrunken hat (siehe *Abbildung 11*), lässt sich daraus schließen, dass die Frauen der Interventionsgruppe bei der postinterventionellen Messung

weniger getrunken haben. Dies könnte möglicherweise auf eine leicht verbesserte gastrale Interozeption durch die Intervention hindeuten.

Außerdem deutet die konstante Trinkmenge der Kontrollgruppe darauf hin, dass sich die Trinkvolumina innerhalb einer Gruppe im Mittel zuverlässig reproduzieren lassen.



Stetige Einflussvariablen sind auf folgende Werte festgelegt: BMI = 22,236,...

Abbildung 11: Interaktionseffekt von Messung*Versuchsgruppe auf WLT-Trinkmenge ($F(1, 210) = 3,055, p = 0,082$)

Der signifikante Effekt von sportlicher Aktivität auf die WLT-Trinkmenge ($F(5, 11) = 3,270, p = 0,047$) (siehe *Tabelle 4*) wurde mithilfe einer separaten Regression veranschaulicht. Je mehr Stunden Sport die Probanden pro Woche treiben, desto größer ist die im WLT aufgenommene Wassermenge ($\beta = 0,608, p < 0,001$) (siehe *Abbildung 12*). Eine Bewertung dieser Befunde unter Berücksichtigung möglicher konfundierender Faktoren erfolgt im nächsten Kapitel (siehe *Methodendiskussion* und *Ergebnisdiskussion*).

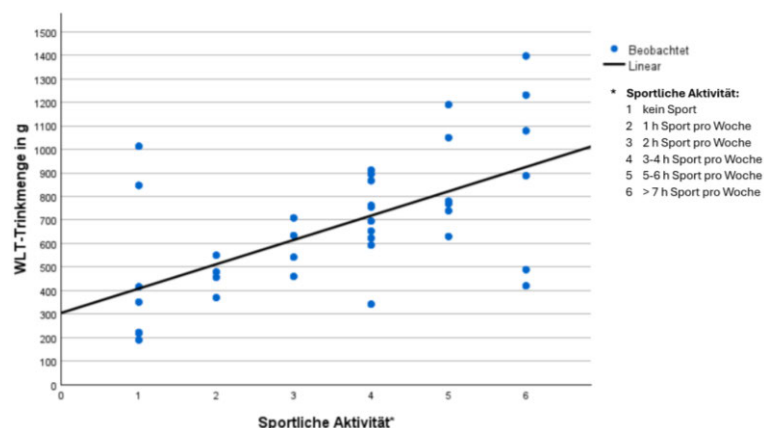


Abbildung 12: Effekt von sportlicher Aktivität auf die WLT-Trinkmenge ($\beta = 0,608, p < 0,001$)

Da der HCT-Score im GLMM einen signifikanten Effekt auf die WLT-Trinkmenge hatte ($F(1, 215) = 36,726, p < 0,001$) (siehe *Tabelle 4*), wurde eine Regressionsanalyse zur Bestimmung der Richtung durchgeführt. Höhere HCT-Scores gehen dabei mit größeren WLT-Trinkmengen einher ($\beta = 0,480, p < 0,001$) (siehe *Abbildung 13*). Diese positive Korrelation bedeutet, dass eine hohe kardiale Interozeption der Versuchsteilnehmer mit einer niedrigen gastralen Interozeption gemessen im WLT einhergeht.

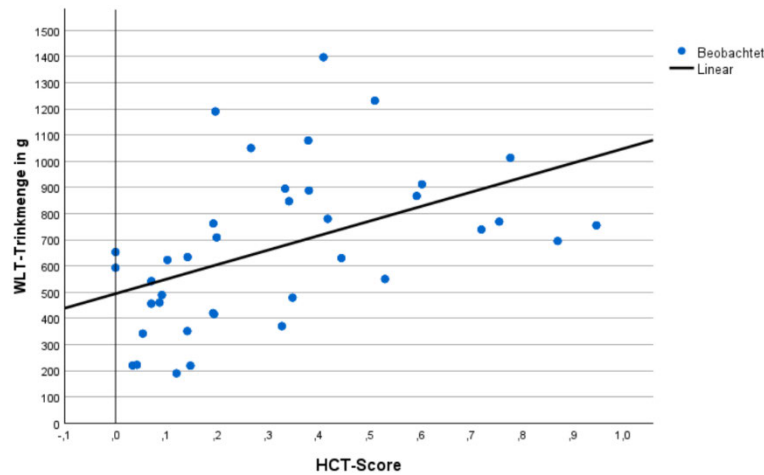


Abbildung 13: Effekt des HCT-Scores auf die WLT-Trinkmenge ($\beta = 0,480, p < 0,001$)

4.4 Ergebnisse der adaptierten Version der HCT

Zuletzt werden die Ergebnisse der HCT präsentiert. Die Schätzungen der festen Effekte für den HCT-Score aus dem GLMM stehen in der nächsten Tabelle (siehe *Tabelle 5*).

Tabelle 5: Feste Effekte des GLMM für den HCT-Score

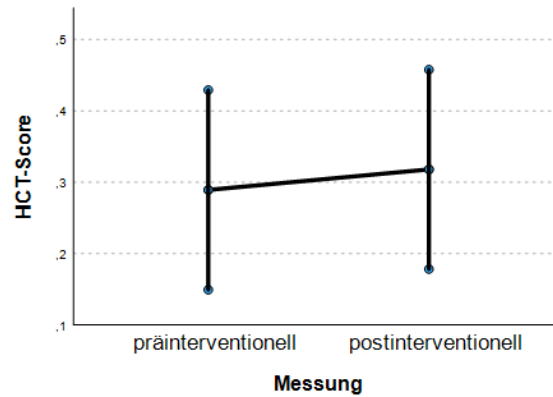
Feste Effekte ^a				
Quelle	F	df1	df2	Sig.
Korrigiertes Modell	5,283	12	17	,001
Messung	5,636	1	213	,018
Versuchsgruppe	,371	1	12	,554
Geschlecht	,350	1	12	,565
BMI	1,991	1	29	,169
SportlicheAktivitaet	,560	5	11	,729
WLTTrinkmenge	36,734	1	215	<,001
Messung * Geschlecht	4,994	1	206	,027
Messung * Versuchsgruppe	,417	1	210	,519

Wahrscheinlichkeitsverteilung: Normal

Verknüpfungsfunktion: Identität

a. Ziel: HCT-Score

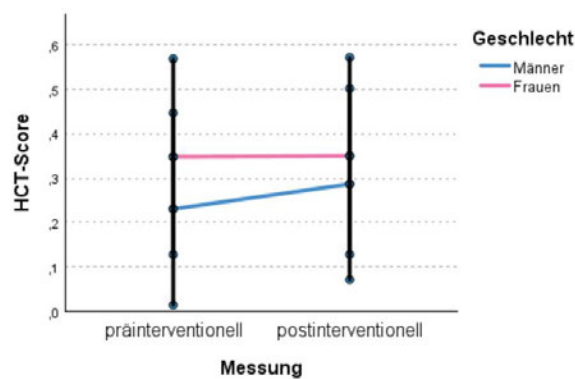
Der HCT-Score der Versuchsteilnehmer verbesserte sich von der ersten zur zweiten Messung signifikant ($F(1, 213) = 5,636, p = 0,018$) (siehe *Tabelle 5* und *Abbildung 14*). Gründe für die Verbesserung unabhängig von der Versuchsgruppe werden in der Methodendiskussion erläutert (siehe *Reliabilität*).



Stetige Einflussvariablen sind auf folgende Werte festgelegt: BMI = 22,236, WLTrinkmenge = 669,39

Abbildung 14: Effekt des Messzeitpunktes auf den HCT-Score ($F(1, 213) = 5,636, p = 0,018$)

Der signifikante Interaktionseffekt zwischen Messung und Geschlecht ($F(1, 206) = 4,994, p = 0,027$) (siehe *Tabelle 5*) spezifiziert, dass die Verbesserung der HCT-Scores vor allem durch die Verbesserung von männlichen Probanden zustande kommt (siehe *Abbildung 15*).



Stetige Einflussvariablen sind auf folgende Werte festgelegt: BMI = 22,236, WLTrinkmenge = 669,39

Abbildung 15: Interaktionseffekt von Messung*Geschlecht auf den HCT-Score ($F(1, 206) = 4,994, p = 0,027$)

Der im GLMM signifikante Effekt der WLT-Trinkmenge auf die HCT-Scores ($F(1, 215) = 36,734, p < 0,001$) (siehe *Tabelle 5*) konnte in einer separaten Regressionsanalyse bestätigt werden ($\beta = 0,480, p < 0,001$) und zeigt dabei wie auch schon im Abschnitt des WLT einen positiven Zusammenhang (siehe *Abbildung 16*).

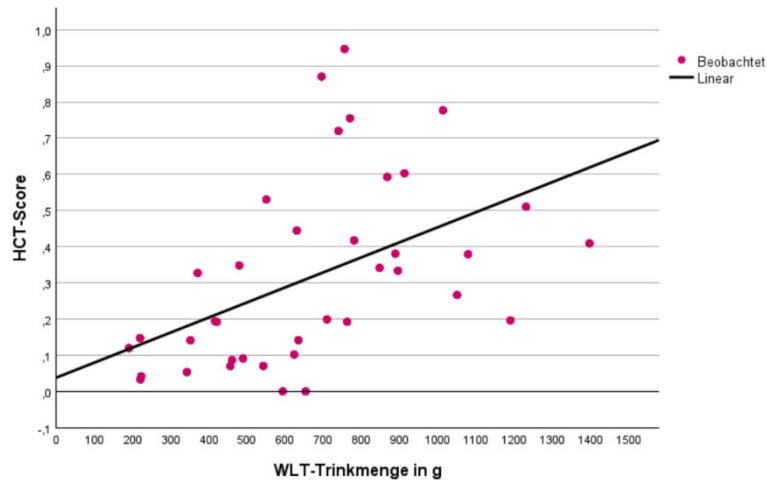


Abbildung 16: Effekt der WLT-Trinkmenge auf den HCT-Score ($\beta = 0,480, p < 0,001$)

Auch wenn die sportliche Aktivität im GLMM keinen signifikanten Effekt auf den HCT-Score hatte ($F(5, 11) = 0,560, p = 0,729$) (siehe *Tabelle 5*), wurde eine explorative Regressionsanalyse durchgeführt, um möglicherweise eine Erklärung für den nicht erwarteten positiven Zusammenhang von WLT-Trinkmenge und HCT-Score zu finden. Tatsächlich zeigte sich dabei ein signifikant positiver Effekt der sportlichen Aktivität auf die HCT-Scores ($\beta = 0,238, p < 0,001$): Sportler scheinen eine bessere kardiale Interozeption aufzuweisen (siehe *Abbildung 17*).

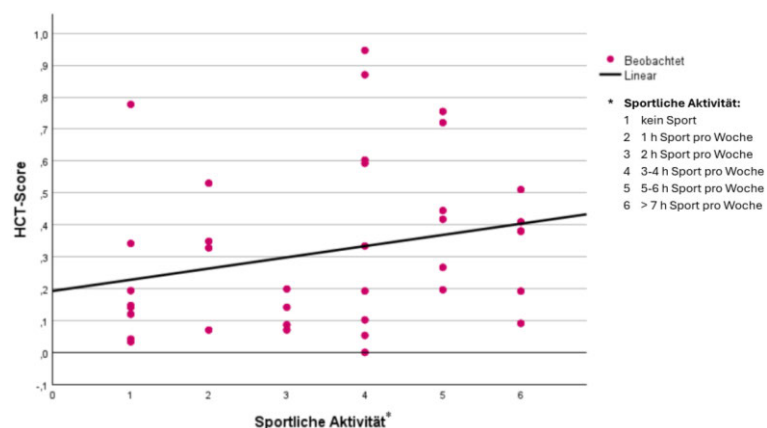


Abbildung 17: Effekt von sportlicher Aktivität auf den HCT-Score ($\beta = 0,238, p < 0,001$)

Bereinigt man nun den HCT-Score oder die WLT-Trinkmenge oder beide Parameter von dem Einfluss sportlicher Aktivität, so ergibt sich dennoch derselbe signifikant positive Zusammenhang zwischen den beiden Interozeptionsparametern – auch unabhängig von dem gemeinsamen positiven Zusammenhang zur sportlichen Aktivität.

Die in diesem Kapitel detailliert dargestellten Befunde lassen sich auf einige zentrale Kernerkenntnisse reduzieren. Die Reliabilität der HRV-Messung (insbesondere anhand der RMSSD) mit dem angewandten Atemprotokoll (siehe *HRV-Messung (EKG unter getakteter Atmung)*) erwies sich als gut, ebenso wie die in dieser Studie bei der Kontrollgruppe beobachtete hohe Reproduzierbarkeit der WLT-Trinkmenge. Bei der HCT zeigten sich hingegen signifikante Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten, jedoch ohne Differenzen zwischen den Versuchsgruppen, was die Zuverlässigkeit dieses Messverfahrens nicht stützen konnte. Neben dem Alter hat insbesondere die Atemfrequenz einen stabil reproduzierbaren hochsignifikanten Effekt auf die HRV und bindet mit den höchsten F-Werten einen Großteil der Varianz. Inhaltlich konnte zwischen den beiden gemessenen Interozeptionsparametern (HCT-Score und WLT-Trinkmenge) wider Erwarten ein positiver Zusammenhang festgestellt werden, der bedeuten würde, dass eine ausgeprägtere kardiale Interozeption mit einer weniger ausgeprägten gastralen Interozeption einhergeht. Beide Interozeptionsparameter hängen zudem positiv mit sportlicher Aktivität zusammen. Mögliche konfundierende Einflüsse der sportlichen Aktivität werden nachfolgend behandelt (siehe *Methodendiskussion*). Es konnte kein Einfluss der Intervention auf die HRV oder die kardiale Interozeption festgestellt werden, da sich keine Gruppenunterschiede zeigten. Dafür gibt es Hinweise auf eine interventionsinduzierte Verbesserung der gastralen Interozeption. Darüber hinaus steht die HRV in positivem Zusammenhang mit kardialer und gastraler Interozeption und könnte sich daher als Biomarker dieser beiden interozeptiven Modalitäten eignen.

Der Abgleich der Ergebnisse mit den aufgestellten Hypothesen zeigt ein gemischtes Bild.

- Hypothese 1 (H1), nach der IF die vagal-vermittelte HRV erhöht, konnte demnach nicht bestätigt werden, da sich zwischen Interventions- und Kontrollgruppe keine signifikant unterschiedlichen Veränderungen der HRV-Parameter logRespHRV-FFT und RMSSD zeigten.
- Auch Hypothese 2 (H2), dass IF die kardiale Interozeption erhöht, findet keine überzeugende Unterstützung, denn die signifikante Verbesserung der HCT-Scores bei der zweiten Messung unterschied sich nicht zwischen den Versuchsgruppen und kann somit nicht auf einen Einfluss der Intervention zurückgeführt werden.
- Für Hypothese 3 (H3), die eine Erhöhung der gastralen Interozeption durch IF annimmt, wurde ein marginal signifikanter Nachweis gefunden. Dieser deutet darauf hin, dass sich die getrunzene Wassermenge über den Interventionszeitraum besonders bei den Teilnehmern der

Interventionsgruppe verringert und sich deren gastrale Interozeption somit möglicherweise verbessert hat.

- Hypothese 4 (H4), nach der die HRV als Biomarker für kardiale und gastrale Interozeption geeignet ist, kann statistisch eindeutig gestützt werden. Es zeigten sich signifikante Zusammenhänge zwischen den Interozeptionsparametern (HCT-Score und WLT-Trinkmenge) und der logRespHRV-FFT, sofern deren Residualvarianz (logRespHRV-FFT bereinigt um die Einflüsse von Atemfrequenz und Alter) für die Berechnung herangezogen wurde.

5 Diskussion

Im Folgenden werden die angewandten Methoden und Limitationen der vorliegenden Studie sowie die Ergebnisse dieser separat diskutiert.

5.1 Methodendiskussion

Das Studiendesign der vorliegenden Studie ist eine kontrollierte, randomisierte Interventionsstudie. Bei der zweiwöchigen Ernährungsintervention unterlag die Interventionsgruppe einer zeitlichen Beschränkung der Energieaufnahme auf maximal acht Stunden, während für die Kontrollgruppe ein Essensfenster von mindestens zwölf Stunden definiert war. Zur Erhebung der physiologischen Veränderungen fanden jeweils vor und nach der Intervention eine adaptierte Version der HCT, eine EKG-Messung unter getakteter Atmung zur HRV-Bestimmung sowie der WLT Anwendung. Zur näherungsweisen Bestimmung der Energiebilanz führte eine freiwillige Teilkohorte viertägige Ernährungsprotokolle, während der Bedarf mithilfe der Mifflin-St Jeor-Gleichung berechnet wurde. Um Verzerrungen entgegenzuwirken, wurden neben der Zuweisung zu den Studiengruppen auch die Reihenfolge der Sequenzen innerhalb der HCT randomisiert.

Die methodische Qualität der Ergebnisse erfordert eine kritische Einordnung, da die Studie methodische und ressourcenbedingte Limitationen aufweist.

Die geringe Stichprobengröße, die 19 auswertbare Datensätze hervorgebracht hat, limitiert die statistische Power, wodurch potenzielle Effekte unentdeckt geblieben sein könnten. Zudem bedingen die gewählten Rekrutierungswege eine Überrepräsentation von Studierenden, wodurch die Repräsentativität für die deutsche Allgemeinbevölkerung herabgesetzt ist. Außerdem scheint trotz Randomisierung die Gruppengleichheit in zweierlei Hinsicht nicht vollständig gewährleistet zu sein.

Eine Kreuztabelle verdeutlicht, dass deutlich mehr Frauen (66,7 %) als Männer (10 %) während der Studiendauer von leichten Erkältungssymptomen berichteten (siehe *Tabelle 6*). Dabei waren in der Interventionsgruppe alle Frauen, aber kein Mann von einem Infekt betroffen. Dieser Umstand könnte ursächlich für den signifikanten Interaktionseffekt von Messung bei Geschlecht auf die RMSSD sein, der durch das Absinken der RMSSD bei Frauen über den Studienzeitraum gekennzeichnet ist (siehe *Abbildung 6*).

Tabelle 6: Gruppengleichheit geprüft auf akute gesundheitliche Beschwerden

Versuchsgruppe * Akute gesundheitliche Beschwerden Kreuztabelle

% von Versuchsgruppe

Geschlecht			Akute gesundheitliche Beschwerden		Gesamt
			keine	leichte Erkältungssymptome	
Männer	Versuchsgruppe	Interventionsgruppe	100,0%		100,0%
		Kontrollgruppe	80,0%	20,0%	100,0%
	Gesamt		90,0%	10,0%	100,0%
Frauen	Versuchsgruppe	Interventionsgruppe		100,0%	100,0%
		Kontrollgruppe	75,0%	25,0%	100,0%
	Gesamt		33,3%	66,7%	100,0%

Die Ergebnisse einer zweiten Kreuztabelle offenbaren, dass die Interventionsgruppe in der Tendenz eine höhere sportliche Aktivität, gemessen in Wochenstunden, aufwies als die Kontrollgruppe (siehe *Tabelle 7*). Besonders ungleich verteilt ist das Ausmaß der sportlichen Aktivität bei den Männern der Interventionsgruppe, da alle jene Probanden mindestens drei bis vier Stunden Sport pro Woche treiben.

Tabelle 7: Gruppengleichheit geprüft auf sportliche Aktivität

Versuchsgruppe * Sportliche Aktivität Kreuztabelle

% von Versuchsgruppe

Geschlecht			keine	Sportliche Aktivität				Gesamt
				1 h/Woche	2 h/Woche	3-4 h/Woche	5-6 h/Woche	
Männer	Versuchsgruppe	Interventionsgruppe				40,0%	20,0%	40,0%
		Kontrollgruppe	20,0%	40,0%		20,0%	20,0%	100,0%
	Gesamt		10,0%	20,0%		30,0%	20,0%	100,0%
Frauen	Versuchsgruppe	Interventionsgruppe	40,0%			40,0%		100,0%
		Kontrollgruppe	25,0%		50,0%		25,0%	100,0%
	Gesamt		33,3%		22,2%	22,2%	11,1%	100,0%

Über die ungleiche Verteilung des Maßes an sportlicher Aktivität in den Versuchsgruppen hinaus, könnte Sport in dieser Studie als konfundierende Einflussgröße gewirkt haben. Während Sportler in der HCT relativ mehr Herzschläge gespürt haben und damit kardial interozeptiver waren (siehe *Abbildung 17*), tranken sie auch größere Mengen an Wasser im WLT (siehe *Abbildung 12*), was nach standardisierter Interpretation einer niedrigen gastralen Interozeption entspräche. Vermutlich ist dieser Zusammenhang allerdings nicht auf eine schlechtere gastrale Interozeption unter Sportlern zurückzuführen, sondern lässt sich durch einen Gewohnheitseffekt erklären, regelmäßig größere Flüssigkeitsverluste im Rahmen sportlicher Aktivität durch Nachtrinken auszugleichen. Nach aktuellem Stand gibt es nur Forschung, die unterschiedliche kardiale Interozeption zwischen Sportlern und Kontrollen untersucht (Zeng, et al., 2025), nicht aber Studien, die den Unterschied in der Aufnahmekapazität an Flüssigkeit messen und dies auf die gastrale Interozeption beziehen. An dieser Stelle herrscht weiterer Forschungsbedarf. Um den Bogen zur sportlichen Aktivität als Confounder zurückzuschlagen, könnte diese aufgrund einer möglichen Manipulation der Flüssigkeitsaufnahmekapazität mitverantwortlich für den unerwarteten positiven Zusammenhang von WLT-Trinkmenge und HCT-Score sein (siehe *Abbildung 13* und *Abbildung 16*).

Wieder im thematischen Kontext der Limitationen sollte noch auf die Studienbedingungen eingegangen werden, die bewusst hinsichtlich der Belastung der Studienteilnehmer optimiert wurden, um die Teilnahmebereitschaft von Probanden zu fördern und die Abbruchquote gering zu halten. Die Interventionsdauer wurde auf 13 Tage begrenzt, was angesichts der signifikanten Interventionseffekte (RMSSD-Steigerung) der dreitägigen 16:8-Fastenintervention von Schwerdtfeger und Rominger ausreichend erschien (Schwerdtfeger & Rominger, 2024).

Die Erfassung der Energieaufnahme mittels Ernährungsprotokoll war freiwillig und wurde auf vier Tage eingegrenzt. Auch bei der Abschätzung des Energiebedarfes wurde zugunsten der Machbarkeit auf Selbstangaben zur eigenen Bewegung und die Berechnung per Formel zurückgegriffen. An dieser Stelle ist zu erwähnen, dass die in dieser Fastenstudie gemessenen Effekte und Zusammenhänge nicht eindeutig auf den alleinigen Effekt des zeitlichen Einschränkens der Nahrungszufuhr zurückzuführen sind, da sie nicht klar von den Effekten eines Kaloriendefizites abgegrenzt werden können. Denn wie im Ergebnisteil beschrieben, ist ein Großteil der Probanden der Interventionsgruppe vermutlich infolge des verkürzten Essensfensters in ein Energiedefizit geraten (siehe *Ergebnisse der Energiebilanzberechnung*). Die im theoretischen Hintergrund dargestellte bisherige Forschung zu den Auswirkungen von TRE**Fehler! Textmarke nicht definiert.** auf HRV und Interozeption (siehe *Auswirkungen auf die HRV und Interozeption*) lässt die Energiebilanz bislang unberücksichtigt (Demirci, et al., 2023; Flasbeck, Bamberg, & Brüne, 2021; Gonzalez & Cooke, 2022; Hammoud, et al., 2021; Mzoughi, Zairi, Jabeur, & Kraiem, 2018; Rominger, Weber, Aldrian, Berger, & Schwerdtfeger, 2021; Schwerdtfeger & Rominger, 2024), wodurch differenzierte Ergebnisse in Abhängigkeit von der Energiebilanz fehlen.

Gesamtheitlich betrachtet sind diese Faktoren bei der Interpretation von Validität, Reliabilität, Objektivität und Generalisierbarkeit der Studienergebnisse kritisch zu berücksichtigen.

5.1.1 HRV-Messung (EKG unter getakteter Atmung)

Im Folgenden wird die HRV-Messung zur Ermittlung des vagalen Tonus und die Methodik der kontrollierten Atmung bei der HRV-Messung reflektiert. Das genaue Vorgehen ist im Methodenteil dargestellt (siehe *HRV-Messung (EKG unter getakteter Atmung)*) und die entsprechenden Instruktionen für Versuchsteilnehmer können im Anhang nachgelesen werden (siehe *F: Instruktionen zu HCT, EKG unter getakteter Atmung und WLT*).

5.1.1.1 Validität

Die Forschung von Martinmäki et al. bestätigt, dass die frequenzbasierten HRV-Parameter TP, LF und insbesondere HF alle primär vagal vermittelt sind. Die logarithmisch transformierte HF eignet sich zur Messung von vagaler Steuerung (Martinmäki, Rusko, Kooistra, Kettunen, & Saalasti, 2006).

Aber nur dann, wenn die Atmung kontrolliert wird, spiegeln die HRV-Parameter tatsächlich die autonome Regulation und nicht bloß die Atem-Induktionen wider, denn Studien belegen den Effekt der Atemfrequenz auf die HRV. Matyevich et al. konnte einen starken Effekt von geführter Atmung auf HRV-Parameter nachweisen und diesen aufgrund des Versuchsaufbaus auf respiratorische Modulation zurückführen (Matyevich, et al., 2025). Genauso beobachtete auch Soer et al., dass die Parameter der SDNN, RMSSD und HF durch verschiedene Atemfrequenzen (vier bis acht Atemzüge pro Minute) signifikant beeinflusst werden (Soer, Dijkstra, Bieleman, Oosterveld, & Rijken, 2021).

Um die HRV-Werte also nicht durch verschiedene Atemfrequenzen zu verzerren, ist die Kontrolle der Atmung mithilfe eines standardisierten Atemmusters zur validen HRV-Erhebung sinnvoll.

Die physiologischen Grundlagen der atemfrequenzabhängigen vagal-vermittelten HRV können im theoretischen Hintergrund nachgeschlagen werden (siehe *Definition und physiologische Grundlagen*).

Die Society for Psychophysiological Research empfiehlt in ihren aktuellen Publikationsrichtlinien, neben der Atemfrequenz auch das Atemvolumen zu erfassen und zu berichten (Quigley, et al., 2024), was im Rahmen dieser Pilotstudie aus ressourcenbedingten Gründen nicht umgesetzt werden konnte. Des Weiteren wird empfohlen, die Herzperiodendauer zu erfassen und als Kovariate in die statistischen Modelle einzubeziehen, um Verzerrungen durch unterschiedliche Herzfrequenzen zu vermeiden (Quigley, et al., 2024). Aufgrund der geringen Stichprobengröße ($n = 19$) und der damit verbundenen eingeschränkten statistischen Power war ein entsprechender Einbezug in die GLMM in dieser Untersuchung jedoch nicht realisierbar.

5.1.1.2 Reliabilität

Bei einem Test-Retest-Verfahren über den Zeitraum einer Woche konnte eine hohe Stabilität von Herzfrequenz und RMSSD nachgewiesen werden – allerdings ohne dabei zwischen spontaner und getakteter Atmung zu differenzieren (Schumann, Lukas, Rieger, Gupta, & Bär, 2025). Ein ähnliches Outcome ergaben HRV-Kurzzeitmessungen, welche die Reliabilität innerhalb einer Sitzung untersuchten. Kurzzeitige biologische Schwankungen der HRV scheinen sich nach Cipryan nicht auf die Zuverlässigkeit entsprechender HRV-Parameter auszuwirken. Es konnten dennoch Unterschiede in der Reliabilität zwischen den einzelnen Parametern beobachtet werden, wobei sich die RMSSD als robustester Parameter ($ICC = 0,87-0,96$) herauskristallisierte (Cipryan, 2016).

Ähnliche Beobachtungen wurden auch in dieser Studie gemacht. Während eine hohe Reliabilität der HRV-Messung anhand der RMSSD über das zweiwöchige Intervall nachgewiesen werden konnte (siehe *Abbildung 7*), so sind die Werte der logRespHRV-FFT unabhängig von der Versuchsgruppe bei der zweiten Messung signifikant niedriger (siehe *Abbildung 1* und *Abbildung 5*).

Ein durch die einzuhaltenden Essensfenster ausgelöster erhöhter Stresspegel könnte allenfalls die Effekte in der Interventionsgruppe erklären, erscheint jedoch als Erklärung für die Kontrollgruppe, die ihr Essverhalten nicht anpassen musste, wenig plausibel. Als weiterer recht spekulativer Erklärungsansatz kommt der selbstberichtete Stress infolge der getakteten Atmung während der Messungen in Betracht. Dieser könnte bei der zweiten Messung stärker ausgeprägt gewesen sein, da die Teilnehmenden bereits antizipierten, dass die als anstrengend und teilweise unangenehm empfundene Atemvorgabe erneut bevorsteht.

Studien, die eine Unterscheidung zwischen absoluter und relativer Reliabilität vornehmen, liefern ein differenzierteres Bild. Die relative Zuverlässigkeit, die den Rang von Individuen innerhalb einer Gruppe beschreibt, lässt sich gemessen anhand von Interklassenkorrelationen gut reproduzieren, zeigt ein Studie mit Messungen im Abstand von einer Woche ($ICC = 0,75-0,83$) (Matyevich, et al., 2025) sowie eine Studie mit Messungen an zwei aufeinanderfolgenden Tagen ($ICC = 0,65-0,88$) (Pinna, et al., 2007). Individuelle Variation in den HRV-Parametern (u.a. durch Zufallsschwankungen) führen jedoch zu einer niedrigen absoluten Reliabilität (Matyevich, et al., 2025; Pinna, et al., 2007). Diese Differenzierung suggeriert, dass die HRV-Parameter zur Erfassung von Gruppenunterschieden genutzt werden können, während die Messung von individuellen Veränderungen über Zeit keine reliablen Ergebnisse liefert (Matyevich, et al., 2025).

Die Befunde hinsichtlich der Frage, ob getaktete Atmung die Reliabilität von HRV-Messungen verbessert, ist uneinheitlich. In der Untersuchung von Pinna et al. zeigen sich für einige HRV-Parameter Verbesserungen aller untersuchten Reliabilitätskennwerte (Standardfehler der Messung (SEM), Grenzen zufallsbedingter Variation, Intraklassenkorrelation (ICC), erforderliche Stichprobengröße) (Pinna, et al., 2007). Auch Kobayashi berichtete eine leichte Verbesserung der Intraklassenkorrelationen durch getaktete Atmung über zwei Sitzungen im Abstand von drei Wochen. Dennoch schlussfolgert er, dass die limitierte Verbesserung den Einsatz einer vorgegebenen Atemfrequenz nicht als notwendige methodische Maßnahme rechtfertigt, sofern die Probanden eine gleichmäßige Spontanatmung aufweisen (Kobayashi, 2009).

Eine hohe Reliabilität der HRV-Messung in Abhängigkeit von der Atemfrequenz konnte auch in dieser Studie über ein zweiwöchiges Intervall nachgewiesen werden. Besonders die Werte der RMSSD ließen sich unter getakteter Atmung gut reproduzieren (siehe *Abbildung 5* und *Abbildung 7*).

5.1.1.3 Objektivität

Durch die Anwendung eines standardisierten Atemprotokolls (siehe *HRV-Messung (EKG unter getakteter Atmung)*), bei dem die Studienteilnehmenden mittels auditiver Signale unabhängig von der Studienleitung angeleitet wurden, konnte die Messung weitgehend objektiv gestaltet werden.

Eine objektive Auswertung und Interpretation wurde durch ein einheitliches Auswertungsschema der anonymisierten Daten unter Verwendung von Kubios-HRV-Premium (siehe *HRV-Messung (EKG unter getakteter Atmung)*) sichergestellt.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass kontrollierte Atmung die Validität von HRV-Messungen eindeutig erhöht, indem sie respiratorische Einflüsse minimiert. Die relative Reliabilität ist hingegen bereits ohne Berücksichtigung der Atmung hoch, was eine reliable Untersuchung von Gruppeneffekten ermöglicht, die durch getaktetes Atmen nur noch marginal zu verbessern ist. Unter den HRV-Parametern scheint die RMSSD die größte Reliabilität aufzuweisen.

5.1.2 Adaptierte Version der HCT

Im nächsten Absatz werden die methodischen Stärken und Limitationen der HCT zur Messung von kardialer Interozeption diskutiert. Die Durchführung der HCT im Rahmen dieser Studie ist detaillierter in der Methodik beschrieben (siehe *Adaptierte Version der Heartbeat Counting Task (HCT)*), während sich die Aufgabenbeschreibung für Teilnehmende im Anhang findet (siehe *F: Instruktionen zu HCT, EKG unter getakteter Atmung und WLT*).

5.1.2.1 Validität

Seit der erstmaligen Dokumentation der HCT von Schandry (Schandry, 1981) wurde angezweifelt, dass die Messung geeignet sei, um die kardiale Interozeption valide zu messen (Flynn & Clemens, 1988). Einige Jahre später wurde nachgewiesen, dass das Herzschlagzählen nicht nur von interozeptiver Wahrnehmung, sondern auch von Annahmen über die eigene Herzfrequenz beeinflusst wird (Ring & Brener, 1996).

Aus der Kritik heraus, dass die HCT nicht nur interozeptive Wahrnehmung misst, sondern auch nicht-interozeptive Prozesse die Test-Ergebnisse beeinflussen, ergab sich der Ansatz, in den Versuchsinstruktionen stark zu betonen, dass sich Versuchsteilnehmer ausschließlich auf ihre Wahrnehmung verlassen sollen, ohne dabei aktiv den Puls zu ertasten oder den Herzschlag zu schätzen (Desmedt, Luminet, & Corneille, 2018).

Es konnte gezeigt werden, dass sich die IAc-Scores bei angepasster Aufgabenstellung gegenüber den Ergebniswerten unter originalen Instruktionen um etwa die Hälfte reduzieren. In Kombination mit der Angabe von Probanden, dass sie Schätzstrategien verwenden, wird dies als Bestätigung dafür gewertet, dass die HCT unter originalen Instruktionen drastisch von nicht-interozeptiven Prozessen beeinflusst ist. Die Schlussfolgerung, dass die IAc-Werte unter adaptierten Instruktionen nun valide Aussagen über die kardiale Interozeption der Versuchsteilnehmer ermöglichen, lässt sich jedoch nicht eindeutig ziehen. Denn die niedrigeren IAc-Werte könnten nicht nur darauf zurückzuführen sein, dass nur noch interozeptiv wahrgenommene Herzschläge gezählt wurden, sondern auch auf eine

verringerte Entscheidungsschwelle beim Zählen zurückgehen (Desmedt, Luminet, & Corneille, 2018), wie bereits Zamariola et al. diskutiert (Zamariola, Maurage, Lumineta, & Corneille, 2018).

Aktuelle Forschung deutet jedoch auf eine Verbesserung der Validität unter adaptierten Instruktionen hin. Bei Durchführung der HCT unter den ursprünglichen Instruktionen zeigt sich eine positive Korrelation zwischen der geschätzten Zeit und den geschätzten Herzschlägen pro Minute, was auf die Verwendung von Zeit-Schätzstrategien hindeutet. Unter adaptierten Instruktionen, die betonten, dass nur tatsächlich wahrgenommene Herzschläge gemeldet werden sollen, konnte hingegen keine signifikante Korrelation zwischen gemeldeten Herzschlägen und Zeitangaben mehr festgestellt werden. Dies könnte bedeuten, dass Teilnehmer sich aufgrund der Formulierung der Instruktion stärker auf ihre interozeptive Wahrnehmung verlassen und von Zeitabschätzungen abgesehen haben. Übertragbare Ergebnisse zeigten sich auch hinsichtlich des Wissens über die physiologische Herzfrequenz. Unter den ursprünglichen Instruktionen fanden sich positive Korrelationen zwischen den geschätzten Herzschlägen, der geschätzten Herzfrequenz und deren Produkt mit der geschätzten Zeit, während diese Zusammenhänge unter adaptierten Instruktionen nicht mehr auftraten. Insgesamt bestätigen die Ergebnisse, dass angepasste Instruktionen den Einsatz von zeit- oder wissensbasierten Strategien in der HCT verringern (Desmedt, et al., 2020).

Für einen tieferen Einblick in den aktuellen Diskussionsstand zu Validität der HCT, Interpretationsproblemen, Auslegungsfragen und den aktuellen methodischen und statistischen Empfehlungen folgende Papiere einsehen: (Ainley, Tsakiris, Pollatos, Schulz, & Herbert, 2020; Corneille, Desmedt, Zamariola, Luminet, & Maurage, 2020; Schulz, Back, Schaan, Bertsch, & Vögele, 2021; Zamariola, Maurage, Lumineta, & Corneille, 2018; Zimprich, Nusser, & Pollatos, 2020).

Da angepasste Versuchsanweisungen einen positiven Einfluss auf die Validität der HCT gezeigt haben (Desmedt, et al., 2020), wurde in der vorliegenden Studie zur bestmöglichen Erhöhung der Validität eine entsprechend optimierte schriftliche Instruktion eingesetzt, deren Formulierung die Wichtigkeit des ausschließlichen Zählens von interozeptiv wahrgenommenen Herzschlägen in der Herzgend stark betont (siehe *F: Instruktionen zu HCT, EKG unter getakteter Atmung und WLT*).

5.1.2.2 Reliabilität

In einer Forschungsarbeit wurden für vier Studien mit separaten Stichproben hohe Cronbach- α -Werte von 0,93, 0,89, 0,93 und 0,84 berichtet, was auf eine hohe interne Konsistenz des HCT-Scores hinweist und damit für eine ausreichend hohe Reliabilität der Messung spricht (Zamariola, Luminet, Mierop, & Corneille, 2019).

In der vorliegenden Studie konnten die HCT-Scores jedoch nicht zuverlässig reproduziert werden. Unabhängig von der Versuchsgruppe zeigte sich eine signifikante Verbesserung der HCT-Scores von der ersten zur zweiten Messung (siehe *Abbildung 14*), was gegen eine hohe Reliabilität dieses

Messverfahrens spricht. Ein möglicher Grund für diesen Befund könnte eine Veränderung der Entscheidungsschwelle (Zamariola, Maurage, Lumineta, & Corneille, 2018) oder ein Lerneffekt über die Messungen hinweg gewesen sein, wodurch die Verbesserung der HCT-Scores eher methodisch als physiologisch bedingt ist.

5.1.2.3 Objektivität

Die Objektivität der adaptierten HCT ist stark von den Versuchsbedingungen abhängig. So fördern die standardisierten schriftlichen Instruktionen (siehe *F: Instruktionen zu HCT, EKG unter getakteter Atmung und WLT*), welche an den veröffentlichten Formulierungen der adaptierten Version von Desmedt et al. angelehnt sind (Desmedt, et al., 2020), die vier klar definierten Zeitintervalle und die Verwendung der etablierten Auswertungsformel (siehe *Adaptierte Version der Heartbeat Counting Task (HCT)*), welche von Heemskerk et al. und Schulz et al. übernommen wurde (Heemskerk, et al., 2024; Schulz, Back, Schaan, Bertsch, & Vögele, 2021) und die einheitliche Verwendung der mobilen EKG-Applikation von „CardioSecur“ die Objektivität der Messungen innerhalb dieser Studie unabhängig von der versuchsdurchführenden Person.

Die Vergleichbarkeit mit den HCT-Ergebnissen anderer Studien könnte dennoch eingeschränkt sein, da aufgrund fehlender Leitlinien, die gefordert werden (Corneille, Desmedt, Zamariola, Luminet, & Maurage, 2020), die Mess- und Auswertungsprozesse einzelner Studien voneinander abweichen.

In der Gesamtschau der methodischen Reflektion zeigt die viel diskutierte Methode der HCT ein heterogenes Bild hinsichtlich ihrer Validität, Reliabilität und Objektivität, wobei sich die Validität durch die angewandten adaptierten Instruktionen verbessern lässt.

5.1.3 WLT

Nachfolgend werden die methodischen Vor- und Nachteile des einstufigen WLT zur Bestimmung der gastralen Interozeption differenziert betrachtet. Der Versuchsaufbau ist umfassend in den Methoden erläutert (siehe *Water Load Test (WLT)*). Der Wortlaut der Versuchsanleitung für die Probanden ist dem Anhang zu entnehmen (siehe *F: Instruktionen zu HCT, EKG unter getakteter Atmung und WLT*).

5.1.3.1 Methodische Stärken

Der einstufige WLT zeichnet sich durch seine einfache Durchführbarkeit ohne spezifisches Equipment, seine Nicht-Invasivität und Verträglichkeit aus, was die Akzeptanz unter Studienteilnehmern positiv beeinflusst (Jones, Hoffman, Shah, Patel, & Ebert, 2003).

Der Test zeigt eine gute Validität. Sensitivität, Spezifität, Kappa-Wert und Übereinstimmungsrate (bei Bestimmung von Wahrnehmungs- und Unbehaglichkeitsschwellen) des WLT zeigten in einer Studie eine gute Korrelation zum Goldstandard des Magenbarostates im hochsignifikanten Bereich.

Hinsichtlich der Empfindungsschwelle zeigte der WLT sogar höhere Werte für Spezifität, Kappa und Übereinstimmung, was laut Autoren seinen Einsatz in der klinischen Diagnostik zur Bestimmung sensorischer Schwellen rechtfertigt (QX, LR, & XH, 2004).

Im Rahmen einer Studie an gesunden Frauen wurde ein negativer Zusammenhang zwischen den konsumierten Wasservolumen (im WLT-II) und der kardialen interozeptiven Genauigkeit (in der HCT) festgestellt, was auf eine intermodale Konvergenz gastraler und kardialer Interozeption hindeutet und damit auch als Hinweis auf konvergente Validität interpretiert werden kann (Dyck, et al., 2016; Herbert, Muth, Pollatos, & Herbert, 2012).

Bei Patienten mit funktioneller Dyspepsie spiegelt sich die gestörte viszerale Wahrnehmung konsequent durch ein im Vergleich zu gesunden Kontrollen niedrigeres Trinkvolumen wider (Chen, Lin, Chen, & Huang, 2005; Jones, Hoffman, Shah, Patel, & Ebert, 2003; Koch, Hong, & Xu, 2000). Diese eindeutigen Messunterschiede sprechen für eine gewisse Validität.

Die Test-Retest-Reliabilität des WLT über einen Zeitraum von zwei Wochen ist mit $r = 0,7729$ ($p < 0,0001$) als hoch zu bewerten, wobei die Korrelation über den Zeitraum von zwei Monaten nicht nachweisbar ist (Jones, Hoffman, Shah, Patel, & Ebert, 2003). Ähnliche Reproduzierbarkeit zeigt der Test auch in einer anderen Studie über ein einwöchiges Intervall (Koch, Hong, & Xu, 2000). Diese Befunde, die indizieren, dass eine Reproduzierbarkeit des WLT über kurzzeitige Intervalle gegeben ist, kann die vorliegende Studie bestätigen. Die WLT-Reliabilität der Kontrollgruppe erwies sich als gut (siehe *Abbildung 11*).

Die Objektivität im Testverfahren ist in der Hinsicht gegeben, dass die individuell getrunkene Wassermenge als objektiv messbare, quantitative Größe erfasst wird. Dennoch spielen subjektive Faktoren in die Testergebnisse hinein, was zu den Limitationen des WLT überleitet.

5.1.3.2 Methodische Limitationen

Wie bereits bei den methodischen Stärken erwähnt, konnten Jones et al. die Kurzzeit-Reproduzierbarkeit bei einem Zeitintervall von über zwei Monaten nicht nachweisen, was von einer intra-individuellen Variabilität zeugt (Jones, Hoffman, Shah, Patel, & Ebert, 2003).

Im Vergleich zum WLT II, der durch ein zweistufiges Modell differenzierte Indizes (sat_ml, Δ full_ml, sat_%) bereitstellt und durch die Relation von Sättigung zu Gesamtvolumen (sat_%) anatomisch bedingte Unterschiede der individuellen Magenkapazität berücksichtigen kann, scheint der WLT I undifferenzierter (Dyck, et al., 2016).

Des Weiteren ist kritisch anzumerken, dass der nicht-kontraktile transpylorische Vorwärtsfluss – das passive Abfließen flüssigen Mageninhalts ins Duodenum, das durchschnittlich 80 Sekunden nach Beginn der Aufnahme von Flüssigkeit (166 mL/min; 4 kcal/100 mL) einsetzt (Hausken, Gilja,

Ødegaard, & Berstad, 1998) – dazu führen kann, dass auch die mechanische Dehnung des Duodenums in die interozeptive Wahrnehmung einfließt und somit möglicherweise nicht ausschließlich die gastrale Interozeption erhoben wird.

Zusammenfassend betrachtet stellt der einstufige WLT ein praktikables, nicht-invasives Testverfahren mit zufriedenstellender Validität und Reliabilität über Kurzzeitintervalle dar.

5.1.4 Ernährungsprotokolle und Energiebilanzberechnung

Zuletzt wird die Vorgehensweise der Energiebilanzberechnung kritisch beleuchtet. Diese ist näher im Methodenteil ausgeführt (siehe *Ernährungsprotokolle und Energiebilanzberechnung*). Einzusehen ist die Protokollvorlage im Anhang (siehe *G: Ernährungsprotokoll-Vorlage*).

5.1.4.1 Methodische Stärken

Durch die mehrtägigen Ernährungsaufzeichnungen, die intra-individuelle Schwankungen berücksichtigen, die überwiegende Verwendung des Goldstandards eines Wiegeprotokolls mit hoher Messgenauigkeit, die Auswertung mit DGExpert, welches aufgrund seiner umfangreichen Lebensmitteldatenbank eine niedrige Inter-Rater-Variabilität aufweist und die Berechnung des Kalorienbedarfs unter Berücksichtigung von anthropometrischen Maßen, dem individuellen Maß an sportlicher Aktivität sowie der validierten Mifflin-St Jeor-Gleichung (für eine genauere Begründung der Formelwahl siehe *Ernährungsprotokolle und Energiebilanzberechnung*) liefert das methodische Verfahren eine robuste Schätzung des Ruhe- und Gesamtenergieverbrauchs.

5.1.4.2 Methodische Limitationen

Da das Protokoll überwiegend, aber nicht vollständig, auf Wiegen beruhte, besteht ein Messbias. Portionsgrößen, die nicht gewogen werden, werden häufig unterschätzt, was zu einem systematischen Underreporting der Energiezufuhr führen kann, wobei das Vorkommen und die Ausprägung des Underreporting mit zunehmender Energiezufuhr steigt (Carlsohn, Scharhag-Rosenberger, Schapp, Fusch, & Mayer, 2012). Die Auswertung erfolgte händisch mit DGExpert, wodurch Transkriptionsfehler entstehen können. Das Hochrechnen des Viertagesdurchschnitts auf die gesamte Studiendauer von 13 Tagen führt zu einem Extrapolationsbias. Nur ein Drittel der Gesamtkohorte lieferte freiwillig Ernährungsdaten, sodass ein Selektionsbias vorliegt und die Verallgemeinerbarkeit eingeschränkt ist. Der Kalorienbedarf wurde aus anthropometrischen Daten, den selbst-berichteten Angaben zur sportlichen Betätigung und der Mifflin-St Jeor-Gleichung berechnet. Hierbei können bei den Angaben Selbstbericht-Bias und bei der Berechnung Model-Bias die Schätzung verfälschen.

5.2 Ergebnisdiskussion

Die Ergebnisse der Studie zeigten keinen Einfluss der Intervention auf die HRV oder die kardiale Interozeption, es gab jedoch einen Hinweis auf eine interventionsbedingte Verbesserung der gastralen Interozeption. Zudem korrelierte die HRV positiv mit kardialer und gastral Interozeption und könnte sich daher als Biomarker beider Modalitäten eignen. Neben dem Alter erwies sich insbesondere die Atemfrequenz als signifikanter Einflussfaktor auf die HRV und erklärte den größten Teil der Varianz. Zwischen den Interozeptionsparametern zeigte sich unerwartet ein positiver Zusammenhang, der auf eine entgegengesetzte Ausprägung kardialer und gastraler Interozeption hindeutet. Beide Parameter standen zudem in positivem Zusammenhang mit sportlicher Aktivität, die möglicherweise einen konfundierenden Einflussfaktor darstellt.

In den folgenden Abschnitten werden die zentralen Ergebnisse im Kontext der aktuellen Forschung diskutiert.

Zunächst soll der in dieser Studie ausgebliebene Interventionseffekt einer fasteninduzierten Veränderung der HRV in den Kontext bestehender Forschung eingeordnet werden. Die Mehrheit der bisherigen Fastenstudien berichtet eine Steigerung von HRV-Parametern und leitet daraus eine fasteninduzierte Zunahme der parasympathischen Aktivität ab (Demirci, et al., 2023; Gonzalez & Cooke, 2022; Hammoud, et al., 2021; Rominger, Weber, Aldrian, Berger, & Schwerdtfeger, 2021; Schwerdtfeger & Rominger, 2024) (siehe *Auswirkungen auf die HRV und Interozeption*). Insbesondere vor dem Hintergrund der Ergebnisse von Schwerdtfeger und Rominger, die anhand einer dreitägigen Fastenintervention mit dem 16:8-Regime, das auch in dieser Studie Anwendung fand, einen entsprechenden Effekt nachweisen konnten (Schwerdtfeger & Rominger, 2024), wäre auch in der vorliegenden Studie ein ähnlicher Befund zu erwarten gewesen. In dieser Studie wurden in der Interventionsgruppe jedoch keine signifikanten Veränderungen der HRV im Vergleich zur Kontrollgruppe gemessen.

Mögliche Erklärungsansätze für das Ausbleiben eines signifikanten Interventionseffekts liegen in den methodischen Unterschieden zwischen den Studien. So wurde in Schwerdtfeger und Romingers Untersuchung ausschließlich ein HRV-Parameter im Zeitbereich, die RMSSD, erhoben, während Parameter des Frequenzbereichs unberücksichtigt bleiben. Darüber hinaus erfolgte keine Kontrolle der Atemfrequenz während der EKG-Aufzeichnungen zur HRV-Ableitung (Schwerdtfeger & Rominger, 2024), obwohl diese die HRV maßgeblich beeinflusst, so wie diese Studie demonstriert (siehe *Abbildung 3*). Da die Atemfrequenz bei Berücksichtigung im statistischen Modell einen erheblichen Anteil der Varianz erklärt (siehe *Tabelle 3*), ist es plausibel, dass durch die fehlende statistische Kontrolle dieser Einflussgröße bei Schwerdtfeger & Rominger zusätzliche Varianz offengelegt wurde und dadurch die Detektion potenzieller Interventionseffekte begünstigt wurde.

Der ausgebliebene Interventionseffekt einer fasteninduzierten Veränderung der kardialen Interozeption stützt weder die Befunde, dass sich die Interozeption unter Fasten verbessert (Rominger, Weber, Aldrian, Berger, & Schwerdtfeger, 2021; Schwerdtfeger & Rominger, 2024), noch den Befund, dass sich die Interozeption nach Beendigung einer Fastenperiode verbessert (Flasbeck, Bamberg, & Brüne, 2021).

Ein interessanter Nebenfund der Studie ist der Zusammenhang, dass mit zunehmender Dauer an wöchentlicher sportlicher Betätigung die kardiale Interozeption steigt (siehe *Abbildung 17*). Diese Korrelation könnte auf eine besser trainierte Körperwahrnehmung der sportlich aktiven Probanden zurückzuführen sein. Ähnliche Beobachtungen einer aktuellen Studie, in der Sportler im Vergleich zu Kontrollen signifikant höhere IAc, IS und IAw aufweisen (Zeng, et al., 2025), stützen den Befund. Gegensätzlich dazu wurde in der Studie von Seabury herausgestellt, dass Spitzensportler im Vergleich zu Nicht-Spitzensportlern beim Zählen ihrer Herzschläge weniger akkurat sind (Seabury, Benton, & Young, 2023). Darüber hinaus könnte die in dieser Studie gemessene bessere kardiale Interozeption auch auf einer erhöhten vagalen Aktivität durch den regelmäßigen Sport beruhen. Die Studienlage bestätigt, dass mäßig trainierte Sportler eine höhere vagale Aktivität als Menschen mit sitzender Lebensweise aufweisen (Buchheit, Simon, Piquard, Ehrhart, & Brandenberger, 2004).

Neben der physiologisch plausiblen besseren kardialen Interozeption bei sportlich aktiven Probanden zeigte sich gleichzeitig eine weniger stark ausgeprägte gastrale Interozeption, gemessen anhand der getrunkenen Wassermenge im WLT. Daraus resultiert ein positiver Zusammenhang zwischen den Ergebnissen der HCT und des WLT (siehe *Abbildung 13* und *Abbildung 16*), der auf eine entgegengesetzte Ausprägung kardialer und gastraler Interozeption hindeutet. Sollten die bereits erörterten potenziell konfundierenden Einflüsse der sportlichen Aktivität (siehe *Methodendiskussion*) nicht bestehen, spricht dies für differenzierte Interozeptionsmodalitäten. Das stellt damit die Annahme einer modalitätsübergreifenden Interozeptionsfähigkeit, die in früheren Arbeiten aufgrund negativer Zusammenhänge postuliert wurde (Dyck, et al., 2016; Herbert, Muth, Pollatos, & Herbert, 2012; Porges, 2025), in Frage.

Darüber hinaus spielen vermutlich neben physiologischen Mechanismen auch psychische Einflussfaktoren eine Rolle bei der Interozeptionsmessung. So könnten sich die gesellschaftlich geprägten Geschlechterideale möglicherweise auf die beiden interozeptiven Modalitäten unterschiedlich auswirken. Während das Reden von „weiblicher Intuition“ und Ratschläge wie „Hör auf dein Herz!“ eine Verbindung zu den eigenen Emotionen bei Frauen gesellschaftlich positiv konnotieren, so prägen Sprüche wie „Männer weinen nicht!“ und Ratschläge wie „Folge deinem Verstand!“ ein rationales, weniger nach innen gerichtetes Männerbild. Dies belegt auch eine Studie, in der Teilnehmende die Wahrnehmung hatten, dass Frauen die meisten Emotionen mit Ausnahme von Wut und Stolz häufiger empfinden und zum Ausdruck bringen als Männer (Plant, Hyde, Keltner, & Devine, 2000).

Übertragen auf die kardiale Interozeption, könnte eine hohe Ausprägung bei Frauen eher positiv konnotiert sein, während sie bei Männern beinahe eine sozial unerwünschte Fähigkeit darstellt. Diese Hypothese spiegelt sich auch in den präinterventionell erhobenen Ausgangsniveaus der HCT-Scores der beiden Geschlechter wider (siehe *Abbildung 15*). Betrachtet man die gastrale Modalität, könnten hingegen geschlechtsspezifische Körperideale einen unbewussten Einfluss auf die Interozeption ausüben. Die aktuellen Körperideale sind von Vorstellungen männlicher Muskularität und weiblicher Schlankheit dominiert (Magallares, 2016). Aussagen wie „Iss auf, damit du groß und stark wirst“ verknüpfen große Nahrungsportionen bei Männern daher vermutlich mit Kraft und Leistungsfähigkeit, während eine frühzeitige Sättigung eher belächelt wird, was zu ausreichender oder erhöhter Nahrungsaufnahme animiert. Im Gegensatz dazu wird eine erhöhte Nahrungsaufnahme bei Frauen dem Körperideal entsprechend eventuell eher mit mangelnder Selbstdisziplin oder fehlender Körperkontrolle in Verbindung gebracht, während eine stärkere Kontrolle des Essverhaltens gesellschaftlich akzeptierter ist. Auch diese Hypothese steht im Einklang mit dem signifikanten Geschlechterunterschied der im WLT getrunkenen Wassermengen (siehe *Abbildung 9*), der neben anatomischen und physiologischen Einflussfaktoren auch durch psychische und soziale Faktoren mitbedingt sein könnte.

Der nachgewiesene positive Zusammenhang zwischen der residualisierten logRespHRV-FFT und den beiden interozeptiven Modalitäten (siehe *Abbildung 4*), der für eine mögliche Biomarkerfunktion der HRV sowohl für die kardiale als auch für die gastrale Interozeption spricht, unterstützt die Tendenz des aktuellen Forschungsstandes, wonach sich die HRV als Biomarker für die kardiale Interozeption eignet (Lischke, Pahnke, Mau-Moeller, & Weippert, 2021; Rominger, Weber, Aldrian, Berger, & Schwerdtfeger, 2021; Schwerdtfeger & Rominger, 2024). Darüber hinaus erweitert er diese Befundlage dahingehend, dass auch ein Biomarker-Potenzial der HRV für die gastrale Interozeption angenommen werden kann.

Der beobachtete Rückgang der HRV mit zunehmendem Alter (siehe *Abbildung 2*) steht im Einklang mit bestehender Forschung. Für den Altersbereich von 20 bis 40 Jahren, der Altersspanne der Studienteilnehmer dieser Studie, zeigt eine Übersichtsarbeit die klare Tendenz zur Abnahme der HRV (Shaffer & Ginsberg, 2017).

6 Schlussfolgerung

Insgesamt bestätigt diese Forschungsarbeit die zentrale Bedeutung der Kontrolle der Atemfrequenz für eine valide Erfassung der HRV. Bisherige Befunde zur fasteninduzierten Verbesserung von HRV und Interozeption werden kritisch hinterfragt. Die Ergebnisse stellen den Einfluss von Sport auf beide interozeptiven Modalitäten heraus und liefern die neuartige Erkenntnis, dass hohe sportliche Aktivität möglicherweise konfundierend auf die Messung gastraler Interozeption wirkt. Schließlich liefert die Arbeit Evidenz für eine Biomarkerfunktion der HRV für kardiale und gastrale Interozeption.

Implikationen für zukünftige Studien im Kontext der HRV-Forschung umfassen die Kontrolle der Atemfrequenz bei HRV-Messungen sowie die statistische Berücksichtigung von Atemfrequenz und Herzperiodendauer, sofern die statistische Power dies zulässt. Die Erkenntnisse dieser Studie sollten anhand größerer Stichproben, längerer Interventionszeiträume sowie eines breiteren Methodenspektrums zur Erfassung von HRV und Interozeption überprüft werden, wobei auch die interozeptiven Dimensionen der IS und IAw berücksichtigt werden sollten. Zudem sollte in zukünftigen Studien ein direkter Vergleich zwischen den Effekten von TRE**Fehler! Textmarke nicht definiert.** ohne CR, TRE**Fehler! Textmarke nicht definiert.** mit CR und CER auf HRV und Interozeption erfolgen. Des Weiteren sollte das herausgestellte Biomarkerpotenzial der HRV für die gastrale Interozeption in weiteren Studien vertieft untersucht werden. Außerdem könnten die festgestellten Unterschiede in der Flüssigkeitsaufnahmekapazität zwischen sportlich aktiven Personen und Kontrollgruppen analysiert und mit der gastralen Interozeption in Beziehung gesetzt werden. Schließlich bedürfen auch die Hypothesen zu den Einflüssen von Geschlechteridealen und geschlechtsspezifischen Körperidealen auf die kardiale und gastrale Interozeption einer gezielten empirischen Überprüfung.

Literaturverzeichnis

- Ainley, V., Tsakiris, M., Pollatos, O., Schulz, A., & Herbert, B. M. (2020). Comment on “Zamariola et al. (2018), Interoceptive Accuracy Scores are Problematic: Evidence from Simple Bivariate Correlations”—The empirical data base, the conceptual reasoning and the analysis behind this statement are misconceived and do not support. *Biological Psychology*, 152, S. 1-8 (107870). doi:10.1016/j.biopsycho.2020.107870
- Andresen, V. (2009). Visceral sensitivity testing. *Best Practice & Research Clinical Gastroenterology*, 23, S. 313–324. doi:10.1016/j.bpg.2009.04.007
- Anton, S. D., Moehl, K., Donahoo, W. T., Marosi, K., Lee, S., Mainous, A. G., . . . Mattson, M. P. (2018). Flipping the Metabolic Switch: Understanding and Applying Health Benefits of Fasting. *Obesity (Silver Spring)*, 26(2), S. 254–268. doi:10.1002/oby.22065
- Borgundvaag, E., Mak, J., & Kramer, C. K. (2021). Metabolic Impact of Intermittent Fasting in Patients With Type 2 Diabetes Mellitus: A Systematic Review and Meta-analysis of Interventional Studies. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 106(3), S. 902–911. doi:10.1210/clinem/dgaa926
- Buchheit, M., Simon, C., Piquard, F., Ehrhart, J., & Brandenberger, G. (2004). Effects of increased training load on vagal-related indexes. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 287, S. H2813–H2818. doi:10.1152/ajpheart.00490.2004
- Cameron, O. G. (2001). Interoception: The Inside Story - A Model for Psychosomatic Processes. *Psychosomatic Medicine*, 63(5), S. 697–710. doi:10.1097/00006842-200109000-00001
- Carlsohn, A., Scharhag-Rosenberger, F., Schapp, L., Fusch, G., & Mayer, F. (2012). Validity of the determination of energy input from a dietary record in persons of normal weight-dependence on the level of energy input: comparison between elite sportsmen with very high energy intake and a control group of persons of normal weight. *Ernährungs Umschau*, 59(10), S. 572-577.
- Chang, L., Thaïss, C. A., Knight, Z., & Khalsa, S. (2025). Gut Feelings: The Critical Role of Interoception in Obesity and Disorders of Gut–Brain Interaction. *Gastroenterology*, 169, S. 188-194. doi:10.1053/j.gastro.2025.04.002
- Chen, C. L., Lin, H. H., Chen, M. C., & Huang, L. C. (2005). Dyspeptic symptoms and water load test in patients with functional dyspepsia and reflux disease. *Scandinavian Journal of Gastroenterology*, 40(1), S. 28-32. doi:10.1080/00365520410009483
- Cipryan, L. (2016). Within-Session Stability of Short-Term Heart Rate Variability Measurement. *Journal of Human Kinetics*, 50, S. 85-92. doi:10.1515/hukin-2015-0146
- Corneille, O., Desmedt, O., Zamariola, G., Luminet, O., & Maurage, P. (2020). A heartfelt response to Zimprich et al. (2020), and Ainley et al. (2020)’s commentaries: Acknowledging issues with the HCT would benefit interoception research. *Biological Psychology*, 152, S. 1-7 (107869). doi:10.1016/j.biopsycho.2020.107869
- Craig, A. D. (2002). How do you feel? Interoception: the sense of the physiological condition of the body. *Nature Reviews Neuroscience*, 3, S. 655-666. doi:10.1038/nrn894
- Demirci, E., Çalapkorur, B., Celik, O., Koçer, D., Demirelli, S., & Şimsek, Z. (2023). Improvement in Blood Pressure After Intermittent Fasting in Hipertension: Could Renin-Angiotensin

- System and Autonomic Nervous System Have a Role? *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, 120(5), S. 1-7 (e20220756). doi:10.36660/abc.20220756
- Desmedt, O., Corneille, O., Luminet, O., Murphy, J., Bird, G., & Maurage, P. (2020). Contribution of Time Estimation and Knowledge to Heartbeat Counting Task Performance under Original and Adapted Instructions. *Biological Psychology*, 154, S. 1-8 (107904). doi:10.1016/j.biopsycho.2020.107904
- Desmedt, O., Luminet, O., & Corneille, O. (2018). The heartbeat counting task largely involves non-interoceptive processes: Evidence from both the original and an adapted counting task. *Biological Psychology*, 138, S. 185-188. doi:10.1016/j.biopsycho.2018.09.004
- Deutsche Gesellschaft für Ernährung e. V. (2026). *In Bewegung bleiben und auf das Gewicht achten*. Abgerufen am 15. März 2026 von Deutsche Gesellschaft für Ernährung e. V.: <https://www.dge.de/gesunde-ernaehrung/gut-essen-und-trinken/dge-empfehlungen/bewegung-gewicht/>
- Dyck, Z. v., Vogeley, C., Blechert, J., Lutz, A. P., Schulz, A., & Herbert, B. M. (2016). The Water Load Test As a Measure of Gastric Interoception: Development of a Two-Stage Protocol and Application to a Healthy Female Population. *PLoS ONE*, 11(9), S. 1-14 (e0163574). doi:10.1371/journal.pone.0163574
- Flasbeck, V., Bamberg, C., & Brüne, M. (2021). Short-Term Fasting and Ingestion of Caloric Drinks Affect Heartbeat-Evoked Potentials and Autonomic Nervous System Activity in Males. *Frontiers in Neuroscience*, 15, S. 1-13 (622428). doi:10.3389/fnins.2021.622428
- Flynn, D. M., & Clemens, W. J. (1988). On the Validity of Heartbeat Tracking Tasks. *Psychophysiology*, 25(1), S. 92-96. doi:10.1111/j.1469-8986.1988.tb00965.x
- Frankenfield, D., Roth-Yousey, L., & Compher, C. (2005). Comparison of Predictive Equations for Resting Metabolic Rate in Healthy Nonobese and Obese Adults: A Systematic Review. *Journal of the American Dietetic Association*, 105(5), S. 775-789. doi:10.1016/j.jada.2005.02.005
- Garfinkel, S. N., Seth, A. K., Barrett, A. B., Suzuki, K., & Critchley, H. D. (2015). Knowing your own heart: Distinguishing interoceptive accuracy from interoceptive awareness. *Biological Psychology*, 104, S. 65-74. doi:10.1016/j.biopsycho.2014.11.004
- Goldberger, J. J., Challapalli, S., Tung, R., Parker, M. A., & Kadish, A. H. (2001). Relationship of Heart Rate Variability to Parasympathetic Effect. *Circulation*, 103, S. 1977-1983. doi:10.1161/01.CIR.103.15.1977
- Gonzalez, J. E., & Cooke, W. H. (2022). Influence of an acute fast on ambulatory blood pressure and autonomic cardiovascular control. *American Journal of Physiology – Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 322, S. R542–R550. doi:10.1152/ajpregu.00283.2021
- Hammoud, S., Saad, I., Karam, R., Jaoude, F. A., Bemt, B. J., & Kurdi, M. (2021). Impact of Ramadan Intermittent Fasting on the Heart Rate Variability and Cardiovascular Parameters of Patients with Controlled Hypertension. *Journal of Nutrition and Metabolism*, 2021, S. 1-10 (6610455). doi:10.1155/2021/6610455
- Haroun, D., Al Sharif, M., Al Ghali, R., & Smail, L. (2025). Validity of RMR equations in underweight, normal weight, overweight, and obese Emirati female young adults. *Archives of Public Health*, 83, S. 1-11 (231). doi:10.1186/s13690-025-01727-9

- Hausken, T., Gilja, O. H., Ødegaard, S., & Berstad, A. (1998). Flow across the Human Pylorus Soon after Ingestion of Food, Studied with Duplex Sonography: Effect of Glyceryl Trinitrate. *Scandinavian Journal of Gastroenterology*, 33(5), S. 484-490. doi:10.1080/00365529850172034
- Heemskerk, A., Lin, T., Pehlivanoglu, D., Hakim, Z., Valdes-Hernandez, P. A., Brinke, L. t., . . . Ebner, N. C. (2024). Interoceptive Accuracy Enhances Deception Detection in Older Adults. *The Journals of Gerontology, Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 79(11), S. 1-8 (gbae151). doi:10.1093/geronb/gbae151
- Herbert, B. M., Muth, E. R., Pollatos, O., & Herbert, C. (2012). Interoception across Modalities: On the Relationship between Cardiac Awareness and the Sensitivity for Gastric Functions. *PLoS ONE*, 7(5), S. 1-9 (e36646). doi:10.1371/journal.pone.0036646
- Hirsch, J. A., & Bishop, B. (1981). Respiratory sinus arrhythmia in humans: how breathing pattern modulates heart rate. *American Journal of Physiology - Heart and Circulatory Physiology*, 241(4), S. H620-H629. doi:10.1152/ajpheart.1981.241.4.H620
- Hofer, S. J., Carmona-Gutierrez, D., Mueller, M. I., & Madeo, F. (2022). The ups and downs of caloric restriction and fasting: from molecular effects to clinical application. *EMBO Molecular Medicine*, 14, S. 1-20 (e14418). doi:10.15252/emmm.202114418
- Hua, Z., Yang, S., Li, J., Sun, Y., Liao, Y., Song, S., . . . Li, X. (2025). Intermittent fasting for weight management and metabolic health: An updated comprehensive umbrella review of health outcomes. *Diabetes, Obesity and Metabolism*, 27(2), S. 920-932. doi:10.1111/dom.16092
- Jones, M. P., Hoffman, S., Shah, D., Patel, K., & Ebert, C. C. (2003). The water load test: observations from healthy controls and patients with functional dyspepsia. *American Journal of Physiology - Gastrointestinal and Liver Physiology*, 284, S. 896–904. doi:10.1152/ajpgi.00361.2002
- Karagun, B., & Baklacı, N. (2024). Comparative analysis of basal metabolic rate measurement methods in overweight and obese individuals: A retrospective study. *Medicine*, 103(35), S. 1-7 (e39542). doi:10.1097/MD.00000000000039542
- Kibret, K. T., Peeters, A., Tegegne, T. K., Mesfin, Y. M., & Nichols, M. (2025). Intermittent Fasting for the Prevention of Cardiovascular Disease Risks: Systematic Review and Network Meta-Analysis. *Current Nutrition Reports*, 14, S. 1-21 (93). doi:10.1007/s13668-025-00684-7
- Kobayashi, H. (2009). Does Paced Breathing Improve the Reproducibility of Heart Rate Variability Measurements? *Journal of Physiological Anthropology*, 28(5), S. 225-230. doi:10.2114/jpa2.28.225
- Koch, K. L., Hong, S.-P., & Xu, L. (2000). Reproducibility of Gastric Myoelectrical Activity and the Water Load Test in Patients with Dysmotility-like Dyspepsia Symptoms and in Control Subjects. *Journal of Clinical Gastroenterology*, 31(2), S. 95-102. doi:10.1097/00004836-200009000-00007
- Koppold, D. A., Breinlinger, C., Hanslian, E., Kessler, C., Cramer, H., Rajput Khokhar, A., . . . Bragazzi, N. L. (2024). International consensus on fasting terminology. *Cell Metabolism*, 36, S. 1779–1794. doi:10.1016/j.cmet.2024.06.013
- Leganes-Fonteneau, M., Bates, M. E., Muzumdar, N., Pawlak, A., Islam, S., Vaschillo, E., & Buckman, J. F. (2021). Cardiovascular mechanisms of interoceptive awareness: Effects of

- resonance breathing. *International Journal of Psychophysiology*, 169, S. 71–87. doi:10.1016/j.ijpsycho.2021.09.003
- Lischke, A., Pahnke, R., Mau-Moeller, A., & Weippert, M. (2021). Heart Rate Variability Modulates Interoceptive Accuracy. *Frontiers in Neuroscience*, 14, S. 1-10 (612445). doi:10.3389/fnins.2020.612445
- Ludwig, C. (1847). Beiträge zur Kenntniss des Einflusses der Respirationsbewegungen auf den Blutlauf im Aortensysteme. *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medicin*, 13, S. 242–302.
- Magallares, A. (2016). Drive for thinness and pursuit of muscularity: the role of gender ideologies. *Universitas Psychologica*, 15(2), S. 353-360. doi:10.11144/Javeriana.upsy15 -2.dtpm
- Martinmäki, K., Rusko, H., Kooistra, L., Kettunen, J., & Saalasti, S. (2006). Intraindividual validation of heart rate variability indexes to measure vagal effects on hearts. *American Journal of Physiology - Heart and Circulatory Physiology*, 290, S. H640–H647. doi:10.1152/ajpheart.00054.2005.
- Mathur, P., & Bakshi, A. (2024). Effect of non-nutritive sweeteners on insulin regulation, glycemic response, appetite and weight management: a systematic review. *Nutrition & Food Science*, 54(1), S. 100-119. doi:10.1108/NFS-03-2023-0060
- Mattson, M. P., Longo, V. D., & Harvie, M. (2017). Impact of intermittent fasting on health and disease processes. *Ageing Research Reviews*, 39, S. 46-58. doi:10.1016/j.arr.2016.10.005
- Matyevich, M., Kingsley, M. I., Bice, R., Mortimer, M., Horan, B., Piantella, S., & Wright, B. J. (2025). Reliability and reactivity of heart rate variability and pupillometry in response to controlled autonomic perturbations in university students. *Behavior Research Methods*, 57, S. 1-12 (267). doi:10.3758/s13428-025-02793-1
- Mesnage, R., Holley, A., Grundler, F., Martinez-Tellez, B., Toledo, F. W., & Croisille, P. (2025). Long-term fasting-induced parasympathetic and sympathetic autonomic nervous system modulation in a subgroup of the GENESIS study. *International Journal of Obesity*, 49, S. 2125–2128. doi:10.1038/s41366-025-01843-0
- Minenko, I. A., Germanova, K. N., Limonova, A. S., Sukmanova, A. A., Iashvili, N., Nikulin, V. V., . . . Drapkina, O. M. (2023). Comparison of methods for cardiac interoception self-assessment. *Cardiovascular Therapy and Prevention*, 22(10), S. 31-39 (3797). doi:10.15829/1728-8800-2023-3797
- Mzoughi, K., Zairi, I., Jabeur, M., & Kraiem, S. (2018). The effects of fasting on heart rate variability in hypertensive patients. *Clinical and Experimental Hypertension*, 40(8), S. 793-796. doi:10.1080/10641963.2018.1433194
- Nichol, A. D., Holle, M. J., & An, R. (2018). Glycemic impact of non-nutritive sweeteners: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *European Journal of Clinical Nutrition*, 72, S. 796–804. doi:10.1038/s41430-018-0170-6
- Nowosad, K., & Sujka, M. (2021). Effect of Various Types of Intermittent Fasting (IF) on Weight Loss and Improvement of Diabetic Parameters in Human. *Current Nutrition Reports*, 10, S. 146–154. doi:10.1007/s13668-021-00353-5
- Pinna, G. D., Maestri, R., Torunski, A., Danilowicz-Szymanowicz, L., Szwoch, M., Rovere, M. T., & Raczak, G. (2007). Heart rate variability measures: a fresh look at reliability. *Clinical Science*, 113(3), S. 131-140. doi:10.1042/cs20070055

- Plant, E. A., Hyde, J. S., Keltner, D., & Devine, P. G. (2000). The Gender Stereotyping Of Emotions. *Psychology of Women Quarterly*, 24(1), S. 81-92. doi:10.1111/j.1471-6402.2000.tb01024.x
- Porges, S. W. (2025). Disorders of gut–brain interaction through the lens of polyvagal theory. *Neurogastroenterology & Motility*, 37, S. 1-7 (e14926). doi:10.1111/nmo.14926
- Psichas, A., Reimann, F., & Gribble, F. M. (2015). Gut chemosensing mechanisms. *The Journal of Clinical Investigation*, 125(3), S. 908–917. doi:10.1172/JCI76309
- Quigley, K. S., Gianaros, P. J., Norman, G. J., Jennings, J. R., Berntson, G. G., & Geus, E. J. (2024). Publication guidelines for human heart rate and heart rate variability studies in psychophysiology—Part 1: Physiological underpinnings and foundations of measurement. *Psychophysiology*, 61(9), S. (e14604). doi:10.1111/psyp.14604
- QX, L., LR, Z., & XH, H. (2004). The clinical study of water loading in gastric sensation [Abstract]. *Zhonghua nei ke za zhi*, 43(6), S. 436-438.
- Ring, C., & Brener, J. (1996). Influence of beliefs about heart rate and actual heart rate on heartbeat counting. *Psychophysiology*, 33, S. 541-546. doi:10.1111/j.1469-8986.1996.tb02430.x
- Rominger, C., Weber, B., Aldrian, A., Berger, L., & Schwerdtfeger, A. R. (2021). Short-term fasting induced changes in HRV are associated with interoceptive accuracy: Evidence from two independent within-subjects studies. *Physiology & Behavior*, 241, S. 1-11 (113558). doi:10.1016/j.physbeh.2021.113558
- Sadowski, A., Dunlap, C., Lacombe, A., & Hanes, D. (2021). Alterations in Heart Rate Variability Associated With Irritable Bowel Syndrome or Inflammatory Bowel Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Clinical and Translational Gastroenterology*, 12, S. 1-12 (e00275). doi:10.14309/ctg.00000000000000275
- Schandry, R. (1981). Heart Beat Perception and Emotional Experience. *Psychophysiology*, 18(4), S. 483-488. doi:10.1111/j.1469-8986.1981.tb02486.x
- Schulz, A., Back, S. N., Schaan, V. K., Bertsch, K., & Vögele, C. (2021). On the construct validity of interoceptive accuracy based on heartbeat counting: Cardiovascular determinants of absolute and tilt-induced change scores. *Biological Psychology*, 164, S. 1-9 (108168). doi:10.1016/j.biopsycho.2021.108168
- Schumann, A., Lukas, F., Rieger, K., Gupta, Y., & Bär, K.-J. (2025). One-week test-retest recordings of resting cardiorespiratory data for reliability analysis. *Scientific Data*, 12, S. 1-5 (12). doi:10.1038/s41597-024-04303-y
- Schwerdtfeger, A. R., & Rominger, C. (2024). Acute fasting modulates autonomic nervous system function and ambulatory cardiac interoception. *Biological Psychology*, 186, S. 1-9 (108760). doi:10.1016/j.biopsycho.2024.108760
- Seabury, T., Benton, D., & Young, H. A. (2023). Interoceptive differences in elite sprint and long-distance runners: A multidimensional investigation. *PLoS ONE*, 18(1), S. 1-24 (e0278067). doi:10.1371/journal.pone.0278067
- Semnani-Azad, Z., Khan, T. A., Chiavaroli, L., Chen, V., Bhatt, H. A., Chen, A., . . . Sievenpiper, J. L. (2025). Intermittent fasting strategies and their effects on body weight and other cardiometabolic risk factors: systematic review and network meta-analysis of randomised clinical trials. *The BMJ*, 389, S. 1-17 (e082007). doi:10.1136/bmj-2024-082007

- Shaffer, F., & Ginsberg, J. P. (2017). An Overview of Heart Rate variability Metrics and Norms. *Frontiers in Public Health*, 5, S. 1-17 (258). doi:10.3389/fpubh.2017.00258
- Soer, R., Dijkstra, M. W., Bieleman, H. J., Oosterveld, F. G., & Rijken, N. H. (2021). Influence of respiration frequency on heart rate variability parameters: A randomized cross-sectional study. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, 34(6), S. 1063–1068. doi:10.3233/BMR-200190
- Umans, B. D., & Liberles, S. D. (2018). Neural sensing of organ volume. *Trends in Neurosciences*, 41(12), S. 911–924. doi:10.1016/j.tins.2018.07.008
- Vetoretto, N., Viotti, F., Taglietti, L., & Giovanetti, M. (2010). Acute idiopathic gastric necrosis, perforation and shock. *Journal of Emergencies, Trauma, and Shock*, 3(3), S. 304. doi:10.4103/0974-2700.66564
- Wareing, L., Readman, M. R., Longo, M. R., & Linkenauger, S. A. (2024). The Utility of Heartrate and Heartrate Variability Biofeedback for the Improvement of Interoception across Behavioural, Physiological and Neural Outcome Measures: A Systematic Review. *Brain Sciences*, 14, S. 1-37 (579). doi:10.3390/brainsci14060579
- Whitehead, W. E., Drescher, V. M., Heiman, P., & Blackwell, B. (1977). Relation of heart rate control to heartbeat perception. *Biofeedback and Self-regulation*, 2, S. 371–392. doi:10.1007/BF00998623
- 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, S. 140-151. doi:10.1097/FBP.0000000000000383
- Zamariola, G., Luminet, O., Mierop, A., & Corneille, O. (2019). Does it help to feel your body? Evidence is inconclusive that interoceptive accuracy and sensibility help cope with negative experiences. *Cognition and Emotion*, 33(8), S. 1627-1638. doi:10.1080/02699931.2019.1591345
- Zamariola, G., Maurage, P., Lumineta, O., & Corneille, O. (2018). Interoceptive accuracy scores from the heartbeat counting task are problematic: Evidence from simple bivariate correlations. *Biological Psychology*, 137, S. 12-17. doi:10.1016/j.biopsycho.2018.06.006
- Zeng, R., Shen, H., He, Y., Ge, L.-K., Zhao, D., Zhu, S., . . . Wei, G.-X. (2025). Exploring Individual Differences in Interoception Among Athletes Based on a Three-Dimensional of Interoception. *Psychophysiology*, 62, S. 1-10 (e14766). doi:10.1111/psyp.14766
- Zhang, R., Noronha, J. C., Khan, T. A., McGlynn, N., & Back, S. (2023). The Effect of Non-Nutritive Sweetened Beverages on Postprandial Glycemic and Endocrine Responses: A Systematic Review and Network Meta-Analysis. *Nutrients*, 15(4), S. 1-23 (1050). doi:10.3390/nu15041050
- Zimprich, D., Nusser, L., & Pollatos, O. (2020). Are interoceptive accuracy scores from the heartbeat counting task problematic? A comment on Zamariola et al. (2018). *Biological Psychology*, 152, S. 1-6 (107868). doi:10.1016/j.biopsycho.2020.107868

Anhang

A: Ethikvotum der Ethikkommission der HAW Hamburg



Frau
Insa Corino

ETHIKKOMMISSION

DR. CHRISTIANE STANGE
Geschäftsstelle
Ethikkommission

Ihr Antrag auf Stellungnahme

Hamburg, 09.12.2025

Antrag 2025-25

„Der Einfluss verschiedener Essensfenster auf kardiale und gastrale
Interozeption: Eine kontrollierte Interventionsstudie“

T +49 40 428 75 9036

ethikkommission@haw-
hamburg.de

vom 04.08.2025 in der Überarbeitung vom 21.11.2025

**HOCHSCHULE F ANGEWANDTE
WISSENSCHAFTEN HAMBURG**
Forschung und Transfer
Steindamm 103
20099 Hamburg

HAW-HAMBURG.DE

Sehr geehrte Frau Corino,

das o.g. Vorhaben wurde nach Prüfung durch die Ethikkommission der
HAW Hamburg als grundsätzlich „ethisch unbedenklich“ bewertet.

Mit freundlichen Grüßen



Dr. Christiane Stange

(Geschäftsstelle Ethikkommission)

B: Aufrufschreiben zur Probandenrekrutierung

„Lust, mal an einer Interventionsstudie im Bereich der Gesundheitsforschung teilzunehmen? Dann hast du jetzt im Rahmen meiner Bachelorarbeit die Chance dazu!

Aufwandsentschädigung: 20 € + selbstgemachte Snacks als Dankeschön

Untersucht wird der Einfluss verschiedener Essensfenster (Intervallfasten) auf deine Fähigkeit, Herz & Magen zu spüren.

- Du solltest:
- zwischen 18 und < 41 Jahren alt sein
 - bereit sein, für 13 Tage innerhalb eines vorgeschriebenen Zeitfensters (acht Stunden oder zwölf Stunden) zu essen
 - bereit sein, 1x zu Anfang und 1x zu Ende der Studie für eine halbe Stunde für verschiedene Messungen an den HAW-Campus in Bergedorf oder am Berliner Tor zu kommen

Bei Fragen oder Interesse schreib mir einfach unter 0162 2351826.

Liebe Grüße von Insa“

C: Informationsbogen für Studieninteressenten (inkl. Einwilligung)

Informationsbogen zur Studie „Essensfenster und kardiale und gastrale Interozeption“

Informationen zur Studienteilnahme

Vielen Dank für dein Interesse an der geplanten Studie. Es geht es darum, wie sich unterschiedliche Essensfenster auf deine Sensibilität, Herz und Magen zu spüren, auswirken. Man bezeichnet dies als kardiale und gastrale Interozeption. Gute kardiale und gastrale Interozeption begünstigt einen gesunden Lebensstil und eine gute vegetative Steuerung und vermindert das Risiko für Herz- Kreislauferkrankungen.

Eignung zur Studienteilnahme

Aus wissenschaftlichen Gründen kannst du an der Studie teilnehmen, wenn du zwischen 18 und <41 Jahren alt bist und sich dein Gewicht im Normalbereich befindet (BMI 18,5-24,9). Nicht teilnehmen kannst du, wenn du im letzten Monat häufiger als drei Mal pro Woche Intervallfasten praktiziert hast, wenn du Raucher bist, dauerhaft Medikamente einnimmst (Ausnahme: hormonelle Verhütungsmittel), dir genetische oder chronische Erkrankungen bekannt sind, die den Kreislauf, Magen-Darm-Trakt oder Atmungsapparat beeinträchtigen (z.B. chronisch entzündliche Darmerkrankungen, Bluthochdruck, Diabetes Mellitus, Essstörungen, Asthma bronchiale), du bereits an Herz, Magen-Darm-Trakt oder Atmungsapparat operiert wurdest (Ausnahme: Blinddarmentfernung, Leistenbruch-Operation), du akute Beschwerden oder Erkrankungen hast, die den Kreislauf, Magen-Darm-Trakt oder Atmungsapparat beeinträchtigen (z.B. Magenschleimhautentzündung, Durchfall, akute virale oder bakterielle Infekte).

Studienablauf

Der Studienzeitraum beläuft sich auf 15 Tage. Die erste Datenerhebung und die ersten Messungen finden an Tag 1 in Räumlichkeiten der HAW Hamburg statt – je nach Präferenz im Sensoriklabor am HAW-Campus in Bergedorf (Ulmenliet 20, 21033 Hamburg) oder am HAW-Campus am Berliner Tor (Stiftstraße 69, EG, Raum 22-26 (25)).

An Tag 2 beginnen 14 Tage, an denen du gebeten wirst, innerhalb eines vorgeschriebenen Zeitfensters (<8 h oder >12 h) zu essen. Das bedeutet, dass du entweder maximal 8 h Zeit für die tägliche Nahrungsaufnahme hast oder mindestens 12 h täglich von der ersten bis zur letzten Mahlzeit brauchen sollst. Welches Fenster dir zugeordnet wird, entscheidet der Zufall. Wann du dieses Zeitfenster im Laufe des Tages starten möchtest, ist frei wählbar. Auch die Lebensmittelauswahl und -menge ist dir überlassen und soll nicht gezielt für die Studie verändert werden. Die verbleibende Zeit außerhalb des Essfensters sollen nach Möglichkeit nur Wasser, Tee oder andere kalorienfreie Getränke getrunken werden.

(Freiwilliger Zusatz: Wenn du Lust hast, kannst du zusätzlich mithilfe eines Ernährungsprotokolls deine Nahrungsaufnahme für vier Tage tracken. Diese Tage sollten aufeinander folgen und ungefähr in der Mitte des Studienzeitraumes liegen. Das Abwiegen der verzehrten Lebensmittel wäre dabei wünschenswert, allerdings nicht zwingend erforderlich.)

An Tag 15 finden abermals die Messungen an einem der beiden HAW-Campusse statt.

Messungen

Datenabfrage

Zur ersten Datenabfrage bekommst du einen Fragebogen ausgehändigt, der Angaben zu Körpermaßen (Gewicht wird vor Ort gemessen), Lebensstilfaktoren, Medikamentengebrauch, Vorerkrankungen und akuten Beschwerden abfragt.

Adaptierte Version des Heartbeat Counting Task (HCT)

Bei diesem Test wirst du gebeten, in einem gemütlichen Stuhl sitzend für vier verschiedene unter einer Minute lange Sequenzen, still deinen Herzschlag zu zählen. Dabei sollen ausschließlich die tatsächlich in der Herzgegend wahrgenommenen Herzschläge gezählt und nicht die durch logische Schlussfolgerung oder pulsierende Empfindungen im restlichen Körper erschlossenen Pulse gespürt werden.

Zur Messung der Herzfrequenz ist eine Elektrokardiografie (EKG) erforderlich, bei der vier Elektroden auf dem Brustkorb angeklebt werden.

Hierbei ist eine Hautreizung oder eine allergische Hautreaktion durch das Kontaktgel auf den Elektroden nicht ausgeschlossen. Ein lokal wirksames Antiallergikum wird bereitgehalten.

6-Minuten-EKG-Test mit getakteter Atmung

Dieser Test erstreckt sich über 6 Minuten. In einem gemütlichen Stuhl sitzend hörst du ein Akustiksignal in einem regelmäßigen Takt. Aufgabe ist es, deine Atmung an diesen Takt anzupassen, der sich beginnend mit 6 Atemzügen pro Minute auf 16 Atemzüge pro Minute jede Minute steigert. Auch hier erfolgt, wie beim Heartbeat Counting Task bereits näher erläutert, die Aufzeichnung eines Elektrokardiogramms, um die vegetative Steuerung deines Herzens zu erfassen.

Das potenzielle Auftreten einer Hautreizung oder einer allergischen Hautreaktion durch das Kontaktgel auf den Elektroden bleibt bestehen. Ein lokal wirksames Antiallergikum wird bereitgehalten.

Zudem kann es durch die hochfrequentierte Atmung gegen Ende des 6-Minuten-EKG-Tests mit getakteter Atmung zu einem Gefühl von „Kopfleichtheit“, „Schwummrigkeit“ oder „Kribbeln“ kommen. Teilnehmende dürfen die Messung bei Unbehagen jederzeit selbstständig abbrechen.

Water Load Test (WLT)

Für diesen Test hast du 5 Minuten Zeit, auf nüchternen Magen aus einem undurchsichtigen, „bodenlosen“ Gefäß ad libitum stilles, raumtemperiertes, geschmacks- und kalorienfreies Leitungswasser zu trinken, bis du das Gefühl hast, dass dein Magen „voll“ ist.

Es besteht die Eventualität, dass im Anschluss an den Test für einige Minuten Sensationen wie „Gluckern“ oder ein „schwerer Magen“ verspürt werden. Zu einem starken Völlegefühl sollte es laut Versuchsanweisung nicht kommen.

Aufwandsentschädigung

Eine Aufwandsentschädigung in Höhe von 20 € wird am Ende der zweiten Messung bar an dich ausgezahlt.

Informationen zum Datenschutz

Verantwortlichkeiten

Ansprechpartnerin zu datenschutzrechtlichen Fragen

Insa Corino

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Fakultät Life Sciences; Department Ökötrophologie

Ulmenliet 20; 21033 Hamburg



Verantwortlicher im datenschutzrechtlichen Sinne

Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg (HAW Hamburg)

Berliner Tor 5

20099 Hamburg

Telefon: +49 40 428 75-0

E-Mail: web@haw-hamburg.de

Vertreten durch ihre Präsidentin: Prof. Dr. Ute Lohrentz

Datenschutzbeauftragte der HAW Hamburg

datenschutz nord GmbH

Konsul-Smidt-Straße 88

28217 Bremen

E-Mail: office@datenschutz-nord.de

Zweck

Die erhobenen Daten werden ausschließlich für wissenschaftliche Zwecke verwendet. Die Ergebnisse der Studie können im Rahmen von Lehr- und Forschungszwecken (z.B. Abschlussarbeiten, Artikel in wissenschaftlichen Zeitschriften) veröffentlicht werden. Dies geschieht in anonymisierter Form.

Personenbezogene Daten

Pseudonymisierte Daten bestehen für den Zeitraum der Datenerhebung. Nach erfolgreichen postinterventionellen Messungen wird die Kodierliste umgehend gelöscht, wodurch es zur Anonymisierung kommt.

Dauer der Speicherung

Die anonymisierten Informationen (ohne personenbezogene Daten) werden entsprechend den Regeln einer guten wissenschaftlichen Praxis für 10 Jahre aufbewahrt und anschließend gelöscht.

Empfänger

Die kurzzeitig pseudonymisierten und nach Erhebungszeitraum anonymisierten Daten werden nur innerhalb des Forschungsteams für wissenschaftliche Zwecke verwendet und nicht an andere weitergegeben. Die Mitglieder des Forschungsteams sind zur Einhaltung des Datenschutzes und zur Verschwiegenheit verpflichtet.

Die anonymisierten Daten werden zum Zweck der wissenschaftlichen Dokumentation aufbewahrt und nur im Fall einer gegebenenfalls erforderlichen Überprüfung den zuständigen Behörden oder wissenschaftlichen Institutionen zugänglich gemacht.

Bei einer wissenschaftlichen Veröffentlichung der Studienergebnisse werden die Daten so dargestellt, dass sie keine Rückschlüsse auf die Person erlauben.

Ihre Rechte

Freiwilligkeit

Sie können nicht gezwungen oder gedrängt werden, Ihre Einwilligung zu erklären.

Widerrufsrecht

Sie können Ihre Einwilligung noch während der Messungen oder direkt nach Beendigung der Messungen ohne Nachteile und Angabe von Gründen widerrufen. Da die Speicherung und Verarbeitung der Daten in anonymisierter Form erfolgt, können die Daten zu einem späteren Zeitpunkt nicht mehr Ihrer Person zugeordnet werden. Daher gilt Ihre Einwilligung nach Beendigung der Messung unwiderruflich. Sie können dann auch nicht mehr die Löschung, Berichtigung oder Einschränkung der Verarbeitung Ihrer Daten verlangen.

Auskunftsrecht

Sie haben nach Art. 15 EU-DS-GVO ein Auskunftsrecht gegenüber dem Verantwortlichen.

Beschwerderecht

Sie haben das Recht, Beschwerde gegen die Verarbeitung Ihrer personenbezogenen Daten beim Hamburgischen Beauftragten für Datenschutz und Informationsfreiheit zu erheben.

Seine Kontaktdaten sind:

Der Hamburgische Beauftragte für Datenschutz und Informationsfreiheit

Ludwig-Erhard-Str 22, 7. OG

20459 Hamburg

Telefon: (040) 428 54 - 4040

Telefax: (040) 428 54 - 4000

E-Mail: mailbox@datenschutz.hamburg.de

Homepage: <https://datenschutz-hamburg.de/>.

Einwilligungserklärung

Ich bin über die Studienteilnahme und den Datenschutz aufgeklärt worden und hatte die Möglichkeit, Fragen zu stellen, die mir vollständig und verständlich beantwortet wurden.

Ich bin mit der Teilnahme an der Studie und der wissenschaftlichen Verwertung (Verarbeitung, Speicherung und Veröffentlichung) einverstanden.

Bis zum Zeitpunkt der Anonymisierung kann ich meine Einwilligung widerrufen. Danach ist dies nicht mehr möglich.

Ort, Datum

Unterschrift

Studienleiterin

Ort, Datum

Unterschrift

Projektleiter

Ort, Datum

Unterschrift

D: Fragebogen zur Basisdatenerhebung

Probanden-Nummer: _____

Basisdatenerhebung

Name: _____

Geschlecht:

- ☐ Männlich
- ☐ Weiblich
- ☐ Divers

Alter: _____

Körpergröße: _____

Körpergewicht: _____

Wie hoch ist das Aktivitätslevel in deinem Alltag und deiner Hauptbeschäftigung?

- ☐ ausschließlich sitzende Tätigkeit
- ☐ sitzende Tätigkeit, zeitweilig auch gehende und stehende Tätigkeiten
- ☐ überwiegend gehende und stehende Tätigkeit
- ☐ körperlich anstrengende Tätigkeit

Bist du sportlich aktiv oder übst anstrengende Freizeitaktivitäten aus?

- ☐ Nein
- ☐ 1 h wöchentlich
- ☐ 2 h wöchentlich
- ☐ 3-4 h wöchentlich
- ☐ 5-6 h wöchentlich
- ☐ 7 oder mehr Stunden wöchentlich

Was ist dein Rauchstatus (Nikotinaufnahme durch Rauchen / Inhalieren)?

- ☐ aktive und regelmäßige Aufnahme (häufiger als einmal pro Monat)
- ☐ aktive und unregelmäßige Aufnahme (nicht häufiger als einmal pro Monat)
- ☐ keine aktive Aufnahme in den vergangenen zwölf Monaten
- ☐ keine aktive Aufnahme in den vergangenen zehn Jahren

Wie häufig nimmst du Alkohol zu dir?

- ☐ Nie
- ☐ unregelmäßiger Konsum (nicht häufiger als einmal pro Monat)
- ☐ regelmäßiger Konsum (häufiger als einmal pro Monat)

Hast du im letzten Monat häufiger als dreimal pro Woche Intervallfasten praktiziert?

- ☐ Ja
- ☐ Nein

Medikamenteneinnahme:

- ☐ Keine
- ☐ Folgende:

Bisherige Operationen:

- ☐ Keine
- ☐ Folgende:

Bekannte genetische oder chronische Erkrankungen:

- ☐ Keine
- ☐ chronisch entzündliche Darmerkrankungen (Morbus Crohn, Colitis ulcerosa, etc.)
- ☐ Bluthochdruck
- ☐ Diabetes Mellitus
- ☐ Essstörungen
- ☐ Asthma bronchiale
- ☐ chronische Schmerzen
- ☐ Sonstige: _____

Hast du akute Beschwerden oder Erkrankungen?

- ☐ Nein
- ☐ Beschwerden im Magen-Darm-Trakt (Magenschleimhautentzündung, Durchfall, etc.)
- ☐ viraler oder bakterieller Infekt
- ☐ Sonstige: _____

Vielen Dank soweit! :)

E: Fragebogen zur Nachmessung

Probanden-Nummer: _____

Fragebogen zur Nachmessung

Name: _____

Körpergewicht: _____

Hattest du akute Beschwerden oder Erkrankungen während der Studiendauer?

- ☐ nein, ich war durchgängig gesund
- ☐ ja, Beschwerden im Magen-Darm-Trakt (Magenschleimhautentzündung, Durchfall, etc.)
- ☐ ja, ein leichter Infekt, der mich nicht weiter erschöpft hat
- ☐ ja, ein mittelschwerer bis schwerer Infekt, der mich erschöpft oder Fieber verursacht hat
- ☐ sonstige Beschwerden: _____

Wenn du das Fenster mit <8 h hattest:

An wie vielen Tagen hat sich deine Energieaufnahme über mehr als 8 Stunden erstreckt?

- ☐ an keinem der Tage zwischen den Messungen
- ☐ an einem Tag
- ☐ an zwei Tagen
- ☐ an mehr als zwei Tagen

Gründe, die das Einhalten des Fensters erschwert haben: _____

Wenn du das Fenster mit >12 h hattest:

An wie vielen Tagen hat sich deine Energieaufnahme über weniger als 12 Stunden erstreckt?

- ☐ an keinem der Tage zwischen den Messungen
- ☐ an einem Tag
- ☐ an zwei Tagen
- ☐ an mehr als zwei Tagen

Gründe, die das Einhalten des Fensters erschwert haben: _____

Vielen Dank soweit! :)

F: Instruktionen zu HCT, EKG unter getakteter Atmung und WLT

1. Adaptierte Version der Hearbeat Counting Task (HCT)

Zunächst bekommst du ein EKG mit vier Kontakten angelegt.

Setze dich aufrecht in den Stuhl und lehne dich an. Stelle beide Füße parallel auf den Boden und lege deine Hände mit den Handflächen nach unten auf dem Tisch vor dir ab. Sobald sich dein Sitz bequem für dich anfühlt, schließe deine Augen und bleibe für die restliche Aufgabe möglichst ruhig im Stuhl sitzen.

Diese Aufgabe dauert insgesamt ungefähr 5 Minuten.

Für vier verschiedene Sequenzen sollst du still im Kopf zählen, wie viele Herzschläge du in der Herzgegend spürst.

Als Startsignal zum Zählen der Herzschläge wirst du einen Piepton hören, der abermals am Ende der Sequenzen ertönt, um zu signalisieren, dass du mit dem Zählen aufhören kannst. Teile deinem Versuchsleiter dann jeweils direkt nach Beendigung der Sequenzen die Zahl deiner gezählten Herzschläge mit.

Sehr wichtig ist, dass du wirklich nur in der Herzgegend wahrgenommene Herzschläge zählst. Die Hände sollen also nicht aktiv zum Ertasten des Pulses genutzt werden. Genauso sollen auch Pulse, die an Körperstellen außerhalb der Herzgegend wahrgenommen werden, nicht in die Zählung einfließen. Und auch das Zählen von Sekunden und Erschließen einer realistischen Pulszahl ist nicht erwünscht. Das kann bedeuten, dass du unregelmäßig einige Herzschläge spürst, dass du alle tatsächlich stattgefundenen Schläge erfühlen kannst oder aber auch überhaupt keinen Schlag wahrgenommen hast. Richtig ist das Ergebnis, wenn du nur zählst, was du fühlst.

Sollte dir während der Aufgabe etwas unangenehm werden, kannst du diese jederzeit selbstständig abbrechen.

Hast du noch offene Fragen zu diesen Anweisungen?

2. EKG mit getakteter Atmung

Auch für diesen Test ist die Aufzeichnung eines EKGs erforderlich.

Wähle eine aufrechte Sitzposition, die für dich bequem ist. Sobald du diese gefunden hast, bleibe für die restliche Aufgabe möglichst ruhig im Stuhl sitzen. Wenn du möchtest, kannst du deine Augen schließen. Dies kann die Konzentration fördern und als angenehm empfunden werden.

Die Messung dauert genau 6 Minuten.

Du bist gebeten, deine Atmung an ein regelmäßiges Akustiksignal anzupassen. Der Takt dieses Signals wird sich von sechs Atemzügen in der ersten Minute auf 16 Atemzüge in der sechsten Minute steigern. Natürliche Vorgänge wie z.B. Schlucken führst du einfach normal weiter.

Sollte dir während der Messung etwas unangenehm werden, kannst du diese jederzeit selbstständig abbrechen.

Hast du noch offene Fragen zu diesen Anweisungen?

3. Water Load Test (WLT)

Der Test dauert bis zu 5 Minuten.

Deine Aufgabe ist es, Wasser zu trinken, bis du das Gefühl hast, dass dein Magen „voll“ ist. Es sollte sich so anfühlen, wie wenn du eine Mahlzeit sehr gut gesättigt beenden würdest. Wähle den Punkt, kurz bevor sich ein Völlegefühl einstellen würde. Verlass dich einfach auf dein Gefühl.

Benutze zum Trinken bitte den Strohhalm und lasse diesen in jedem Moment auf dem Boden des Gefäßes.

Das Wasser ist still, geschmacksneutral, kalorienfrei und hat Raumtemperatur.

Sollte dir während des Tests etwas unangenehm werden, kannst du diesen jederzeit selbstständig abbrechen.

Hast du noch offene Fragen zu diesen Anweisungen?

G: Ernährungsprotokoll-Vorlage

Datum: _____

Probanden-Nummer: _____

[illegible]

H: SPSS-Syntax der GLMM-Analysen

```

1 * Encoding: UTF-8.
2
3
4 DATASET ACTIVATE DataSet3.
5 *Generalized Linear Mixed Models.
6 GENLINMIXED
7 /DATA_STRUCTURE SUBJECTS=VTNumber
8 /FIELDS TARGET=logRespHRVFFT TRIALS=NONE OFFSET=NONE
9 /TARGET_OPTIONS DISTRIBUTION=NORMAL LINK=IDENTITY
10 /FIXED EFFECTS=Messung Versuchsgruppe Geschlecht Alter BMI Atemfrequenz HCTScore WLTrinkmenge
11 Messung*Geschlecht Messung*Versuchsgruppe Messung*Atemfrequenz Messung*Versuchsgruppe*Atemfrequenz USE_INTERCEPT=TRUE
12 /RANDOM USE_INTERCEPT=TRUE SUBJECTS=VTNumber COVARIANCE_TYPE=VARIANCE_COMPONENTS SOLUTION=TRUE
13 /BUILD_OPTIONS TARGET_CATEGORY_ORDER=ASCENDING INPUTS_CATEGORY_ORDER=ASCENDING
14 HCONVERGE=0.000000001(RELATIVE) MAX_ITERATIONS=100 CONFIDENCE_LEVEL=95 DF_METHOD=SATTERTHWAIT
15 COVB=MODEL SCORING=0 SINGULAR=0.0000000000001
16 /EMMEANS TABLES=Messung COMPARE=Messung CONTRAST=SIMPLE
17 /EMMEANS TABLES=Versuchsgruppe COMPARE=Versuchsgruppe CONTRAST=SIMPLE
18 /EMMEANS TABLES=Geschlecht COMPARE=Geschlecht CONTRAST=SIMPLE
19 /EMMEANS TABLES=Atemfrequenz COMPARE=Atemfrequenz CONTRAST=PAIRWISE
20 /EMMEANS TABLES=Messung*Geschlecht COMPARE=Messung CONTRAST=PAIRWISE
21 /EMMEANS TABLES=Messung*Versuchsgruppe COMPARE=Messung CONTRAST=PAIRWISE
22 /EMMEANS TABLES=Atemfrequenz*Messung COMPARE=Messung CONTRAST=PAIRWISE
23 /EMMEANS TABLES=Atemfrequenz*Messung*Versuchsgruppe COMPARE=Messung CONTRAST=PAIRWISE
24 /EMMEANS TABLES=Atemfrequenz*Versuchsgruppe*Messung COMPARE=Messung CONTRAST=PAIRWISE
25 /EMMEANS_OPTIONS SCALE=ORIGINAL PADJUST=SEQBONFERRONI.

```

```

1 * Encoding: UTF-8.
2
3
4 DATASET ACTIVATE DataSet3.
5 *Generalized Linear Mixed Models.
6 GENLINMIXED
7 /DATA_STRUCTURE SUBJECTS=VTNummer
8 /FIELDS TARGET=RMSSD TRIALS=NONE OFFSET=NONE
9 /TARGET_OPTIONS DISTRIBUTION=NORMAL LINK=IDENTITY
10 /FIXED EFFECTS=Messung Versuchsgruppe Geschlecht Alter BMI Atemfrequenz HCTScore WLTrinkmenge
11 Messung*Geschlecht Messung*Versuchsgruppe Messung*Atemfrequenz Messung*Versuchsgruppe*Atemfrequenz USE_INTERCEPT=TRUE
12 /RANDOM USE_INTERCEPT=TRUE SUBJECTS=VTNummer COVARIANCE_TYPE=VARIANCE_COMPONENTS SOLUTION=TRUE
13 /BUILD_OPTIONS TARGET_CATEGORY_ORDER=ASCENDING INPUTS_CATEGORY_ORDER=ASCENDING
14 HCONVERGE=0.00000001(RELATIVE) MAX_ITERATIONS=100 CONFIDENCE_LEVEL=95 DF_METHOD=SATTERTHWAITE
15 COVB=MODEL SCORING=0 SINGULAR=0.000000000001
16 /EMMEANS TABLES=Messung COMPARE=Messung CONTRAST=SIMPLE
17 /EMMEANS TABLES=Versuchsgruppe COMPARE=Versuchsgruppe CONTRAST=SIMPLE
18 /EMMEANS TABLES=Geschlecht COMPARE=Geschlecht CONTRAST=SIMPLE
19 /EMMEANS TABLES=Atemfrequenz COMPARE=Atemfrequenz CONTRAST=PAIRWISE
20 /EMMEANS TABLES=Messung*Geschlecht COMPARE=Messung CONTRAST=PAIRWISE
21 /EMMEANS TABLES=Messung*Versuchsgruppe COMPARE=Messung CONTRAST=PAIRWISE
22 /EMMEANS TABLES=Atemfrequenz*Messung COMPARE=Messung CONTRAST=PAIRWISE
23 /EMMEANS TABLES=Atemfrequenz*Messung*Versuchsgruppe COMPARE=Messung CONTRAST=PAIRWISE
24 /EMMEANS TABLES=Atemfrequenz*Versuchsgruppe*Messung COMPARE=Messung CONTRAST=PAIRWISE
25 /EMMEANS_OPTIONS SCALE=ORIGINAL PADJUST=SEQBONFERRONI.

```

```

1 * Encoding: UTF-8.
2
3
4 DATASET ACTIVATE DataSet2.
5 *Generalized Linear Mixed Models.
6 GENLINMIXED
7 /DATA_STRUCTURE SUBJECTS=VTNummer
8 /FIELDS TARGET=HCTScore TRIALS=NONE OFFSET=NONE
9 /TARGET_OPTIONS DISTRIBUTION=NORMAL LINK=IDENTITY
10 /FIXED EFFECTS=Messung Versuchsgruppe Geschlecht BMI SportlicheAktivitaet
11 WLTrinkmenge Messung*Geschlecht Messung*Versuchsgruppe USE_INTERCEPT=TRUE
12 /RANDOM USE_INTERCEPT=TRUE SUBJECTS=VTNummer COVARIANCE_TYPE=VARIANCE_COMPONENTS SOLUTION=TRUE
13 /BUILD_OPTIONS TARGET_CATEGORY_ORDER=ASCENDING INPUTS_CATEGORY_ORDER=ASCENDING
14 HCONVERGE=0.00000001(RELATIVE) MAX_ITERATIONS=100 CONFIDENCE_LEVEL=95 DF_METHOD=SATTERTHWAITE
15 COVB=MODEL SCORING=0 SINGULAR=0.000000000001
16 /EMMEANS TABLES=Messung COMPARE=Messung CONTRAST=SIMPLE
17 /EMMEANS TABLES=Versuchsgruppe COMPARE=Versuchsgruppe CONTRAST=SIMPLE
18 /EMMEANS TABLES=Geschlecht COMPARE=Geschlecht CONTRAST=SIMPLE
19 /EMMEANS TABLES=Messung*Geschlecht COMPARE=Messung CONTRAST=PAIRWISE
20 /EMMEANS TABLES=Messung*Versuchsgruppe COMPARE=Messung CONTRAST=PAIRWISE
21 /EMMEANS_OPTIONS SCALE=ORIGINAL PADJUST=SEQBONFERRONI.

```

```

1 * Encoding: UTF-8.
2
3
4 DATASET ACTIVATE DataSet2.
5 *Generalized Linear Mixed Models.
6 GENLINMIXED
7 /DATA_STRUCTURE SUBJECTS=VTNummer
8 /FIELDS TARGET=WLTrinkmenge TRIALS=NONE OFFSET=NONE
9 /TARGET_OPTIONS DISTRIBUTION=NORMAL LINK=IDENTITY
10 /FIXED EFFECTS=Messung Versuchsgruppe Geschlecht BMI SportlicheAktivitaet
11 HCTScore Messung*Geschlecht Messung*Versuchsgruppe USE_INTERCEPT=TRUE
12 /RANDOM USE_INTERCEPT=TRUE SUBJECTS=VTNummer COVARIANCE_TYPE=VARIANCE_COMPONENTS SOLUTION=TRUE
13 /BUILD_OPTIONS TARGET_CATEGORY_ORDER=ASCENDING INPUTS_CATEGORY_ORDER=ASCENDING
14 HCONVERGE=0.00000001(RELATIVE) MAX_ITERATIONS=100 CONFIDENCE_LEVEL=95 DF_METHOD=SATTERTHWAITE
15 COVB=MODEL SCORING=0 SINGULAR=0.000000000001
16 /EMMEANS TABLES=Messung COMPARE=Messung CONTRAST=SIMPLE
17 /EMMEANS TABLES=Versuchsgruppe COMPARE=Versuchsgruppe CONTRAST=SIMPLE
18 /EMMEANS TABLES=Geschlecht COMPARE=Geschlecht CONTRAST=SIMPLE
19 /EMMEANS TABLES=Messung*Geschlecht COMPARE=Messung CONTRAST=PAIRWISE
20 /EMMEANS TABLES=Messung*Versuchsgruppe COMPARE=Messung CONTRAST=PAIRWISE
21 /EMMEANS_OPTIONS SCALE=ORIGINAL PADJUST=SEQBONFERRONI.

```

I: Eidesstattliche Erklärung

„Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bislang keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt oder veröffentlicht.“

[Redacted signature area]