



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

Die Auswirkung von Hatha-Yoga-Atemtechniken
auf Herzfrequenzvariabilität und Atemvariablen

Verfasser

Marvin Darius Kovacs

angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, 2012

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 411

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Diplomstudium Physik

Betreuer:

Ao. Univ.-Prof. Dr. Karl W. Kratky

Für meine Frau



Inhaltsverzeichnis

Danksagungen	7
Zusammenfassung	9
Abstract	10
1 Einleitung	11
I THEORETISCHE GRUNDLAGEN UND HINTERGRÜNDE	13
2 Physiologische Grundlagen	15
2.1 Das Herz.....	15
2.2 Aufbau des Atmungssystems.....	16
2.3 Atemmechanik und Atemregulation.....	18
2.4 Das autonome Nervensystem.....	20
2.5 Zusammenspiel von Herzschlag und Atmung.....	24
3 Theoretische Hintergründe zu den untersuchten Puls-Atem-Variablen	27
3.1 Die Zeitreihe der Herzzykluslängen.....	27
3.2 Überlegungen zu Time-Domain-Variablen.....	28
3.3 Überlegungen zu Frequency-Domain-Variablen.....	30
3.4 Zusammenhang zwischen Time- und Frequency-Domain-Variablen.....	31
3.5 Relevante Atemvariablen.....	32
4 Hatha-Yoga und Pranayama – Untersuchte Atemtechniken	33
4.1 Grundlegendes zu Yoga und Pranayama.....	33
4.2 Nadi Shodhana.....	33
4.3 Bhramari.....	34
4.4 Ujjayi.....	35
II PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG UND ANALYSE	37
5 Messprozess und Datenerfassung	39
5.1 Experimentelles Design.....	39
5.2 Untersuchte Variablen.....	42
6 Statistische Analyseverfahren	47
6.1 Allgemeines zur statistischen Analyse.....	47
6.1.1 Die Wahl von nicht-parametrischen Methoden.....	48
6.1.2 Bonferroni-Korrektur.....	49
6.1.3 Einschätzung der Metasignifikanz.....	49

6.2	Fall 1: Messintervall-Vergleich.....	51
6.2.1	Wilcoxons Vorzeichenrangtest.....	51
6.2.2	Analyse wiederholter Messungen nach Quade und Friedman.....	52
6.2.3	Post-hoc Analyse.....	54
6.3	Fall 2: Gruppen-Vergleich.....	55
6.3.1	Wilcoxons Rangsummentest.....	55
6.3.2	Binomialverteilung schätzt Anzahl signifikanter p-Werte.....	56
6.3.3	Rangsummentest für personenspezifische Variablen-Mittelwerte....	57
6.4	Umsetzung der statistischen Tests.....	57
7	Ergebnisse und Diskussion	59
7.1	Fall 1: Messintervall-Vergleich.....	59
7.2	Fall 2: Gruppen-Vergleich.....	68
7.3	Diskussion.....	75
7.4	Ausblick.....	78
	ANHANG	79
A	Verzeichnisse	81
A.1	Abkürzungen.....	81
A.2	Literatur.....	82
A.3	Tabellen.....	84
A.4	Abbildungen.....	86
B	Verlaufskurven der untersuchten Variablen	89
C	Ergebnistabellen für Gruppen-Vergleiche	93
D	Datenkorrektur	107
E	Ergänzende Datenanalysen	113
E.1	Messintervall-Vergleich für weitere Variablen.....	113
E.2	Gruppen-Vergleich für Änderung der Variablen.....	117
E.3	Abschätzung der Abhängigkeit von p-Werten.....	125
F	Informationsblatt und Einverständniserklärung	129
G	Fragebogen	135
	Lebenslauf	139

Danksagungen

Ich möchte mich in aller Form bei Karl W. Kratky bedanken – dafür, dass er mich auf diesem Weg begleitet hat und mich viel dabei gelehrt hat, vor allem in Sachen Perfektionismus.

Darüber hinaus habe ich auch den wissenschaftlichen Rat von Wilhelm Mosgöller und Axel Schäfer sehr geschätzt.

Auch möchte ich meinen Dank zu unserem Kooperationspartner Yoga Austria (BYO) ausdrücken – für ihre große Hilfe bei der Akquisition von geeigneten Freiwilligen. Insbesondere Erika Erber ist mein Dank gewiss – ohne sie hätte es das Thema dieser Arbeit so nicht gegeben.

Ich danke auch allen Freiwilligen für ihre Zeit, die sich bereit erklärt haben, diese Studie mitzutragen!

Ich danke meiner Familie: Dafür, dass ihr mich auf meinem Weg mit Begeisterung und Interesse anfeuert – und dafür, dass ihr da seid.

Ich danke meinen Freunden Alex und Alex: Dafür, dass ihr ein offenes Ohr für mich habt und mir oft die Denkanstöße gebt, die ich brauche um vorwärtszukommen – aber auch um einmal stehenzubleiben.

Ich danke dir Hanny: Dafür, dass du mich über mich hinaus wachsen lässt. Dafür, dass du mir so eine große Stütze auf diesem Weg warst und so viel Geduld mit mir hast. Dafür, dass du auf mich schaust, wenn ich darauf vergesse. Dafür, dass du mit mir jeden Tag die großen und die kleinen Dinge feierst!

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit untersucht den Einfluss von drei Yoga-Atemtechniken auf Herzfrequenzvariabilität (heart rate variability, HRV) und Atemvariablen. Ziel war es, Effekte zu identifizieren, die im Laufe einer Messung auftraten, sowie den Einfluss verschiedener Gruppierungsmerkmale auszuwerten – z.B. Yoga-Lehrerfahrung und Alter. Bewertet wurden das Elektrokardiogramm (EKG) und die Atemkurven von 24 gesunden Männern und Frauen während einer per CD angeleiteten Pranayama-Trainingseinheit. Der Messablauf umfasste Ruhephasen in Rückenlage am Anfang und am Ende, sowie dazwischen abwechselnde Phasen entspannten Sitzens und des Übens der drei Atemtechniken Nadi Shodhana, Bhramari und Ujjayi – ebenfalls in sitzender Position.

Jeweils 3-minütige Messintervalle jeder dieser Phasen wurden mit Hilfe nicht-parametrischer statistischer Analyseverfahren nach zwei unterschiedlichen Betrachtungsweisen ausgewertet: Einerseits die Änderungen von HRV-Time-Domain- und Atemvariablen im Vergleich verschiedener Messintervalle, andererseits die Unterschiede zwischen Gruppen während jedes Messintervalls. Es wurden jeweils mehrere statistische Ansätze verfolgt, sodass neben altbewährten Testverfahren auch weniger verbreitete Analysemethoden Anwendung fanden. Diese resultierten in einem umfassenden Bild und ermöglichten eine fundierte Einschätzung der Signifikanz der Ergebnisse.

Letztlich konnten verschiedene Effekte identifiziert werden, wobei die Hauptergebnisse die folgenden waren: In der Liegephase am Ende der Trainingseinheit hatte die Herzfrequenz einen niedrigeren Wert als in jener zu Beginn. Während Ujjayi war die Herzfrequenz gegenüber den anderen Atemtechniken gesenkt, die Standardabweichung der Dauer aufeinanderfolgender Herzzyklen (SDNN) war hingegen erhöht. Bei Gruppierung nach verschiedenen Merkmalen wiesen Yoga-Lehrende einen niedrigeren Wert für SDNN auf als Übende. Gleiches ließ sich auch mit schwächerer Signifikanz für eine Gruppe älterer Personen gegenüber einer jüngeren Gruppe feststellen. Welcher der beiden Faktoren – Lehrerfahrung oder Alter – die größere Rolle spielt, konnte nicht endgültig geklärt werden.

Abstract

This thesis examines the influence of three yoga breathing techniques on heart rate variability (HRV) and breathing variables. The aim was to identify effects occurring during the course of measurement as well as to evaluate the influence of several groupings, e.g. concerning yoga teaching experience and age. The electrocardiogram (ECG) and respiratory data of 24 healthy men and women, collected over the course of a pranayama session guided by CD, were assessed. A session comprised phases of supine rest at the beginning and the end and alternating phases of relaxed sitting and exercising the three breathing techniques Nadi Shodhana, Bhramari and Ujjayi in between.

From the described phases, sections of 3 minutes each were used for nonparametric statistical analysis. The data were analyzed with respect to two perspectives: the changes of HRV time domain and breathing variables during the various sections, as well as the differences between groups during each section. Various statistical approaches were used – well-proven test procedures as well as less common methods. The resulting overall picture allowed for a thorough assessment of the significance of the findings.

Thus it was possible to identify different effects, the main results being: The training session had an overall diminishing effect on heart rate, when comparing the two lying phases at the beginning and the end of the measurement. During Ujjayi heart rate was lower than during the other breathing techniques, while the standard deviation of cardiac cycle lengths (SDNN) was elevated. When comparing groups, yoga instructors were characterized by a lower SDNN than students. The same effect – although less significant – was found when comparing a group of elder people to a group of younger ones. No final conclusion has been found on the question which of these two factors – teaching experience or age – is of greater influence.

1 Einleitung

Die meisten verfügbaren Studien und Publikationen, die den Themenkomplex Yoga bearbeiten, beschäftigen sich mit den möglichen Effekten von Yoga-Körperübungen – sogenannten Asanas. Nur ein kleiner Bruchteil der wissenschaftlichen Arbeiten beschäftigt sich mit Yoga-Atemtechniken (Pranayama).

Da die Arbeitsgruppe, unter deren Schirmherrschaft die vorliegende Arbeit entstanden ist, bereits die Auswirkungen von visuellen und akustischen externen Reizen auf die Herzfrequenzvariabilität (heart rate variability, HRV) [1][2][3][4] untersucht hat, ist es nun von Interesse, wie „interne Reize“ – in diesem Fall gelenkte Atmung – Herz- und Atemrhythmus beeinflussen. Es ist wohlbekannt, dass die Herzfunktion auf den Atemzyklus durch eine Modulation der Herzfrequenz reagiert (respiratorische Sinusarrhythmie) [5]. Darüber hinaus ist HRV ein wertvolles Werkzeug, um die Aktivität des autonomen Nervensystems zu bewerten. Das sympathische und das parasympathische Nervensystem arbeiten mit unterschiedlichen Reaktionszeiten, was zu einer Modulation der Herzfrequenz in verschiedenen Frequenzbändern führt. Dadurch sind via HRV Rückschlüsse auf sympathischen und parasympathischen Neurotonus, und damit den Grad persönlicher Entspannung möglich [6]. Es ist also zu erwarten, dass die Anwendung von Atemtechniken messbaren Einfluss auf die HRV nimmt.

Unterschiedliche Studien, die sich mit Pranayama-Atemtechniken beschäftigen, kommen zu unterschiedlichen Ergebnissen bezüglich des Einflusses auf die Herzfunktion. Langsame Atemzyklen senken den Blutdruck [7][8]. Das sogenannte Kapalabhati – eine schnelle Atemtechnik – erhöht die sympathische Aktivität [9]. In Bezug auf einige Atemtechniken sind die Ergebnisse widersprüchlich: Eine Studie belegte, dass eine bestimmte Atemtechnik die mittlere Herzfrequenz erhöht [10], während eine andere Studie zu dem Schluss kam, dass regelmäßiges Training der gleichen Technik zu einer Senkung der mittleren Herzfrequenz führte [11]. Eine weitere Studie legte sogar nahe, dass bei der Lenkung des Atems durch nur ein Nasenloch die Herzfrequenz von verwendeter Seite abhing, während das andere Nasenloch geschlossen gehalten wurde [12].

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, den Einfluss einer Folge von drei Atemtechniken auf das autonome Nervensystem auf objektive Weise durch HRV zu erfassen. Neben HRV-Variablen werden auch Atemvariablen gemessen und ausgewertet. Im Gegensatz zu bisherigen Studien werden nicht nur die Effekte der angewandten Atemtechniken auf alle TeilnehmerInnen analysiert, sondern darüber hinaus mögliche Unterschiede in den Reaktionen verschiedener TeilnehmerInnen-Gruppen untersucht. Dieser Ansatz macht es möglich, die auftretenden Effekte von zwei verschiedenen Perspektiven aus einzuschätzen:

Fall 1) Kurzzeit-Effekte (während des Messablaufs mit 11 Messintervallen). Es werden verschiedene Messintervalle des experimentellen Designs für alle TeilnehmerInnen

miteinander verglichen. Zusätzlich wird außerdem die *grundsätzliche* Änderung der Variablen analysiert ("repeated measures"-Prozedur in Bezug auf die Messintervalle). Die Nullhypothese für Fall 1 lautet: „Die Verteilungen der betrachteten Variablen unterscheiden sich für keine zwei Messintervalle voneinander.“

Fall 2) Gruppenunterschiede, die teilweise als Langzeit-Effekte interpretierbar sind. Es werden Gruppen, z.B. Yoga-Übende und Yoga-Lehrende mit mindestens 4 Jahren Lehrerschaft, verglichen. Zusätzlich wurde außerdem der *grundsätzliche* Unterschied zwischen Gruppen analysiert (Basis: Variablen über Messintervalle gemittelt). Die Nullhypothese für Fall 2 lautet: „Die Verteilungen der betrachteten Variablen unterscheiden sich in keinem Messintervall zwischen bestimmten Gruppen.“

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in zwei Teile, die jeweils drei Kapitel umfassen. Teil I – Theoretische Grundlagen und Hintergründe – befasst sich zunächst mit einigen notwendigen Grundkenntnissen in Hinblick auf Physiologie (Kapitel 2), Herzfrequenzvariabilität (Kapitel 3) und Pranayama-Atemtechniken (Kapitel 4). Da sich diese Arbeit mit dem Zusammenspiel von Atmung und Herzschlag beschäftigt, werden in den Kapiteln 2 und 3 das entsprechende physiologische Grundwissen [13][14], sowie Grundlagen der HRV-Analyse [6] und der Berechnung relevanter Puls- und Atem-Variablen zusammengefasst. Weil sich allerdings in der Arbeitsgruppe, in der diese Diplomarbeit entstanden ist, bereits mehrere Arbeiten¹ mit eben diesen Grundlagen befasst haben, soll sich die Darstellung hier auf ein notwendiges Minimum beschränken. In Kapitel 4 wird auf die Pranayama-Techniken [15][16] im Einzelnen genauer eingegangen, die im durchgeführten Experiment ausgeübt und gemessen wurden.

Teil II der vorliegenden Arbeit – Praktische Durchführung und Analyse – beinhaltet die Beschreibung der Messung (Kapitel 5), statistische Analyse (Kapitel 6) und die Diskussion der Ergebnisse (Kapitel 7). In Kapitel 5 werden sowohl der Messprozess samt der verwendeten Ausrüstung, als auch die bei der Datenerfassung zum Einsatz gekommenen Algorithmen näher beschrieben. Nachdem somit ein Grundverständnis für den eigentlichen Messablauf und die untersuchten Variablen hergestellt wurde, geht Kapitel 6 auf die verwendeten statistischen Methoden näher ein, deren Ergebnisse und Schlussfolgerungen letztlich in Kapitel 7 ausgeführt und diskutiert werden.

Im Anhang finden sich weiterführende Informationen. Es handelt sich dabei unter anderem neben vollständigen Ergebnistabellen auch um kurze Erläuterungen zu weiterführenden Analyseansätzen.

Einige Benennungen in der vorliegenden Arbeit – etwa Messintervalle und untersuchte Variablen – wurden in Hinblick auf die Möglichkeit weiterführender Arbeiten und eventueller Publikationen bewusst bereits auf Englisch formuliert.

¹ siehe die Dissertation [1], bzw. die Diplomarbeiten [2] und [3]

Teil I

**Theoretische Grundlagen
und Hintergründe**

2 Physiologische Grundlagen

2.1 Das Herz

Die Aufgabe des Herzens ist die dauernde Aufrechterhaltung des Blutflusses. Als Pumpe des Herz-Kreislauf-Systems wälzt es im Ruhezustand während etwa einer Minute das gesamte Blutvolumen von 5l um (vgl. [14], S.188) und trägt somit maßgeblich zur Versorgung der Organe und Muskeln mit Nährstoffen und Sauerstoff, zum Abtransport von Stoffwechselprodukten und zur körperinternen Kommunikation – etwa durch den Transport von Hormonen – bei. Innerhalb des Herz-Kreislauf-Systems werden zwei Teilkreisläufe unterschieden: der Körperkreislauf und der Lungenkreislauf, wobei zweiterer – da in diesem das Blut mit Sauerstoff angereichert und von Kohlendioxid befreit wird – die gleiche Menge Blut umsetzt wie der Körperkreislauf. Für jeden der beiden Kreisläufe gibt es im Herzen einen Vorhof (Atrium), in dem sich das zum Herzmuskel (Myokard) zurückfließende Blut eines Teilkreislaufs sammelt, sowie eine Kammer (Ventrikel), die letztendlich das Blut wieder in den entsprechend anderen Teilkreislauf auswirft.

Gesteuert wird der regelmäßige Kontraktionsvorgang durch den Sinusknoten, einen Abschnitt von spezialisierten Herzmuskelzellen des rechten Vorhofs, die zur Spontanerregung fähig sind, und somit als Schrittmacher des Herzens fungieren. Herzzellen befinden sich in einem eng vernetzten Verband, sodass sich elektrische Reize über den gesamten Herzmuskel ausbreiten und eine Kontraktion des Myokards bewirken. Neben dem Sinusknoten existieren auch andere Verbände von Schrittmacherzellen, die selbstständig depolarisieren – allerdings langsamer als die Zellen des Sinusknotens, weswegen dieser am schnellsten das entsprechende Schwellenpotential erreicht um eine Kontraktion auszulösen. Sollte aus unterschiedlichen Gründen durch den Sinusknoten keine Reizauslösung erfolgen, erreichen nach kurzer Zeit diese anderen selbsterregenden Zellverbände – zum Beispiel der AV-Knoten (Atrioventrikularknoten) – ebenso die Reizschwelle und lösen somit an seiner statt die Kontraktion aus. Durch diesen Notfallmechanismus ist die Aufrechterhaltung der Pumpfunktion des Herzens sichergestellt, wobei es sich beim Sinusknoten um den eigentlichen Rhythmusgeber handelt.

Die Vorhöfe müssen bereits vor den Herzkammern kontrahieren, um weitere mit Blut zu füllen, bevor dieses durch die Kontraktion der Ventrikel wiederum in den Körper ausgestoßen werden kann. Da der Sinusknoten am rechten Atrium gelegen ist, breitet sich der elektrische Reiz zunächst nur über die Vorhöfe aus (Abbildung 2.1, PQ), die durch eine bindegewebsartige Platte von den Herzkammern getrennt sind. Die einzige Verbindung stellt eine schmale Muskelbrücke dar – der bereits erwähnte AV-Knoten, der die Reizausbreitung als Engpass soweit bremst (Abbildung 2.1, Q), dass die Kammern zeitlich versetzt zu den Vorhöfen kontrahieren (Abbildung 2.1, ST). Diese gerichtete Reizleitung samt anschließender Erregungsrückbildung bildet einen elektrischen

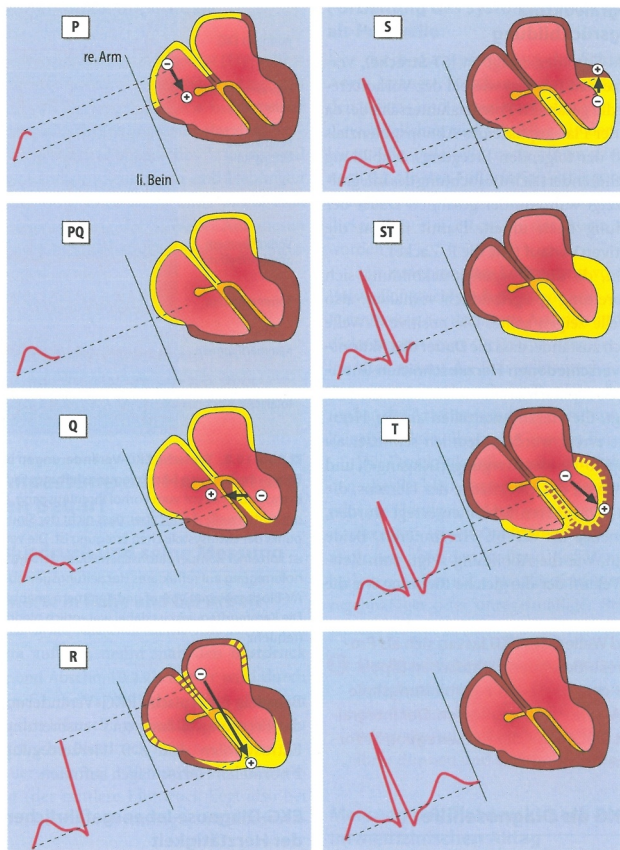


Abbildung 2.1: Elektrische Reizleitung im Herzen
Quelle: [14], Abbildung 10.7

Feldvektor aus, der in einem Elektrokardiogramm (EKG) erfasst und aufgezeichnet werden kann.

Die Inhalte von Abbildung 2.1 lassen sich sehr kompakt zusammenfassen: „Die P-Welle signalisiert die Vorhoferregung, die QRS-Zacken die Erregungsausbreitung in den Ventrikeln und die T-Welle die dortige Erregungsrückbildung.“ ([14], S.192) Der eigentliche Startpunkt eines Herzzyklus ist also der elektrische Reiz, der vom Sinusknoten ausgeht. Im EKG entspricht dies dem Beginn der P-Welle. Die Frequenz des Herzschlages ist nicht fixiert, sondern passt sich den gegebenen Umständen an und wird durch diverse Einflüsse – z.B. körperliche Belastung – variiert. Hierauf wird in Kapitel 3 näher eingegangen.

2.2 Aufbau des Atmungssystems

Im Atmungssystem wird zwischen oberem und unterem Respirationstrakt unterschieden. Ersterer umfasst die Nase samt Nebenhöhlen sowie den Rachenraum, während letzterer aus Kehlkopf, Luftröhre, Bronchien und Lunge besteht. Hauptaufgabe des Atmungssystems ist die Anreicherung des Blutes mit Sauerstoff (O_2) und die Ausscheidung von Kohlendioxid (CO_2) als Stoffwechselprodukt. Darüber hinaus spielt das Atmungssystem allerdings auch für eine Reihe anderer Funktionen eine große Rolle, etwa den Geruchssinn oder die Stimmbildung.

Die Nasenhöhle (siehe Abbildung 2.2) wird durch die Nasenscheidewand in eine linke und eine rechte Hälfte geteilt, darüber hinaus trennen dünne Knochenlamellen übereinanderliegende Nasengänge voneinander, um auf diese Weise die Oberfläche, mit der die Atemluft in Kontakt kommt, zu vergrößern, sodass die eingeatmete Luft ausreichend angewärmt und befeuchtet werden kann. Im oberen Nasengang befinden sich die Riechzellen, welche Geruchsinformationen unmittelbar an das Riechhirn weitergeben. Des Weiteren münden einige Nebenhöhlen in die Nasenhöhle, die einerseits

das Gewicht des Schädelknochens reduzieren und andererseits bei der Stimmbildung als Resonanzraum dienen. Die Nasenhöhle mündet – wie auch die Mundhöhle – in den Rachen. Da Speiseröhre und Luft-röhre (Trachea) direkt nebeneinander liegen, bedarf es des Kehlkopfs, der bei Bedarf – z.B. Nahrungsaufnahme – den Kehlkopf und damit den Weg in die Lunge verschließt. Im Kehlkopf befinden sich die Stimmbänder, die durch den Luftstrom zu Schwingungen angeregt werden. Je nach Spannung und Form des Schlitzes zwischen den Stimmbändern – der Stimmritze (Glottis) – werden durch den Luftstrom andere Töne hervorgerufen.

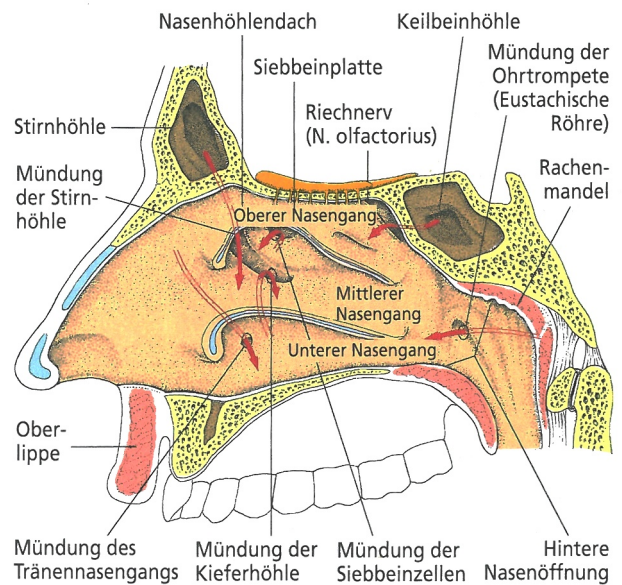


Abbildung 2.2: Schnitt durch die Nasenhöhle
Quelle: [13], Abbildung 17.2

Die Trachea führt nun weiter zur Lunge (siehe Abbildung 2.3), wobei sie sich in zwei Hauptbronchien teilt, die jeweils zu einem der beiden Lungenflügel führen. Diese Hauptbronchien teilen sich ihrerseits in drei bzw. zwei Lappenbronchien, die wiederum in einen der drei Lappen des rechten Lungenflügels bzw. in einen der zwei Lappen des linken Lungenflügels münden, um sich dort weiter zu verzweigen. Die feinsten Stufen der Verästelung werden als Bronchiolen bezeichnet und münden nach insgesamt durchschnittlich 23 Verzweigungen (vgl. [13], S.278) in die Lungenbläschen (Alveolen), in welchen letztlich durch eine enge Vernetzung mit Kapillargefäßen der Austausch von O_2 und CO_2 stattfindet. Durch diese feine Verzweigung umfassen die Alveolen eine Oberfläche von insgesamt $70-80m^2$ (vgl. [14], S. 215).

Da jedes Gas auf beiden Seiten einer durchlässigen Schicht ein Konzentrationsgleichgewicht anstrebt – welches nicht vorliegt, wenn sich in den Lungenbläschen frische, sauerstoffreiche Atemluft befindet, während das vorbei strömende Blut eine hohe Kohlendioxid-Konzentration aufweist – werden durch Diffusion der entsprechenden Gasmoleküle die vorliegenden Partialdrücke ausgeglichen: Das Blut gibt CO_2 an die Alveolen ab und nimmt gleichzeitig O_2 auf, wobei das Hämoglobin der Erythrozyten (rote Blutkörperchen) als Trägermolekül fungiert, da die Gase alleine nicht stark genug in Lösung gehen könnten, als dass die ausreichende Versorgung des Organismus sichergestellt wäre. Die Atemluft hat damit ihren Zweck erfüllt und wird mit erhöhtem CO_2 - und reduziertem O_2 -Gehalt ausgeatmet.

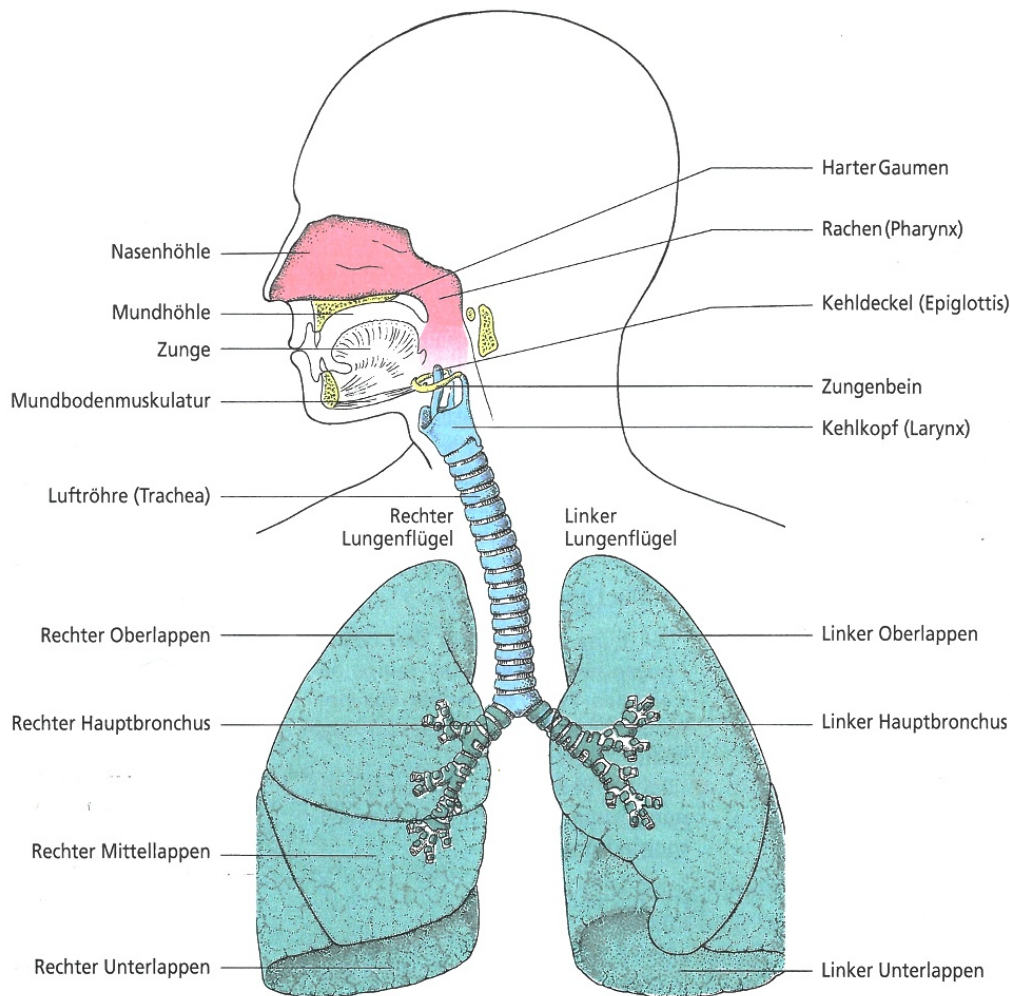


Abbildung 2.3: Übersicht des Atmungssystems
Quelle: [13], Abbildung 17.1

2.3 Atemmechanik und Atemregulation

Die beiden Lungenflügel füllen den Raum zwischen Brustkorbwand und Zwerchfell – einer Muskelplatte, die Brust- und Bauchraum voneinander trennt und im entspannten Zustand eine Kuppel formt – aus, sind allerdings nicht direkt mit diesen verwachsen, sondern durch eine dünne Flüssigkeitsschicht zwischen Lungen- und Rippenfell (Pleura) von diesen getrennt. Aufgrund des Unterdrucks in diesem Pleuralspalt folgen die elastischen Lungenflügel jeder Bewegung des Brustkorbs und des Zwerchfells.

Bei der Einatmung (Inspiration) kontrahiert die äußere Zwischenrippenmuskulatur (siehe Abbildung 2.4) und hebt damit den Brustkorb. Gleichzeitig zieht sich auch das Zwerchfell zusammen und die Kuppel, die es im entspannten Zustand ausbildet, wird

abgesenkt. Die Lunge folgt diesen Bewegungen, dehnt sich aus und füllt sich mit frischer Atemluft. Die Ausatmung (Expiration) erfolgt vorwiegend passiv durch Entspannung der genannten Muskeln, woraufhin sich die Lunge aufgrund ihrer eigenen Elastizität wieder zusammenzieht. Unterstützend kann die innere Zwischenrippenmuskulatur durch Kontraktion den Brustkorb zusätzlich absenken. Die Atmung wird vor allem bei starker körperlicher Aktivität zusätzlich durch die Atemhilfsmuskulatur unterstützt, wobei diese Funktion bei der Einatmung unter anderem die Brustmuskulatur übernimmt und bei der Ausatmung die Bauchmuskulatur.

Je nach vorrangig verwendeter Muskulatur lassen sich zwei Atemtypen unterscheiden: sogenannte „Brustatmer“ und „Bauchatmer“. Erstere atmen verstärkt unter Hebung der Rippen, zweitere durch Senkung des Zwerchfells, wobei sich aufgrund des Platzbedarfs der Eingeweide im Bauchraum die Bauchdecke nach außen wölbt.

Unabhängig von der verwendeten Muskulatur wird bei der Atmung nie die Totkapazität der Lunge – die Menge an Luft, die von der Lunge maximal aufgenommen werden kann – ausgeschöpft. Das durchschnittliche Atemzugvolumen in Atemmittellage beträgt 500ml, wovon etwa ein Drittel nicht bis in die Alveolen vordringt und somit nicht zur Anreicherung des Blutes mit Sauerstoff beiträgt. Ausgehend von der Atemmittellage können bei vertiefter Einatmung weitere 2-3l Luft in die Lungen aufgenommen werden (Inspiratorisches Reservevolumen), bzw. bei vertiefter Ausatmung etwa 1l zusätzlicher Luft abgeatmet werden (Expiratorisches Reservevolumen). Selbst nach maximaler Ausatmung verbleiben weitere 1-2l Atemluft in der Lunge (Residualvolumen), die mit dem expiratorischen Reservevolumen gemeinsam als funktionale Residualkapazität bezeichnet werden. Durch Mischung mit der frisch eingeatmeten Luft sorgt diese für eine relativ konstante Zusammensetzung der Atemluft in den Alveolen und bietet gleichzeitig einen gewissen Sauerstoffvorrat als Reserve. Eine Übersicht dazu bietet Fehler: Referenz nicht gefunden. Das maximal ein- und ausatembare Luftvolumen wird als Vitalkapazität bezeichnet.

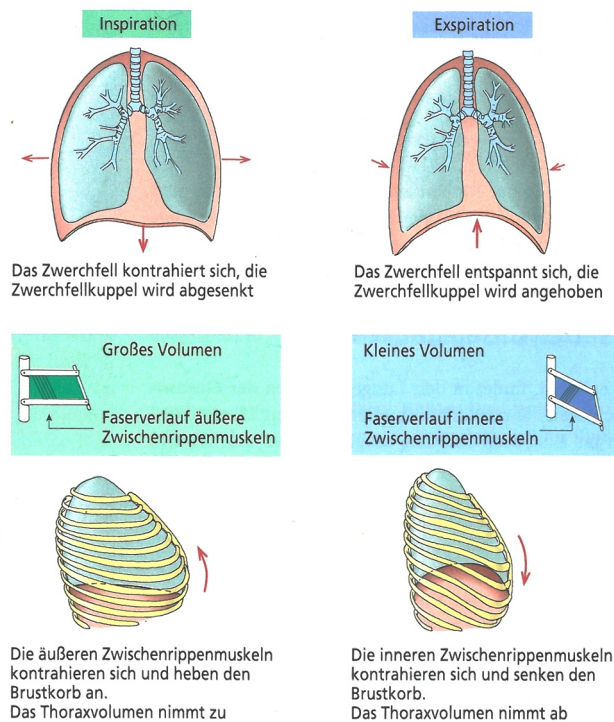


Abbildung 2.4: Atemmechanik bei In- und Expiration

Quelle: [13], Abbildung 17.13

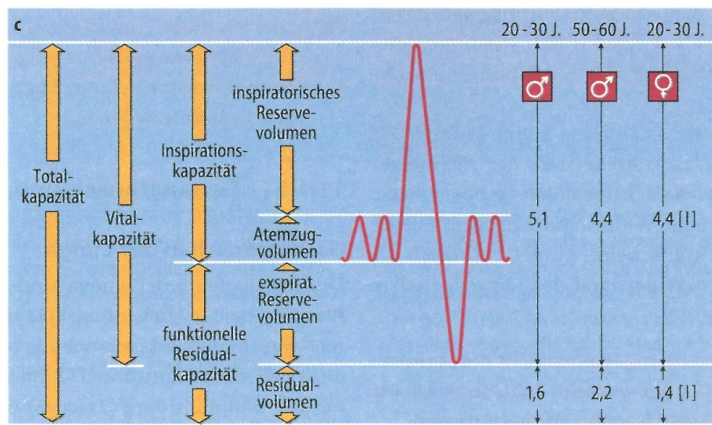


Abbildung 2.5: Lungenvolumina und -kapazitäten

Quelle: [14], Abbildung 11.1c

In Ruhe tätigt der Mensch im Durchschnitt 14 Atemzüge pro Minute (vgl. [1], S.212). Bei entsprechender Belastung lässt sich sowohl durch Steigerung der Atemfrequenz als auch durch Erhöhung des Atemzugvolumens die umgesetzte Menge Luft pro Minute um mehr als das zehnfache steigern. Gesteuert wird der Atemrhythmus im Zentralnervensystem durch Neuronen

des verlängerten Marks (Medulla oblongata), von denen einige Gruppen die Einatmung bedingen, andere die Ausatmung. Diese unterschiedlichen Gruppen von Neuronen entladen sich abwechselnd und führen so zu Kontraktionen der entsprechenden Muskelgruppen, aus denen wiederum ein regelmäßiger Atemrhythmus resultiert. Dieser Rhythmus ist durch die Schrittmacherneuronen des verlängerten Marks keineswegs so starr vorgegeben, wie der des Herzens, sondern lässt sich durch zahlreiche andere Einflüsse – von Husten bis zur Artikulation – mitgestalten.

Eine weitere zentrale Rolle bei der Steuerung des Atemvorganges spielen Mechano- und Chemorezeptoren. Erstere reagieren auf mechanische Reize wie die Verkleinerung oder Dehnung der Alveolen und der Zwischenrippenmuskulatur, wobei sie generell die entsprechende Gegenbewegung einleiten. Die Chemorezeptoren hingegen reagieren auf die Konzentration von CO_2 und O_2 im Blut. In erster Linie spielt hier der Partialdruck von CO_2 eine Rolle. Ist dieser erhöht, wird die Atmung angeregt, um das CO_2 verstärkt abzutransportieren. Den gleichen Effekt – wenn auch deutlich schwächer – hat auch eine verminderte O_2 -Konzentration.

2.4 Das autonome Nervensystem

Das autonome Nervensystem (ANS), welches auch als „vegetatives Nervensystem“ bezeichnet wird, steuert ohne aktives, bewusstes Zutun lebenswichtige Organfunktionen – unter anderem Atmung und Kreislauf.

Das autonome Nervensystem wird in Sympathikus und Parasympathikus unterteilt, wobei diese beiden Teilsysteme auf die unterschiedlichen Organe zumeist auf komplementäre Weise einwirken. Der Sympathikus wird tendenziell dann erregt, wenn es um Reaktionen geht, die erhöhte Aktivität im Außen bedingen („fight or flight“ – Kampf oder Flucht), der Parasympathikus wird mit Entspannung und nach innen gerichteter

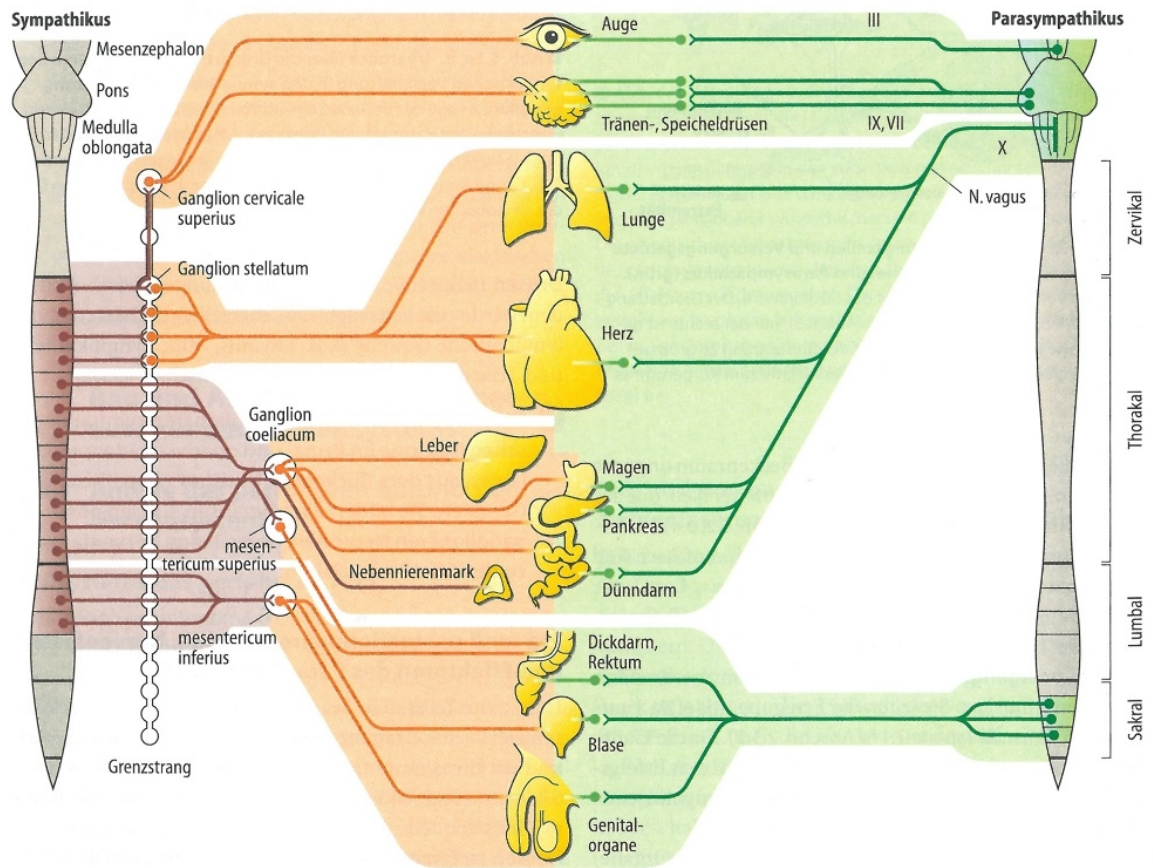


Abbildung 2.6: Autonomes Nervensystem
 Struktur und Aufbau von Sympathikus und Parasympathikus im Vergleich.
 Quelle: [14], Abbildung 6.4

Aktivität („rest and digest“ – Entspannung und Verdauung) verbunden. Der Vollständigkeit halber muss erwähnt werden, dass dem ANS als dritter Part das Darmnervensystem zuzuzählen ist. Dieses wird in weiterer Folge allerdings außer Acht gelassen, weswegen im Folgenden immer nur von zwei Teilen des ANS die Rede sein wird.

Anatomisch unterscheidet man je nach Lokalisation zentrale und periphere Anteile des ANS. Der zentrale Anteil hat seinen Sitz vorrangig in Hirnstamm, Hypothalamus und Rückenmark, und übernimmt die eigentliche Steuerung der Organe. Vorrangig hat das zentrale ANS hierbei eine synchronisierende Funktion für die unterschiedlichen Teilsysteme und sorgt für die zeitliche Abstimmung diverser vegetativer Tätigkeiten aufeinander. Nicht jede Reaktion des autonomen Nervensystems wird allerdings zentral gesteuert. Durch sogenannte autonome Reflexbögen wird über Rückkopplung von sensorischer Information aus den Zielorganen die weitere Anregung direkt „vor Ort“ mitgesteuert.

Der periphere Anteil des ANS innerviert von Hirnstamm und Rückenmark ausgehend die Zielorgane. Gerade das periphere ANS weist im Gegensatz zum zentralen ANS in

Bezug auf Sympathikus und Parasympathikus einige strukturelle Unterschiede hinsichtlich Ursprung und Verlauf auf: Zum einen entspringen die peripheren Teile des Sympathikus dem Brust- und Bauchbereich der Wirbelsäule, während die des Parasympathikus von Hirnstamm und Beckenbereich der Wirbelsäule ausgehen. Zum anderen gibt es im Aufbau der Nervenbahnen einen großen Unterschied: Die Nervenknotten (Ganglien) an denen Sympathikus- bzw. Parasympathikusneuronen auf diejenigen Nervenfasern umgeschaltet werden, die letztendlich direkt zu den Zielorganen führen, liegen im Fall des Sympathikus nah an der Wirbelsäule, womit die sogenannten postganglionären Neuronen sehr lang sind. Im Fall des Parasympathikus liegen die Ganglien hingegen in unmittelbarer Nähe oder sogar direkt an den innervierten Organen – parasymphatische postganglionäre Neuronen sind verhältnismäßig kurz. Dies ist auch aus Abbildung 2.6 zu ersehen, die schematisch die meisten Zielorgane des autonomen Nervensystems darstellt. Wie genannte Abbildung außerdem verdeutlicht, sind die Zielorgane in fast allen Fällen von beiden Teilsystemen des ANS innerviert. Es kommt zwar auch vor, dass nur der Sympathikus einzelne Organe – z.B. das Nebennierenmark, Blutgefäße oder Schweißdrüsen – innerviert, nie aber der Parasympathikus allein.

Diese beiden Teilsysteme agieren oft als Gegenspieler: Während der Parasympathikus etwa Vorgänge, die mit der Verdauungstätigkeit in Zusammenhang stehen, anregt, werden diese durch den Sympathikus gebremst. Genau umgekehrt verhält es sich bei Herz- und Atemfrequenz, die durch den Sympathikus angeregt und durch den Parasympathikus gebremst werden. Das gewünschte Resultat wird allerdings immer durch die Zusammenarbeit beider bewirkt, indem die Aktivität des einen Systems zunimmt, während gleichzeitig die des anderen abnimmt. Organe, die durch den Sympathikus allein innerviert werden, zeigen eine Reaktion proportional zur Aktivierung durch den Sympathikus. Vor allem die Weite von Blutgefäßen wird in den meisten Fällen ausschließlich durch den Sympathikus gesteuert. Tabelle 2.1 fasst die Wirkung des ANS auf einige Organe für einen groben Überblick zusammen.

Tabelle 2.1: Funktionen des Sympathikus und Parasympathikus
Nach Tabelle 11.23 in [13].

Organ	Sympathikuswirkung	Parasympathikuswirkung
Herzmuskel	Zunahme von Herzfrequenz und Kontraktionskraft	Mäßige Abnahme von Herzfrequenz und Kontraktionskraft
Bronchien	Erweiterung	Verengung
Magen-Darm-Trakt	Verminderung von Tonus und Bewegungen; Sphinkteren kontrahiert	Steigerung von Tonus und Bewegungen; Sphinkteren entspannt
Pupille	Erweiterung	Verengung
Muskelgefäße	Erweiterung (auch Verengung)	Keine Wirkung bekannt
Haut- und Schleimhautgefäße, Eingeweidegefäße	Verengung	Keine Wirkung bekannt

Viele Neuronen des autonomen Nervensystems sind spontan aktiv und entladen sich durchschnittlich ein- bis zweimal pro Sekunde. Dadurch ergibt sich ein gewisser „Ruhetonus“ des Nervensystems, von dem ausgehend jedes System sowohl in Richtung gesteigerter als auch verminderter Aktivität beeinflusst werden kann.

Von besonderem Interesse für die vorliegende Arbeit ist die Einflussnahme des autonomen Nervensystems auf Herzschlag und Atmung. Bei der Atmung ist der Einfluss des ANS deutlich beschränkter, als es beim Herzschlag der Fall ist. Wichtige Aspekte sind hierbei – wie auch Tabelle 2.1 zu entnehmen ist – die Erweiterung und Verengung der Bronchien, aber auch die autonome Reaktion auf Informationen bezüglich O_2 - und CO_2 -Konzentrationen zur Auslösung des Atemreflexes. Die sympathische und parasympathische Innervation des Herzens zeigt Abbildung 2.7.

Der wichtigste Unterschied zwischen sympathischer und parasympathischer Innervation besteht darin, dass ersterer Ausläufer über das gesamte Herz hat, während der Parasympathikus lediglich die Vorhöfe innerviert. Dadurch ist es dem Sympathikus im Gegensatz zu seinem Antagonisten möglich, auf die Kontraktionskraft der Herzkammern Einfluss zu nehmen, wodurch er sowohl auf das Schlagvolumen als auch den Blutdruck einwirken kann.

Was die Innervation der Vorhöfe betrifft, so wirken hier beide Anteile des ANS auf die Schrittmacherzellen des Herzens und damit in weiterer Folge auf die Herzfrequenz ein. Der Sympathikus schüttet Noradrenalin aus, wodurch die Depolarisation der Schrittmacherzellen des Sinusknotens beschleunigt wird, sodass das Schwellpotenzial schneller erreicht wird und die Herzfrequenz zunimmt. Der Parasympathikus schüttet Acetylcholin aus, das genau den entgegengesetzten Effekt hat und durch eine

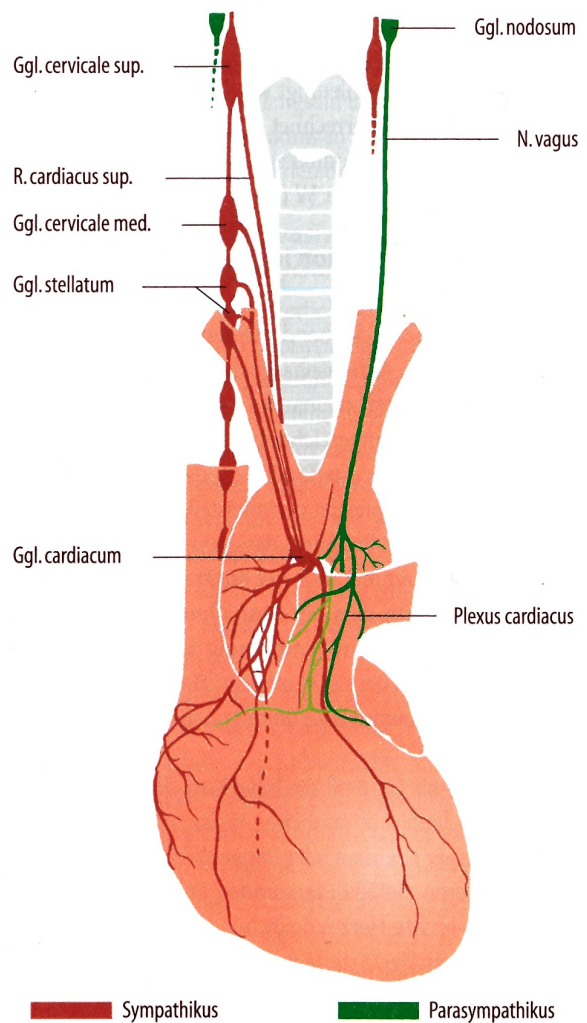


Abbildung 2.7: Innervation des Herzens

Die Nerven des Sympathikus und Parasympathikus sind jeweils auf beiden Seiten angelegt, der Übersicht halber ist in dieser Abbildung nur jeweils ein Ast dargestellt.

Quelle: [14], Abbildung 10.11

Verlangsamung der Depolarisation die Herzfrequenz senkt. Interessanterweise überwiegt in Ruhe der Einfluss parasympathischer Nerven, sodass die Herzfrequenz beständig niedrig gehalten wird. Würde der parasympathische Einfluss wegfallen, so wäre die Herzfrequenz in Ruhe höher. Wieder ist es also so, dass durch den wechselweisen Einfluss von Sympathikus und Parasympathikus der Herzfrequenz um eine natürlich Gleichgewichtslage herum in beide Richtungen gesteuert werden kann. Wichtig ist zu bemerken, dass bei der Beeinflussung der Herzfunktion dem Sympathikus eine dominantere Rolle zukommt als dem Parasympathikus (vgl. [13], S.175).

2.5 Zusammenspiel von Herzschlag und Atmung

Die Frequenz des Herzschlages wird durch verschiedene physiologische Vorgänge moduliert, wobei gerade die Atmung starken Einfluss nimmt. Die Variation der Herzzykluslängen, die auf die Atmung zurückzuführen ist, wird als respiratorische Sinusarrhythmie (RSA) bezeichnet. Bildet man die NN-Zeitreihe des Herzschlages – die Zeitreihe aufeinanderfolgender Herzzykluslängen, siehe Kapitel 3 für Details – so sind periodische Schwankungen der Herzfrequenz zu erkennen, die annähernd synchron mit In- und Expiration laufen – während der Einatmung steigt die Herzfrequenz an, während der Ausatmung nimmt sie wieder ab. Die dafür verantwortlichen physiologischen Vorgänge werden von Clifford [17] in Kapitel 4 seines Buches anschaulich zusammengefasst und sollen im Folgenden kurz beschrieben werden.

Die Beeinflussung der Herzfrequenz durch die Atmung lässt sich gemäß zweier Modelle erklären, die unterschiedliche Ansätze zugrunde legen. Das erste Modell bezieht sich direkt auf die Variation der Herzzykluslängen und geht davon aus, dass diese auf einen Oszillator des zentralen Nervensystems zurückzuführen sind, der auf das periodische Signal von mechanischen Sensoren der Lunge reagiert.

Das zweite Modell bezieht den Blutdruck als eine weitere bestimmende Größe mit ein. Im Zuge der Einatmung sinkt der Druck im Pleuralspalt ab. Dieser Druckabfall ist einerseits für das Fluten der Lungen mit Luft verantwortlich, andererseits wirkt sich dieser auch auf die Blutgefäße der Lunge aus. Aufgrund des gefallenen Druckes wird auch das Nachströmen von Blut erleichtert, wodurch sich das rechte Atrium und in weiterer Folge auch der rechte Ventrikel – als Beginn des Lungenkreislaufes – verstärkt mit Blut füllen. Aufgrund des Bainbridge Reflexes resultiert daraus ein Ansteigen der Herzfrequenz (vgl. [17], S.62). Darüber hinaus nimmt das rechte Schlagvolumens und damit verbunden der effektive Blutdruck im Lungenkreislauf zu. Der erhöhte Druck in den Lungenvenen bewirkt wiederum eine Steigerung des linken Schlagvolumens. Diese Kettenreaktion läuft durch den Widerstand des Gefäßsystems verzögert ab. Das führt dazu, dass Modulationen des Schlagvolumens umso schwächer auftreten, je höher die Atemfrequenz liegt.

2.5 Zusammenspiel von Herzschlag und Atmung

Tatsächlich sind bei durchschnittlicher Atmung Blutdruck und Schlagvolumen während des größten Teils der Inspirationsphase im Fallen begriffen – allerdings nicht ursächlich wegen des Einatemvorganges, sondern als Folge der vorangegangenen Ausatmung, die sich erst verzögert auswirkt. Durch einen langsameren Puls während der Ausatmung werden Änderungen des Blutdrucks abgefedert, die aus dem erhöhten Schlagvolumen nach der Einatmung resultieren.

Dieses Modell legt nahe, dass sich die Atmung also zunächst auf den Blutdruck auswirkt und dieser erst in weiterer Folge auf die Herzfrequenz Einfluss nimmt.

3 Theoretische Hintergründe zu den untersuchten Puls- Atem-Variablen

3.1 Die Zeitreihe der Herzzykluslängen

Als Basis der HRV-Analyse dient die NN-Zeitreihe, die Zeitreihe der Herzzykluslängen. Im vorliegenden Fall wird diese aus dem EKG der TeilnehmerInnen ermittelt. Der Beginn eines Herzzyklus ist streng genommen – wie bereits in Kapitel 2 im Abschnitt über das Herz näher ausgeführt – mit dem Feuern des Sinusknotens, also der P-Welle (siehe dazu Abbildung 3.1) gleichzusetzen. Da diese allerdings in der Praxis nur sehr unscharf bestimmbar ist, bewährt es sich trotz der leicht variierenden Distanz zwischen P und R, die R-Zacke als Bezugspunkt für die Bestimmung der Herzzykluslängen heranzuziehen, da diese als markantester Teil eines Herzzyklus gut bestimmbar ist.

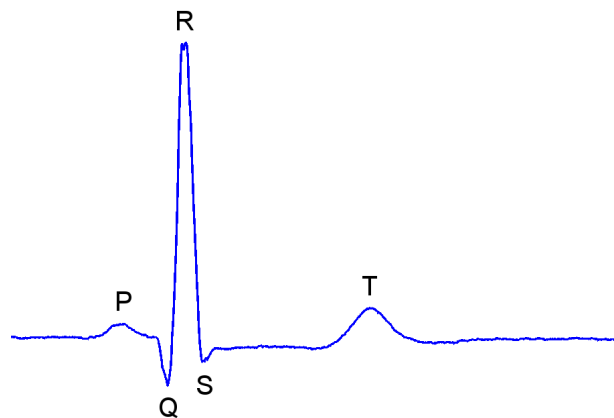


Abbildung 3.1: EKG-Kurve eines Herzzyklus
Die markanten Punkte sind mit den gängigen Benennungen beschriftet.

Sind die R-Zacken aufgefunden, ergibt sich aus den fortlaufenden Differenzen zweier aufeinanderfolgender R-Zacken die NN-Zeitreihe, wobei NN_i die zeitliche Differenz zwischen der $(i+1)$ -ten und der i -ten R-Zacke bezeichnet, wie Abbildung 3.2 verdeutlicht. Oft ist in der Literatur auch von RR-Intervallen bzw. der RR-Zeitreihe die Rede um deutlich zu machen, dass die angeführten Größen sich nicht auf die P-Wellen, sondern die R-Zacken beziehen. In der vorliegenden Arbeit wird aus Konsistenzgründen in jedem Fall NN als Bezeichnung für das Normintervall herangezogen, wengleich auch hier die Berechnung der NN-Zeitreihe auf den zeitlichen Positionen der R-Zacken beruht.

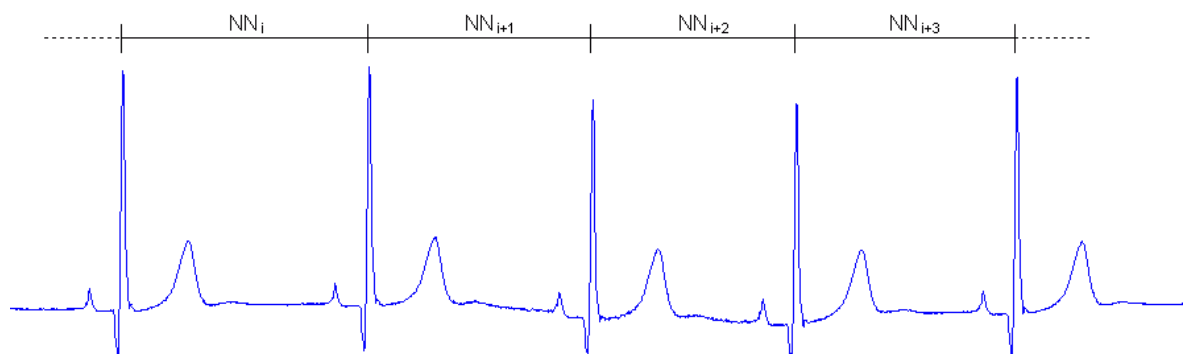


Abbildung 3.2: Gewinnung der NN-Zeitreihe
In den EKG-Daten werden die Differenzen benachbarter R-Zacken berechnet.

In der HRV-Analyse gibt es unterschiedliche Ansätze, wobei die Methoden, welche am häufigsten Verwendung finden zu den sogenannten „Time Domain“ und „Frequency Domain“ Methoden zusammengefasst werden [6]. Vor allem die Frequency-Domain-Variablen werden oft herangezogen um den Zustand des autonomen Nervensystems zu beurteilen, da sich die sympathische und parasympathische Aktivität aus unterschiedlichen Frequenzbändern des Leistungsspektrums einer NN-Zeitreihe abschätzen lassen. Hierbei wird davon ausgegangen, dass die Modulation der Herzfrequenz aufgrund der Atmung hauptsächlich parasympathisch vermittelt wird, während Blutdruckschwankungen sympathisch gesteuert werden (vgl. [17], S.72f). Da diese Schwankungen im Normalfall jeweils bei anderen charakteristischen Frequenzen auftreten, lassen sich die Frequenzbänder gerade so wählen, dass sich Herzfrequenzschwankungen, die von der Atmung herrühren, in einem höheren Frequenzband niederschlagen als solche, die durch Blutdruckschwankungen bedingt sind. Auch wird das höhere Frequenzband mit der Parasympathikus-Aktivität, das niedrigere mit dem Sympathikus-Aktivität in Verbindung gebracht. In Kapitel 3.3 werden die Frequenzbänder weiter präzisiert.

3.2 Überlegungen zu Time-Domain-Variablen

Time-Domain-Variablen umfassen direkte statistische Maße der NN-Zeitreihe. Das naheliegendste statistische Maß ist wohl der arithmetische Mittelwert der Herzzykluslängen NN_i .

$$\langle NN \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n NN_i \quad (3.1)$$

Physiologisch bedeutsamer ist allerdings die Herzfrequenz bzw. der Puls P , welcher nichts anderes ist als die Anzahl der Herzschläge pro Minute, also auch wie oft das mittlere NN-Intervall in einer Minute Platz findet. Liegen die einzelnen NN_i in Millisekunden (ms) vor, so gilt für n Intervalle, da eine Minute 60.000ms beinhaltet.

$$P = \frac{60000}{\langle NN \rangle} \quad (3.2)$$

Es ist wichtig zu erwähnen, dass es sich beim Puls streng genommen um keinen Mittelwert mehr handelt, da allgemein gilt

$$\frac{1}{\langle x \rangle} \neq \left\langle \frac{1}{x} \right\rangle \quad (3.3)$$

In dieser Arbeit werden Puls und Herzfrequenz als gleichwertige Begriffe behandelt – obwohl sie es streng genommen nicht sind. Die tatsächliche Herzfrequenz definiert sich über den eigentlichen Pumpvorgang des Herzens, der im Normalfall durch das Feuern des Sinusknotens eingeleitet wird. Als Puls versteht man allerdings üblicherweise die

Anzahl der Pulswellen pro Minute, die peripher erfassbar sind – also z.B. durch ein Pulsoxymeter im Daumen gemessen werden können. Wie schnell sich eine solche Pulswelle nun vom Herzen aus propagiert, hängt von einer Reihe Faktoren ab. Da aber bei Gesunden jeder Herzschlag, der vom Herzen ausgeht, auch im Finger angelangt, werden Herzfrequenz und Puls im Mittel praktisch identische Werte annehmen, weswegen die beiden Begriffe der Einfachheit halber in weiterer Folge synonym verwendet werden sollen. Dies führt dazu, dass der Puls P zwar aus der NN-Zeitreihe errechnet und somit direkt am Herzen bestimmt wird, die Benennung als „Puls“ lässt allerdings (fälschlicherweise) auf einen peripher gemessenen Wert schließen. Da es allerdings gerade im Falle der Herzfrequenz keine große Rolle spielt, soll hier nicht weiter zwischen den beiden Begriffen unterschieden werden.

Wichtiger wird diese Unterscheidung, wenn es nicht um die mittlere Länge der NN-Intervalls (bzw. der Pulswellen) geht, sondern um die Streuung, mit der die NN-Intervalle um ihren Mittelwert variieren. Das Maß für diese Gesamtvariabilität des Herzschlages ist SDNN (Standard Deviation of NN intervals), die Standardabweichung der NN-Intervalle. Dieser Wert wird, wie auch der Puls P, direkt aus der NN-Zeitreihe errechnet – also direkt am Herzen ermittelt.

$$SDNN = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (NN_i - \langle NN \rangle)^2} \quad (3.4)$$

SDNN ist umso größer, je stärker sich die einzelnen NN_i voneinander unterscheiden. Während die Standardabweichung ein Maß für die Gesamtvariabilität darstellt – also Änderungen, die mit beliebiger Frequenz auftreten können – trifft RMSSD vor allem eine Aussage über schnelle Änderungen, also hohe Frequenzanteile der Herzfrequenzschwankungen. Diesen erhält man, indem man die Differenzen aufeinanderfolgender NN-Intervalle berechnet, diesen Wert quadriert, und letztlich die Wurzel aus deren Mittelwert zieht. Dementsprechend steht RMSSD für „Root Mean Square of Successive Differences“.

$$RMSSD = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} (NN_{i+1} - NN_i)^2} \quad (3.5)$$

RMSSD ist umso größer, je stärker sich direkt benachbarte NN-Intervalle voneinander unterscheiden. Darüber hinaus gehen aufgrund des Quadrates größere Differenzen stärker in den resultierenden Wert ein als kleinere. Je stärker die Schwankungen der Herzfrequenz sind, desto unterschiedlichere Werte nehmen direkt benachbarte NN_i an, woraus sich schließen lässt, dass RMSSD mit hochfrequenten Schwingungsanteilen korreliert ist.

Es existieren noch weitere Time-Domain-Variablen, auf die an dieser Stelle allerdings nicht näher eingegangen werden soll, da sie in dieser Arbeit keine Verwendung finden.

3.3 Überlegungen zu Frequency-Domain-Variablen

Frequency-Domain-Variablen arbeiten mit der Fouriertransformierten der ursprünglichen Zeitreihe, wobei vor allem spektrale Anteile der Herzfrequenzvariabilität eine zentrale Rolle spielen. Zum Zweck weiterer Analysen wird das Frequenzspektrum in unterschiedliche Bänder eingeteilt, von denen gerade bei kürzeren Zeitreihen in erster Linie zwei interessant sind: Das „low frequency“ (LF) und „high frequency“ (HF) Band, vgl. Tabelle 3.1.

Tabelle 3.1: Frequenzbänder der HRV
Definition laut Task Force [6].

Frequenzband	Frequenzbereich	Anmerkung
ULF („ultra low frequency“)	≤ 0.003 Hz	nur bei Langzeitmessungen (24-Stunden) sinnvoll
VLF („very low frequency“)	0.003 – 0.04 Hz	bei Messungen < 5min schwankt Aussagekraft (je nach Algorithmus)
LF („low frequency“)	0.04 – 0.15 Hz	Einflussnahme durch Sympathikus (Blutdruckschwankungen)
HF („high frequency“)	0.15 – 0.4 Hz	Einflussnahme durch Parasympathikus (respiratorische Sinusarrhythmie)

Die Ausprägung der Frequenzanteile im LF- bzw. HF-Band steht – wie bereits argumentiert – in starkem Zusammenhang mit dem Level sympathischer bzw. parasympathischer Aktivität. Das Phänomen der bereits in Kapitel 2.5 näher ausgeführten respiratorischen Sinusarrhythmie (RSA) schlägt sich normalerweise als Frequenzspitze im HF-Band nieder, siehe dazu Abbildung 3.3, links.

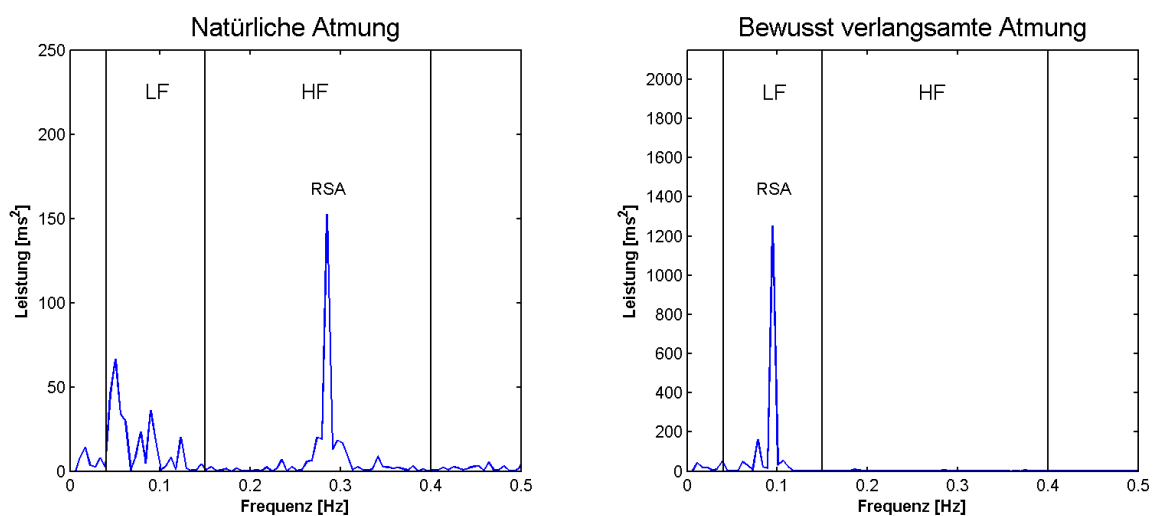


Abbildung 3.3: HRV-Spektren bei natürlicher und kontrollierter Atmung
Einfluss der Atemfrequenz auf die Abschätzung der Leistung verschiedener Frequenzbänder.

Bei den vorgenommenen Messungen wurde allerdings die Atemfrequenz durch die angewandten Techniken oft deutlich niedriger gehalten als im Normalfall üblich. Die Atemfrequenz im Sitzen lag im Mittel aller ProbandInnen bei 6.5 ± 1.6 Atemzyklen pro Minute, wobei sich entspannte Atmung normalerweise im Bereich von 14 Atemzyklen pro Minute bewegt (vgl. [14], S.212). Daher befindet sich im vorliegenden Fall die RSA-Spitze im LF-Band; vgl. Abbildung 3.3, rechts. Entsprechend war es nicht möglich, die Atemfrequenz aus der respiratorischen Sinusarrhythmie zu rekonstruieren, wie es von Schäfer [18] beschrieben wird. In unserem Fall wurden die Atemdaten jedoch ohnehin direkt über zwei Atemgurte erfasst. Darüber hinaus ist allerdings die Verlässlichkeit einer Abschätzung der Aktivität des autonomen Nervensystems aus Frequency-Domain-Variablen für den Fall atypischer Atemmuster, wie sie in dieser Arbeit behandelt werden, in Frage zu stellen; vgl. [19]. Daher beschränkt sich die HRV-Analyse auf die bereits beschriebenen Time-Domain-Variablen.

3.4 Zusammenhang zwischen Time- und Frequency-Domain-Variablen

Es besteht eine hohe Korrelation zwischen gewissen Time- und Frequency-Domain-Variablen [20][21][22][23]. SDNN und RMSSD stehen in starkem Zusammenhang mit der Leistung des ULF-, VLF- und LF- bzw. des HF-Bandes. Mit anderen Worten reflektieren auch SDNN (langsame Fluktuationen) und RMSSD (mittlere bis schnelle Fluktuationen) die sympathische bzw. parasympathische Aktivität.

Dass SDNN hauptsächlich von den Frequenzbändern unter 0.15 Hz – also LF, VLF und ULF – herrührt, gilt vor allem für 24-Stunden EKG-Messungen. Da die Messintervalle in der vorliegenden Arbeit eine im Vergleich dazu verhältnismäßig kurze Dauer von jeweils 3 Minuten haben, kann nur auf eine entsprechende Korrelation von SDNN und LF geschlossen werden [20].

Der Übersichtlichkeit halber fasst Tabelle 3.2 noch einmal zusammen, welche physiologischen Vorgänge, Größen und Eigenschaften jeweils dem Sympathikus bzw. Parasympathikus zugeschrieben werden können.

Tabelle 3.2: Gegenüberstellung sympathischer und parasympathischer Einflüsse der HRV

Sympathikus	Parasympathikus
„fight or flight“	„rest and digest“
langsamere Vermittlung	schnellere Vermittlung
HRV aufgrund von Blutdruckschwankungen	HRV aufgrund der Atmung
LF-Band	HF-Band
SDNN	RMSSD

3.5 Relevante Atemvariablen

Analog zu den Variablen P und SDNN für den Herzschlag lassen sich auch in Bezug auf die Atmung Variablen definieren, um aus dem Atemsignal Kenngrößen zu extrahieren. In Voraussicht auf die Möglichkeit, eventuell weiterführende Analysen durchzuführen und die Ergebnisse dieser Arbeit zu publizieren, wird in der Benennung der untersuchten Variablen für die Atmung (Englisch: breathing) der Buchstabe B verwendet. Die mittlere Anzahl der Atemzyklen pro Minute B ergibt sich unter der Annahme, dass die mittlere Atemzugslänge $\langle BB \rangle$ in Millisekunden bekannt ist, zu

$$B = \frac{60000}{\langle BB \rangle} \quad (3.6)$$

Dies entspricht Gleichung (3.2) für den Puls P. Die Entsprechung zu SDNN aus Gleichung (3.4) ist die Standardabweichung der Atemzugslängen SDBB.

$$SDBB = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (BB_i - \langle BB \rangle)^2} \quad (3.7)$$

Herzschlag und Atmung können auch in Beziehung zueinander gesetzt werden, indem man den Puls-Atem-Quotienten Q berechnet – eine dimensionslose Größe, die eine Aussage darüber trifft, wie sich die Herz- und Atemfrequenz zueinander verhalten.

$$Q = \frac{P}{B} \quad (3.8)$$

Als Normwert in Entspannung gilt laut Hildebrandt [24] ein Puls-Atem-Quotient von 4.

4 Hatha-Yoga und Pranayama – Untersuchte Atemtechniken

4.1 Grundlegendes zu Yoga und Pranayama

Bei Yoga geht es um die Schulung des Bewusstseins durch psychische und physische Übungen, sowie durch das Aneignen gewisser Einstellungen und Verhaltensweisen. Je nach Schwerpunktlegung und Zugang lassen sich verschiedene Yoga-Schulen unterscheiden. Eine sehr verbreitete Form von Yoga ist das Hatha-Yoga, welches sich vor allem mit den körperlichen Aspekten verstärkt auseinandersetzt und dabei sein Hauptaugenmerk vor allem auf Asana (Körperhaltung) und Pranayama (Atemtechniken) legt (vgl. [16], S.14). Der Name setzt sich zusammen aus Ha (Sonne) und Tha (Mond). Ebert beschreibt dies als „Verbindung von Sonne- und Mond-Atem“, Lysebeth als „Yoga männlicher und weiblicher Polarität“ ([15], S.219). Oft ist von Hatha-Yoga aufgrund seines Schwerpunktes auf Asana und Pranayama auch als dem „Yoga der Körperbeherrschung“ die Rede.

Eine zentrale Rolle in allen Yoga-Schulen spielt das sogenannte Prana und dessen Lenkung, Kontrolle und Sammlung. Lysebeth zitiert Swami Sivananda: „Prana ist die Summe aller im Universum vorhandenen Energien.“ ([15], S.10) In den Yoga-Lehren wird davon ausgegangen, dass Prana am leichtesten über die Nervenenden der Nase sowie über die Lungen aufgenommen werden kann, weswegen gerade der Kontrolle des Atems, der sich noch dazu in großen Maße steuern lässt, große Bedeutung beigemessen wird (vgl. [15], S.49f). Aus der Zusammensetzung der Worte „prana“ und „ayama“, was einerseits Kontrolle, andererseits aber auch Länge oder Ausdehnung bedeuten kann, wird „Pranayama“. Pranayama kann frei als „Atemregulierung“ übersetzt werden und dient quasi als Oberbegriff für eine Vielzahl an Techniken, von denen drei in der vorliegenden Arbeit näher untersucht werden und daher in weiterer Folge detaillierter beschrieben werden sollen, wie es auch Ebert [16] in Kapitel 4 seines Buches getan hat. Auch Lysebeth [15] geht auf zwei der untersuchten Atemtechniken – nämlich Nadi Shodhana und Ujjayi – in den Kapiteln 12 bzw. 28 seines Buches sehr genau ein. Alle genannten Atemtechniken werden in aufrecht sitzender Haltung am Boden oder auf einem entsprechenden Sitzkissen durchgeführt.

4.2 Nadi Shodhana

In der yogischen Anatomie wird davon ausgegangen, dass der menschliche Körper durch ein Netz von 72000 feinen „Leiterbahnen“ durchzogen ist, die Nadis genannt werden (vgl. [15], S.78f). Diese Nadis werden als Leitsystem für das Prana angesehen, dessen Aufnahme und gezielte Verteilung im Körper das eigentliche Ziel von Pranayama ist, und spielen daher eine wichtige Rolle bei der Ausübung der Atemtechniken und den

ihnen zugrunde liegenden Erklärungsmodellen. Die zwei wichtigsten „subtilen Leitungen“, wie Lysebeth sie nennt, sind Ida und Pingala, welche jeweils im linken bzw. im rechten Teil der Nase entspringen und von dort ausgehend entlang der Wirbelsäule verlaufend gedacht sind.

Nadi Shodhana bedeutet soviel wie „Reinigung der Nadis“ und wird oft als erste einer Abfolge von Atemtechniken durchgeführt um die Nadis auf Pranayama vorzubereiten und die Effektivität der nachfolgenden Übungen zu erhöhen. Diese Technik ist auch als Wechselatmung bekannt, da der Atem abwechselnd durch jeweils eines der beiden Nasenlöcher gelenkt wird, indem das jeweils andere mit der Hand verschlossen wird.

Für die richtige Handhaltung wird die rechte Hand geöffnet und anschließend Zeige- und Mittelfinger auf dem Daumenballen abgelegt. Daumen und Ringfinger sind parallel ausgerichtet, der kleine Finger liegt eng am Ringfinger an, wie Abbildung 4.1 veranschaulicht. Die rechte Hand wird dann zur Nase geführt und abwechselnd mit dem Daumen auf den rechten Nasenflügel und mit dem Ringfinger auf den linken Nasenflügel sanfter Druck ausgeübt, so dass die Atemluft nur durch das jeweils andere Nasenloch strömen kann, ohne die Hand dabei allzu viel bewegen zu müssen.



Abbildung 4.1: Handhaltung bei Nadi Shodhana

Bei Nadi Shodhana handelt es sich um eine Form der Wechselatmung, in der keine Atempausen zwischen Ein- und Ausatmung gehalten werden (vgl. [16], S.61). Es wird jeweils auf der gleichen Seite erst aus- und dann eingeatmet, anschließend das andere Nasenloch verschlossen und auf der anderen Seite erneut aus- und eingeatmet. Dies kann beliebig lang fortgesetzt werden, sofern keine Ermüdung – etwa der Arme – empfunden wird, wobei der Atem möglichst langsam und natürlich fließen soll.

Abbildung 4.2b auf Seite 36 zeigt die Kurve der Brustatmung einer Person, die Yoga unterrichtet, während der Ausübung von Nadi Shodhana.

4.3 Bhramari

Über die Technik Bhramari schreibt Lysebeth in seinem umfassenden und detaillierten Werk lediglich: „Diese Übung wird von einem charakteristischen Ton begleitet. Es wäre sehr schwierig, sie auf eine verständliche Weise zu erklären.“ ([15], S.205) Namensgebend ist der summende Ton, der die Atmung begleitet und an Bhramara, eine indische Biene, erinnert (vgl. [25], S.43). Ebert beschreibt diese Technik als eine Atmung

mit gedehnter Inspiration (vgl. [16], S.62), von Sri Swami Sivananda [25] wird Bhramari als eine Atemübung mit schnellen Ein- und Ausatemphasen erklärt – die Literatur ist sich also nicht einig.

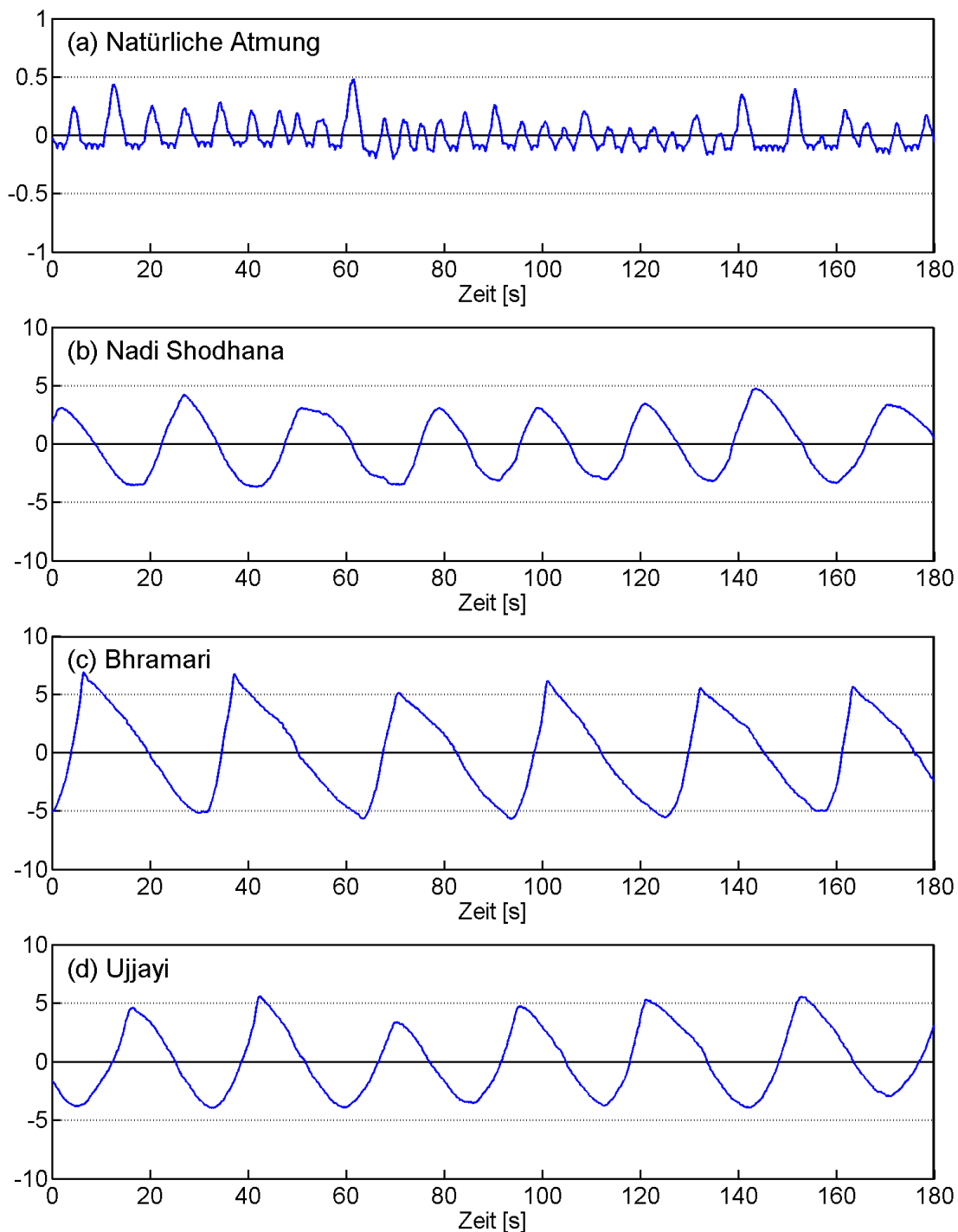
Für die Messungen im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde Bhramari wie folgt angeleitet: In aufrechter Sitzhaltung wird der Atem ruhig gesteuert und bewusst wahrgenommen. Die Ausatmung wird mit einem Summton verbunden und dadurch verlängert. Abbildung 4.2c zeigt den Ausschnitt aus einer entsprechenden Atemkurve.

4.4 Ujjayi

Bezüglich der Benennung dieser Atemtechnik nennt Lysebeth zwei mögliche Übersetzungen (vgl. [15], S.196): Zum einen könnte es sich um eine Zusammensetzung der Worte „ud“ (laut werden) und „dschaya“ (alte Grußformel) handeln, was die Übersetzung „was sich laut ausdrückt“ nahelegen würde. Diese Begründung trägt der Tatsache Rechnung, dass auch Ujjayi – wie bereits Bhramari – mit einem charakteristischen Ton einhergeht. Zum anderen wäre auch die Übersetzung „was zum Erfolg führt“ oder „das Sieghafte“ denkbar, da man bei dieser Technik ob der prall gefüllten Lunge eine entsprechend „stolze“ Haltung einnimmt. Auf der Anleitungs-CD zu dieser Studie wird Ujjayi auch als „der rauschende Atem“ bezeichnet.

Bei Ujjayi Pranayama handelt es sich um eine Atemtechnik, bei der sowohl Inspiration als auch Expiration stark gedehnt werden. Zusätzlich wird der Luftstrom im Rachenraum gebremst – entweder durch teilweisen Verschluss der Stimmritze bzw. des Kehldeckels oder mit Hilfe des Gaumensegels. In beiden Fällen kommt es zu einem leisen rauschenden Geräusch und zu zusätzlich verlängerten Atemphasen. Für die vorliegende Arbeit wurde die Übung derart angeleitet, dass die TeilnehmerInnen die Bremsung des Atems je nach Vorliebe mit Gaumensegel oder Stimmritze herbeiführen konnten, wobei sie dies sowohl während der Ein- als auch während der Ausatmung betreiben sollten. Ziel ist nach Ebert die verstärkte Verteilung von Prana im Körper (vgl. [16], Tabelle 13).

Abbildung 4.2 zeigt die Atemkurve der Brustatmung einer lehrenden Person während der Ausführung von Ujjayi.



Abbildungen 4.2a-d: Messkurven für thorakale Atmung

Die Atemkurven für (a) natürliche Atmung, (b) Nadi Shodhana, (c) Bhramari und (d) Ujjayi, aufgezeichnet bei einer Person mit Yoga-Lehrerfahrung. Die y-Achse gibt einheitenlos die Brustkorberhebung wieder, wobei alle vier Grafiken gleich skaliert sind. Die Messung von (a) fand im Liegen statt, die anderen drei im Sitzen, sodass der große Amplitudenunterschied eventuell auch auf die veränderte Position zurückzuführen ist.

Teil II

**Praktische Durchführung
und Analyse**

5 Messprozess und Datenerfassung

Dieses Kapitel befasst sich mit der Datenerfassung – vom Studiendesign bis zur Gewinnung der Variablen, die letztendlich der Analyse unterzogen werden. Da die Aufbereitung der Messdaten sich als sehr aufwändig herausgestellt hat, wird dieses Kapitel durch Anhang D „Datenkorrektur“ ergänzt.

5.1 Experimentelles Design

In Summe haben 32 gesunde Männer und Frauen im Alter von 23-64 Jahren (Mittelwert $44,8 \pm 10,2$) an dieser Untersuchung teilgenommen, wobei nicht alle Datensätze auch verwertbar waren, worauf in Kapitel 5.2 näher eingegangen wird. Alle Freiwilligen wurden über die Studienziele und ihre Rolle und die damit verbundenen Rechte umfassend informiert. Sie bekundeten ihre Zustimmung mit der Unterschrift einer Einwilligungserklärung, in der auch die Pflichten der ExperimentorInnen gemäß gesetzlicher Richtlinien dargelegt wurden (siehe Anhang F). Die TeilnehmerInnen wurden den ganzen Monat September über jeweils einzeln in einem zweistündigen Zeitfenster zwischen 15:00 und 19:00 Uhr gemessen. Die Messung fand in einem ruhigen Seminarraum auf einer auf dem Boden bereitgelegten Yoga-Matte statt, wo auch ein Meditationskissen sowie eine Decke vorbereitet waren.

Untersucht wurden die drei Atemtechniken Nadi Shodhana (der Atemfluss wird abwechselnd durch das linke und rechte Nasenloch gelenkt), Bhramari (die Ausatmung wird durch das Summen eines Tones begleitet, wodurch die Atmung verlangsamt wird) und Ujjayi (die Atmung wird durch Anspannung der Kehle verlangsamt). Eine nähere Beschreibung ist in Kapitel 4 der vorliegenden Arbeit nachzulesen. Die Übungen sollen in der vorliegenden Arbeit nicht isoliert beurteilt werden, sondern sind als ein Trainingsablauf zu sehen. Es kann also aufgrund dieser Arbeit streng genommen z.B. nicht auf den Effekt von Ujjayi alleine geschlossen werden, allerdings auf den Effekt, den Ujjayi mit sich bringt, wenn davor Nadi Shodhana und Bhramari ausgeführt wurden.

Die physiologischen Daten wurden mit Hilfe des NeXus-10 aufgenommen – ein Messgerät der Firma MindMedia, das Daten über mehrere Kanäle gleichzeitig verarbeiten kann. Bei den gemessenen Signalen handelt es sich in diesem Fall um ein Elektrokardiogramm (EKG), sowie



Abbildung 5.1: NeXus-10

Quelle: [26], Abbildung 1

Brust- und Bauchatmung, die jeweils über einen eigenen Atemgurt erfasst wurden. Darüber hinaus wurden des weiteren Blutvolumenpuls, Sauerstoffsättigung und Hautleitwert gemessen – die Verwertung aller dieser Daten hätte allerdings den Rahmen der vorliegenden Arbeit überstiegen. Alle physiologischen Variablen wurden nichtinvasiv gemessen. Die Daten wurden über eine Bluetooth-Verbindung an einen Laptop übertragen, wo sie durch MindMedias Software „Biotrace+“ (Version 1.12) empfangen, in Echtzeit angezeigt und direkt auf Festplatte gespeichert wurden. Bei der Speicherung der Daten wurde jeder Teilnehmerin und jedem Teilnehmer eine zufällige, jedoch eindeutige dreistellige Zahl zugeordnet um die Datensätze zu anonymisieren. Die Nummer lässt weder Rückschlüsse auf den Namen der ProbandInnen noch auf den Termin der Messung zu.

Vor Beginn des Messablaufs wurden sämtliche Sensoren angebracht. Um ein EKG-Signal zu erhalten, wurde direkt am Brustkorb die Ableitung II gelegt, ähnlich wie in Abbildung 5.2 zu sehen ist, die dem Manual des NeXus-10 [26] entnommen ist. Die

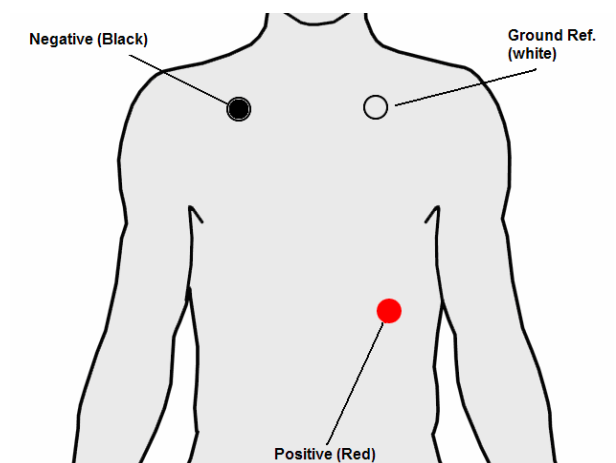


Abbildung 5.2: EKG Ableitung II, Platzierung der Elektroden am Brustkorb
Quelle: [26], Abbildung 11

Kontaktflächen für die selbstklebenden „Blue Sensor“ EKG-Elektroden der Firma Ambu wurden – wenn notwendig – ausgerasiert um gute Signalqualität sicherzustellen. Die Positionen der Elektroden stimmen nicht ganz mit Abbildung 5.2 überein – sie wurden von der Versuchsperson aus gesehen weiter links angebracht: Die negative Elektrode (schwarz) wurde in der Mitte des Brustbeins, die positive Elektrode (rot) seitlich am unteren Rippenbogen und die Referenzelektrode (weiß) links unterhalb des Nabels befestigt. Die Atemgurte wurden unter dem Gewand

direkt auf der Haut angelegt, um die Gefahr des Verrutschens während der langen Messdauer entgegenzuwirken, wobei der Gurt für die thorakale Atmung direkt unter der Brust angebracht wurde und der für die abdominale Atmung auf Nabelhöhe.

Anschließend wurde die linke Hand mit den übrigen Sensoren versehen: Der Hautleitwert wurde über zwei Kontakte gemessen, die mit Klettverschlussbändern an den Fingerwurzeln von Zeige- und Ringfinger befestigt waren. Zuletzt wurde am Daumen ein Pulsoxymeter befestigt – eine Sensorklemme, die die Blutmenge in den Kapillargefäßen des Fingers misst (den sogenannten Blutvolumenpuls) und dabei gleichzeitig die Sauerstoffsättigung des Blutes feststellt. Da dieser Sensor mit der Transmission von Licht arbeitet, wurde Nagellack wenn nötig vor der Messung entfernt. Bei keinen der

verwendeten Sensoren kam zusätzliches Leitgel zum Einsatz. Die zeitliche Auflösung, mit der die Daten jeweils aufgenommen wurden sind Tabelle 5.1 zu entnehmen.

Tabelle 5.1: Sampleraten der verwendeten Kanäle

Alle angegebenen Sensoren wurden parallel über Kanäle mit der jeweils angeführten zeitlichen Auflösung erfasst.

Gemessener Sensor	Samplerate
EKG	2048 sps ^a
Atemgurt Brust	32 sps ^a
Atemgurt Bauch	32 sps ^a
Hautleitwert	32 sps ^a
Blutvolumenpuls	128 sps ^a
Sauerstoffsättigung	32 sps ^a

^a Die Einheit sps steht für „samples per second“, also Messwerte pro Sekunde.

Die Daten wurden in drei Blöcken kontinuierlich aufgezeichnet, beginnend mit einer nicht weiter angeleiteten 20-minütigen Liegephase. Darauf folgten 45 Minuten mit sich abwechselnden Phasen entspannten Sitzens und des Ausübens von Atemtechniken, beides in einer aufrechten Sitzhaltung auf einer Yoga-Matte. Beim dritten aufgezeichneten Block handelte es sich um eine weitere 20-minütige Liegephase. Zwischen diesen drei Blöcken kam es jeweils zu einer kurzen Pause für den notwendigen Positionswechsel, während der keine Daten aufgezeichnet wurden. Die Abfolge von Sitz- und Übungsphasen wurde durch die zuvor aufgenommenen Anweisungen einer Yoga Lehrerin angeleitet, die von CD abgespielt wurden, wodurch der gleiche Übungsablauf für alle TeilnehmerInnen gewährleistet ist. Der 45-minütige Block wurde des Weiteren von zwei klar definierten einminütigen Pausen (rote Phasen in Abbildung 5.3) aufgelockert, in denen die TeilnehmerInnen ihre Sitzposition anpassen konnten, um einer etwaigen Verfälschung der Ergebnisse aufgrund einer ungemütlichen und damit eventuell zu Ablenkung führenden Haltung vorzubeugen. Im Anschluss an die Messung wurden alle Freiwilligen gebeten, einen Fragebogen auszufüllen, der zusätzliche Hintergrundinformationen zu ihrer Yoga-Erfahrung und statistische Daten erfasste. Die Daten dieser Fragebögen ermöglichen es, die TeilnehmerInnen zu gruppieren und auf bestimmte Merkmale hin zu untersuchen und miteinander zu vergleichen. Welche Gruppierungen tatsächlich gebildet wurden, ist in Kapitel 7.2 nachzulesen, der Fragebogen selbst liegt der Arbeit als Anhang G bei.

Für die weitere Analyse werden innerhalb der Liege-, Sitz- und Übungsphasen dreiminütige Messintervalle definiert und die entsprechenden Daten extrahiert. Um diese Messintervalle einfach identifizieren zu können, sind sie durch einen Großbuchstaben entsprechend der ausgeführten Tätigkeit gefolgt von einer Ziffer benannt: L – liegend, S –

sitzend, E – ügend (Englisch: exercising). Der genaue Messablaufs ist Abbildung 5.3 zu entnehmen.

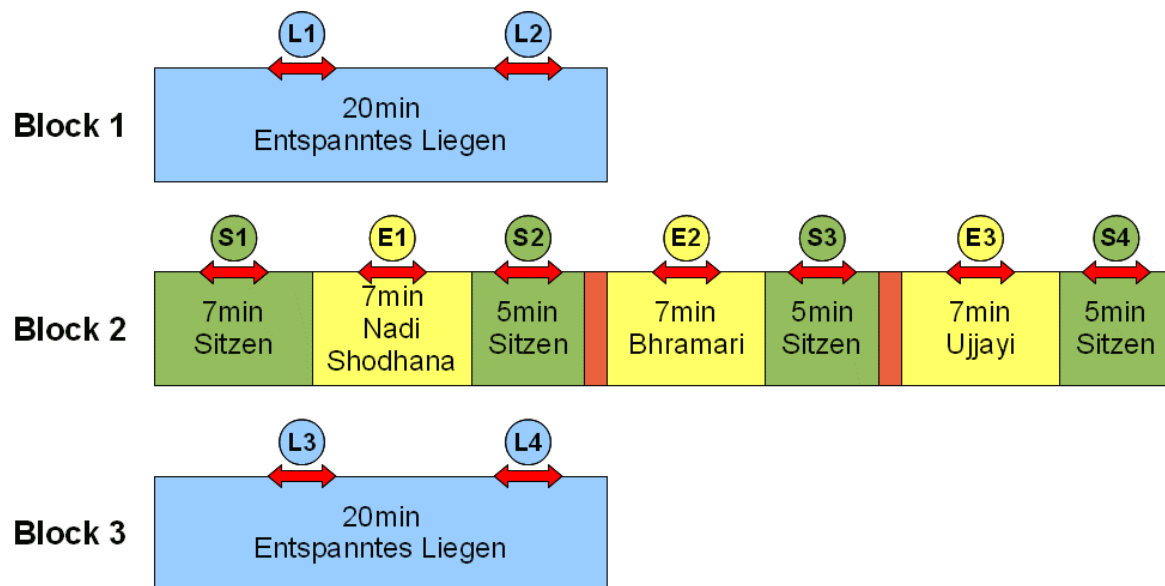


Abbildung 5.3: Messablauf und Definition der Messintervalle

Benennung der Messintervalle: Großbuchstabe (L – liegend, S – sitzend, E – ügend (Englisch: exercising) gefolgt von einer Ziffer. Bei den roten Phasen handelt es sich um einminütige Pausen. Die drei Blöcke wurden getrennt voneinander gemessen und jeweils in einer eigenen Datei abgelegt, weswegen sie auch hier nicht zusammenhängend dargestellt werden.

5.2 Untersuchte Variablen

Von den 32 erfassten Personen mussten im Rahmen der Analyse 8 Datensätze wegen des häufigen Auftretens von Artefakten, die durch Positionswechsel bedingt waren, verworfen werden. In der statistischen Analyse fanden somit die Daten von 24 TeilnehmerInnen Verwendung.

Die Artefakte traten nach Positionswechsel durch einen Bluetooth-Übertragungsfehler zwischen NeXus-10 und Laptop auf, der von der BioTrace-Software nicht abgefangen wurde. Um das tatsächliche Ausmaß des Übertragungsfehlers festzustellen wurden alle Datensätze mit einer eigens dafür programmierten Software manuell durchgesehen und korrigiert. In die Analyse wurden nur solche Datensätze aufgenommen, von denen weniger als 0,5% der Daten beschädigt waren und rekonstruiert werden mussten. Details zu Korrektur und Ausmaß des Schadens sind Anhang D „Datenkorrektur“ zu entnehmen. Für die verwendeten Datensätze hatte dieses Vorgehen allerdings sogar den Vorteil, dass die Daten eine automationsunterstützte, manuelle Artefaktkorrektur durchlaufen haben, weswegen darüber hinaus auch keine weitere automatisierte Artefaktkorrektur zum Einsatz kam.

Da allerdings die Zeitachse durch die Aussetzer bei der Datenübertragung an Verlässlichkeit etwas eingebüßt hat, ist in der HRV Analyse davon abzuraten, Frequency-Domain-Variablen zu verwenden, da sich eine Verschiebung der Zeitachse auf das gesamte Frequenzspektrum auswirkt. Time-Domain-Variablen hingegen verhalten sich stabil und werden durch derartige Fehler in vernachlässigbarem Ausmaß beeinflusst.

Der erste Schritt, um aus den EKG-Daten Informationen zu extrahieren, ist die Berechnung der NN-Zeitreihe innerhalb der extrahierten 3-minütigen Messintervalle. Da es sich im EKG bei den R-Zacken um das markanteste Merkmal handelt, bieten sich diese an um einen Bezugspunkt für die Berechnung der NN-Intervalle zu definieren. Die Daten wurden zunächst automatisiert markiert und dann manuell durchgesehen und gegebenenfalls korrigiert. Im ersten Schritt wurden die Daten mit einem Butterworth-Bandpass-Filter 10.Ordnung in einem Frequenzbereich von 4 Hz bis 50 Hz geglättet. Dieser Filter kam an dieser Stelle deswegen zum Einsatz, weil er sich bereits bei der Bearbeitung der Atemdaten als nützlich erwiesen hat – dazu allerdings an entsprechender Stelle mehr. Nach dem Butterworth-Filter ist das Signal einerseits von Rauschen und

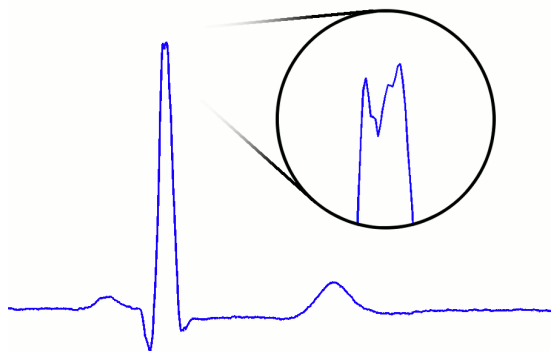


Abbildung 5.4: Doppelspitze einer R-Zacke
Der zeitliche Abstand der beiden Maxima beträgt 7ms.

andererseits von einem eventuellen Trend der Basislinie befreit. Jede Gruppe von Werten, die nun größer als die dreifache Standardabweichung ist, wird als R-Zacke markiert. Da das EKG mit einer zeitlichen Auflösung von 2048 sps sehr detailliert aufgezeichnet wurde, ist in vielen Fällen erkennbar, dass die R-Zacke keine eindeutige Spitze hat, sondern sich vielmehr aus zwei lokalen Maxima zusammensetzt, wie Abbildung 5.4 veranschaulicht. Weil die Spitze der R-Zacke dadurch eine gewisse Breite gewinnt und somit die Gefahr der ungenauen Bestimmung besteht, wurde als

Bezugspunkt jedes Herzzyklus letztlich nicht das Maximum der R-Zacke gewählt, sondern die halbe Höhe der R-Zacke, da der Anstieg der EKG-Kurve dort so groß ist, dass der Zeitpunkt, zu dem gerade die halbe Höhe erreicht ist, zeitlich schärfer definiert ist als das Maximum der R-Zacke.

Nachdem nun der markanteste Punkt jedes Herzschlages markiert wurde, lassen sich in einem weiteren Schritt die zeitlichen Abstände zweier aufeinander folgender R-Zacken ermitteln. Auf Basis der aufeinanderfolgenden Herzzykluslängen NN_i werden die Time-Domain-Variablen P, SDNN und RMSSD – siehe die Gleichungen (3.2), (3.4) und (3.5) – näher betrachtet.

Der Puls P bezeichnet die Anzahl der Herzschläge pro Minute während eines

gegebenen 3-minütigen Messintervalls. SDNN ist – wie bereits in Kapitel 3.2 argumentiert – ein Maß für langsame Fluktuationen und kann somit für kurze Messintervalle als Maß für den Sympathikotonus interpretiert werden. RMSSD, das auf mittlere bis schnelle Fluktuationen stark reagiert, ist hingegen ein Maß für die Aktivität des Parasympathikus. Eine Zusammenfassung aller untersuchten Variablen bietet Tabelle 5.2.

Tabelle 5.2: Benennung und Beschreibung der untersuchten Variablen

Variable	Einheit	Beschreibung
P	min ⁻¹	Anzahl der Herzzyklen pro Minute
SDNN	ms	Standardabweichung der Herzzykluslängen (NN _i)
RMSSD	ms	Quadratwurzel des Mittelwertes der Quadrate aufeinanderfolgender Herzzykluslängen (NN _i)
B	min ⁻¹	Anzahl der Atemzyklen pro Minute
SDBB	s	Standardabweichung der Atemzykluslängen (BB _i)
Q	–	Anzahl der Herzzyklen pro Atemzyklus (P/B)

Die Vorgangsweise bei Gewinnung der Atemvariablen verläuft im Prinzip analog wie im Fall der Herzvariablen. Zunächst gilt es die BB-Zeitreihe zu ermitteln, also die Zeitreihe aufeinanderfolgender Atemzuglängen. Hier kommt ein Zählalgorithmus von Schäfer zum Einsatz, der im direkten Vergleich mit anderen Methoden die besten Ergebnisse geliefert hat [5]. Das Atemsignal – es wird das aufgezeichnete Signal der Brustatmung verwendet – wird mit einem Butterworth-Filter 10.Ordnung im Frequenzbereich von 0.1 Hz bis 0.5 Hz geglättet. Dadurch wird das Atemsignal einerseits trendbereinigt, andererseits werden kleine Fluktuationen, die sonst eventuell fälschlicherweise als kurze Atemzüge gedeutet würden, entfernt. Anschließend werden alle lokalen Minima und Maxima aufgesucht, wobei diese auf der x-Achse Ein- oder Ausatemphasen begrenzen, und sowohl deren horizontale (zeitliche) als auch deren vertikale Differenzen gebildet – also jeweils die Dauer und die Tiefe einer In- oder Expiration. Im nächsten Schritt wird ein Schwellwert ermittelt, um zu definieren, wie tief ein Atemzug betragsmäßig – also unabhängig davon, ob es hierbei ein- oder ausgeatmet wurde – mindestens gewesen sein muss, um auch tatsächlich als Atemzug gezählt zu werden und nicht lediglich als zufällige Fluktuation. Schäfer schlägt als Schwellwert $0.3Q_3$ vor, wobei mit Q_3 das dritte Quartil gemeint ist, also derjenige Wert, der betragsmäßig größer als 75% und kleiner als die übrigen 25% aller Atemzugstiefen ist. Nun werden der Reihe nach all jene Atemzuglängen verworfen, deren zugehörige Atemtiefe betragsmäßig unter der Schwelle von $0.3Q_3$ liegen. Die übrigen Atemzuglängen bilden die BB-Zeitreihe.

Die Anzahl B der durchschnittlichen Atemzyklen pro Minute lässt sich dann gemäß der Gleichung (3.6) berechnen, sofern $\langle BB \rangle$, der Mittelwert der einzelnen BB_i, in ms vorliegt. Vergleichbar wie beim Herzschlag wird auch SDBB – die Standardabweichung der Atemzyklen pro Minute – nach Gleichung (3.7) ermittelt und untersucht. Da die Atemzug-

längen um ein Vielfaches stärker variieren als die Herzzykluslängen, ist es sinnvoll SDBB nicht wie SDNN in Millisekunden anzugeben, sondern hier Sekunden als Einheit zu verwenden.

Die Atemsignale von Brust- und Bauchatmung sind nahezu ident, was die Atemzykluslängen betrifft. Daher wurden die Daten der Brustatmung verwendet, um B und SDBB zu bestimmen, während die Daten der Bauchatmung für diese Analyse lediglich der Absicherung der Datenaufnahme dienten – wovon in einem Einzelfall auch Gebrauch gemacht werden musste, da der Atemgurt für die Erfassung der Brustatmung während der Messungen ausfiel. In diesem einen Fall wurden die entsprechenden Variablen aus dem Bauchatmungssignal ermittelt.

Die letzte untersuchte Variable ist der Quotient Q von Puls- und Atemfrequenz, siehe Gleichung (3.8). Dieser gibt an, wie viele Herzschläge durchschnittlich in einen Atemzug fallen.

In der Analyse spielen vorrangig die HRV-Time-Domain-Variablen P, SDNN und RMSSD eine Rolle; vgl. Tabelle 5.2. Da die Atmung bewusst gelenkt wurde, dienen B, SDBB und Q eher Kontrollzwecken. Es handelt sich hierbei – vor allem bei B – streng genommen um unabhängige Variablen, während P, SDNN und RMSSD als abhängige Variablen zu betrachten sind. Dennoch ist es als durchaus interessant einzustufen, auch die Variation dieser unabhängigen Variablen quantitativ nachzuvollziehen.

6 Statistische Analyseverfahren

Die statistische Analyse lässt sich gemäß zweier unterschiedlicher Fragestellungen in zwei Teile gliedern; vgl. dazu Kapitel 1 „Einleitung“:

Fall 1) Messintervall-Vergleiche: Gibt es während des Messablaufs signifikante Effekte für die Gesamtheit der Freiwilligen?

Fall 2) Gruppen-Vergleiche: Unterscheiden sich diverse Gruppierungen von TeilnehmerInnen (z.B.: nach Alter) hinsichtlich der auftretenden Effekte?

Zunächst sollen allgemeine Grundlagen näher ausgeführt werden, die in beiden Fällen Anwendung finden. Die anschließenden beiden Unterkapitel widmen sich dann den statistischen Tests, die jeweils im einzelnen Fall relevant sind.

6.1 Allgemeines zur statistischen Analyse

Beim statistischen Test einer Hypothese wird von einer Nullhypothese ausgegangen, die es zu überprüfen gilt. Das Ergebnis eines Tests ist dabei stets ein p-Wert für den $0 < p \leq 1$ gilt. Dieser Wert (genau genommen $100p$) gibt die prozentuale Wahrscheinlichkeit an, dass die Nullhypothese zutrifft. Wenn der p-Wert eine bestimmte Grenze – das sogenannte Signifikanzniveau α – genau trifft oder unterschreitet ($p \leq \alpha$), so kann die Nullhypothese verworfen werden. Die Wahrscheinlichkeit, sie fälschlicherweise zu verwerfen und somit auch fälschlicherweise die entsprechende Alternativhypothese anzunehmen ist gerade durch α gegeben. Dieser Fehler wird „Fehler 1. Art“ oder auch α -Fehler genannt. Ein „Fehler 2. Art“ bzw. β -Fehler läge dann vor, wenn die Nullhypothese fälschlicherweise beibehalten würde. Da α -Fehler schlicht durch die Wahl des Signifikanzniveaus sehr einfach kontrollierbar sind, β -Fehler hingegen nicht, ist es im Allgemeinen so, dass man die Nullhypothese derart wählt, dass man in weiterer Folge versucht, sie zu verwerfen. So ergibt sich die Alternativhypothese gerade so, dass sie diejenigen Eigenschaften beschreibt, die man statistisch zu belegen sucht. Die Sicherheit, mit der man die Alternativhypothese annehmen kann, hängt vom gewählten Signifikanzniveau ab, woraus auf logische Weise folgt, dass das Ergebnis eines statistischen Tests umso signifikanter eingestuft werden kann, je stärker α unterschritten wird – je kleiner also ein p-Wert ist.

In der vorliegenden Arbeit wurden mehrere Signifikanzniveaus gewählt, sodass durch farbliche Codierung schnell ersichtlich ist, als wie hoch die auftretenden Signifikanzen einzuschätzen sind: $\alpha_1=0.05$ (grün), $\alpha_2=0.01$ (gelb), $\alpha_3=0.001$ (orange). Als signifikant zum Niveau α_1 , α_2 bzw. α_3 wird ein p-Wert jeweils dann erachtet, wenn er kleiner oder gleich dem entsprechenden Signifikanzniveau ist. Somit ergeben sich die Signifikanzstufen $0.05 < p \leq 1$, $0.01 < p \leq 0.05$, $0.001 < p \leq 0.01$ sowie $p \leq 0.001$.

Die beiden Nullhypothesen für Fall 1 und 2 sind so formuliert, dass unerheblich ist, ob

eine untersuchte Variable bei der zweiten Stichprobe einen höheren oder niedrigeren Wert als bei der ersten Stichprobe annimmt, da generell nach Unterschieden gesucht wird. Von daher sind die angewandten Tests im Allgemeinen als zweiseitige Tests zu verstehen.

6.1.1 Die Wahl von nicht-parametrischen Methoden

Bevor im nächsten Schritt die Auswahl der anzuwendenden statistischen Tests stattfinden kann, ist die grundlegende Frage zu klären, ob die Analyse mit parametrischen oder nicht-parametrischen Methoden – also solchen, die keine vorgegebene Verteilung der Messdaten zugrunde legen – durchgeführt werden soll. Schon die verhältnismäßig kleine Anzahl von 24 TeilnehmerInnen legt eher die Verwendung von nicht-parametrischen Tests nahe. Der Test auf Normalverteilung der Daten stellt eine weitere Entscheidungshilfe in dieser Frage dar. Für kleine Stichproben wird von Bortz [27] in diesem Fall der Kolmogoroff-Smirnov-Anpassungstest (KSA-Test) mit Lilliefors-Schranken empfohlen. Den Ergebnissen dieses Tests nach zu urteilen – zu finden gleich eingangs in Kapitel 7 – liegt bei einem Signifikanzniveau von $\alpha=0.05$ für die Hälfte der untersuchten Variablen keine Normalverteilung vor, vgl. Tabelle 7.1. Um für alle Variablen mit den gleichen Tests arbeiten zu können, steht damit die Entscheidung zu nicht-parametrischen Analysemethoden fest. Passende statistische Tests wurden von Bortz [28] zusammengefasst, größtenteils in Kapitel 6 seines Buches. Tabelle 6.1 fasst die Auswahl der in der vorliegenden Arbeit zur Anwendung gekommenen Tests zusammen.

Tabelle 6.1: Überblick über die statistischen Methoden

Tests in einer Zeile wurden für die beiden untersuchten Fälle analog verwendet.

Fall 1: Messintervall-Vergleich	Fall 2: Gruppen-Vergleich	Intention
KSA-Test mit Lilliefors-Schranken		Vor Unterscheidung von Fall 1 und 2: Test auf Normalverteilung der Daten
Wilcoxon- Vorzeichenrangtest	Wilcoxon- Rangsummentest	paarweiser Vergleich von Messintervallen/Gruppen
Bonferroni		Korrektur der p-Werte und Ortung der signifikanten Unterschiede zwischen Messintervallen/Gruppen
Signifikanzdiagramme, Watson		Reduktion einer Schar von p-Werten auf einen einzelnen übergeordneten p-Wert
Quade, Friedman	Mittelwertbildung und Rangsummentest	Aussage über die Gesamtsignifikanz
Quade post-hoc (Friedman post-hoc)		post-hoc-Signifikanz der Unterschiede zwischen Messintervallen
	Binomialverteilung	Zählung der p-Werte ≤ 0.05

6.1.2 Bonferroni-Korrektur

Besonders wichtig zu erwähnen ist die Bonferroni-Korrektur, die in der Analyse mehrmals Verwendung findet – nämlich immer dann, wenn viele p-Werte auftreten, da in diesem Fall die obigen Überlegungen nicht mehr ohne Weiteres ihre Gültigkeit behalten. Betrachtet man nur einen einzelnen p-Wert, so gilt $p \leq 0.05$ zum Signifikanzniveau $\alpha = 0.05$ als signifikant. Liegen allerdings mehrere p-Werte vor, ist diese Annahme nicht mehr als richtig einzustufen, da von 100 zufälligen p-Werten typischerweise 5 kleiner als 0.05 sind – ohne hierbei jedoch tatsächlich auf Signifikanz hinzuweisen. Es liegen also unter Umständen p-Werte vor, für die zwar möglicherweise $p \leq \alpha$ gilt, die aber dennoch nicht signifikant sind. Dieser Sachverhalt wird auch als α -Fehler-Kumulierung bezeichnet. Um nun dennoch eine Gesamtaussage über die Signifikanz treffen zu können und somit einer Fehlinterpretation vorzubeugen, beschränkt man sich auf die Untersuchung der kleinsten aufgetretenen p-Werte, wobei entweder das Signifikanzniveau α oder die kleinsten p-Werte entsprechend korrigiert werden müssen. In den meisten Fällen wird eine α -Fehler-Adjustierung vorgenommen. Um aber nicht noch zusätzliche (korrigierte) Signifikanzniveaus einzuführen, erscheint es für die vorliegende Arbeit übersichtlicher, die Korrektur auf Seite der p-Werte durchzuführen. Eine Möglichkeit dies zu bewerkstelligen, ist die sogenannte Bonferroni-Korrektur für N p-Werte p_1, \dots, p_N (vgl. [28], S.51f):

$$p_{i, Bonf} = \min(N p_i, 1) \quad \text{für } i = 1, 2, \dots, N \quad (6.1)$$

Sind die kleinsten auftretenden p-Werte auch nach der Korrektur noch kleiner oder gleich dem gewählten Signifikanzniveau, so kann daraus geschlossen werden, dass mindestens einer der vorliegenden p-Werte signifikant ist.

Während diese Korrektur streng genommen nur für den kleinsten p-Wert sinnvoll und *mathematisch korrekt* ist, kann es sich in der Praxis zwecks einer groben Abschätzung durchaus bewähren, die Korrektur auf die Gesamtheit der p-Werte auszudehnen, um in einer ersten Näherung einzuschätzen, welche der anderen p-Werte signifikant sein könnten. Diese Methode fußt auf der Grundannahme, dass die N p-Werte unabhängig voneinander sind. In den meisten Fällen – so auch in der vorliegenden Arbeit – ist diese Unabhängigkeit nur bedingt gegeben, weswegen die Bonferroni-Korrektur zu restriktiv ist. Das bedeutet allerdings gleichzeitig, dass p-Werte, die selbst nach dieser zu gut gemeinten Korrektur noch als signifikant auftreten, umso gesicherter sind.

6.1.3 Einschätzung der Metasignifikanz

Um die Signifikanz einer Schar von p-Werten einzuschätzen und sogar zu einem einzigen übergeordneten p-Wert zusammenzufassen, ist Watsons U^2 -Test [29][30]. Dieser Test nutzt die Tatsache, dass p-Werte p_i zwischen 0 und 1 gleichverteilt sind, wenn sie durch unabhängige Zufallsdaten zustande kommen. Sortiert man diese p-Werte $p_{(i)}$ in

aufsteigender Reihenfolge, so ist zu erwarten, dass sie auf einer Geraden liegen – bei entsprechender Normierung handelt es sich dabei um die Mediane, vgl. Abbildungen 7.2a-f als Überblick. Abbildungen dieser Art, in der sortierte p-Werte aufgetragen werden um sie mit der Diagonale zu vergleichen, werden in der vorliegenden Arbeit als „Signifikanzdiagramme“ bezeichnet, da sie Aufschluss darüber geben, ob die Schar der p-Werte im Gesamtbild signifikant von der Mediane – also der Gleichverteilung – abweichen. Rein optisch lässt sich auf diesem Wege bereits die Metasignifikanz eines Satzes von p-Werten einschätzen. Mathematisch quantifizieren lässt sich diese Einschätzung durch Watsons U^2 , das als Maß für diese Abweichung von einer zur Mediane parallelen Geraden, die durch den arithmetischen Mittelwert $\langle p \rangle$ aller p-Werte geht, herangezogen wird.

$$U^2 = \frac{1}{12N} + \sum_i \left[p_{(i)} - \frac{2i-1}{2N} - \left(\langle p \rangle - \frac{1}{2} \right) \right]^2 \quad (6.2)$$

mit $i = 1, \dots, N$ sortierte p-Werte: $p_{(j)} \leq p_{(k)}$ für $j < k$

Der Term in den runden Klammern beschreibt hierbei die Parallelverschiebung der Gerade durch $\langle p \rangle$. Ohne diesen Term – bzw. falls $\langle p \rangle = 0.5$ gilt – reduziert sich die Gleichung auf die Berechnung der Abweichung der $p_{(i)}$ von der Mediane. Gleichung (6.2) gilt für $N \geq 20$. Wenn N zwischen 5 und 20 liegt, liefert die folgende Modifikation gute Näherungswerte:

$$U_{mod}^2 = \left(U^2 - \frac{0.1}{N} + \frac{0.1}{N^2} \right) \left(1 + \frac{0.8}{N} \right) \quad (6.3)$$

Anhand dieses Wertes lässt sich die Abweichung von einer Gleichverteilung statistisch bewerten und als einzelner p-Wert p_{Watson} ausdrücken. Als hervorragende Näherung gilt:

$$p_{\text{Watson}} = 2(\varepsilon - \varepsilon^4) \quad \text{mit} \quad \varepsilon = e^{-2\pi^2 U_{mod}^2} \quad (6.4)$$

Es ist wichtig anzumerken, dass dem Ansatz einer Einschätzung nach Watson wie auch schon der Bonferroni-Korrektur die Annahme der Unabhängigkeit aller p-Werte zugrunde liegt. Wenn die N Tests, aus denen die p-Werte ursprünglich resultierten, nicht unabhängig sind, ist das resultierende p_{Watson} zu niedrig. Je stärker die Abhängigkeiten zwischen den p-Werten, desto stärker ist auch die Abweichung der sortierten p-Werte von der Diagonale, wie schnell klar wird, wenn man sich vorstellt, alle p-Werte wären gleich – der extremste Fall von Abhängigkeit. Abhängigkeiten werden also als zusätzliche Abweichungen von der Diagonalen gewertet und resultieren somit in einem niedrigeren p_{Watson} . Die Signifikanz wird also überschätzt – im Gegensatz zur Bonferroni-Korrektur, die bei Abhängigkeiten zu höheren $p_{i,\text{Bonf}}$ führt und damit die Signifikanzen unterschätzt.

Im Folgenden soll auf die statistischen Tests näher eingegangen werden, die spezifisch in Fall 1 bzw. Fall 2 Verwendung finden.

6.2 Fall 1: Messintervall-Vergleich

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, lautet die Nullhypothese für den Vergleich der Messintervalle: „Die Verteilungen der betrachteten Variablen unterscheiden sich für keine zwei Messintervalle voneinander.“

6.2.1 Wilcoxon's Vorzeichenrangtest

Bevor die Änderung einer Variable für Verlauf einer gesamten Messung untersucht wird, werden alle 11 Messintervalle (L1, L2, S1, E1, ..., L4; vgl. Abbildung 5.3) für die Gesamtheit aller ProbandInnen unter Verwendung von Wilcoxon's Vorzeichenrangtest (vgl. [28], S.259ff) paarweise miteinander verglichen. Es handelt sich hierbei um einen nicht-parametrischen Test, mit dem Unterschiede zwischen zwei abhängigen bzw. paarigen Stichproben untersucht werden können. Der Vorzeichenrangtest ist außerdem in diesem Fall dem einfacheren Vorzeichentest (vgl. [28], S.256ff) vorzuziehen, da nicht nur die Richtung der Veränderung einer Variable bekannt ist, sondern auch der tatsächliche Wert, um den sich eine Variable von einem Messintervall zum nächsten geändert hat. Bei beiden Tests werden zunächst für alle P ProbandInnen die Differenzen D_a einer Variable zwischen den zwei zu vergleichenden Messintervallen gebildet.

$$D_a = V_{a,j} - V_{a,i} \quad \text{für zwei Messintervalle } i, j; \quad a = 1, \dots, P \quad (6.5)$$

Der Vorzeichentest ignoriert im nächsten Schritt die Größe der Differenzen und beschränkt sich auf die Anzahl der Werte mit positivem und negativem Vorzeichen. Die kleinere der beiden Anzahlen. Die Auftretswahrscheinlichkeit einer bestimmten Anzahl lässt sich mit Hilfe der Binomialverteilung berechnen, die an späterer Stelle in anderem Zusammenhang noch Erwähnung in der vorliegenden Arbeit findet, siehe Gleichung (6.16). Bei der Wahrscheinlichkeit die aufgetretene oder eine niedrigere Anzahl an Vorzeichen zu erhalten handelt es sich letztlich um den p-Wert, mit dessen Hilfe die Signifikanz des Ergebnisses eingeschätzt werden kann.

Der Vorzeichentest kommt in der vorliegenden Arbeit nicht zur Anwendung, da der Vorzeichenrangtest diesem bei erfüllten Voraussetzungen überlegen ist: Dieser wertet nicht nur die Vorzeichen, sondern auch die tatsächliche Größe der Differenzen: Den Differenzen D_a werden dem Absolutbetrag nach Rangwerte von 1 bis P zugewiesen. Anschließend werden alle Rangwerte der positiven Differenzen D_a zu T_+ aufsummiert und alle Rangwerte der negativen D_a zu T_- . Als Prüfgröße T wird nun der kleinere der beiden Werte betrachtet.

$$T = \min(T_+, T_-) \quad (6.6)$$

Um in weiterer Folge abzuschätzen, wie wahrscheinlich es ist, dass gerade dieser oder ein noch extremerer T-Wert auftritt, werden alle möglichen 2^P Vorzeichen-Kombinationen der D_a durchgespielt und jeweils das entsprechende T' berechnet. So lässt sich

letztendlich durch Zählen der verschiedenen Möglichkeiten ein p-Wert als die Wahrscheinlichkeit ausdrücken, einen Wert T' zu finden, für den $T' \leq T$ gilt – dem entspricht beim Vorzeichentest die Wahrscheinlichkeit, dass die gleiche oder eine kleinere Anzahl an Vorzeichen auftritt. Bezeichnet man die Anzahl aller $T' \leq T$ mit $N_{T' \leq T}$, so ergibt sich diese Wahrscheinlichkeit beim Vorzeichenrangtest zu

$$p = \frac{N_{T' \leq T}}{2^P} \quad (6.7)$$

Wilcoxons Vorzeichenrangtest liefert für jeden Messintervall-Vergleich einen p-Wert, was insgesamt zu einem Satz von $11 \times 10 / 2 = 55$ p-Werten führt. Da hier nun viele p-Werte vorliegen, ist vor der Bewertung der Signifikanzen die bereits diskutierte Bonferroni-Korrektur anzuwenden.

6.2.2 Analyse wiederholter Messungen nach Quade und Friedman

Andere statistische Tests sind direkt für die Analyse wiederholter Messungen ausgelegt, sodass ein solcher Test mit einem einzigen p-Wert als Ergebnis eine Gesamtaussage über alle 11 Messintervalle trifft. Zwei derartige Tests sind der Quade-Test und der Friedman-Test, wobei es sich bei diesen beiden um Anpassungen von Wilcoxons Vorzeichenrangtests bzw. des Vorzeichentests für wiederholte Messungen handelt. Während der Friedman Test den Vorteil hat, dass seine Voraussetzungen an die Messdaten bezüglich Skalenniveau geringer sind, hat wiederum der Quade-Test gegenüber dem Friedman-Test den Vorteil, dass er auch unterschiedliche Spannweiten der Daten in die Analyse miteinfließen lässt – analog dazu, dass der Vorzeichenrangtest auch tatsächliche Differenzen betrachtet und nicht nur Richtungen in Form eines Vorzeichens. Daher ist für Quades Test auch die Bezeichnung „Spannweitentest“ gebräuchlich [27]. Das ist letztendlich auch der Grund, weswegen er in der vorliegenden Arbeit auch vorrangig Anwendung findet, während der Friedman-Test quasi zu Kontrollzwecken mitläuft. Es lässt sich allerdings nicht generell behaupten, dass einer der Tests im Allgemeinen besser wäre als der andere. Je nach Stichprobengröße und Anwendungsfall ist es sinnvoll individuell zu entscheiden, welcher der beiden Tests Verwendung finden soll.

In den Grundzügen funktionieren beide Tests recht ähnlich. Bei den zu prüfenden Daten handelt es sich in diesem Fall um eine Matrix aller Messwerte zu einer Variablen, wobei jede Zeile die Werte einer der P Personen und jede Spalte die Werte eines der M Messintervalle abbildet. Im Fall des Vorzeichenrangtests bzw. des Vorzeichentests wäre an dieser Stelle $M=2$. Zunächst werden zeilenweise – also für alle TeilnehmerInnen – die Werte durch Rangzahlen von 1 bis M ersetzt. Im Falle des Friedman-Tests, der in seiner Berechnung weniger komplex als der Quade-Test ist und daher zuerst erklärt werden soll, werden die Ränge nun spaltenweise aufaddiert und im Endeffekt die Spaltensummen T_j

miteinander verglichen. Je größer die Übereinstimmung der Rangverteilungen jeder Zeile ist, desto unterschiedlicher werden im Endeffekt diese Spaltensummen ausfallen. Über die Summe der Abweichungen der Spaltensummen von ihrem Erwartungswert kann also letztendlich die Signifikanz dieser Abweichungen eingeschätzt werden. Addiert man alle Rangzahlen aller Zeilen, so erhält man als Summe

$$\sum_{j=1}^M T_j = P \frac{M(M+1)}{2} \quad (6.8)$$

Um den Erwartungswert $E(T_j)$ für eine Spalte im gleichverteilten Fall zu bestimmen, ist also nur Gleichung (6.8) durch die Anzahl der Spalten M zu dividieren.

$$E(T_j) = \frac{P(M+1)}{2} \quad (6.9)$$

Als Prüfgröße S des Friedman-Tests wird letztendlich die Summe der Abweichungsquadrate der Spaltensummen vom Erwartungswert herangezogen.

$$S = \sum_{j=1}^M \left[T_j - \frac{P(M+1)}{2} \right]^2 \quad (6.10)$$

Für die Verteilung der Rangzahlen gibt es $(M!)^P$ verschiedene Möglichkeiten der Anordnung. Um den exakten Friedmann-Test durchzuführen, wird für jede dieser Verteilungen das zugehörige S ermittelt. Der p -Wert ergibt sich – wie auch schon beim Vorzeichenrangtest – durch Zählen derjenigen S' , die mindestens so extreme Werte annehmen wie das vorliegende S .

$$p = \frac{N_{S' \geq S}}{(M!)^P} \quad (6.11)$$

Sobald die Messwerte zeilenweise durch ihre Rangzahlen ersetzt werden, geht Information darüber verloren, ob die Werte einzelner Individuen eventuell stärker streuen als die anderer. Diese Information wird wiederum im Quade-Test berücksichtigt, indem die Spannweite (= größter Wert – kleinster Wert) jeder Zeile berechnet und auch hierfür zeilenweise ein Rang Q_i vergeben wird. Es wird nun von jedem Rangplatz der mittlere Rang $(M+1)/2$ subtrahiert, sodass sämtliche Ränge um 0 zentriert sind und anschließend jede Zeile mit ihrem entsprechenden Spannweitenrang Q_i multipliziert. So ergibt sich aus den ursprünglichen Rängen R_{ij} die für den Quade-Test relevante Matrix T_{ij} mit den Werten

$$T_{ij} = Q_i \left(R_{ij} - \frac{M+1}{2} \right) \quad (6.12)$$

Wie auch beim Friedman-Test werden nun wieder die Spaltensummen T_j gebildet. Gemäß Bortz² lässt sich daraus die Prüfgröße S_Q ermitteln, wobei P für die Anzahl der

² vgl. [28], Gleichung (6.81) – Die Benennung der Variablen wurde in der vorliegenden Arbeit des besseren Verständnisses wegen angepasst.

ProbandInnen und M für die Anzahl der Messintervalle steht:

$$S_Q = \frac{\frac{P-1}{P} \sum_{j=1}^M T_j^2}{\sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^M T_{ij}^2 - \frac{1}{P} \sum_{j=1}^M T_j^2} \quad (6.13)$$

Diese Prüfgröße folgt näherungsweise einer F-Statistik mit M-1 Zählerfreiheitsgraden und (P-1)(M-1) Nennerfreiheitsgraden. Das aus dem Vergleich mit der F-Statistik resultierende p_{Quade} ersetzt hierbei den kompletten Satz von 55 p-Werten, wie sie beim Vorzeichenrangtest aufgetreten sind – wobei $p_{\text{Quade}} \leq 0.05$ bedeutet, dass sich die betrachtete Variable im Verlauf der Messintervalle signifikant geändert hat.

6.2.3 Post-hoc Analyse

Für den Fall, dass p_{Quade} Signifikanz bezüglich α anzeigt, wird eine post-hoc Analyse durchgeführt, die wiederum in einem paarweisen Vergleich der Messintervalle besteht, allerdings direkt auf den T_{ij} , die im Zuge des Quade-Tests ermittelt wurden, aufbaut. Damit fließt auch bereits das Wissen ein, dass es sich um wiederholte Messungen handelt. Die Entscheidung, ob sich zwei Messintervalle in den Grundtendenzen zu einem bestimmten α -Niveau signifikant unterscheiden, wird über die Differenz der zwei entsprechenden Spaltensummen T_k und T_l getroffen. Bortz empfiehlt hierbei einen von Conover [31] vorgeschlagenen kritischen Wert (vgl. [28], S.275ff):

$$\Delta_{T(\text{crit})} = t_{[(P-1)(M-1); \alpha/2]} \sqrt{\frac{2P \left(\sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^M T_{ij}^2 - \frac{1}{P} \sum_{j=1}^M T_j^2 \right)}{(P-1)(M-1)}} \quad (6.14)$$

Hierbei steht t für die t-Verteilung mit (P-1)(M-1) Freiheitsgraden zu dem bereits für den Quade-Test gewählten Signifikanzniveau α . Falls für die Differenz zweier Spaltensummen $|T_k - T_l| \geq \Delta_{T(\text{crit})}$ gilt, so ist der Unterschied zwischen den entsprechenden Messintervallen zum gewählten α -Niveau als signifikant einzustufen. Eine weitere Korrektur ist in diesem Fall nicht notwendig.

Es kann durchaus vorkommen, dass die post-hoc-Analyse nach Quade die signifikanten Unterschiede bei anderen Messintervall-Vergleichen lokalisiert als dies bei der Analyse durch paarweise Anwendung des Vorzeichenrangtest mit anschließender Bonferroni-Korrektur nahegelegt wird. Zu Vergleichszwecken wird diese Vorgangsweise auch mit dem Friedman-Test wiederholt und das resultierende p_{Friedman} angeführt – allerdings ohne die zugehörige post-hoc Analyse, auf deren Theorie hier nicht näher eingegangen werden soll, da der Friedman-Test in der vorliegenden Arbeit eine untergeordnete Rolle spielt. Die Ergebnisse unterscheiden sich nicht wesentlich von der post-hoc-Analyse nach Quade.

Eine weitere Möglichkeit auf einen einzigen p-Wert zu schließen – allerdings nicht direkt durch nur einen Test, sondern durch Zusammenfassung der p-Werte aus den Vorzeichenrangtests –, ist Watson's U²-Test, der bereits in Kapitel 6.1 näher beschrieben wurde. Die Ergebnisse von Quade, Friedman und Watson werden abschließend verglichen.

6.3 Fall 2: Gruppen-Vergleich

Für den Vergleich von Gruppen lautet die Nullhypothese, wie bereits eingangs in der Einleitung vorgestellt: „Die Verteilungen der betrachteten Variablen unterscheiden sich in keinem Messintervall zwischen bestimmten Gruppen“.

6.3.1 Wilcoxon's Rangsummentest

Die Vorgehensweise für Fall 2 verläuft gewissermaßen analog zu Fall 1, allerdings müssen teilweise andere Tests herangezogen werden, um der geänderten Fragestellung Rechnung zu tragen. Bei den Messintervall-Vergleichen sind die verglichenen Grundgesamtheiten stets gleich groß, da jedes Messintervall immer die gleiche Anzahl an TeilnehmerInnen umfasst – nämlich alle 24. Somit ist es möglich, paarige Tests zu verwenden. Bei den Gruppen-Vergleichen hingegen werden die ProbandInnen je nach Fragestellung in zwei bis drei Untergruppen aufgeteilt, die oft unterschiedlich groß sind. Das macht die Verwendung von unpaarigen Tests notwendig. In den präsentierten Ergebnissen in Kapitel 7.2 (S.68ff) wird die mittlere Gruppe – so es eine gibt – zunächst vernachlässigt, da zwischen der ersten und dritten Gruppe im Allgemeinen deutlichere Ergebnisse zu erwarten sind. Auf alle Gruppen erweiterte Auswertungen sind im Anhang C „Ergebnistabellen für Gruppen-Vergleiche“ (S.93ff) nachzulesen. Um die Gruppen der TeilnehmerInnen paarweise miteinander zu vergleichen wird Wilcoxon's Rangsummentest – ein algebraisches Äquivalent zum Mann-Whitney U-Test (vgl. [27], S.140ff) – verwendet, der für unpaarige Stichproben geeignet ist – insbesondere, wenn es sich um kleine Stichproben handelt, wie im vorliegenden Fall.

Die Größen der zu vergleichenden Gruppen, die ja nicht notwendigerweise gleich sind, werden in weiterer Folge mit G_1 und G_2 bezeichnet. Zunächst werden den Messwerten beider Populationen gemeinsam Ränge von 1 bis G_1+G_2 zugeordnet. Im nächsten Schritt werden die so gefundenen Ränge der beiden Gruppen jeweils zu gruppenspezifischen Rangsummen T_1 bzw. T_2 aufaddiert. Um nun neben der Rangsumme auch die Populationsgröße in der Statistik zu berücksichtigen werden sogenannte U-Werte errechnet:

$$U_1 = G_1 G_2 + \frac{G_1(G_1+1)}{2} - T_1 \quad \text{bzw.} \quad U_2 = G_1 G_2 + \frac{G_2(G_2+1)}{2} - T_2 \quad (6.15)$$

Der kleinere der beiden Werte wird dann letztlich als Prüfgröße U herangezogen, um einen p -Wert zu ermitteln. Wie dabei verfahren wird, hängt von der Gruppengröße ab, da das Bestimmen der exakten Überschreitungswahrscheinlichkeiten, wie dies bereits beim Vorzeichenrangtest näher ausgeführt wurde, für größere Gruppen sehr aufwändig ist. So gibt es tabellierte kritische Werte für U in Abhängigkeit des α -Niveaus, bei deren Unterschreiten Signifikanz vorliegt. Dieses Vorgehen ist vergleichbar mit der post-hoc-Analyse des Quade-Tests, wobei der kritische Wert dort nicht nachgeschlagen, sondern errechnet wurde. Für große Gruppen lässt sich der p -Wert näherungsweise bestimmen, da U unter Geltung der Nullhypothese asymptotisch einer Normalverteilung folgt.

6.3.2 Binomialverteilung schätzt Anzahl signifikanter p -Werte

Dieser Vergleich wird beim Gruppen-Vergleich für jedes Messintervall und alle Variablen vorgenommen. Da sich daraus eine Fülle von p -Werten ergibt, gilt es eine passende Methode zu wählen, um diejenigen Gruppen zu identifizieren, die signifikante Unterschiede aufweisen. Eine simple Methode ist das Zählen der p -Werte $\leq \alpha$. Unter der Annahme, dass die p -Werte zufällig und gleichverteilt zwischen 0 und 1 liegen, lässt sich über die Binomialverteilung gut abschätzen, wie viele p -Werte $\leq \alpha$ zu erwarten sind. Allgemein beschreibt die Binomialverteilung [32] die Wahrscheinlichkeit bei n Versuchen k Erfolge verzeichnen zu können, wenn die Erfolgswahrscheinlichkeit eines Einzelereignisses als w bekannt ist.

$$P_{n,w}(k) = \binom{n}{k} w^k (1-w)^{n-k} \quad (6.16)$$

Erwartungswert und Standardabweichung der Binomialverteilung sind gegeben als

$$\mu = n w \quad \sigma = \sqrt{n w (1-w)} \quad (6.17)$$

Die Wahrscheinlichkeit dass ein p -Wert gerade so ausfällt, dass $p \leq \alpha$ gilt, beträgt gerade α . Wenn man also N gleichverteilte p -Werte vorliegen hat, so ist im zufälligen Fall mit

$$N \alpha \pm \sqrt{N \alpha (1-\alpha)} \quad (6.18)$$

p -Werten $\leq \alpha$ zu rechnen. Nach dem Vorbild des Vorzeichentests in Kapitel 6.2.1, bei dem die Auftretswahrscheinlichkeit einer gewissen Anzahl an Vorzeichen mit Hilfe der Binomialverteilung ermittelt wird, lässt sich auch hier die kumulative Wahrscheinlichkeit ermitteln, eine bestimmte oder extremere Anzahl signifikanter p -Werte zu erhalten. Bei der berechneten Wahrscheinlichkeit handelt es sich gerade um den übergeordneten p -Wert. Die entsprechende Übersetzung der Anzahlen in übergeordnete p -Werte ist Tabelle 7.7 zu entnehmen.

Bei den Gruppen-Vergleichen, die nach dieser Zählung die höchste Anzahl signifikanter p -Werte aufweisen, werden mit Hilfe der Bonferroni-Korrektur die tatsächlichen

Signifikanzen ermittelt.

6.3.3 Rangsummentest für personenspezifische Variablen-Mittelwerte

Analog zum Quade-Test soll auch in Fall 2 eine Testmethodik zum Einsatz kommen, die berücksichtigt, dass es sich um wiederholte Messungen handelt, und auf diese Art die auftretenden p-Werte in ihrer Anzahl reduziert. Hierzu werden die Variablen für jede Person über alle Messintervalle gemittelt. Der arithmetische Mittelwert wird quasi als neue Variable betrachtet – das „Niveau“ der ursprünglichen Variable für die entsprechende Person, ein personenspezifischer Mittelwert. Diese Niveaus werden dann wieder für die gebildeten Gruppen unter erneuter Anwendung des Rangsummentests miteinander verglichen. Durch die Zusammenfassung aller 11 Messintervalle zu ihrem Mittelwert ist auch das Ergebnis pro Gruppenvergleich ein einzelner p-Wert.

Abschließend werden erneut Signifikanzdiagramme untersucht und Watsons U^2 -Test angewandt.

6.4 Umsetzung der statistischen Tests

Zur Umsetzung der statistischen Tests wurde die „Statistic Toolbox“ von Matlab (Version 6.5) verwendet. Der Quade-Test sowie Watsons U^2 -Test sind beide nicht standardmäßig in Matlab enthalten. Während Quades Test inklusive der entsprechenden post-hoc Analyse vom „Matlab File Exchange Server“ heruntergeladen [33] und für die Auswertungen für die vorliegende Arbeit adaptiert wurde, wurde Watsons U^2 -Test extra für diese Arbeit als Matlab-Funktion programmiert. Tabelle 6.2 bietet einen Überblick über die für die statistische Analyse verwendeten Matlab-Funktionen.

Tabelle 6.2: Verwendete Matlab-Funktionen

Auflistung der verwendeten statistischen Tests und deren Umsetzung in Matlab.

Statistischer Test	Standardmäßige Matlab-Funktion
KSA-Test mit Lilliefors-Schranken	lillietest
Wilcoxon-Vorzeichenrangtest	signrank
Wilcoxon-Rangsummentest	ranksum
Friedman-Test	friedman

7 Ergebnisse und Diskussion

Um die Entscheidung fällen zu können, ob parametrische oder nicht-parametrische Methoden zur Anwendung kommen sollen, müssen die Daten auf Normalverteilung getestet werden. Die Ergebnisse dieses Tests für alle ProbandInnen zu jedem Messintervall und jeder Variable sind in Tabelle 7.1 gesammelt dargestellt, wobei 1 bedeutet, dass die Daten zum Signifikanzniveau $\alpha = 0.05$ als nicht normalverteilt gelten. Die Aussage ist deutlich: Für drei der sechs Variablen (SDNN, RMSSD und B) kann nicht davon ausgegangen werden, dass eine Normalverteilung vorliegt, weswegen es die sicherere Herangehensweise ist, für die weitere Auswertung Methoden der nicht-parametrischen Statistik heranzuziehen.

Tabelle 7.1: Test der Variablen auf Gauss-Verteilung

Ergebnisse des KSA-Tests mit Lilliefors-Schranken: 0 – Daten sind normalverteilt, 1 – Daten sind nicht normalverteilt. Getestet wurde auf die Nullhypothese normalverteilter Daten zum Signifikanzniveau $\alpha = 0.05$.

	L1	L2	S1	E1	S2	E2	S3	E3	S4	L3	L4
P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SDNN	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1
RMSSD	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
B	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0
SDBB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

7.1 Fall 1: Messintervall-Vergleich

In Abbildung 7.1 ist der Verlauf des Pulses P für alle TeilnehmerInnen ersichtlich. Man erkennt schnell, dass der Puls in den Liegephasen zu Beginn und zu Ende der Messung im Allgemeinen niedriger ausfiel. Auch kann man ablesen, dass P in der letzten Liegephase niedriger war als in der ersten. Für andere Variablen ist dieser Trend nicht immer so deutlich, wie sich in Tabelle 7.2 ablesen lässt. Diese fasst Mittelwerte und Standardabweichungen der untersuchten Variablen in jedem Messintervall zusammen, sodass Effekte auch quantitativ eingeschätzt werden können. Weitere Verlaufsgrafiken sind Anhang B „Verlaufskurven der untersuchten Variablen“ zu entnehmen.

In weiterer Folge werden die Ergebnisse der Messintervall-Vergleiche diskutiert. Sich als signifikant erweisende Unterschiede zwischen Messintervallen können dann unter Zuhilfenahme von Tabelle 7.2 auch hinsichtlich der tatsächlichen Höhe einer Änderung quantifiziert werden.

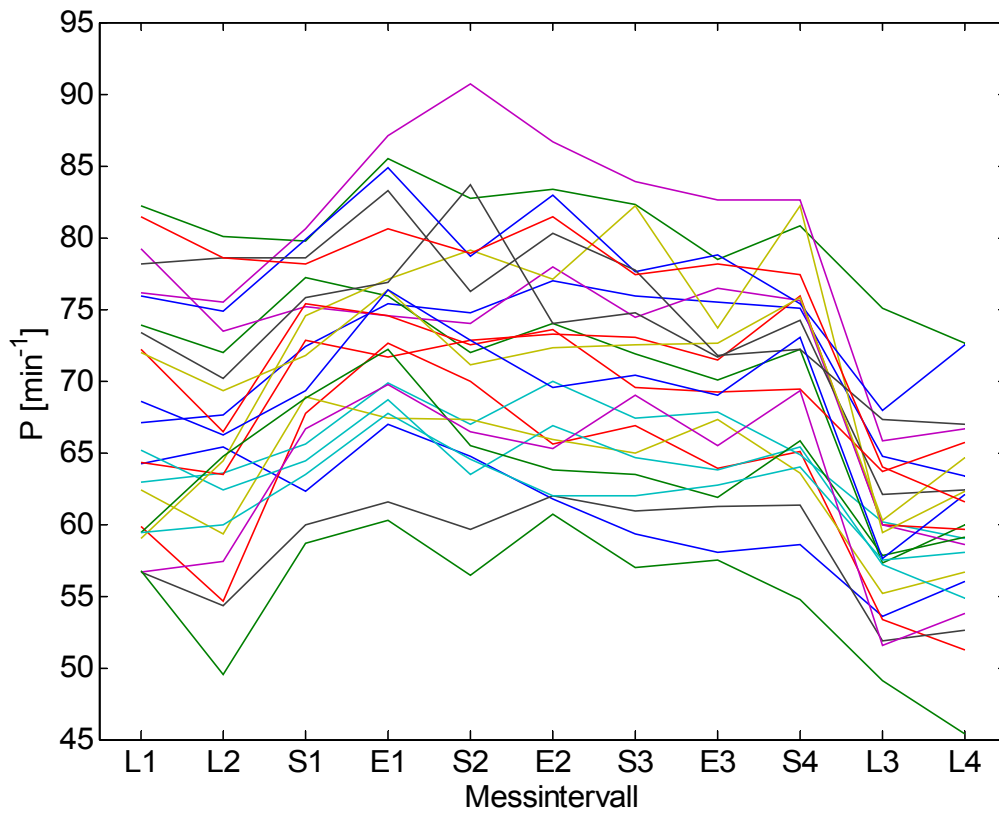


Abbildung 7.1: Verlaufskurven für Variable P

Jede Kurve steht für eine Person und zeigt die jeweilige Entwicklung des durchschnittlichen Pulses im Verlauf der Messintervalle.

Tabelle 7.2: Werte der Variablen in jedem Messintervall

Mittelwerte und Standardabweichungen für die Gesamtheit aller 24 ProbandInnen in jedem 3-minütigen Messintervall.

	L1	L2	S1	E1	S2	E2	S3	E3	S4	L1	L2
P [min ⁻¹]	67.8 ± 8.4	66.3 ± 8.1	71.1 ± 6.6	74.0 ± 7.0	71.9 ± 8.0	71.9 ± 7.8	70.8 ± 7.5	69.5 ± 6.8	70.6 ± 7.4	59.7 ± 6.0	60.2 ± 6.4
SDNN [ms]	57.3 ± 26.7	60.0 ± 32.4	77.6 ± 28.7	73.8 ± 31.8	69.5 ± 35.0	76.8 ± 26.9	68.3 ± 32.9	81.7 ± 33.3	63.9 ± 33.3	65.7 ± 36.6	71.5 ± 34.6
RMSSD [ms]	50.0 ± 37.1	55.3 ± 45.7	47.3 ± 31.3	49.2 ± 45.7	51.8 ± 49.5	44.3 ± 30.6	51.2 ± 45.8	50.3 ± 46.3	50.9 ± 45.9	61.6 ± 49.1	64.5 ± 50.1
B [min ⁻¹]	9.1 ± 3.9	10.7 ± 3.7	5.7 ± 0.7	6.0 ± 0.9	6.8 ± 1.8	6.2 ± 0.7	6.8 ± 2.0	6.2 ± 1.1	7.8 ± 2.6	9.4 ± 3.8	10.0 ± 4.2
SDBB [s]	1.7 ± 1.3	1.5 ± 0.9	1.4 ± 0.9	1.8 ± 0.9	1.6 ± 0.7	1.9 ± 0.8	1.5 ± 0.9	1.8 ± 0.9	1.5 ± 0.7	1.5 ± 0.9	1.6 ± 1.2
Q [-]	8.8 ± 3.8	7.1 ± 2.7	12.6 ± 1.5	12.5 ± 1.8	11.1 ± 2.6	11.9 ± 1.9	11.0 ± 2.4	11.5 ± 1.9	9.9 ± 2.9	7.4 ± 2.9	7.1 ± 3.1

Die Ergebnisse des Wilcoxon-Vorzeichenrangtests sind in den Tabellen 7.3a-f für alle sechs Variablen zusammengefasst, die in Tabelle 5.2 erläutert wurden. In der gesamten vorliegenden Arbeit – so auch in den Tabellen – gilt für einzelne Werte die folgende Farbcodierung: orange für $p \leq 0.001$ (höchste Signifikanz), gelb für $0.001 < p \leq 0.01$ und grün für $0.01 < p \leq 0.05$. Wie üblich wird $p \leq 0.05$ als (einzel-)signifikant eingestuft – die betreffenden p-Werte sind, wenn man sie jeweils alleine in Betracht zieht, als signifikant anzusehen. Für eine Aussage über die Gesamtsignifikanz ist eine entsprechende Korrektur, z.B. nach Bonferroni notwendig. Jede der Tabellen 7.3a-f zeigt eine Matrix, deren Zeilen und Spalten anzeigen, welche beiden Messintervalle für die Ergebnisse der betreffenden Zelle verglichen wurden, wobei in jeder Zeile nur jene p-Werte angeführt sind, die sich auf *spätere* Messintervalle beziehen um eine besser Übersichtlichkeit zu gewährleisten. Insgesamt sind alle paarweisen Vergleiche angeführt. Als zusätzliche Information ist am Vorzeichen jedes p-Wertes zu erkennen, ob die untersuchte Variable von einem Messintervall zum später gelegenen angestiegen ist (+) oder gesunken ist (-). Die Zahlen in Fettschrift sind diejenigen, die gemäß Quades post-hoc Analyse als signifikant aufscheinen.

Die Tabellen 7.3a-f zeigen einen eindrucksvollen Unterschied zwischen zwei Gruppen von Variablen: Für P, B und Q=P/B treten sehr viele hochsignifikante Werte (orange) auf, während kein einziger orangefarbener p-Wert für SDNN, RMSSD oder SDBB vorkommt. Das bedeutet, dass sich Variablen, die Varianzen ausdrücken, während des gesamten Messablaufs weitaus weniger ändern als die übrigen. SDNN geht hier quasi einen Mittelweg. Verglichen mit RMSSD und SDBB, sind hier durchaus deutlichere Veränderungen zu bemerken, wenngleich auch nur ein hochsignifikanter p-Wert in Erscheinung tritt. Es lässt sich also schließen, dass Änderungen des sympathischen Tonus, der mit SDNN korreliert ist, deutlicher auftreten als Änderungen des parasympathischen Tonus, der seinerseits mit RMSSD zusammenhängt.

Der nächste Schritt ist, die Gesamtsignifikanz für jede Variable zu ermitteln. Zu diesem Zweck wird zunächst für jede untersuchte Variable Quades F-Statistik ausgewertet. Die resultierenden p-Werte sind in Tabelle 7.4 zusammengefasst, wobei die Farbcodierung ebenso zu verstehen ist, wie in den Tabellen 7.3a-f. Für die Variablen P, SDNN, B und Q ist $p_{\text{Quade}} \leq 0.05$, somit muss die Nullhypothese „keine Veränderungen“ verworfen werden. P, B und Q weisen extrem hohe Signifikanz auf, RMSSD und SDBB sind gar nicht signifikant. Erneut findet sich SDNN zwischen diesen beiden Extremen – das entsprechende p_{Quade} zeigt hohe, aber keine extreme Gesamtsignifikanz an.

7 Ergebnisse und Diskussion

Tabelle 7.3a: Messintervall-Vergleich für Variable P

p-Werte des Wilcoxon-Vorzeichenrangtests für die Messintervalle L1, L2, S1, E1, ..., L4; vgl. Abbildung 5.3. Das Vorzeichen vor dem p-Wert gibt an, ob die Variable (gemittelt über 24 ProbandInnen) von einem Messintervall zu einem späteren steigt (+) oder sinkt (-). Die Farbcodierung erfolgt gemäß der verschiedenen Signifikanzbänder: $0.05 < p \leq 1$, $0.01 < p \leq 0.05$, $0.001 < p \leq 0.01$, $p \leq 0.001$. Falls auch $p_{\text{post-hoc}} \leq 0.05$ gilt, wird der entsprechende Wert fettgedruckt dargestellt.

	L2	S1	E1	S2	E2	S3	E3	S4	L3	L4
L1	-0.1772	+0.0246	+0.0007	+0.0511	+0.0016	+0.0370	+0.13735	+0.07186	-0.0002	-0.0003
L2		+0.0010	+0.0002	+0.0008	+0.0006	+0.0049	+0.0427	+0.0102	-0.0002	-0.0002
S1			+0.0016	+0.54851	+0.16151	-0.60705	-0.03449	-0.44045	-0.0002	-0.0002
E1				-0.0427	-0.0468	-0.0032	-0.0004	-0.0092	-0.0002	-0.0002
S2					+0.66824	-0.19854	-0.00857	-0.13735	-0.0002	-0.0002
E2						-0.02065	-0.0009	-0.11608	-0.0002	-0.0002
S3							-0.02400	-0.73171	-0.0002	-0.0002
E3								+0.07186	-0.0002	-0.0002
S4									-0.0002	-0.0002
L3										+0.29045

Tabelle 7.3b: Messintervall-Vergleich für Variable SDNN

	L2	S1	E1	S2	E2	S3	E3	S4	L3	L4
L1	+0.36057	+0.00137	+0.00558	+0.04250	+0.00203	+0.02227	+0.00061	+0.06746	+0.08648	+0.00788
L2		+0.00468	+0.01640	+0.04250	+0.01013	+0.01193	+0.00468	+0.19854	+0.03967	+0.00609
S1			-0.20870	-0.21923	-0.71032	-0.10960	+0.26516	-0.02400	-0.03700	-0.30368
E1				-0.60705	+0.17024	-0.49289	+0.02781	-0.10340	-0.08648	-0.75330
S2					+0.25310	-0.47505	+0.05933	-0.05558	-0.11608	+0.90901
E2						-0.15313	+0.12995	-0.02990	-0.02781	-0.40735
S3							+0.02584	-0.01772	-0.08648	+0.60705
E3								-0.00296	-0.01293	-0.18875
S4									+0.71032	+0.25310
L3										+0.12287

Tabelle 7.3c: Messintervall-Vergleich für Variable RMSSD

	L2	S1	E1	S2	E2	S3	E3	S4	L3	L4
L1	+0.33133	-0.62717	-0.75330	+0.81920	-0.40735	+0.45757	+0.73171	+0.93169	+0.04867	+0.01013
L2		-0.25310	-0.47505	-0.34575	-0.13735	-0.21923	-0.40735	-0.17932	+0.09749	+0.02400
S1			+0.52963	+0.88640	-0.31731	+0.90901	+0.21923	+0.54851	+0.09185	+0.02781
E1				+0.29045	-0.84148	+0.23014	+0.44045	+0.47505	+0.07186	+0.03212
S2					-0.21923	-0.17024	-0.34575	-0.05558	+0.24143	+0.01516
E2						+0.07649	+0.77510	+0.30368	+0.02584	+0.01400
S3							-0.79707	-0.64757	+0.10340	+0.01914
E3								+0.90901	+0.21923	+0.03967
S4									+0.12287	+0.03967
L3										+0.42371

7.1 Fall 1: Messintervall-Vergleich

Tabelle 7.3d: Messintervall-Vergleich für Variable B

p-Werte des Wilcoxon-Vorzeichenrangtests für die Messintervalle L1, L2, S1, E1, ..., L4; vgl. Abbildung 5.3. Das Vorzeichen vor dem p-Wert gibt an, ob die Variable (gemittelt über 24 ProbandInnen) von einem Messintervall zu einem späteren steigt (+) oder sinkt (-). Die Farbcodierung erfolgt gemäß der verschiedenen Signifikanzbänder: $0.05 < p \leq 1$, $0.01 < p \leq 0.05$, $0.001 < p \leq 0.01$, $p \leq 0.001$. Falls auch $p_{\text{post-hoc}} \leq 0.05$ gilt, wird der entsprechende Wert fettgedruckt dargestellt.

	L2	S1	E1	S2	E2	S3	E3	S4	L3	L4
L1	+0.05203	-0.00246	-0.00511	-0.00857	-0.00609	-0.00325	-0.00184	-0.12995	+0.75330	+0.37577
L2		-0.00004	-0.00003	-0.00013	-0.00004	-0.00014	-0.00002	-0.00296	-0.11608	-0.40735
S1			+0.11608	+0.00558	+0.02065	+0.05933	+0.12995	+0.00044	+0.00010	+0.00023
E1				+0.13735	+0.26516	+0.12287	+0.40735	+0.00857	+0.00061	+0.00036
S2					-0.42371	-1	-0.20870	+0.03449	+0.00558	+0.00113
E2						+0.25310	+0.68916	+0.01100	+0.00040	+0.00044
S3							-0.31731	+0.01772	+0.00203	+0.00102
E3								+0.00391	+0.00113	+0.00040
S4									+0.02990	+0.02400
L3										+0.23014

Tabelle 7.3e: Messintervall-Vergleich für Variable SDBB

	L2	S1	E1	S2	E2	S3	E3	S4	L3	L4
L1	-0.95443	-0.33133	+0.34575	-0.60705	+0.24143	-0.54851	+0.47505	-0.86389	-0.84148	-0.90901
L2		-0.97721	+0.05933	+0.52963	+0.02781	+0.97721	+0.10340	+0.66824	+0.95443	+0.52963
S1			+0.21923	+0.51109	+0.04550	+0.95443	+0.25310	+0.60705	+0.90901	+0.49289
E1				-0.31731	+0.56771	-0.17024	+0.77510	-0.26516	-0.12287	-0.51109
S2					+0.09185	-0.54851	+0.18875	-0.86389	-0.45757	+0.81920
E2						-0.17024	-0.39137	-0.14508	-0.05558	-0.31731
S3							+0.17932	+0.75330	-0.86389	+0.60705
E3								-0.19854	-0.14508	-0.37577
S4									-0.52963	+0.79707
L3										+0.79707

Tabelle 7.3f: Messintervall-Vergleich für Variable Q = P/B

	L2	S1	E1	S2	E2	S3	E3	S4	L3	L4
L1	-0.02065	+0.00102	+0.00067	+0.00427	+0.00113	+0.00296	+0.00152	+0.14508	-0.03212	-0.05558
L2		+0.00003	+0.00002	+0.00004	+0.00002	+0.00006	+0.00002	+0.00203	+0.73171	+0.86389
S1			-0.66824	-0.00724	-0.06329	-0.01400	-0.02400	-0.00055	-0.00002	-0.00004
E1				-0.03212	-0.05933	-0.00932	-0.00788	-0.00184	-0.00003	-0.00003
S2					+0.37577	-0.62717	+0.54851	-0.00788	-0.00003	-0.00009
E2						-0.11608	-0.49289	-0.00427	-0.00002	-0.00002
S3							+0.52963	-0.02584	-0.00002	-0.00002
E3								-0.01516	-0.00006	-0.00006
S4									-0.00223	-0.00083
L3										-0.64757

Basierend auf den Quade-Ergebnissen wurde – ebenfalls zum Signifikanzniveau $\alpha_1=0.05$ – eine post-hoc Analyse durchgeführt, da das p_{Quade} ja nur Aufschluss darüber gibt, ob es insgesamt zu signifikanten Veränderungen einer Variable kam, nicht aber in welchem Messintervall. Jene Paarvergleiche, die post-hoc signifikant sind, sind in den Tabellen 7.3a-f durch Fettschrift hervorgehoben. Wie zu sehen ist, betrifft dies weder weiße noch grüne Zellen (insgesamt $p > 0.01$), allerdings einige gelbe ($0.001 < p \leq 0.01$) und fast alle orangefarbenen ($p \leq 0.001$). Diese Tatsache ist auch mit der Bonferroni-Korrektur – $p_{i,\text{Bonf}}=55p_i$, wie sich aus Gleichung (6.1) für alle 55 p_i -Werte jeder Tabelle ergibt – konsistent, da sich dadurch $p_i \leq 0.001$ (orange) nach $p_{i,\text{Bonf}} \leq 0.055$ verschiebt, was wiederum knapp an der Signifikanzgrenze von $\alpha=0.05$ liegt. Wie bereits in Kapitel 6.1.2 ausgeführt, ist anzumerken, dass diese Herangehensweise streng genommen nicht korrekt ist, da zur Einschätzung der Gesamtsignifikanz lediglich der kleinste auftretende p -Wert nach Bonferroni korrigiert werden darf, um daraus eine Aussage darüber ableiten zu können, ob generell Signifikanz vorliegt. Es sollten also nicht *alle* p -Werte nach Bonferroni korrigiert werden, um auf Basis dieser Korrektur einzelne Signifikanzaussagen zu treffen. Es handelt sich allerdings um eine pragmatische Näherung, die – wie Quades post-hoc-Analyse zeigt – ein recht brauchbares Bild zeichnet. Diese Näherung wird auch weiterhin in der vorliegenden Arbeit verwendet, weswegen an dieser Stelle noch einmal ausdrücklich darauf hingewiesen werden soll, dass es sich dabei nur um ein pragmatisches Werkzeug handelt.

Statt des Quade-Tests lässt sich auch der Friedman-Test einsetzen; siehe Kapitel 6.2. Die entsprechenden p_{Friedman} der 6 untersuchten Variablen können der vorletzten Spalte von Tabelle 7.4 entnommen werden. Die Signifikanz sind mit denen des Quade-Tests vergleichbar. Das gleiche gilt für die post-hoc-Ergebnisse nach dem Friedman-Test, weswegen sie hier nicht extra angeführt sind: Es würde sich ein ähnliches Muster an fettgedruckten p_i s ergeben, wie es in den Tabellen 7.3a-f durch Quades post-hoc-Analyse abgebildet ist.

Aus Tabelle 7.3a geht deutlich hervor, dass der Puls P während der Liegephase nach dem Ausüben der Atemtechniken signifikant niedriger war als in den meisten anderen Messintervallen (in den letzten beiden Spalten L3, L4: $p \leq 0.001$, orange, mit negativem Vorzeichen). Die Ergebnisse der Liegephase vor dem Ausüben der Atemtechniken sind nicht so stark betont (in den ersten beiden Zeilen L1, L2: $p \leq 0.001$ mit positiven Vorzeichen in vielen Fällen).

Auch die Atemfrequenz B und der Puls-Atem-Quotient Q weisen ähnliche Farbmuster auf, siehe dazu die Tabellen 7.3d&f. Führt man sich vor Augen, dass die Atemfrequenz in verschiedenen Messintervallen bewusst unterschiedlich gesteuert wurde, ist es umso eindrucksvoller, dass der Puls P deutlichere Veränderungen zeigt als die Atemfrequenz B selbst. Darüber hinaus gibt es kaum signifikanten Unterschiede – im speziellen keine $p \leq 0.001$ (orange) zwischen den drei Messintervallen mit Atemtechniken E1, E2, E3 und

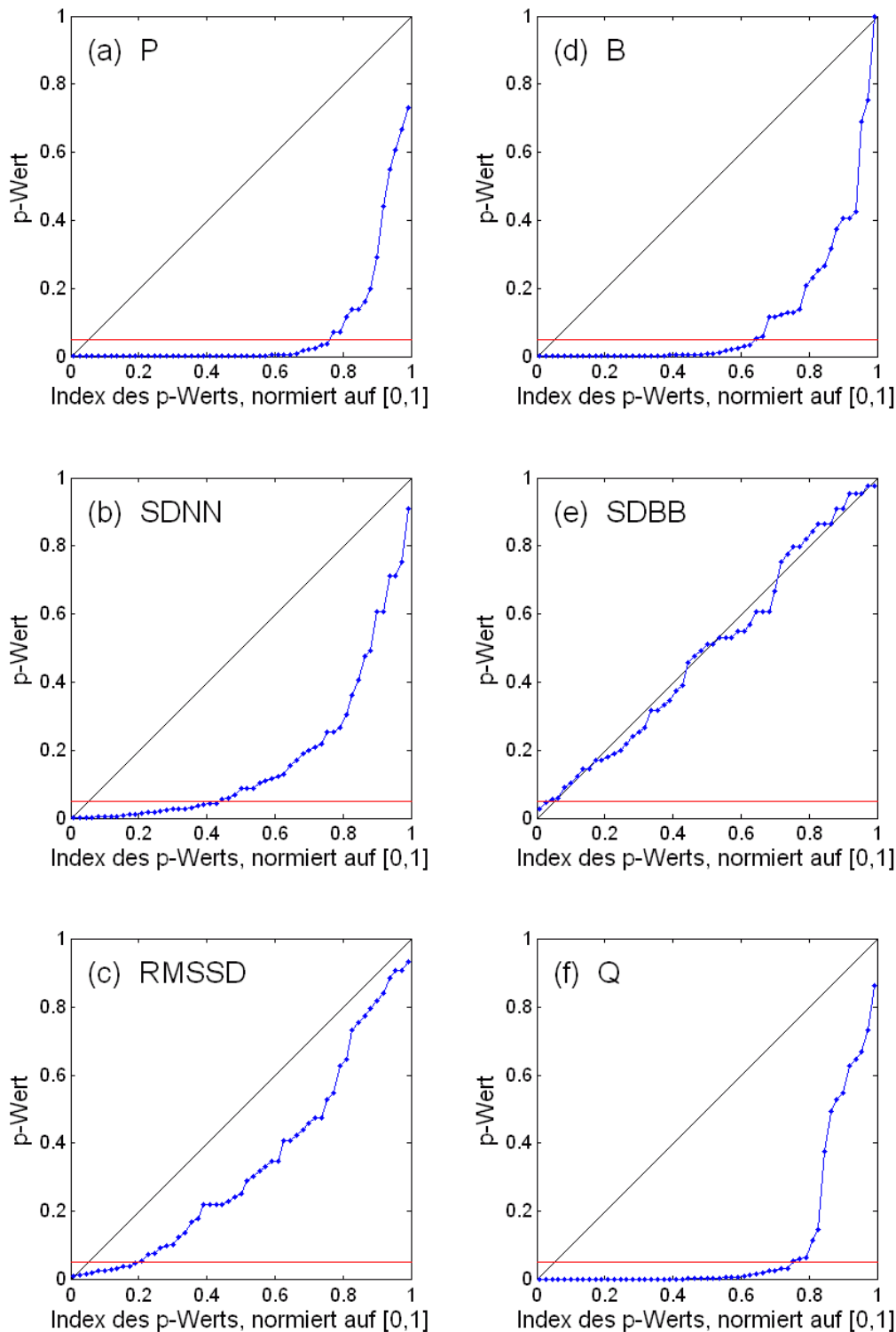
allen anderen Messintervallen, die im Sitzen erhoben wurden. Gleichzeitig ist aber P in E3 (Ujjayi) signifikant niedriger als in E1 und E2. Auch unterscheidet sich P in E3 nicht signifikant von der ersten Liegephase des Experiments (L1 und L2). SDNN ist während E3 signifikant höher als in L2, aber nichts dergleichen trifft auf die anderen Messintervalle in Rückenlage zu.

Tabelle 7.4: Messintervall-Vergleich bei Reduktion auf einen übergeordneten p-Wert pro Variable
Signifikanz der Änderungen zwischen den Messintervallen gemäß Quade- und Friedman-Tests, verglichen mit den Signifikanzdiagrammen (U^2 -Statistik gemäß Watson).

Variable	pQuade	pFriedman	pWatson
P	$< 2.23 \times 10^{-16}$	$< 2.23 \times 10^{-16}$	2.07×10^{-23}
SDNN	5.28×10^{-5}	6.09×10^{-6}	9.94×10^{-12}
RMSSD	.12624	.03554	.00381
B	1.27×10^{-13}	2.15×10^{-11}	1.42×10^{-18}
SDBB	.62072	.47433	.67693
Q	$< 2.23 \times 10^{-16}$	$< 2.23 \times 10^{-16}$	1.74×10^{-21}

Um die letzte Spalte von Tabelle 7.4 zu diskutieren, sind erneut die einzelnen p_i -Werte zu betrachten: Eine weitere Möglichkeit, die gewonnenen p-Werte zu analysieren, basiert auf einer grafischen Repräsentation der Tabellen 7.3a-f, den in Kapitel 6.1 näher erläuterten Signifikanzdiagrammen, deren Quantifizierung in weiterer Folge zu p_{Watson} führt. Die 55 p-Werte jeder Variable werden in ansteigender Reihenfolge sortiert. Im Falle der Richtigkeit der Nullhypothese (Zufall, und daher Gleichverteilung der p-Werte), sollten die sortierten p-Werte nahe einer Diagonalen zu liegen kommen. Diese Methode hat gegenüber anderen den Vorteil, dass alle p-Werte berücksichtigt werden und nicht nur diejenigen, die unterhalb des Signifikanzniveaus liegen. Daraus ergibt sich das Konzept der *Metasignifikanz*, dessen Implikationen in weiterer Folge näher beschrieben werden sollen.

Die Signifikanzdiagramme sind in den Abbildungen 7.2a-f dargestellt. Es ist sofort ersichtlich, dass P, B und Q deutlich von der Medianen oder jeder nach Gleichung (6.2) dazu parallelverschobenen Geraden abweichen. SDNN weicht ähnlich stark ab, während RMSSD vergleichsweise nahe liegt und SDBB auf statistische Art und Weise um die Mediane fluktuiert. Diese Beobachtungen stimmen auf exzellente Weise mit den Größenordnungen von p_{Quade} und p_{Friedman} in Tabelle 7.4 überein. Eine mögliche Methode, um eine derartige Abweichung von der Gleichverteilung in Zahlen zu fassen ist die Verwendung von Watsons U^2 -Statistik – siehe dazu die Gleichungen (6.2)-(6.4) –, durch deren Verwendung sich die Signifikanz der Abweichung der Punkte von einer zur Mediane parallelen Gerade durch $\langle p \rangle$ ermitteln lässt. Das resultierende p_{Watson} verdichtet einen Satz von p-Werten zu einem übergeordneten p-Wert. In einem gewissen Sinn handelt es sich hierbei um eine Signifikanz zweiter Ordnung – eine „Metasignifikanz“. Auch der



Abbildungen 7.2a-f: Signifikanzdiagramme für paarweise Messintervall-Vergleiche
 Darstellung der sortierten p-Werte des Wilcoxon-Vorzeichenrangtests der Messintervall-Vergleiche für die Variable (a) P, (b) SDNN, (c) RMSSD, (d) B, (e) SDBB und (f) Q; vgl. Tabellen 7.3a-f. Die rote Gerade bei $p=0.05$ erleichtert abzulesen, wie viele der p-Werte als signifikant einzustufen sind.

Quade- und Friedman-Test führen jeweils zu einem einzigen p-Wert. Dieser ist allerdings das Ergebnis eines statistischen Tests, der direkt auf Messdaten angewandt wurde, weswegen es in dieser Hinsicht nicht sinnvoll erscheint, von Metasignifikanz zu sprechen. Aufgrund der post-hoc-Analyse lassen sich aber gegebenenfalls mehrere Messintervall-Vergleiche identifizieren, die im Einzelnen als signifikant einzustufen sind und jeweils einen Beitrag zur Gesamtsignifikanz des Tests liefern. Bonferroni wiederum beschränkt sich auf den kleinsten p-Wert und verwirft jede weitere Information.

Tabelle 7.4 zeigt p_{Watson} für alle Variablen in der letzten Spalte. Auf den ersten Blick verhält es sich ähnlich wie p_{Quade} und p_{Friedman} . Dies ist darauf zurückzuführen, dass das Verhalten sehr kleiner p-Werte (nahe dem Ursprung in den Abbildungen 7.2a-f) das Verhalten der Gesamtheit aller p-Werte gut abbildet. Anders ist dies bei Abbildung 7.2c (RMSSD): Hier deutet p_{Quade} auf keinerlei Signifikanz hin, p_{Friedman} liegt zwischen 0.05 und 0.01, was bereits als Hinweis auf Signifikanz gedeutet werden kann, und p_{Watson} ist der einzige p-Wert, der deutlich auf Signifikanz hinweist. Diese Diskrepanz dürfte daher rühren – wie an der Abbildung ersichtlich ist –, dass die zwei niedrigsten, vor allem aber die höchsten p-Werte nahe an der Mediane liegen – allerdings gibt es verhältnismäßig viele p-Werte, die unter 0.5 liegen, was im Gesamtbild zu einer Abweichung von der Diagonalen führt, die sich auch im entsprechenden p_{Watson} widerspiegelt. Da dieser Effekt nicht die niedrigsten p-Werte betrifft, wirkt sich dieser nur schwach auf p_{Quade} und p_{Friedman} aus.

Generell lässt sich bemerken, dass p_{Quade} , p_{Friedman} und p_{Watson} die Variablen in Hinblick auf die Höhe der Signifikanz in die gleiche Reihenfolge bringen: P und Q weisen die geringsten Werte auf, SDBB die höchsten. Dies korreliert auch mit der Anzahl der p-Werte ≤ 0.05 in den Abbildungen 7.2a-f. Bei näherem Hinsehen wird deutlich, dass p_{Watson} im Allgemeinen die höchste Signifikanz – die niedrigsten p-Werte – aufweist. Es ist anzunehmen, dass dies mit der Frage der Abhängigkeit der p-Werte zusammenhängt. Werden alle Punkte eines Signifikanzdiagramms betrachtet, so wird deren Unabhängigkeit angenommen. Dadurch wird die Signifikanz überschätzt und es resultiert ein niedrigeres p_{Watson} . Um im Licht dieser Interpretation Ergebnisse zu erhalten, die nicht nur qualitativ, sondern auch quantitativ verlässlich sind, wären Kriterien für die Auswahl gewisser p-Werte notwendig. Solche Kriterien zu erarbeiten würde allerdings den Rahmen der vorliegenden Arbeit übersteigen – es handelt sich hierbei sicher um einen Gedankengang, den es sich lohnte weiterzuverfolgen. Ein erster Ansatz wird in Anhang E.3 skizziert.

Eine andere mögliche Interpretation dieser scheinbar überschätzten Signifikanz durch p_{Watson} wäre, dass gerade in den hohen p-Werten, die ja zu p_{Quade} bzw. p_{Friedman} keinen Beitrag leisten, zusätzliche Information steckt – denn auch die Häufung hoher p-Werte stellt eine Abweichung von der Gleichverteilung dar, deren Ursache interessant zu ergründen wäre.

7.2 Fall 2: Gruppen-Vergleich

Für die Gruppen-Vergleiche wurden die TeilnehmerInnen in zwei bis drei Gruppen aufgeteilt, die sich jeweils entsprechend bestimmter Aspekte unterschieden. In den Fällen, in denen es mit dem Fragebogen vereinbar war, dass drei Gruppen gebildet werden konnten, wurde die mittlere Gruppe für einen Vergleich zunächst außer Acht gelassen. Dadurch, dass für diese Auswertung in Bezug auf einige Aspekte einige der Freiwilligen nicht berücksichtigt wurden entstand eine „Lücke“ zwischen den beiden verglichenen Gruppen. Das Ziel war in diesen Fällen, deutlichere Ergebnisse zu erhalten. Eine tabellarische Aufstellung der Ergebnisse aller Gruppen-Vergleiche ist dieser Arbeit in Anhang C „Ergebnistabellen für Gruppen-Vergleiche“ beigefügt. Die untersuchten Gruppierungen sind Tabelle 7.5 zu entnehmen, wobei bei den ersten dreien eine „zeitliche Lücke“ vorliegt – eine Tatsache, die sich schnell nachvollziehen lässt, da die Summe der Gruppengrößen sich in diesen Fällen nicht zu 24 aufaddiert. Diese Gruppierungen entsprechen offensichtlich Langzeiteffekten, weswegen auf ihnen auch das Hauptaugenmerk liegen soll, während die weiteren drei Aspekte andere Einflussfaktoren als die Zeit grob abschätzen.

Tabelle 7.5: Betrachtete Aspekte samt Gruppierungskriterien im Detail

Aspekt	Unterscheidendes Merkmal	Anzahl der TeilnehmerInnen
Lehrerfahrung	keine	8
	mindestens 4 Jahre	7
Yoga-Erfahrung	höchstens 6 Jahre	6
	mindestens 10 Jahre	10
Alter	bis zu 39 Jahre alt	9
	mindestens 50 Jahre alt	6
Regelmäßigkeit des Trainings	höchstens 4× pro Woche	14
	mindestens 5× pro Woche	10
Pranayama-Anteil	weniger als 50% des Trainings	15
	mindestens 50% des Trainings	9
Geschlecht	weiblich	19
	männlich	5

Für jede Gruppierung werden die Variablen beider Gruppen unter Verwendung des Wilcoxon-Rangsummentests für jedes Messintervall von L1 bis L4 verglichen. Diese Vorgehensweise führt pro untersuchter Gruppierung und Variable zu 11 p-Werten. Wegen der großen Fülle an p-Werten und den unklaren Abhängigkeitsverhältnissen ist es nicht zielführend jeden einzelnen p-Wert näher zu diskutieren. Die vollständige Listung findet sich wie bereits erwähnt in Anhang C. Um einen guten Überblick zu gewinnen, wird zunächst die Anzahl der Signifikanzen ($p \leq 0.05$) der 11 Messintervalle betrachtet; siehe dazu Tabelle 7.6, die linke Zahl jedes Paares. Im Fall von Zufälligkeit wären etwa 5% der

p-Werte kleiner oder gleich 0.05, das entspricht gemäß Gleichung (6.18) 0.55 ± 0.72 der 11 p-Werte – also grob einem. Als zusätzliche Information sind die Zahlen in Tabelle 7.6 entsprechend des kleinsten der jeweils 11 p-Werte eingefärbt, wobei die gleiche Farbcodierung zur Anwendung kommt, wie auch bisher. Die rechte Zahl jedes Zahlenpaares, zeigt die entsprechende Ergebnisse der p-Werte nach Durchführung der Bonferroni-Korrektur; siehe dazu Gleichung (6.1) mit $N=11$.

Tabelle 7.6: Anzahl signifikanter p-Werte bei Gruppen-Vergleichen

Alle Variablen und Gruppierungen: Anzahl der $p \leq 0.05 / p_{\text{Bonf}} \leq 0.05$ der jeweils 11 p-Werte. Null wird als Bindestrich dargestellt. Die Einfärbung bezieht sich auf das Signifikanzniveau des jeweils niedrigsten p-Wertes: $0.01 < p / p_{\text{Bonf}} \leq 0.05$, $0.001 < p / p_{\text{Bonf}} \leq 0.01$, $p \leq 0.001$.

	P	SDNN	RMSSD	B	SDBB	Q
Lehrerfahrung	- / -	7 / 2	5 / -	- / -	- / -	- / -
Yoga-Erfahrung	- / -	3 / -	2 / -	- / -	- / -	- / -
Alter	- / -	4 / 1	3 / 1	1 / -	- / -	- / -
Regelmäßigkeit des Trainings	- / -	- / -	- / -	- / -	- / -	- / -
Pranayama-Anteil	- / -	- / -	- / -	- / -	- / -	- / -
Geschlecht	- / -	- / -	- / -	- / -	1 / -	- / -

Die Anzahl der p-Werte lässt sich unter Verwendung der Binomialverteilung auch direkt auf einen übergeordneten p-Wert umlegen. Tabelle 7.7 listet für jede Anzahl die entsprechende kumulative Wahrscheinlichkeit, dass bei den insgesamt 11 p-Werten pro Gruppen-Vergleich die genannte oder eine noch extremere Anzahl von $p \leq 0.05$ auftritt, vgl. Gleichung (6.16). Je geringer diese Wahrscheinlichkeit, desto sicherer ist, dass die kleinen p-Werte auch tatsächlich auf Signifikanz hinweisen und nicht nur zufällig auftreten.

Tabelle 7.7: Umlegung der Anzahl $p \leq 0.05$ auf übergeordneten p-Wert

Es gilt die übliche Farbcodierung: $0.01 < p \leq 0.05$, $0.001 < p \leq 0.01$, $p \leq 0.001$.

Anzahl	p-Wert	Anzahl	p-Wert	Anzahl	p-Wert
0	1	4	0.00155	8	5.62×10^{-9}
1	0.43120	5	0.00011	9	9.80×10^{-11}
2	0.10189	6	5.80×10^{-6}	10	1.03×10^{-12}
3	0.01524	7	2.16×10^{-7}	11	5.22×10^{-15}

Betrachtet man zunächst die p-Werte ohne Bonferroni-Korrektur, so tritt die höchste Anzahl an $p \leq 0.05$ im Vergleich von Yoga-Übenden mit erfahrenen Yoga-Lehrenden bei SDNN und RMSSD auf, was auf einen signifikanten Unterschied zwischen diesen beiden Gruppen hinweist. Ähnliche Ergebnisse – allerdings mit weniger p-Werten ≤ 0.05 – sind bei der Gruppierung betreffend Alter und allgemeiner Yoga-Erfahrung zu beobachten. Das ist wenig überraschend, da diese Charakteristiken alle bis zu einem gewissen Grad

7 Ergebnisse und Diskussion

miteinander korreliert sind. Interessanterweise treten in Bezug auf den Puls P, die Atemvariablen B und SDBB sowie Q keine relevanten Unterschiede zwischen den untersuchten Gruppen auf, was darauf hindeutet, dass die zeitliche Entwicklung dieser Variablen bei allen TeilnehmerInnen im Verlauf der Messintervalle auf ähnliche Weise erfolgte.

Vor der weiteren Analyse ist darauf hinzuweisen, dass die ersten 3 Variablen diejenigen sind, die eigentlich untersucht werden sollten, während B, SDBB und Q eher Kontrollzwecken dienen. Des weiteren sind im Speziellen die ersten 3 Gruppierungen diejenigen, welche von besonderem Interesse sind, da hier etwaige Langzeiteffekte abgelesen werden können. Das heißt, dass es im Grunde genügt sich auf den linken oberen 3×3 Zellenblock zu beschränken, anstatt aller 6×6 Zellen von Tabelle 7.6. Wie sich herausstellt, liegen auch in diesem Block die relevanten Signifikanzen – bis auf P, die erste Spalte. Es verbleibt also ein Block von 2×3 Zellen, welche hier im Detail beleuchtet werden sollen. Die Tabellen 7.8a-b bieten eine genaue Listung der p-Werte der Gruppenvergleiche besagten Blocks.

Tabelle 7.8a: Relevante Gruppen-Vergleiche für Variable SDNN

p-Werte des Wilcoxon-Rangsummentests für Gruppen. Das Vorzeichen der p-Werte gibt an, ob die Variable im Mittel für die zweite Gruppe jeweils höher (kein Vorzeichen) oder niedriger (–) ausfällt als für die erste Gruppe. Die p-Werte sind gemäß ihres Signifikanzniveaus eingefärbt: $0.05 < p \leq 1$ (hellgrün), $0.01 < p \leq 0.05$ (gelb), $0.001 < p \leq 0.01$ (orange), $p \leq 0.001$ (rot). Bleibt ein p-Wert auch nach Bonferroni-Korrektur signifikant, so ist er fettgedruckt.

	L1	L2	S1	E1	S2	E2	S3	E3	S4	L3	L4
Yoga-Übende → Lehrende ≥ 4a	-0.0205	-0.0541	-0.0003	-0.0541	-0.0721	-0.0037	-0.0140	-0.0093	-0.0721	-0.0140	-0.0205
Yoga-Erfahrung ≤ 6a → > 10a	-0.3676	-0.1806	-0.0075	.6354	-0.0934	-0.1806	-0.1471	-0.1806	-0.3132	-0.0420	-0.0110
Alter ≤ 39a → ≥ 50a	-0.4559	-0.0176	-0.0663	-0.3884	-0.0028	-0.2721	-0.0256	-0.0663	-0.0663	-0.0496	-0.0879

Tabelle 7.8b: Relevante Gruppen-Vergleiche für Variable RMSSD

siehe Beschreibung von Tabelle 7.8a

	L1	L2	S1	E1	S2	E2	S3	E3	S4	L3	L4
Yoga-Übende → Lehrende ≥ 4a	-0.0401	-0.1206	-0.0093	-0.2810	-0.0721	-0.0541	-0.0721	-0.0289	-0.0541	-0.0289	-0.0205
Yoga-Erfahrung ≤ 6a → > 10a	-0.1471	-0.1806	-0.1471	.9578	-0.0934	.4923	.4278	.4278	.3676	-0.0420	-0.0420
Alter ≤ 39a → ≥ 50a	-0.4559	-0.0028	-0.5287	-0.6070	-0.1810	-0.3884	-0.2238	-0.8639	-0.4559	-0.0256	-0.0120

Wie in den Tabellen 7.8a-b zu sehen ist, sind sowohl SDNN als auch RMSSD für diejenige Gruppe signifikant niedriger, die als die ältere betrachtet werden kann, da alle eingefärbten p-Werte ein Minus vorangestellt haben. Das deckt sich auch mit der Tatsache, dass die HRV mit zunehmendem Alter abnimmt [34]. Allerdings deuten die Ergebnisse dieses Tests darauf hin, dass das Sinken von SDNN nicht dem Alter allein

zugeschrieben werden kann, sondern auch mit der Lehrerfahrung zusammenhängen dürfte. Das lässt sich auf zweierlei Art begründen: Zum einen treten die $p \leq 0.01$ (Tabelle 7.8a; gelb und orange) für die beiden unterschiedlichen Gruppierungen fast alle in verschiedenen Messintervallen auf, zum anderen – und das ist der schwerwiegendere Grund für diese Annahme – sind die Signifikanzen bei Gruppierung nach Lehrerfahrung im Allgemeinen höher als bei Gruppierung nach Alter. An dieser Argumentation ändert sich auch nichts, wenn die Betrachtungen auf die Zahlen in Fettschrift beschränkt werden. Diese p-Werte bleiben auch nach der Multiplikation mit 11 – gemäß der Bonferroni-Korrektur, vgl. Gleichung (6.1) – signifikant. Selbst nach der konservativen Bonferroni-Korrektur ist das bei SDNN im Fall einer Gruppierung nach Lehrerfahrung gar bei 3 p-Werten, bei Gruppierung nach Alter bei einem p-Wert der Fall. RMSSD weist nach der Korrektur lediglich einen einzigen signifikanten p-Wert bei Gruppierung nach Alter auf.

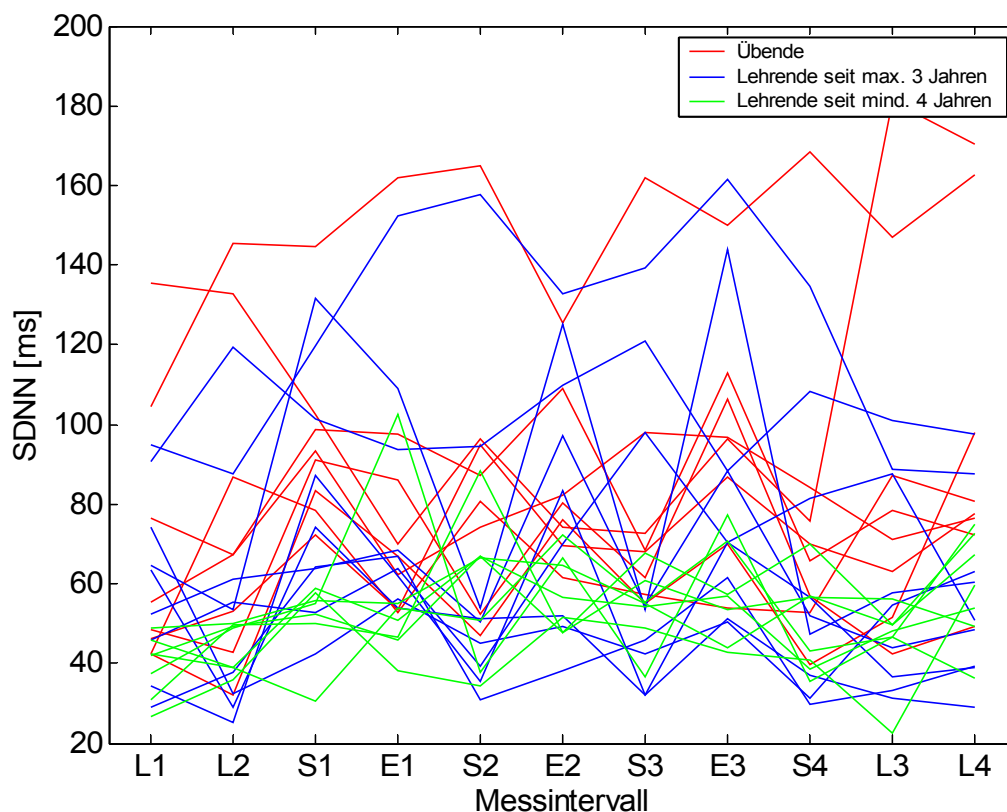


Abbildung 7.3: Verlauf von SDNN nach Lehrerfahrung gruppiert

Abbildung 7.3 zeigt den Verlauf von SDNN bei Gruppierung nach Lehrerfahrung, da in diesem Fall die höchsten Signifikanzen aufgetreten sind. Die hier angeführten p-Werte kommen durch den Vergleich von Übenden (rote Kurven) mit seit mindestens 4 Jahren Lehrenden (grüne Kurven) zustande. Wie auch in Tabelle 7.8a dargestellt, sieht man hier sehr deutlich, dass Yoga-Lehrende während der gesamten Messung einen niedrigeren

Wert für SDNN aufweisen. Die klare Trennung der roten und grünen Kurven ist bei S1 am ausgeprägtesten. In diesem Messintervall tritt beim Vergleich der beiden Gruppen auch der kleinste p-Wert auf.

Um die Anzahl der p-Werte zu reduzieren, wurde im nächsten Schritt jede Variable pro ProbandIn über alle 11 Messintervalle gemittelt, sodass man einen Schätzwert für den personenspezifischen Mittelwert einer Variable. Dieser Mittelwert kann nun als neue Variable betrachtet werden, wobei sich nun unter Zuhilfenahme des Wilcoxon-Rangsummentests quantifizieren lässt, ob sich die personenspezifischen Mittelwerte einer Variable je nach Gruppierung signifikant unterscheiden. Pro Variable und pro Gruppierung ergibt sich somit ein einziger p-Wert. Auf diese Weise wird zwar Information verworfen – nämlich der eigentliche Kurvenverlauf einer Variable während des gesamten Messablaufs – dafür lässt sich allerdings die Menge an p-Werten drastisch reduzieren und auch ohne Bonferroni-Korrektur eine verlässliche Schätzung der Signifikanz von Niveauunterschieden zwischen verschiedenen Gruppierungen ermitteln. Tabelle 7.9 zeigt die Ergebnisse dieser Auswertungsmethode.

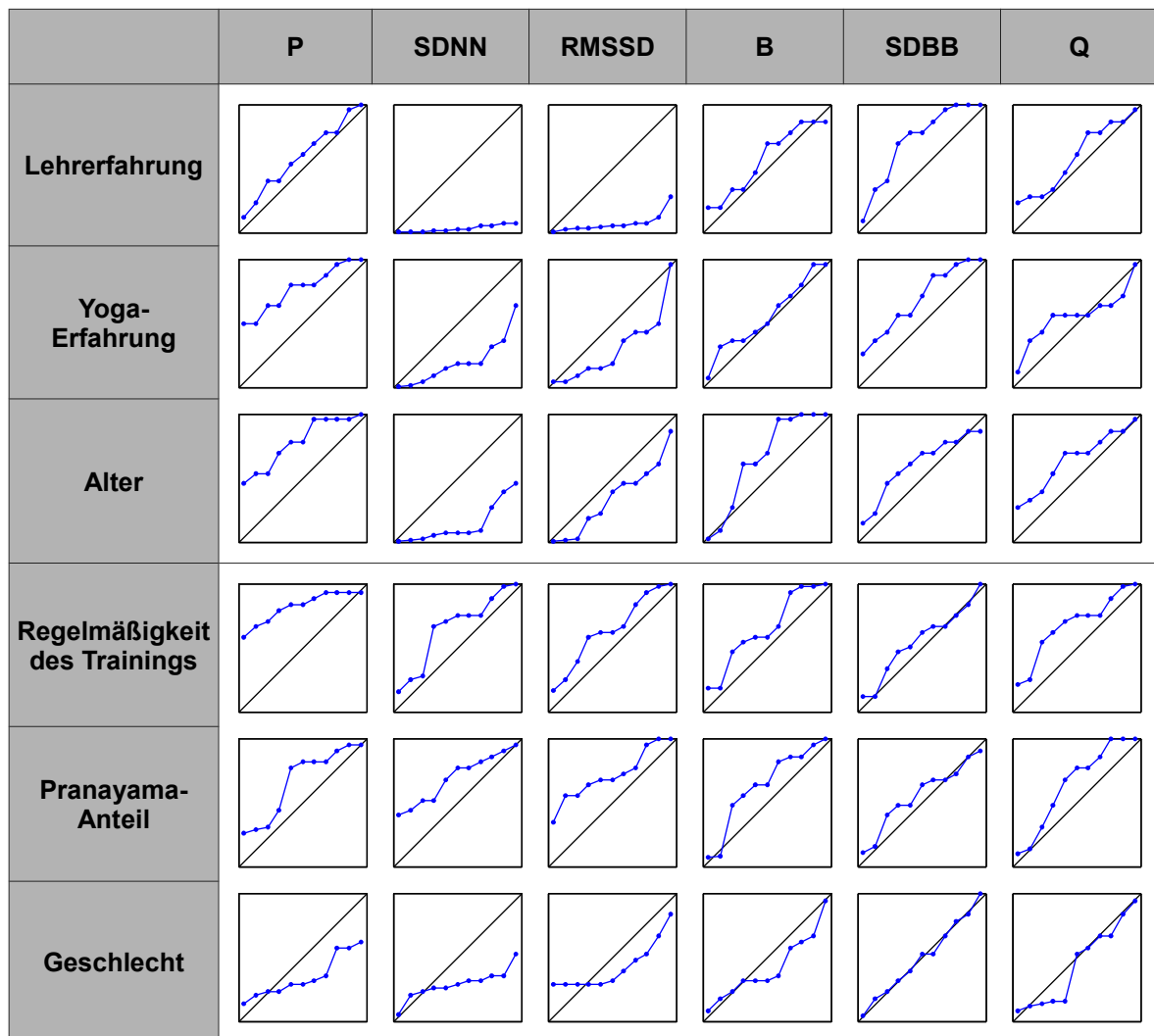
Tabelle 7.9: Gruppen-Vergleiche für personenspezifische Mittelwerte jeder Variable
p-Werte des Vergleichs der personenspezifischen Mittelwerte jeder Variable nach Anwendung von Wilcoxon's Rangsummentest. Die p-Werte sind gemäß ihres Signifikanzniveaus eingefärbt: $0.05 < p \leq 1$, $0.01 < p \leq 0.05$, $0.001 < p \leq 0.01$, $p \leq 0.001$.

	P	SDNN	RMSSD	B	SDBB	Q
Yoga-Übende → Lehrende ≥ 4a	+0.5358	-0.0003	-0.0401	-0.8665	-0.8665	+0.6943
Yoga-Erfahrung ≤ 6a → > 10a	-0.9578	-0.0160	-0.2198	-0.8749	-0.6354	+0.7128
Alter ≤ 39a → ≥ 50a	+0.9546	-0.0028	-0.2721	-0.8639	+0.8639	+0.8639
Training ≤ 4×/Woche → ≥ 5×/Woche	-0.9300	-0.9300	+0.7922	-0.7474	+0.9766	-0.9766
Pranayama < 50% → ≥ 50%	+0.8580	+0.5119	+0.8115	-0.9525	+0.5915	+0.8580
Geschlecht: weiblich → männlich	+0.2269	+0.2007	+0.4772	-0.7762	+0.1551	+0.1768

Unter Verwendung der einzelnen p-Werte, von denen einige in den Tabellen 7.8a-b abgedruckt sind, kann Tabelle 7.6 – der Überblick über die Anzahl der signifikanten p-Werte pro Variable und Gruppierung – detailreicher dargestellt werden, wenn man erneut Signifikanzdiagramme zur Anwendung bringt. Abbildung 7.4 fasst die p-Werte der 11 Messintervalle für alle Kombinationen von Variablen und Gruppen-Vergleichen zusammen.

Abbildung 7.4: Signifikanzdiagramme für Gruppen-Vergleiche

Alle Variables und Gruppierungen: sortierte p-Werte des Wilcoxon-Rangsummentests für Gruppen (siehe Tabellen 7.6 und 7.8a-b)



Zum besseren Verständnis hier ein Beispiel zum Vergleich der Abbildung 7.4 mit den Tabellen 7.6 und 7.8a-b: In der ersten Zeile (Lehrerfahrung) ist sofort die große Abweichung der SDNN- und RMSSD-Kurven von der Diagonalen ersichtlich. Aus den Graphen kann hier nun allerdings eine neue Beobachtung abgeleitet werden: Anders als bei den Signifikanzdiagrammen in Abbildungen 7.2a-f weichen hier einige Kurven in die andere Richtung von der Diagonalen ab: sie befinden sich über der Diagonalen – mehrere der p-Werte sind also „zu hoch“! Auch dieser Fall ist als Abweichung von der Diagonalen metasignifikant, allerdings spiegelt sich diese Tatsache nicht in Tabelle 7.6 wieder, die ja nur niedrige p-Werte zusammenfasst. Die vielen Bindestriche in Tabelle 7.6 bedeuten nicht automatisch, dass in all diesen Fällen Zufall vorliegt, sondern müssen in einigen Fällen auch als eine Abweichung von der Zufälligkeit in eine Richtung gedeutet werden, die zumeist nicht berücksichtigt wird.

Um einen besseren Überblick zu erhalten lässt sich Abbildung 7.4 auf zwei Arten verdichten: Entweder indem man die p-Werte einer Variable über alle Gruppierungen hinweg zu einem Graphen vereint (Abbildung 7.5a), oder indem man alle p-Werte einer Gruppierung über alle Variablen hinweg zu einem Graphen zusammenfasst (Abbildung 7.5b). Die am stärksten betonte Abweichungen von der Diagonale weisen in Abbildung 7.5a P (über der Diagonalen) und SDNN (unter der Diagonalen) auf. Das ist konsistent mit der Tatsache, dass in Tabelle 7.6 kein einziger signifikanter Fall für P (erste Spalte) auftritt und die höchste Anzahl signifikanter p-Werte für SDNN (zweite Spalte) abzulesen ist. Dennoch ist es als metasignifikant einzustufen, dass für P über alle Gruppierungen hinweg – also in der gesamten ersten Spalte – keine einzige Signifikanz auftritt, während gemäß Gleichung (6.18) mit $N=66$ insgesamt 3.30 ± 1.77 Fälle von $p \leq 0.05$ zu erwarten gewesen wären. Die Wahrscheinlichkeit, dass von den 66 p-Werten einer Spalte kein einziger unter 0.05 liegt, ergibt sich nach Gleichung (6.16) zu $P_{66,0.05}(0) = 0.0339$. Diese Zahl ist als übergeordneter p-Wert zu betrachten und muss – da dieser unter $\alpha = 0.05$ liegt – als signifikant eingestuft werden. Gleiches gilt für die Variable Q, was allerdings wegen $Q=P/B$ nicht weiter verwunderlich ist.

Was Abbildung 7.5b betrifft, so fluktuieren die p-Werte für die zweite und dritte Gruppierung (Yoga-Erfahrung und Alter) auf statistische Weise um die Diagonale, während die Abweichungen bei den anderen Gruppierungen durchaus signifikant sein könnten. Im Speziellen ist das für den vierten Aspekt der Fall (Regelmäßigkeit des Trainings). Tatsächlich stellt die Kombination von „Regelmäßigkeit des Trainings“ und „P“ einen extremen Fall dar, in dem die p-Werte in nach oben von der Diagonalen abweichen (vgl. Abbildung 7.4), weswegen dieser Fall in Tabelle 7.6 auch nicht als signifikant aufscheint. Diese Beobachtungen lassen sich im Sinne einer Metasignifikanz unter Verwendung von Watsons U^2 -Statistik auch wieder quantifizieren. Die Ergebnisse sind in Tabelle 7.10 zusammenfasst, wobei erneut von der Unabhängigkeit der p-Werte ausgegangen wird. Die größte Diskrepanz zu den und Tabellen 7.6 und 7.9 gibt es beim Puls bei Gruppierung nach Regelmäßigkeit des Trainings, sowie bei den HRV-Variablen SDNN und RMSSD bezüglich des Geschlechts. Wie auch schon bei den Messintervall-Vergleichen spricht p_{Watson} hier eventuell auf Effekte an, die bei anderen Analysemethoden außen vor bleiben.

Die Tatsache, dass unterschiedliche Methoden in der Frage der Metasignifikanz auch zu unterschiedlichen Antworten führen, legt nahe, dass es sinnvoll ist, diese Problemstellung aus verschiedenen Richtungen zu beleuchten, um ein verlässliches Gesamtbild zu erhalten.

Abbildung 7.5a: Zusammengefasste Signifikanzdiagramme für Variablen
 Zusammenfassung der p-Werte des Wilcoxon-Rangsummentests aller Gruppierungen und Messintervalle für eine bestimmte Variable; vgl. Abbildung 7.4.

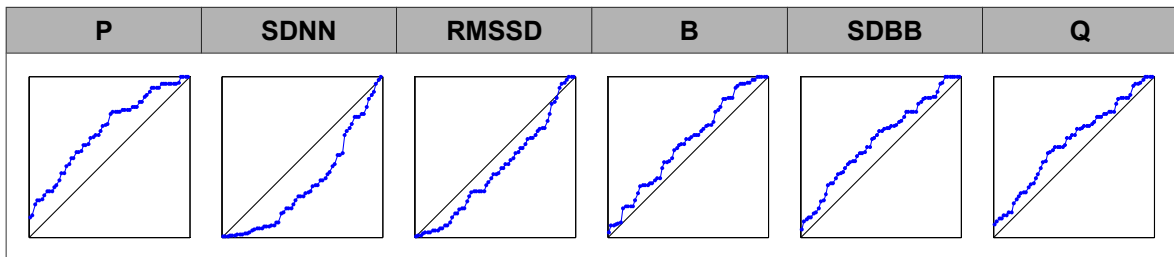


Abbildung 7.5b: Zusammengefasste Signifikanzdiagramme für Gruppierungen
 Zusammenfassung der p-Werte des Wilcoxon-Rangsummentests aller Variablen und Messintervalle für eine bestimmte Gruppierung; vgl. Abbildung 7.4.

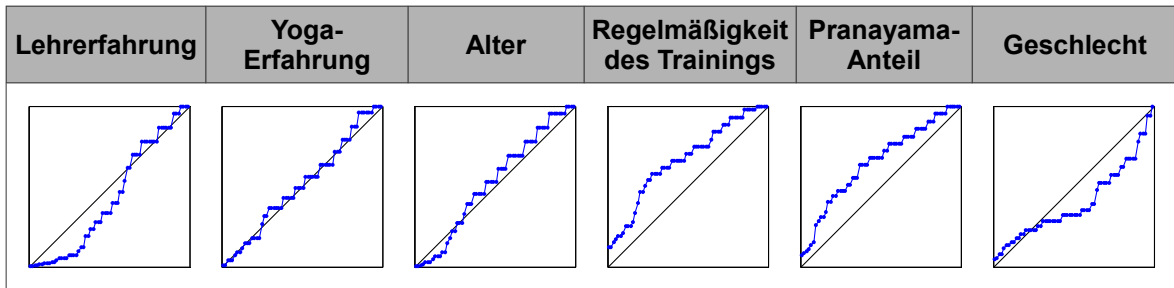


Tabelle 7.10: p_{Watson} resultierend aus den Signifikanzdiagrammen
 Anwendung der U^2 -Statistik nach Watson; vgl. Abbildung 7.4 und Tabelle 7.9.

	P	SDNN	RMSSD	B	SDBB	Q
Lehrerfahrung	0.9228	2.0×10^{-7}	5.5×10^{-6}	0.5836	0.1405	0.7262
Yoga-Erfahrung	0.0694	0.0136	0.0577	0.8653	0.7982	0.0311
Alter	0.0009	0.2383	0.8413	0.5708	0.7891	0.2742
Regelmäßigkeit des Trainings	0.2041	0.1156	0.1215	0.2540	0.5200	0.3537
Pranayama-Anteil	0.0791	0.0018	0.7172	0.0449	0.2331	0.3491
Geschlecht	0.0132	0.0004	0.0078	0.2538	0.7472	0.4139

7.3 Diskussion

Die Ergebnisse von Fall 1 (Messintervall-Vergleich) und Fall 2 (Gruppen-Vergleich) verhalten sich gewissermaßen komplementär: Während in Fall 1 die höchsten Signifikanzen bei den Variablen P, B und Q auftraten, traf dies in Fall 2 für die HRV-Variablen SDNN und RMSSD zu, woraus sich folgern lässt, dass HRV-Analyse ein gut geeignetes Mittel ist um während der Ausübung von Pranayama-Techniken Unterschiede *zwischen Gruppen* festzustellen. Das eröffnet die Möglichkeit Qualitätsmerkmale für die Ausübung von Pranayama zu entwickeln. Die erwähnte Komplementarität der Ergebnisse

beschränkt sich aber keineswegs auf die Variablen: In Fall 1 wurden die höchsten Signifikanzen in Bezug auf den Vergleich von Messintervallen im Liegen (L...) mit solchen im Sitzen und Ausüben von Atemtechniken (S... und E...) gefunden, aber kaum zwischen Messintervallen im Sitzen und Üben. In Fall 2 traten die höchsten Signifikanzen für Unterschiede zwischen den Gruppen gerade in Sitz- oder Übungsphasen auf.

Dies ist plausibel, wenn man sich vor Augen führt, dass Fall 1 nur dann signifikante Ergebnisse liefert, wenn sich eine Variable für alle TeilnehmerInnen auf ähnliche Weise entwickelt – womit aber gleichzeitig einhergeht, dass für die gleichen Variablen und Messintervalle in Fall 2 zwischen Gruppen keine signifikanten Unterschiede auftreten, und vice versa. Aus der Tatsache, dass die statistische Analyse mit diesen Überlegungen konform geht, lässt sich schließen, dass der in der vorliegenden Arbeit zur Anwendung gekommene Ansatz eine gangbare Methode darstellt, um effizient ein Maximum an Information aus den gemessenen Daten zu extrahieren.

Die Komplementarität der untersuchten Fälle wirft zwei Fragen auf, die sich auf Basis der beiden eingangs vorgestellten Nullhypothesen beantworten lassen:

Fall 1: Welche Veränderungen betreffen alle TeilnehmerInnen gleichermaßen?

Es lässt sich festhalten, dass kurzfristig eine insgesamt pulssenkende Wirkung nachweisbar ist – das heißt, dass der Puls nach einer Pranayama-Trainingseinheit, wie sie für diese Studie durchgeführt wurde, niedriger ist als vor dem Ausüben der Atemtechniken.

Von den angewandten Techniken hat sich in Fall 1 nur Ujjayi (E3) von den anderen abgehoben. Zum einen war der Puls P niedriger als bei den anderen Atemtechniken, zum anderen war SDNN verglichen mit den ersten beiden Messintervallen im Liegen (L1 & L2) erhöht. Beide Effekte sind signifikant. Es gibt allerdings keinen signifikanten Unterschied zwischen Ujjayi und den letzten beiden Messintervallen im Liegen (L3 & L4), was darauf hindeutet, dass SDNN in L3 & L4 nach wie vor gegenüber L1 & L2 erhöht ist – wenngleich dieser Effekt nicht signifikant ist. Ein erhöhter Wert für SDNN ohne eine signifikante Änderung bei RMSSD deutet auf gesteigerten Tonus des Sympathikus hin, was allgemein einen angeregten Zustand gesteigerter Aufmerksamkeit nahelegt. Gleichzeitig weist allerdings der Puls einen niedrigen Wert auf. Ein Zustand, der sich als entspannt und gleichzeitig wach und aufmerksam interpretieren lässt.

Dieser Effekt kann allerdings nicht isoliert Ujjayi zugeschrieben werden, da durch den für alle TeilnehmerInnen gleichen Messablauf keine Aussage darüber getroffen werden kann, inwiefern die Reihenfolge der Atemtechniken eine Rolle gespielt hat. Dies hat es allerdings gleichzeitig ermöglicht die Daten aller Personen gesammelt auszuwerten und resultierte in einer gesteigerten Verlässlichkeit der statistischen Aussagen.

Fall 2: Sofern es keinen allgemeinen Trend gibt – lassen sich Gruppen bilden, die auf

unterschiedliche, jedoch in sich definierte und konsistente Weise reagieren?

Eindeutig signifikante Unterschiede treten für zwei Aspekte auf, nach denen gruppiert wurde: einerseits für den Vergleich von Yoga-Übenden ohne Lehrerfahrung mit Yoga-Lehrenden mit mindestens vier Jahren Lehrerfahrung, andererseits für den Vergleich einer Gruppe bis zu 39-Jähriger mit einer Gruppe von TeilnehmerInnen, die mindestens 50 Jahre alt sind. Diese beiden Aspekte sind offensichtlich korreliert, da jemand mit mehr Lehrerfahrung tendenziell auch älter ist. Die erfahrenere Gruppe weist in einigen Messintervallen einen signifikant niedrigeren Wert für SDNN auf. Das gleiche trifft auch für die ältere Gruppe zu. Interessanterweise treten keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf B oder SDBB auf, was nahelegt, dass die TeilnehmerInnen bezüglich Atemfrequenz und Stetigkeit derselben nicht unterscheidbar waren. Sie haben die Atemübungen also auf ähnliche Weise durchgeführt, waren aber dennoch hinsichtlich SDNN unterscheidbar. Daraus lässt sich schließen, dass der verringerte Wert für SDNN keine direkte Reaktion auf die Atmung war – es handelt sich hierbei wahrscheinlich um einen Langzeiteffekt.

Wie bereits zuvor erwähnt, ist es schwierig zu differenzieren, welcher Faktor nun tatsächlich den stärkeren Einfluss auf SDNN ausübt: Erfahrung oder Alter. Die Beobachtung, dass der Effekt bei Gruppierung nach Lehrerfahrung mit höherer Signifikanz auftritt, legt nahe, dass es sich bei der Lehrerfahrung um den bestimmenden Faktor handelt. Um diese Frage jedoch zufriedenstellend beantworten zu können, wird eine weitere Studie notwendig sein, die speziell auf diese Frage abzielt, indem sie bewusst auch junge und dennoch erfahrene Yoga-Lehrende, sowie ältere Leute mit keiner bis wenig Lehrerfahrung miteinbezieht.

Die Regelmäßigkeit des Trainings sowie der Pranayama-Anteil an Übungen im Yoga-Training machen ebenso wenig einen Unterschied wie das Geschlecht. Generelle Yoga-Erfahrung führte lediglich zu schwachen Signifikanzen. Das ist insbesondere deswegen bemerkenswert, da es darauf hindeutet, dass es langfristig gesehen möglicherweise die physiologische Reaktion betreffend einen Unterschied macht, ob man Yoga praktiziert oder unterrichtet.

Hinsichtlich der in der vorliegenden Arbeit verwendeten Statistik haben unterschiedliche Ansätze und unterschiedliche Tests im Allgemeinen vergleichbare Resultate erbracht. Während diese – an sich redundante – Vorgehensweise in den meisten Fällen nur Kontrollzwecken diente, ist sie speziell für Fall 2 besonders interessant, wo die Werte einer Variablen über alle 11 Messintervalle zu einem Wert zusammengefasst wurden, der als personenspezifischer Mittelwert dieser Variable bezeichnet wurde. Trotz der drastischen Reduktion der vorhandenen Information stimmten die p-Werte gut mit denen anderer Methoden überein. Daraus lässt sich ableiten, dass sich die Gruppen nicht hinsichtlich des zeitlichen Verlaufes einer Variable unterscheiden, sondern lediglich in Bezug auf die personenspezifischen Mittelwerte. Die

verworfenen Information führt also zu keinem tatsächlichen Verlust, da sie im Gruppen-Vergleich ohnehin keine wichtige Rolle spielt.

HRV, mit dem Fokus auf Time-Domain-Variablen, hat sich als passendes Werkzeug erwiesen um den Einfluss von Atemtechniken auf das kardiorespiratorische System einzuschätzen. Wo die Ergebnisse unterschiedlicher statistischer Methoden nicht übereinstimmen, half das Konzept der Metasignifikanz die Diskrepanzen zu verstehen und zu interpretieren. Dieser Gedankengang wird in der nahen Zukunft weiterverfolgt werden.

7.4 Ausblick

Anknüpfungspunkte für weiterführende Arbeiten bieten sich auf drei verschiedenen Ebenen:

Zum einen ist noch zusätzliches Datenmaterial vorhanden um die gefundenen Ergebnisse zu präzisieren bzw. neue Ergebnisse zu schöpfen. So könnte etwa die Balance des autonomen Nervensystems neben SDNN und RMSSD auch durch die Miteinbeziehung des Hautleitwertes in die Analysen verfeinert werden. Die Verknüpfung der EKG-Daten mit dem gemessenen Blutvolumenpuls im Finger ließen durch Ermittlung der Laufzeiten der Druckwellen Rückschlüsse über den Blutdruck zu. Auch die gemessenen Signale der Brust- und Bauchatmung sind bisher nur hinsichtlich der Atemfrequenz, nicht aber in Bezug auf die Form der Atemzüge oder ihre Phasenlage zueinander untersucht worden.

Des Weiteren erscheint das Konzept der Metasignifikanz als äußerst vielversprechend – einerseits um ein Maximum an Information aus statistischen Analysen zu gewinnen, andererseits um der Frage der Unabhängigkeit von p-Werten und damit auch den ihnen zugrunde liegenden Vergleichen nachzugehen.

Zuletzt sind natürlich auch Fragen offengeblieben und neue Fragen aufgeworfen worden, die sich näher beleuchten ließen. Der Messablauf mit seinen drei gemessenen Atemtechniken war starr vorgegeben. Die Effekte der Atemtechniken im Einzelnen zu analysieren – entweder durch isolierte Messung oder durch eine Studie mit permutierten Messabläufen – wäre ein möglicher Ansatz für weiterführende Forschung. Darüber hinaus wären auch andere Atemtechniken hinsichtlich ihrer Wirkung durchaus interessant. Besonders spannend ist die Fragestellung, inwiefern die bei den Gruppen-Vergleichen festgestellten Unterschiede zwischen Yoga-Übenden und Yoga-Lehrenden vom Alter entkoppelt sind. Dieser Frage kann nur durch eine etwaige Folgestudie mit gezielter Auswahl der ProbandInnen nachgegangen werden.

Anhang

A Verzeichnisse

A.1 Abkürzungen

a	Einheit: Jahre
ANS	autonomes Nervensystem
B	untersuchte Variable: Atemfrequenz (breathing rate)
BB	BB-Intervall, Atemzuglänge
BVP	Blutvolumenpuls
bzw.	beziehungsweise
CD	Compact Disc
e.g.	zum Beispiel (exempli gratia)
E1, E2, E3	Messintervalle beim Ausüben einer Atemtechnik
EKG	Elektrokardiogramm
HF	Frequenzband: high frequency
HRV	Herzfrequenzvariabilität (heart rate variability)
Hz	Einheit: Hertz
L1, L2, L3, L4	Messintervalle im Liegen
LF	Frequenzband: low frequency
min ⁻¹	Einheit: ... pro Minute (Herzschläge, Atemzüge, ...)
ms	Einheit: Millisekunde
NN	NN-Intervall, Herzzykluslänge
P	untersuchte Variable: Puls
Q	untersuchte Variable: Puls-Atem-Quotient
RMSSD	untersuchte Variable: root mean square of successive differences
RSA	respiratorische Sinusarrhythmie
s	Einheit: Sekunde
S.	Seite
S1, S2, S3, S4	Messintervalle im entspannten Sitzen
SDBB	untersuchte Variable: Standardabweichung der BB-Intervalle
SDNN	untersuchte Variable: Standardabweichung der NN-Intervalle
sps	Einheit: Messpunkte pro Sekunde (samples per second)
ULF	Frequenzband: ultra low frequency
vgl.	vergleiche
VLF	Frequenzband: very low frequency
z.B.	zum Beispiel

A.2 Literatur

- [1] A. SCHÄFER: *Die Wirkung von Licht verschiedener spektraler Zusammensetzung auf die Variabilität der Herzfrequenz*, Universität Wien, Dissertation, 2004.
- [2] N. ELAGÖZ: *Wirkung von grünem Licht unterschiedlicher zeitlicher Variation auf die Heart-Rate-Variability*, Universität Wien, Diplomarbeit, 2005.
- [3] D. DIEPOLD: *Auswirkung von akustischen Reizen auf die Heart-Rate-Variability*, Universität Wien, Diplomarbeit, 2006.
- [4] A. SCHÄFER, K. W. KRATKY: *The Effect of Colored Illumination on Heart Rate Variability*, In: *Research in Complementary Medicine*, 2006, 13:167-173.
- [5] A. SCHÄFER, K. W. KRATKY: *Estimation of breathing rate from respiratory sinus arrhythmia: comparison of various methods*, In: *Annals of Biomedical Engineering*, 2008, 36:476-485.
- [6] TASK FORCE OF THE EUROPEAN SOCIETY OF CARDIOLOGY AND THE NORTH AMERICAN SOCIETY OF PACING AND ELECTROPHYSIOLOGY: *Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use*, In: *Circulation*, 1996, 93:1043-1065.
- [7] T. PRAMANIK, B. PUDASAINI, R. PRAJAPATI: *Immediate effect of a slow pace breathing exercise Bhramari pranayama on blood pressure and heart rate*, In: *Nepal Medical College journal*, 2010, 12:154-157.
- [8] K. UPADHYAY DHUNGEL, V. MALHOTRA, D. SARKAR, R. PRAJAPATI: *Effect of alternate nostril breathing exercise on cardiorespiratory functions*, In: *Nepal Medical College journal*, 2008, 10:25-27.
- [9] P. RAGHURAJ, A. G. RAMAKRISHNAN, H. R. NAGENDRA, S. TELLES: *Effect of two selected yogic breathing techniques on heart rate variability*, In: *Indian journal of physiology and pharmacology*, 1998, 42:467-472.
- [10] MADANMOHAN, KAVIRAJA UDUPA, A. B. BHAVANANI, P. VIJAYALAKSHMI, A. SURENDRAN: *Effect of slow and fast pranayams on reaction time and cardiorespiratory variables*, In: *Indian journal of physiology and pharmacology*, 2005, 49:313-318.
- [11] S. G. VEERABHADRAPPA, V. S. BALJOSHI, S. KHANAPURE, A. HERUR, S. PATIL, R. B. ANKAD, S. CHINAGUDI: *Effect of yogic bellows on cardiovascular autonomic reactivity*, In: *Journal of cardiovascular disease research*, 2011, 2:223-227.
- [12] D. S. SHANNAHOFF-KHALSA, B. KENNEDY: *The effects of unilateral forced nostril breathing on the heart*, In: *The International journal of neuroscience*, 1993, 73:47-60.
- [13] N. MENCHE ET AL.: *Biologie Anatomie Physiologie*, Urban & Fischer, München, 2003.
- [14] N. BIRBAUMER, R. F. SCHMIDT: *Biologische Psychologie*, Springer, Heidelberg, Deutschland, 2006.
- [15] A. V. LYSEBETH: *Die große Kraft des Atems*, Otto Wilhelm Barth Verlag, [o.O.], 1995.
- [16] D. EBERT: *Physiologische Aspekte des Yoga*, Fischer, Stuttgart, Germany, 1986.
- [17] G. D. CLIFFORD, ET AL.: *Advanced Methods and Tools for ECG Data Analysis*, Artech House, Inc., Norwood, Massachusetts, 2006.

- [18] A. SCHÄFER, K. W. KRATKY, K. SCHULMEISTER: *The effect of colored illumination on breathing rate and cardiorespiratory dynamics*, In: Journal of Alternative Medicine Research, 2009, 1:359-366.
- [19] J. PENTTILÄ, A. HELMINEN, T. JARTTI, T. KUUSELA, H. V. HUIKURI, M. P. TULPPONEN, R. COFFENG, H. SCHEININ: *Time domain, geometrical and frequency domain analysis of cardiac vagal outflow: effects of various respiratory patterns*, In: Clinical Physiology, 2001, 21:365-376.
- [20] J. T. BIGGER, J. L. FLEISS, R. C. STEINMAN, L. M. ROLNITZKY, R. E. KLEIGER, J. N. ROTTMAN: *Correlations among time and frequency domain measures of heart period variability two weeks after acute myocardial infarction*, In: The American journal of cardiology, 1992, 69:891-898.
- [21] H. H. OSTERHUES, M. KOCHS, V. HOMBACH: *Time-dependent changes of heart rate variability after percutaneous transluminal angioplasty*, In: American Heart Journal, 1998, 135:755-761.
- [22] D. ERDOGAN, T. TUKEK, F. ARAL, H. OFLAZ, M. OZAYDIN, O. KOCAMAN, V. AKKAYA, T. GOREN, S. MOLVALILAR: *Structural, functional and autonomic changes in the cardiovascular system in growth hormone deficient patients*, In: Annals of Noninvasive Electrocardiology, 2004, 9:19-23.
- [23] P. T. A. SEYD, V. I. T. AHAMED, J. JACOB, P. JOSEPH K: *Time and Frequency Domain Analysis of Heart Rate Variability and their Correlations in Diabetes Mellitus*, In: International Journal of Biological and Life Sciences, 2008, 4:24-27.
- [24] G. HILDEBRANDT, F.-J. DAUMANN: *Die Koordination von Puls- und Atemrhythmus bei Arbeit*, In: Internationale Zeitschrift für angewandte Physiologie einschließlich Arbeitsphysiologie, 1965, 21:27-48.
- [25] SRI SWAMI SIVANANDA: *The Science of Yoga*, The Divine Life Society, Uttar Pradesh, Indien, 2000.
- [26] MIND MEDIA B. V.: *User Manual for the NeXus-10, Version 1.32*, Roermond-Herten, Niederlande, 2005.
- [27] J. BORTZ, G. A. LIENERT: *Kurzgefasste Statistik für die klinische Forschung*, Springer, Heidelberg, Deutschland, 2008.
- [28] J. BORTZ, G. A. LIENERT, K. BOEHNKE: *Verteilungsfreie Methoden in der Biostatistik*, Springer Medizin Verlag, Heidelberg, Germany, 2008.
- [29] G. S. WATSON: *Goodness-of-fit tests on a circle*, In: Biometrika, 1961, 48:109-114.
- [30] C. P. QUESENBERY: *Some Transformation Methods in Goodness-of-Fit*, In: R. B. D'AGOSTINO AND M. A. STEPHENS: *Goodness-of-fit techniques*, Marcel Dekker, New York, 1986.
- [31] W. J. CONOVER: *Practical Nonparametric Statistics*, Wiley, New York, 1999.
- [32] L. SACHS: *Angewandte Statistik*, Springer, Berlin, 1999.
- [33] G. CARDILLO: *QUADETEST: Quade test for non parametric two way ANalysis Of VAriance*, <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/25926>, 13.11.2012.
- [34] T. KOSKINEN, M. KÄHÖNEN, A. JULA, T. LAITINEN, L. KELTIKANGAS-JÄRVINEN, J. VIKARI, I. VÄLIMÄKI, O. T. RAITAKARI: *Short-term heart rate variability in healthy young adults*, In: Autonomic Neuroscience, 2009, 145:81-88.

A.3 Tabellen

Tabelle 2.1: Funktionen des Sympathikus und Parasympathikus.....	22
Tabelle 3.1: Frequenzbänder der HRV.....	30
Tabelle 3.2: Gegenüberstellung sympathischer und parasympathischer Einflüsse der HRV.....	31
Tabelle 5.1: Sampleraten der verwendeten Kanäle.....	41
Tabelle 5.2: Benennung und Beschreibung der untersuchten Variablen.....	44
Tabelle 6.1: Überblick über die statistischen Methoden.....	48
Tabelle 6.2: Verwendete Matlab-Funktionen.....	57
Tabelle 7.1: Test der Variablen auf Gauss-Verteilung.....	59
Tabelle 7.2: Werte der Variablen in jedem Messintervall.....	60
Tabelle 7.3a: Messintervall-Vergleich für Variable P.....	62
Tabelle 7.3b: Messintervall-Vergleich für Variable SDNN.....	62
Tabelle 7.3c: Messintervall-Vergleich für Variable RMSSD.....	62
Tabelle 7.3d: Messintervall-Vergleich für Variable B.....	63
Tabelle 7.3e: Messintervall-Vergleich für Variable SDBB.....	63
Tabelle 7.3f: Messintervall-Vergleich für Variable $Q = P/B$	63
Tabelle 7.4: Messintervall-Vergleich bei Reduktion auf einen übergeordneten p-Wert pro Variable.....	65
Tabelle 7.5: Betrachtete Aspekte samt Gruppierungskriterien im Detail.....	68
Tabelle 7.6: Anzahl signifikanter p-Werte bei Gruppen-Vergleichen.....	69
Tabelle 7.7: Umlegung der Anzahl $p \leq 0.05$ auf übergeordneten p-Wert.....	69
Tabelle 7.8a: Relevante Gruppen-Vergleiche für Variable SDNN.....	70
Tabelle 7.8b: Relevante Gruppen-Vergleiche für Variable RMSSD.....	70
Tabelle 7.9: Gruppen-Vergleiche für personenspezifische Mittelwerte jeder Variable.....	72
Tabelle 7.10: pWatson resultierend aus den Signifikanzdiagrammen.....	75
Tabelle C.1: Auflistung der verglichenen Gruppen.....	93
Tabelle C.2a: Alle Gruppen-Vergleiche für Variable P.....	94
Tabelle C.2b: Alle Gruppen-Vergleiche für Variable SDNN.....	95
Tabelle C.2c: Alle Gruppen-Vergleiche für Variable RMSSD.....	96

Tabelle C.2d: Alle Gruppen-Vergleiche für Variable B.....	97
Tabelle C.2e: Alle Gruppen-Vergleiche für Variable SDBB.....	98
Tabelle C.2f: Alle Gruppen-Vergleiche für Variable Q.....	99
Tabelle C.3a: Werte der Variable P für alle Gruppen und Messintervalle.....	100
Tabelle C.3b: Werte der Variable SDNN für alle Gruppen und Messintervalle.....	101
Tabelle C.3c: Werte der Variable RMSSD für alle Gruppen und Messintervalle..	102
Tabelle C.3d: Werte der Variable B für alle Gruppen und Messintervalle.....	103
Tabelle C.3e: Werte der Variable SDBB für alle Gruppen und Messintervalle.....	104
Tabelle C.3f: Werte der Variable Q für alle Gruppen und Messintervalle.....	105
Tabelle C.4: Anzahl signifikanter p-Werte bei allen Gruppen-Vergleichen.....	106
Tabelle D.1: Ausmaß der Beschädigung der Daten.....	110
Tabelle E.1: Messintervall-Vergleich für Variable P'	114
Tabelle E.2: Messintervall-Vergleich für Variable B'.....	115
Tabelle E.3: Messintervall-Vergleich für Variable Q'.....	116
Tabelle E.4a: Alle Gruppenvergleiche für Variable ΔP	118
Tabelle E.4b: Alle Gruppenvergleiche für Variable $\Delta SDNN$	119
Tabelle E.4c: Alle Gruppenvergleiche für Variable $\Delta RMSSD$	120
Tabelle E.4d: Alle Gruppenvergleiche für Variable ΔB	121
Tabelle E.4e: Alle Gruppenvergleiche für Variable $\Delta SDBB$	122
Tabelle E.4f: Alle Gruppenvergleiche für Variable ΔQ	123
Tabelle E.5: Anzahl signifikanter p-Werte bei Gruppen-Vergleichen der Δ -Variablen	124
Tabelle E.6: Vergleich der Anzahl p-Werte ≤ 0.05 für Variablen/ Δ -Variablen.....	124
Tabelle E.7: Umlegung der Anzahl $p \leq 0.05$ auf übergeordneten p-Wert für 10 p-Werte.....	125

A.4 Abbildungen

Abbildung 2.1: Elektrische Reizleitung im Herzen.....	16
Abbildung 2.2: Schnitt durch die Nasenhöhle.....	17
Abbildung 2.3: Übersicht des Atmungssystems.....	18
Abbildung 2.4: Atemmechanik bei In- und Expiration.....	19
Abbildung 2.5: Lungenvolumina und -kapazitäten.....	20
Abbildung 2.6: Autonomes Nervensystem.....	21
Abbildung 2.7: Innervation des Herzens.....	23
Abbildung 3.1: EKG-Kurve eines Herzzyklus.....	27
Abbildung 3.2: Gewinnung der NN-Zeitreihe.....	27
Abbildung 3.3: HRV-Spektren bei natürlicher und kontrollierter Atmung.....	30
Abbildung 4.1: Handhaltung bei Nadi Shodhana.....	34
Abbildungen 4.2a-d: Messkurven für thorakale Atmung.....	36
Abbildung 5.1: NeXus-10.....	39
Abbildung 5.2: EKG Ableitung II, Platzierung der Elektroden am Brustkorb.....	40
Abbildung 5.3: Messablauf und Definition der Messintervalle.....	42
Abbildung 5.4: Doppelspitze einer R-Zacke.....	43
Abbildung 7.1: Verlaufskurven für Variable P.....	60
Abbildungen 7.2a-f: Signifikanzdiagramme für paarweise Messintervall-Vergleiche	66
Abbildung 7.3: Verlauf von SDNN nach Lehrerfahrung gruppiert.....	71
Abbildung 7.4: Signifikanzdiagramme für Gruppen-Vergleiche.....	73
Abbildung 7.5a: Zusammengefasste Signifikanzdiagramme für Variablen.....	75
Abbildung 7.5b: Zusammengefasste Signifikanzdiagramme für Gruppierungen...	75
Abbildung B.1: Verlaufskurven für Variable P.....	89
Abbildung B.2: Verlaufskurven für Variable SDNN.....	89
Abbildung B.3: Verlaufskurven für Variable RMSSD.....	90
Abbildung B.4: Verlaufskurven für Variable B.....	90
Abbildung B.5: Verlaufskurven für Variable SDBB.....	91
Abbildung B.6: Verlaufskurven für Variable Q.....	91
Abbildung D.1: Zeitreihe der $\Delta N N_i$	107

Abbildung D.2: NN-Zeitreihe mit Fehler-Modellen.....	109
Abbildung D.3: Software „MDK“.....	110
Abbildung D.4: Rekonstruktion von R-Zacken.....	111
Abbildung E.1: Verlaufskurven für Variable $P' = |P-64|$.....	114
Abbildung E.2: Verlaufskurven für Variable $B' = |B-16|$.....	115
Abbildung E.3: Verlaufskurven für Variable $Q' = |Q-4|$.....	116
Abbildung E.4: Eliminieren der Interdependenz einer Schar von p-Werten.....	126

B Verlaufskurven der untersuchten Variablen

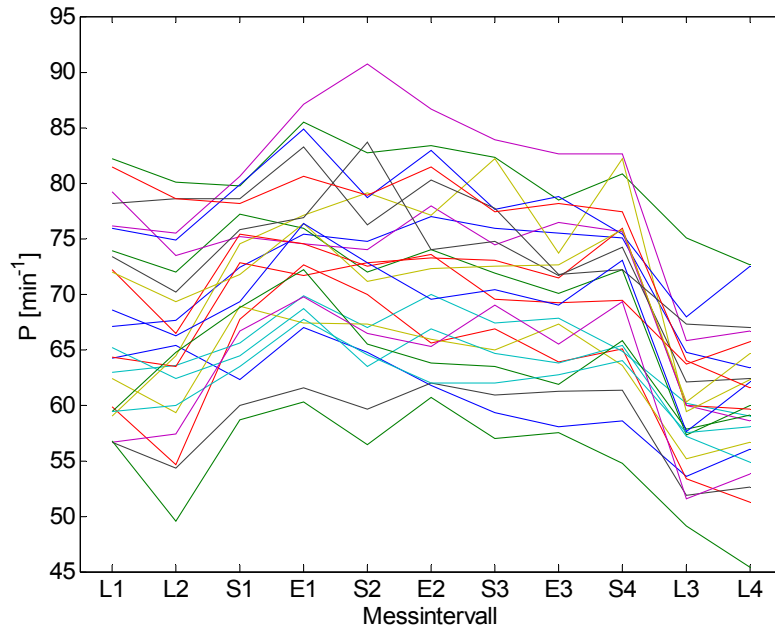


Abbildung B.1: Verlaufskurven für Variable P
Jede Kurve steht für eine Person und zeigt die jeweilige Entwicklung des durchschnittlichen Pulses im Verlauf der Messintervalle. Diese Abbildung ist identisch mit Abbildung 7.1.

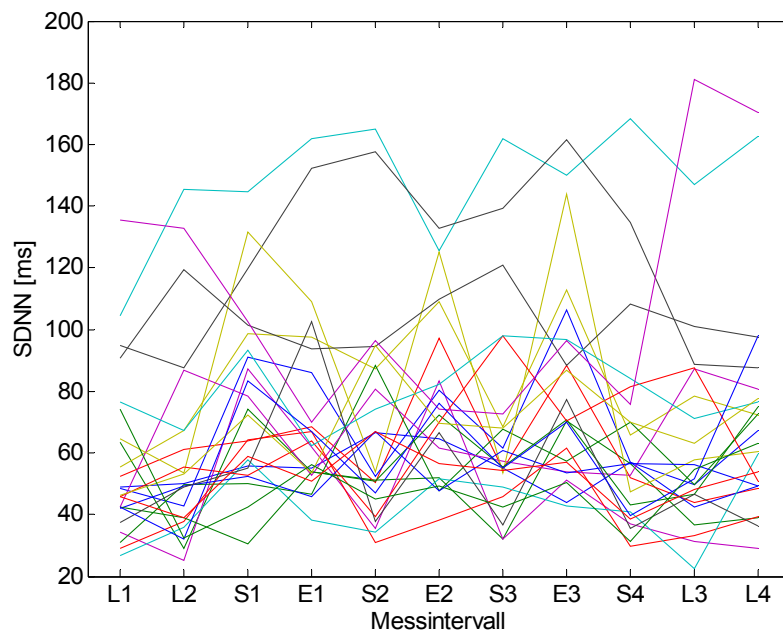


Abbildung B.2: Verlaufskurven für Variable SDNN

B Verlaufskurven der untersuchten Variablen

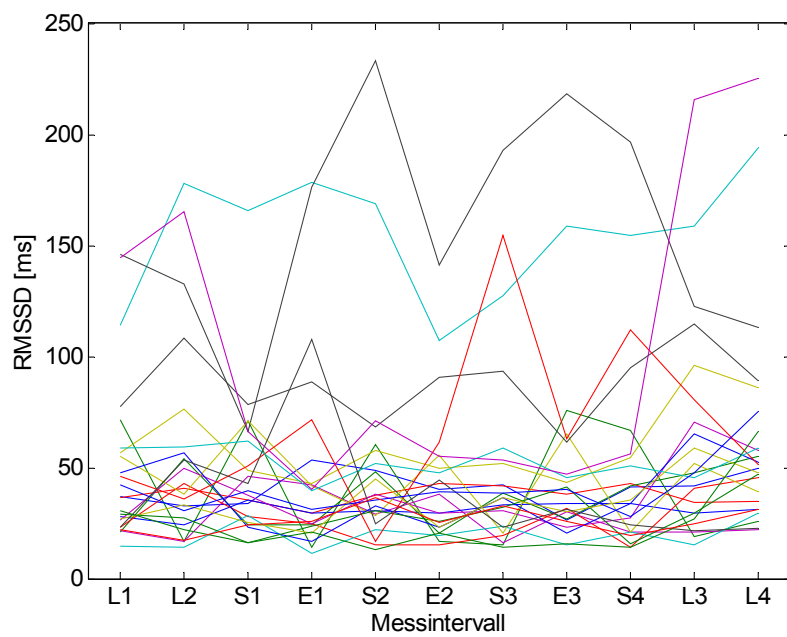


Abbildung B.3: Verlaufskurven für Variable RMSSD

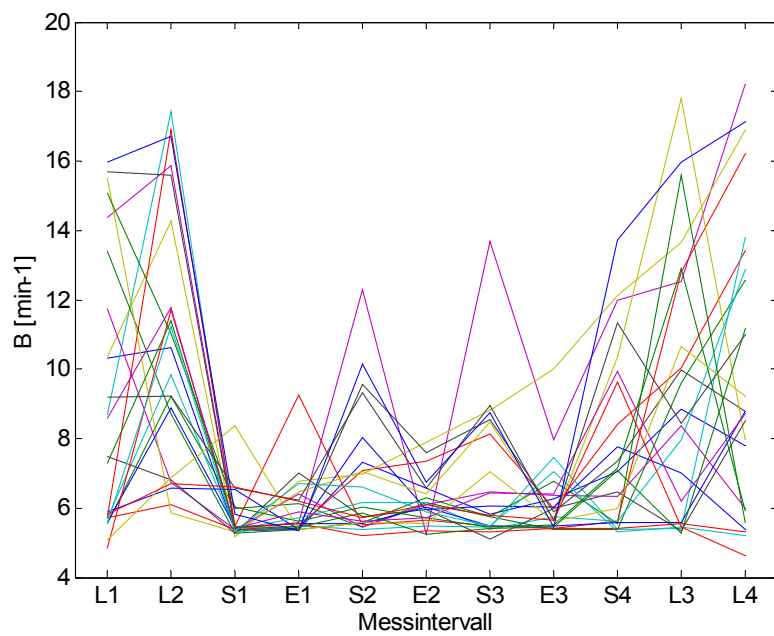


Abbildung B.4: Verlaufskurven für Variable B

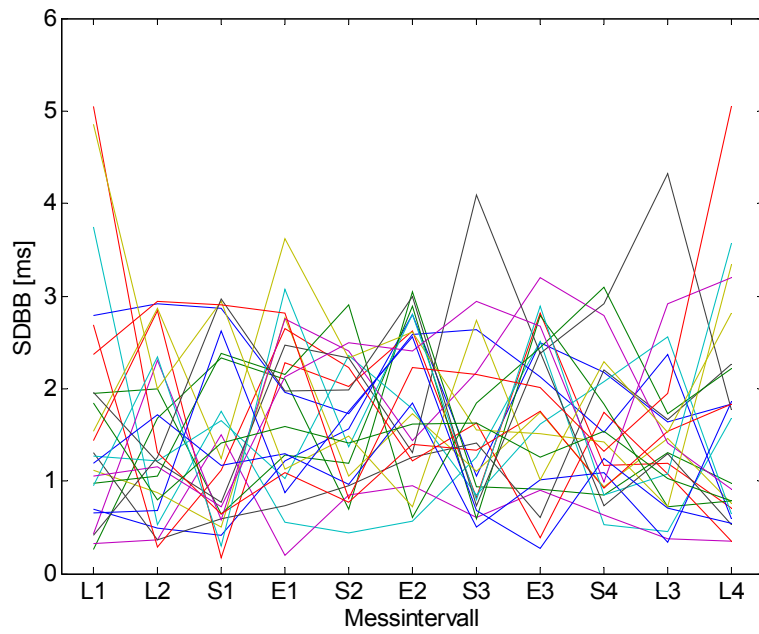


Abbildung B.5: Verlaufskurven für Variable SDBB

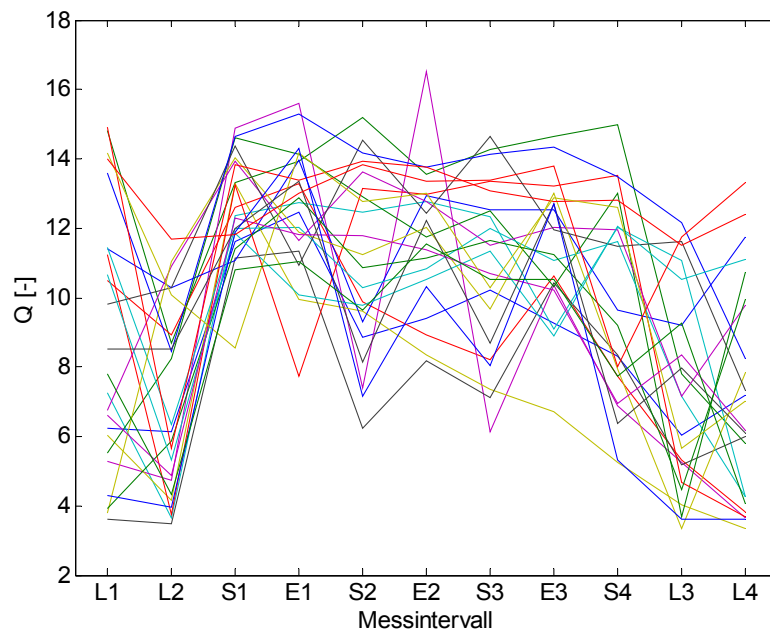


Abbildung B.6: Verlaufskurven für Variable Q

C Ergebnistabellen für Gruppen-Vergleiche

In Kapitel 7.2 wurden für Gruppen-Vergleiche nur diejenigen Tabellen angeführt, die für die Diskussion relevante Ergebnisse enthalten. Anhang C fasst nun alle Ergebnistabellen zusammen. Die entsprechenden Tabellen in Kapitel 7.2 stellen gewissermaßen einen Auszug daraus dar. Tabelle C.1 bietet zunächst einen Überblick aller zur Auswertung gekommenen Gruppen. Um zu untersuchen, wie fließend der Übergang zwischen etwaigen Gruppenunterschieden ist, wurden für die Unterscheidung nach Lehrererfahrung bzw. Alter sowohl eine Aufspaltung in 2 als auch in 3 Gruppen untersucht. Wie den Tabellen C.2a-f zu entnehmen ist, treten die signifikanten Unterschiede vorrangig zwischen der jeweils ersten und dritten Gruppe bei Dreiteilung auf, was auf einen fließenden Übergang hindeutet, der im Falle einer Zweiteilung der Gruppen die Unterschiede in der Schärfe ihrer Ausprägung mindert.

Tabelle C.1: Auflistung der verglichenen Gruppen

Gruppen-Vergleiche der fettgedruckte Gruppen sind in Kapitel 7.2 näher behandelt.

Aspekt	Unterscheidendes Merkmal	Anzahl der TeilnehmerInnen
Lehrererfahrung (2 Gruppen)	Übende (keine) Lehrende	8 16
Lehrererfahrung (3 Gruppen)	keine höchstens 3 Jahre mindestens 4 Jahre	8 9 7
Yoga-Erfahrung (3 Gruppen)	höchstens 6 Jahre 7 bis 10 Jahre mehr als 10 Jahre	6 8 10
Alter (2 Gruppen)	bis zu 44 Jahre alt mindestens 45 Jahre alt	13 11
Alter (3 Gruppen)	bis zu 39 Jahre alt 40 bis 49 Jahre alt mindestens 50 Jahre alt	9 9 6
Regelmäßigkeit des Trainings (2 Gruppen)	höchstens 4× pro Woche mindestens 5× pro Woche	14 10
Pranayama-Anteil (2 Gruppen)	weniger als 50% des Trainings mindestens 50% des Trainings	15 9
Geschlecht (2 Gruppen)	weiblich männlich	19 5

Die Tabellen C.2a-f fassen die p-Werte sämtlicher Gruppen-Vergleiche zusammen, wobei jede Tabelle alle Vergleiche zu einer untersuchten Variablen auflistet. Das Vorzeichen der gelisteten p-Werte gibt an, ob die untersuchte Variable im Mittel für die zweite der beiden verglichenen Gruppen kleiner (–) oder größer (kein Vorzeichen) als für die erste Gruppe ist. Die Tabellen 7.8a-b auf Seite 70 stellen einen Auszug aus diesen Tabellen für die signifikantesten Fälle dar. Anhand der Tabellen C.3a-f können anschließend die genauen Mittelwerte und Standardabweichungen der untersuchten Variablen für jede Gruppierung in allen Messintervallen nachvollzogen werden.

C Ergebnistabellen für Gruppen-Vergleiche

Tabelle C.2a: Alle Gruppen-Vergleiche für Variable P

Auflistung aller p-Werte des Wilcoxon-Rangsummentests. Das Vorzeichen gibt an, ob die Variable im Mittel für die zweite genannte Gruppe höher (kein Vorzeichen) oder niedriger (-) ist als für die erste. Die Farbcodierung erfolgt gemäß der verschiedenen Signifikanzbänder: $0.05 < p \leq 1$, $0.01 < p \leq 0.05$, $0.001 < p \leq 0.01$, $p \leq 0.001$.

	L1	L2	S1	E1	S2	E2	S3	E3	S4	L3	L4
Yoga-Übende → Lehrende	.4813	.4440	.2093	.3123	.4084	.4084	.5607	-.9756	.6460	.6460	.5607
Yoga-Übende → Lehrende ≤ 3a	.9626	-.9626	.2359	.4234	.3213	.4807	.5414	.8884	.4807	.7430	.6730
Yoga-Übende → Lehrende ≥ 4a	.2319	.1206	.3969	.3969	.7789	.5358	.7789	-.9551	-1	.6943	.6126
Lehrende ≤ 3a → Lehrende ≥ 4a	.2991	.2523	.6806	.9182	-.4698	1	-.6806	-.9182	-.6065	.7577	.9182
Yoga-Erfahrung ≤ 6a → 7-10a	.6620	.2824	.0593	.1079	.0293	.0593	.0293	.1419	.1419	.0593	.1079
Yoga-Erfahrung ≤ 6a → > 10a	.6354	.7925	1	.9578	-.7925	.8749	-.6354	-.4923	-.4923	.7925	-1
Yoga-Erfahrung 7-10a → > 10a	-.6965	-.5148	-.1728	-.1220	-.0205	-.0545	-.0266	-.0205	-.0117	-.1220	-.0676
Alter < 45a → ≥ 45a	.1320	.1048	.4173	.2970	.4869	.5623	.7721	.9538	.8620	.2710	.2466
Alter ≤ 39a → 40-49a	-.6665	-.6665	-.8633	.5457	.3865	1	.6665	-.6665	.7962	-.7962	-.9314
Alter ≤ 39a → ≥ 50a	.4559	.5287	1	.9546	.9546	-.9546	-.6889	-.5287	-.9546	.7756	.7756
Alter 40-49a → ≥ 50a	.3277	.3277	.9546	.9546	-.6070	-1	-.6070	-.8639	-.7756	.5287	.8639
Training ≤ 4×/Woche → ≥ 5×/Woche	-.9300	.7035	.9300	-.5780	-.6605	-.9300	-.9300	-.8836	-.7922	-.8376	.8376
Pranayama < 50% → ≥ 50%	.4382	.2572	-.8115	.9525	-.8115	-.9051	-.8115	-.9525	-.7656	.2831	.3107
Geschlecht: weiblich → männlich	.5696	.3555	.2863	.2269	.1355	.2007	.2269	.3197	.2863	.5696	.6188

C Ergebnistabellen für Gruppen-Vergleiche

Tabelle C.2b: Alle Gruppen-Vergleiche für Variable SDNN

Auflistung aller p-Werte des Wilcoxon-Rangsummentests. Das Vorzeichen gibt an, ob die Variable im Mittel für die zweite genannte Gruppe höher (kein Vorzeichen) oder niedriger (–) ist als für die erste. Die Farbcodierung erfolgt gemäß der verschiedenen Signifikanzbänder: $0.05 < p \leq 1$, $0.01 < p \leq 0.05$, $0.001 < p \leq 0.01$, $p \leq 0.001$.

	L1	L2	S1	E1	S2	E2	S3	E3	S4	L3	L4
Yoga-Übende → Lehrende	-.1683	-.0708	-.0156	-.3123	-.0297	-.1501	-.0297	-.0537	-.0922	-.0402	-.0093
Yoga-Übende → Lehrende ≤ 3a	-.8148	-.2359	-.2766	-1	-.0592	-1	-.1672	-.3704	-.2766	-.2359	-.0274
Yoga-Übende → Lehrende ≥ 4a	-.0205	-.0541	-.0003	-.0541	-.0721	-.0037	-.0140	-.0093	-.0721	-.0140	-.0205
Lehrende ≤ 3a → Lehrende ≥ 4a	-.0549	-.6806	-.0229	-.0115	-.6806	-.1416	-.7577	-.1142	-.8371	-.5360	.6806
Yoga-Erfahrung ≤ 6a → 7-10a	-.7546	-.2824	1	.5728	-.2284	.7546	-.3450	.9497	.5728	-.1419	-.0426
Yoga-Erfahrung ≤ 6a → > 10a	-.3676	-.1806	-.0075	.6354	-.0934	-.1806	-.1471	-.1806	-.3132	-.0420	-.0110
Yoga-Erfahrung 7-10a → > 10a	-.6334	.7618	-.0205	-.3154	-.7618	-.5726	-.8286	-.2743	-.8286	.8968	.3599
Alter < 45a → ≥ 45a	-.3848	-.0929	-.3848	-.7281	-.1320	-.9078	-.2970	-.2024	-.4869	-.2237	-.4869
Alter ≤ 39a → 40-49a	-.7304	-.1359	-.7962	.2581	-.0244	.4894	-.0315	-.6048	-.0315	-.1359	-.1903
Alter ≤ 39a → ≥ 50a	-.4559	-.0176	-.0663	-.3884	-.0028	-.2721	-.0256	-.0663	-.0663	-.0496	-.0879
Alter 40-49a → ≥ 50a	-.5287	-.6889	-.0663	-.0016	-.7756	-.1447	-.7756	-.1447	-.3884	-.4559	-.9546
Training ≤ 4×/Woche → ≥ 5×/Woche	-.2535	.7035	-.2787	-.7474	.6605	-.1514	-.7474	-.7474	-1	.8836	.9766
Pranayama < 50% → ≥ 50%	-.5119	.8580	-.5119	.7656	.9525	-.8115	.4382	-.9051	.7656	.6764	.4038
Geschlecht: weiblich → männlich	.3555	.2007	.2554	.5223	.0550	.3555	.3197	.3197	.2863	.2269	.2554

C Ergebnistabellen für Gruppen-Vergleiche

Tabelle C.2c: Alle Gruppen-Vergleiche für Variable RMSSD

Auflistung aller p-Werte des Wilcoxon-Rangsummentests. Das Vorzeichen gibt an, ob die Variable im Mittel für die zweite genannte Gruppe höher (kein Vorzeichen) oder niedriger (-) ist als für die erste. Die Farbcodierung erfolgt gemäß der verschiedenen Signifikanzbänder: $0.05 < p \leq 1$, $0.01 < p \leq 0.05$, $0.001 < p \leq 0.01$, $p \leq 0.001$.

	L1	L2	S1	E1	S2	E2	S3	E3	S4	L3	L4
Yoga-Übende → Lehrende	-.2324	-.1335	-.2573	-.6027	-.0708	-.3123	-.1335	-.4813	-.2324	-.0466	-.0346
Yoga-Übende → Lehrende ≤ 3a	-.8884	-.3213	-.8148	.9626	-.1996	1	.4234	.5414	.8148	-.1996	-.1672
Yoga-Übende → Lehrende ≥ 4a	-.0401	-.1206	-.0093	-.2810	-.0721	-.0541	-.0721	-.0289	-.0541	-.0289	-.0205
Lehrende ≤ 3a → Lehrende ≥ 4a	-.0907	-.7577	-.0311	-.3510	-.9182	-.4079	-.6806	-.0229	-.4698	-.4079	-.6806
Yoga-Erfahrung ≤ 6a → 7-10a	-1	-.4136	.6620	.9497	.3450	.9497	.2824	.4908	.8518	-.2824	-.1079
Yoga-Erfahrung ≤ 6a → > 10a	-.1471	-.1806	-.1471	.9578	-.0934	.4923	.4278	.4278	.3676	-.0420	-.0420
Yoga-Erfahrung 7-10a → > 10a	-.2031	-.6965	-.1728	.9654	-.6334	-1	-.5148	-.2031	-.8286	-.6334	.7618
Alter < 45a → ≥ 45a	-.7721	-.0426	-.6430	.3539	.8167	.7281	1	.6851	1	-.1048	-.1644
Alter ≤ 39a → 40-49a	-.7304	-.1903	-.7304	.3401	-.0770	.7304	-.2581	.6048	-.1359	-.0939	-.3401
Alter ≤ 39a → ≥ 50a	-.4559	-.0028	-.5287	-.6070	-.1810	-.3884	-.2238	-.8639	-.4559	-.0256	-.0120
Alter 40-49a → ≥ 50a	-.6889	-.0360	-.4559	-.1810	-.8639	-.2721	-.6889	-.6889	-.8639	-.2721	-.5287
Training ≤ 4×/Woche → ≥ 5×/Woche	.6187	.2535	-.1688	.9766	.9300	-.6187	-1	-.3959	-.6605	.5780	.8376
Pranayama < 50% → ≥ 50%	-.6764	-.6333	.7656	.3401	-.6764	.5510	.5510	-1	1	-.7205	-.9525
Geschlecht: weiblich → männlich	.8311	.2863	.3197	.2863	.2863	.2863	.5223	.3937	.6697	.2863	.4772

C Ergebnistabellen für Gruppen-Vergleiche

Tabelle C.2d: Alle Gruppen-Vergleiche für Variable B

Auflistung aller p-Werte des Wilcoxon-Rangsummentests. Das Vorzeichen gibt an, ob die Variable im Mittel für die zweite genannte Gruppe höher (kein Vorzeichen) oder niedriger (–) ist als für die erste. Die Farbcodierung erfolgt gemäß der verschiedenen Signifikanzbänder: $0.05 < p \leq 1$, $0.01 < p \leq 0.05$, $0.001 < p \leq 0.01$, $p \leq 0.001$.

	L1	L2	S1	E1	S2	E2	S3	E3	S4	L3	L4
Yoga-Übende → Lehrende	.9268	-.4440	-.8783	.8303	.7829	-.7363	-.2839	-.0537	-.8303	.8783	-.8783
Yoga-Übende → Lehrende ≤ 3a	.7430	-.7430	-.9626	.4807	.8148	-.8148	.6058	-.0592	-.9626	.9626	.7430
Yoga-Übende → Lehrende ≥ 4a	.8665	-.3357	-.6943	-.6943	-.8665	.3357	-.1893	-.1893	-.7789	.8665	-.4634
Lehrende ≤ 3a → Lehrende ≥ 4a	.9182	-.4698	.4698	-.5360	-.9182	.4079	-1	-.5360	-1	-.9182	-.1142
Yoga-Erfahrung ≤ 6a → 7-10a	-1	-.7546	-.8518	.7546	.7546	-.9497	.4908	-.2284	-.6620	.9497	.9497
Yoga-Erfahrung ≤ 6a → > 10a	-.7925	-.4278	-.9578	-.3132	-.9578	-.7128	-.0727	-.3676	-.4923	-.3676	-.6354
Yoga-Erfahrung 7-10a → > 10a	-.8286	-.7618	1	-.2743	-.6334	-.8968	-.3154	.6965	-.7618	-.4598	-.4598
Alter < 45a → ≥ 45a	.4869	.4869	.2237	-.8620	.1644	.4513	.9078	-.1827	.4173	-1	1
Alter ≤ 39a → 40-49a	.1903	.7304	-.6665	.7304	.0244	.6048	.3401	-.0503	.0625	.4363	.0770
Alter ≤ 39a → ≥ 50a	-.6070	-1	-.2721	-.9546	-.9546	-.6889	-.0879	-.0256	-1	-1	-.6070
Alter 40-49a → ≥ 50a	-.1135	-.6070	.3277	-.8639	-.0879	-.6070	-.1135	-.6070	-.0663	-.3884	-.0496
Training ≤ 4×/Woche → ≥ 5×/Woche	.1877	-.9766	-.4642	.5780	-.9766	.5780	-.6605	-.9300	-1	.5387	-.1877
Pranayama < 50% → ≥ 50%	.6333	.8580	.0736	-.0838	.8580	-.5510	-.8115	-.6333	1	-.9525	-.4743
Geschlecht: weiblich → männlich	.3555	-.1768	-.0756	.5696	-.3197	-.9433	-.3197	.3197	-.6697	.6188	-.2269

C Ergebnistabellen für Gruppen-Vergleiche

Tabelle C.2e: Alle Gruppen-Vergleiche für Variable SDBB

Auflistung aller p-Werte des Wilcoxon-Rangsummentests. Das Vorzeichen gibt an, ob die Variable im Mittel für die zweite genannte Gruppe höher (kein Vorzeichen) oder niedriger (-) ist als für die erste. Die Farbcodierung erfolgt gemäß der verschiedenen Signifikanzbänder: $0.05 < p \leq 1$, $0.01 < p \leq 0.05$, $0.001 < p \leq 0.01$, $p \leq 0.001$.

	L1	L2	S1	E1	S2	E2	S3	E3	S4	L3	L4
Yoga-Übende → Lehrende	-.9756	-.6460	-.9756	-.8303	-.7829	.6460	-.2573	-.2839	.4813	-.9268	-.7829
Yoga-Übende → Lehrende ≤ 3a	-.8884	-.4807	-.6730	-.8148	-.6730	-.9626	-.7430	-.1672	.7430	-.7430	-.6730
Yoga-Übende → Lehrende ≥ 4a	-.7789	-1	.6943	-.9551	1	.3357	-.0939	.7789	.3969	-.8665	1
Lehrende ≤ 3a → Lehrende ≥ 4a	-.4079	.4079	.2523	-.7577	.5360	.2991	-.3510	.0712	.5360	-.5360	.6065
Yoga-Erfahrung ≤ 6a → 7-10a	-.4908	-.7546	.3450	-.4908	-.2824	-.9497	-.7546	-.2284	.8518	.6620	-.4908
Yoga-Erfahrung ≤ 6a → > 10a	.2635	-.8749	.7128	-.3676	-.5622	.8749	-.4278	1	1	-.9578	-.5622
Yoga-Erfahrung 7-10a → > 10a	.6965	.7618	.8968	-.5726	1	.6965	-.5726	.0044	-1	-.6965	.8968
Alter < 45a → ≥ 45a	-.1320	-.1644	.1827	-.1178	-.6021	-1	-.5623	-.1827	.7721	.1178	-.7721
Alter ≤ 39a → 40-49a	-.5457	-.1615	.6048	-.8633	.4894	1	-.8633	-.0625	.7304	.6665	-.1359
Alter ≤ 39a → ≥ 50a	-.6889	-.4559	.5287	-.6889	.8639	.8639	-.7756	-.2238	.6070	.1447	.7756
Alter 40-49a → ≥ 50a	.9546	.2721	.6070	-1	-.5287	.6889	-.6070	.2238	.6889	.0360	.1447
Training ≤ 4×/Woche → ≥ 5×/Woche	-.4642	-.6187	-.6605	-1	.1207	.6605	.7474	.3340	.1207	.5007	-.8376
Pranayama < 50% → ≥ 50%	.8580	-.9051	.1074	-.1524	.6764	-.4743	.4743	.4038	.6333	-.7205	-.6764
Geschlecht: weiblich → männlich	.0466	.2269	.6697	.3937	-.5223	1	.5223	.3197	.8311	.7762	.1768

C Ergebnistabellen für Gruppen-Vergleiche

Tabelle C.2f: Alle Gruppen-Vergleiche für Variable Q

Auflistung aller p-Werte des Wilcoxon-Rangsummentests. Das Vorzeichen gibt an, ob die Variable im Mittel für die zweite genannte Gruppe höher (kein Vorzeichen) oder niedriger (–) ist als für die erste. Die Farbcodierung erfolgt gemäß der verschiedenen Signifikanzbänder: $0.05 < p \leq 1$, $0.01 < p \leq 0.05$, $0.001 < p \leq 0.01$, $p \leq 0.001$.

	L1	L2	S1	E1	S2	E2	S3	E3	S4	L3	L4
Yoga-Übende → Lehrende	.8783	.5202	.2573	.7363	.4813	.5202	.4084	.1335	.6027	-1	.8783
Yoga-Übende → Lehrende ≤ 3a	.8884	.9626	.1139	-.8148	.5414	.4807	.8148	.1672	.6058	-.8884	-.7430
Yoga-Übende → Lehrende ≥ 4a	.9551	.2810	.8665	.3357	.6126	.7789	.2319	.2810	.7789	.8665	.4634
Lehrende ≤ 3a → Lehrende ≥ 4a	-.9182	.4698	-.6065	.2991	.9182	-.6065	.6806	-.8371	-.9182	.6806	.0712
Yoga-Erfahrung ≤ 6a → 7-10a	.8518	.8518	.1812	.6620	.6620	.1419	.3450	.1079	.3450	.7546	-.8518
Yoga-Erfahrung ≤ 6a → > 10a	.6354	.5622	.9578	.4278	.7128	.5622	.1179	.6354	.5622	.3676	.5622
Yoga-Erfahrung 7-10a → > 10a	-.8968	-.6965	-.1728	1	-.6334	-.1457	-.4598	-.1220	-.3599	.7618	.6334
Alter < 45a → ≥ 45a	-.9078	-.9538	-.7721	.3247	-.5239	.9078	-1	.4173	-.4513	.8620	1
Alter ≤ 39a → 40-49a	-.2224	-.6665	.9314	-.7962	-.1615	-.5457	-.1359	.2224	-.1359	-.2224	-.0400
Alter ≤ 39a → ≥ 50a	.3884	.6889	-.5287	.9546	.6889	.7756	.3277	.2721	.8639	.8639	.6889
Alter 40-49a → ≥ 50a	.0879	.3884	-.6070	.4559	.1135	.6070	.0663	.5287	.0496	.2721	.0496
Training ≤ 4×/Woche → ≥ 5×/Woche	-.2535	-.8836	.7474	-.9766	-.7035	-.7474	.7474	1	.5387	-.6187	.2081
Pranayama < 50% → ≥ 50%	-1	.8580	-.0950	.1360	-.4743	.6764	-.7656	.7656	-1	1	.3107
Geschlecht: weiblich → männlich	-.5696	.1355	.1551	.8311	.0756	.5223	.1179	.9433	.6697	.6697	.1551

C Ergebnistabellen für Gruppen-Vergleiche

Tabelle C.3a: Werte der Variable P für alle Gruppen und Messintervalle
Mittelwert \pm Standardabweichung [min^{-1}] der Variable für die bezeichneten 3-Minuten-Intervalle.

	L1	L2	S1	E1	S2	E2	S3	E3	S4	L1	L2
Yoga-Übende	66.0 ± 7.3	64.6 ± 5.5	69.1 ± 3.9	72.2 ± 3.8	69.7 ± 3.9	70.0 ± 5.6	69.6 ± 4.7	69.6 ± 4.8	70.2 ± 5.4	58.4 ± 3.9	59.5 ± 3.6
Yoga-Lehrende	68.7 ± 8.9	67.2 ± 9.2	72.1 ± 7.5	75.0 ± 8.1	72.9 ± 9.4	72.9 ± 8.6	71.4 ± 8.6	69.5 ± 7.8	70.8 ± 8.4	60.3 ± 6.8	60.6 ± 7.5
Lehrende $\leq 3a$	66.7 ± 9.5	64.3 ± 10.1	71.7 ± 8.0	74.1 ± 9.2	74.2 ± 11.2	72.9 ± 9.0	72.3 ± 9.6	69.9 ± 8.1	71.8 ± 9.9	60.0 ± 8.0	59.8 ± 8.6
Lehrende $\geq 4a$	71.2 ± 8.2	70.9 ± 6.8	72.7 ± 7.4	76.1 ± 7.1	71.3 ± 6.8	73.0 ± 8.9	70.3 ± 7.8	68.9 ± 8.0	69.6 ± 6.6	60.7 ± 5.6	61.6 ± 6.3
Yoga-Erfahrung $\leq 6a$	66.4 ± 8.5	64.3 ± 6.4	69.2 ± 4.0	72.0 ± 4.2	69.4 ± 3.8	68.8 ± 5.7	68.9 ± 4.7	68.9 ± 5.0	70.2 ± 5.5	57.0 ± 3.3	59.0 ± 3.9
Yoga-Erfahrung 7-10a	69.3 ± 9.0	68.8 ± 8.2	74.4 ± 6.7	77.5 ± 8.5	77.8 ± 9.2	77.0 ± 7.7	76.3 ± 7.4	74.2 ± 6.5	76.0 ± 6.8	63.4 ± 6.8	64.0 ± 6.6
Yoga-Erfahrung $> 10a$	67.4 ± 8.5	65.6 ± 9.2	69.7 ± 7.2	72.5 ± 6.7	68.7 ± 6.6	69.8 ± 7.4	67.5 ± 6.9	66.2 ± 6.4	66.5 ± 6.7	58.3 ± 5.6	58.0 ± 6.5
Alter $< 45a$	65.3 ± 7.6	63.8 ± 7.6	70.3 ± 5.9	72.6 ± 6.0	70.3 ± 6.1	71.0 ± 6.8	70.4 ± 6.8	69.5 ± 6.1	70.3 ± 7.5	58.2 ± 5.1	58.9 ± 6.6
Alter $\geq 45a$	70.7 ± 8.6	69.3 ± 8.1	72.1 ± 7.5	75.8 ± 8.1	73.7 ± 9.8	73.0 ± 9.0	71.3 ± 8.6	69.6 ± 7.9	71.0 ± 7.7	61.5 ± 6.7	61.9 ± 6.0
Alter $\leq 39a$	67.7 ± 7.9	66.4 ± 6.5	71.2 ± 5.5	73.5 ± 5.5	70.6 ± 4.7	71.9 ± 6.8	70.6 ± 5.2	70.7 ± 5.5	70.7 ± 5.3	59.4 ± 4.9	60.7 ± 5.5
Alter 40-49a	65.8 ± 8.5	64.1 ± 9.9	70.9 ± 7.7	74.1 ± 8.9	73.5 ± 10.8	72.1 ± 8.6	71.9 ± 9.1	69.2 ± 7.5	71.3 ± 9.3	58.5 ± 6.2	58.8 ± 7.4
Alter $\geq 50a$	70.8 ± 9.5	69.6 ± 7.7	71.5 ± 7.3	74.7 ± 7.1	71.3 ± 8.1	71.8 ± 9.2	69.4 ± 8.8	68.2 ± 8.6	69.5 ± 8.3	61.9 ± 7.6	61.6 ± 6.7
Training $\leq 4\times/\text{Woche}$	67.9 ± 8.4	65.7 ± 8.7	71.0 ± 6.7	74.4 ± 7.3	72.9 ± 9.3	72.0 ± 7.9	71.1 ± 8.2	69.9 ± 6.9	70.9 ± 8.4	60.0 ± 6.2	60.2 ± 6.8
Training $\geq 5\times/\text{Woche}$	67.5 ± 8.7	67.2 ± 7.7	71.4 ± 6.8	73.6 ± 7.0	70.5 ± 6.0	71.8 ± 8.0	70.3 ± 6.9	69.0 ± 7.1	70.1 ± 6.3	59.2 ± 6.0	60.2 ± 6.0
Pranayama $< 50\%$	66.9 ± 9.3	65.1 ± 9.5	71.2 ± 7.5	73.8 ± 8.3	72.4 ± 9.7	72.0 ± 8.7	71.2 ± 8.5	69.8 ± 7.5	70.9 ± 8.4	59.2 ± 7.0	59.3 ± 7.5
Pranayama $\geq 50\%$	69.3 ± 6.7	68.3 ± 4.8	71.0 ± 5.1	74.4 ± 4.6	70.9 ± 4.2	71.8 ± 6.3	70.1 ± 6.0	69.1 ± 6.0	70.0 ± 5.9	60.6 ± 4.2	61.7 ± 3.7
weiblich	67.2 ± 8.3	65.4 ± 8.5	70.3 ± 6.8	73.5 ± 7.6	70.7 ± 8.1	71.1 ± 8.3	69.8 ± 7.7	68.8 ± 7.3	69.7 ± 7.6	59.4 ± 6.7	60.0 ± 7.2
männlich	70.1 ± 9.1	69.7 ± 6.1	74.2 ± 5.0	76.1 ± 3.9	76.1 ± 6.6	75.3 ± 4.3	74.7 ± 5.6	72.2 ± 3.9	74.2 ± 6.4	60.6 ± 2.5	61.0 ± 1.5

C Ergebnistabellen für Gruppen-Vergleiche

Tabelle C.3b: Werte der Variable SDNN für alle Gruppen und Messintervalle
Mittelwert \pm Standardabweichung [ms] der Variable für die bezeichneten 3-Minuten-Intervalle.

	L1	L2	S1	E1	S2	E2	S3	E3	S4	L1	L2
Yoga-Übende	68.9 \pm 34.4	78.5 \pm 41.0	95.5 \pm 22.3	81.4 \pm 36.0	87.2 \pm 36.3	84.8 \pm 21.4	80.3 \pm 35.5	96.6 \pm 28.9	76.7 \pm 39.6	90.2 \pm 48.5	98.3 \pm 44.1
Yoga-Lehrende	51.4 \pm 20.8	50.8 \pm 23.6	68.6 \pm 27.9	70.0 \pm 30.0	60.7 \pm 31.8	72.8 \pm 29.1	62.3 \pm 30.9	74.3 \pm 33.7	57.5 \pm 28.9	53.4 \pm 21.7	58.1 \pm 18.9
Lehrende \leq 3a	60.9 \pm 23.1	55.7 \pm 30.8	81.9 \pm 30.5	80.7 \pm 32.4	62.1 \pm 40.2	84.2 \pm 34.4	68.7 \pm 40.2	87.3 \pm 39.7	64.3 \pm 36.5	59.4 \pm 26.6	57.3 \pm 22.9
Lehrende \geq 4a	39.2 \pm 8.1	44.5 \pm 6.2	51.5 \pm 9.7	56.2 \pm 21.3	58.8 \pm 19.0	58.2 \pm 9.7	54.1 \pm 9.7	57.6 \pm 12.8	48.8 \pm 12.6	45.7 \pm 10.7	59.1 \pm 13.8
Yoga-Erfahrung \leq 6a	66.3 \pm 36.2	73.2 \pm 34.3	88.1 \pm 11.9	67.2 \pm 16.5	80.1 \pm 18.3	78.8 \pm 16.4	69.9 \pm 15.4	86.1 \pm 21.1	64.7 \pm 16.1	88.7 \pm 46.9	95.8 \pm 37.5
Yoga-Erfahrung 7-10a	58.4 \pm 24.6	55.5 \pm 32.1	90.2 \pm 27.0	83.8 \pm 34.9	67.8 \pm 41.2	83.7 \pm 36.3	68.2 \pm 40.1	92.1 \pm 41.8	65.9 \pm 36.3	55.9 \pm 26.1	56.4 \pm 24.4
Yoga-Erfahrung $>$ 10a	50.9 \pm 22.9	55.7 \pm 32.8	61.2 \pm 30.9	69.8 \pm 36.7	64.5 \pm 38.9	70.1 \pm 24.2	67.5 \pm 37.1	70.8 \pm 31.4	61.9 \pm 40.7	59.7 \pm 34.5	69.0 \pm 34.9
Alter $<$ 45a	61.7 \pm 30.3	67.6 \pm 34.8	83.5 \pm 31.0	75.2 \pm 32.4	75.9 \pm 33.8	77.5 \pm 29.5	70.1 \pm 30.9	89.0 \pm 33.5	66.2 \pm 34.6	74.3 \pm 43.0	78.6 \pm 41.1
Alter \geq 45a	52.0 \pm 22.1	51.0 \pm 28.4	70.6 \pm 25.5	72.2 \pm 32.6	62.0 \pm 36.4	76.0 \pm 25.0	66.2 \pm 36.5	73.1 \pm 32.6	61.1 \pm 33.1	55.5 \pm 25.5	63.1 \pm 24.3
Alter \leq 39a	64.7 \pm 34.6	77.2 \pm 37.6	87.0 \pm 28.8	75.2 \pm 37.0	89.5 \pm 31.6	77.6 \pm 26.0	79.5 \pm 33.0	90.4 \pm 31.9	77.8 \pm 35.4	86.2 \pm 46.9	90.1 \pm 44.8
Alter 40-49a	57.6 \pm 24.6	55.3 \pm 30.6	83.2 \pm 30.0	86.5 \pm 31.2	61.5 \pm 40.5	86.5 \pm 32.7	64.5 \pm 38.3	88.1 \pm 39.4	57.3 \pm 37.6	56.5 \pm 23.7	62.2 \pm 26.7
Alter \geq 50a	45.6 \pm 11.9	41.3 \pm 9.6	54.9 \pm 14.1	52.6 \pm 8.2	51.6 \pm 13.5	61.2 \pm 9.0	57.3 \pm 21.9	59.2 \pm 13.4	52.9 \pm 16.0	48.6 \pm 21.7	57.6 \pm 12.7
Training \leq 4x/Woche	58.8 \pm 21.8	58.3 \pm 34.8	83.0 \pm 29.4	74.2 \pm 32.0	67.1 \pm 35.0	82.7 \pm 26.8	70.5 \pm 36.9	84.2 \pm 33.0	65.8 \pm 36.8	63.9 \pm 32.3	70.6 \pm 33.1
Training \geq 5x/Woche	55.1 \pm 33.6	62.4 \pm 30.5	69.9 \pm 27.4	73.3 \pm 33.2	72.8 \pm 36.5	68.6 \pm 26.2	65.2 \pm 27.9	78.2 \pm 35.3	61.2 \pm 29.3	68.2 \pm 43.6	72.7 \pm 38.5
Pranayama $<$ 50%	61.1 \pm 29.9	59.1 \pm 32.0	79.8 \pm 27.2	71.6 \pm 30.1	68.9 \pm 32.9	77.1 \pm 31.3	66.0 \pm 31.0	82.1 \pm 35.5	61.9 \pm 29.4	63.6 \pm 39.1	67.9 \pm 33.9
Pranayama \geq 50%	50.9 \pm 20.5	61.5 \pm 35.0	73.7 \pm 32.5	77.4 \pm 36.0	70.5 \pm 40.2	76.3 \pm 19.3	72.1 \pm 37.4	81.0 \pm 31.4	67.2 \pm 40.6	69.1 \pm 33.8	77.4 \pm 37.1
weiblich	54.6 \pm 25.9	54.4 \pm 26.0	72.4 \pm 22.8	68.9 \pm 26.0	63.1 \pm 30.8	72.5 \pm 22.7	62.2 \pm 26.1	77.1 \pm 29.2	58.0 \pm 24.7	61.7 \pm 35.0	66.8 \pm 31.4
männlich	67.3 \pm 30.5	81.3 \pm 47.7	97.3 \pm 42.3	92.5 \pm 47.2	93.7 \pm 42.9	93.0 \pm 37.8	91.6 \pm 48.0	99.4 \pm 45.2	86.5 \pm 53.1	80.7 \pm 42.8	89.4 \pm 44.2

C Ergebnistabellen für Gruppen-Vergleiche

Tabelle C.3c: Werte der Variable RMSSD für alle Gruppen und Messintervalle
Mittelwert \pm Standardabweichung [ms] der Variable für die bezeichneten 3-Minuten-Intervalle.

	L1	L2	S1	E1	S2	E2	S3	E3	S4	L1	L2
Yoga-Übende	62.3 \pm 44.1	77.0 \pm 60.9	60.1 \pm 44.9	50.8 \pm 52.1	62.3 \pm 45.1	47.6 \pm 26.6	53.8 \pm 31.4	52.7 \pm 43.7	55.0 \pm 41.9	90.3 \pm 64.8	96.9 \pm 71.9
Yoga-Lehrende	43.9 \pm 32.9	44.4 \pm 33.1	41.0 \pm 20.8	48.4 \pm 44.0	46.6 \pm 52.2	42.6 \pm 33.1	49.8 \pm 52.5	49.1 \pm 48.8	48.8 \pm 49.0	47.3 \pm 33.0	48.3 \pm 24.5
Lehrende \leq 3a	56.3 \pm 39.2	51.1 \pm 41.0	51.4 \pm 21.8	56.7 \pm 51.0	55.9 \pm 69.4	53.5 \pm 40.9	63.1 \pm 68.3	66.6 \pm 60.3	64.8 \pm 61.3	56.7 \pm 39.7	54.0 \pm 30.3
Lehrende \geq 4a	28.0 \pm 11.3	35.7 \pm 18.6	27.6 \pm 8.6	37.7 \pm 33.6	34.7 \pm 10.5	28.5 \pm 9.8	32.7 \pm 7.3	26.7 \pm 8.2	28.2 \pm 10.7	35.1 \pm 17.5	41.0 \pm 12.8
Yoga-Erfahrung \leq 6a	59.3 \pm 44.1	69.0 \pm 50.1	46.5 \pm 15.5	33.1 \pm 9.1	49.7 \pm 13.5	40.7 \pm 12.5	45.1 \pm 11.3	38.2 \pm 9.7	42.0 \pm 13.4	89.0 \pm 64.7	91.7 \pm 66.8
Yoga-Erfahrung 7-10a	58.9 \pm 41.2	54.6 \pm 43.4	52.3 \pm 21.9	54.3 \pm 54.6	62.3 \pm 71.4	51.3 \pm 44.0	53.4 \pm 62.0	67.1 \pm 64.3	60.2 \pm 61.5	58.0 \pm 40.5	52.2 \pm 32.4
Yoga-Erfahrung $>$ 10a	37.4 \pm 28.5	47.6 \pm 47.9	43.8 \pm 44.3	54.7 \pm 52.4	44.7 \pm 45.3	40.8 \pm 27.1	53.0 \pm 47.6	44.2 \pm 42.6	48.7 \pm 47.0	48.1 \pm 43.1	58.0 \pm 49.5
Alter $<$ 45a	51.4 \pm 37.6	65.0 \pm 49.4	49.1 \pm 39.3	41.0 \pm 42.2	49.1 \pm 39.5	40.0 \pm 24.7	43.3 \pm 28.6	44.6 \pm 36.8	44.6 \pm 35.8	72.4 \pm 55.5	76.3 \pm 61.1
Alter \geq 45a	48.4 \pm 38.2	43.7 \pm 40.1	45.3 \pm 19.9	58.8 \pm 49.8	55.1 \pm 61.3	49.3 \pm 37.0	60.5 \pm 60.6	57.1 \pm 56.6	58.2 \pm 56.5	48.8 \pm 39.1	50.5 \pm 30.1
Alter \leq 39a	58.3 \pm 43.3	77.4 \pm 55.6	54.2 \pm 44.8	46.3 \pm 50.4	60.4 \pm 42.7	42.9 \pm 27.4	51.9 \pm 30.0	47.7 \pm 42.8	54.2 \pm 39.0	87.5 \pm 61.1	89.6 \pm 69.8
Alter 40-49a	50.5 \pm 40.2	54.5 \pm 39.3	47.0 \pm 20.8	62.6 \pm 52.1	53.9 \pm 69.2	54.1 \pm 39.2	51.1 \pm 58.6	59.1 \pm 61.7	50.7 \pm 60.2	53.4 \pm 38.5	56.4 \pm 31.5
Alter \geq 50a	37.0 \pm 20.3	23.2 \pm 9.0	37.5 \pm 20.2	33.4 \pm 23.9	35.9 \pm 16.4	31.5 \pm 16.7	50.1 \pm 52.1	41.2 \pm 23.7	46.1 \pm 37.6	35.0 \pm 24.1	38.9 \pm 11.4
Training \leq 4x/Woche	48.1 \pm 27.1	49.5 \pm 45.4	54.5 \pm 37.4	47.0 \pm 43.3	47.9 \pm 38.6	45.5 \pm 26.9	51.8 \pm 43.7	50.6 \pm 36.3	52.6 \pm 41.6	56.7 \pm 42.1	60.7 \pm 44.2
Training \geq 5x/Woche	52.8 \pm 49.4	63.3 \pm 47.4	37.3 \pm 17.1	52.2 \pm 51.1	57.3 \pm 63.8	42.5 \pm 36.6	50.3 \pm 51.1	50.0 \pm 59.7	48.5 \pm 53.6	68.4 \pm 59.3	69.8 \pm 59.5
Pranayama $<$ 50%	55.1 \pm 41.6	57.8 \pm 45.3	45.9 \pm 21.5	42.6 \pm 41.4	53.7 \pm 53.0	44.1 \pm 33.8	47.3 \pm 45.7	50.7 \pm 49.8	49.9 \pm 46.5	62.7 \pm 54.3	64.8 \pm 51.4
Pranayama \geq 50%	41.7 \pm 28.3	51.1 \pm 48.8	49.7 \pm 44.7	60.1 \pm 52.8	48.7 \pm 46.1	44.5 \pm 26.3	57.6 \pm 48.1	49.6 \pm 42.6	52.4 \pm 47.6	59.9 \pm 42.1	63.9 \pm 51.0
weiblich	48.0 \pm 37.3	49.0 \pm 39.2	40.6 \pm 16.8	43.2 \pm 39.4	47.0 \pm 47.8	40.1 \pm 27.9	48.2 \pm 46.6	45.8 \pm 44.5	46.8 \pm 43.2	56.9 \pm 47.8	60.0 \pm 46.1
männlich	57.9 \pm 39.4	79.2 \pm 64.9	72.8 \pm 57.9	71.8 \pm 64.9	70.1 \pm 57.3	59.9 \pm 38.6	62.4 \pm 45.8	67.7 \pm 54.2	66.3 \pm 58.0	79.5 \pm 55.5	81.6 \pm 66.6

C Ergebnistabellen für Gruppen-Vergleiche

Tabelle C.3d: Werte der Variable B für alle Gruppen und Messintervalle
Mittelwert \pm Standardabweichung [min^{-1}] der Variable für die bezeichneten 3-Minuten-Intervalle.

	L1	L2	S1	E1	S2	E2	S3	E3	S4	L1	L2
Yoga-Übende	9.0 ± 3.7	11.5 ± 4.5	5.9 ± 1.1	5.9 ± 0.6	6.7 ± 1.7	6.2 ± 0.8	6.8 ± 1.3	6.8 ± 1.5	8.3 ± 3.2	9.1 ± 4.0	10.3 ± 5.0
Yoga-Lehrende	9.2 ± 4.2	10.3 ± 3.4	5.6 ± 0.4	6.0 ± 1.0	6.8 ± 2.0	6.1 ± 0.7	6.8 ± 2.3	5.9 ± 0.7	7.5 ± 2.2	9.6 ± 3.9	9.9 ± 4.0
Lehrende $\leq 3a$	9.1 ± 4.6	11.0 ± 4.4	5.5 ± 0.2	6.3 ± 1.3	7.1 ± 2.4	6.1 ± 0.9	7.3 ± 2.8	5.9 ± 0.8	7.6 ± 2.3	9.9 ± 4.2	11.3 ± 4.2
Lehrende $\geq 4a$	9.3 ± 3.9	9.3 ± 1.4	5.8 ± 0.6	5.7 ± 0.4	6.5 ± 1.4	6.2 ± 0.3	6.1 ± 1.3	5.9 ± 0.5	7.4 ± 2.3	9.3 ± 3.7	8.1 ± 3.0
Yoga-Erfahrung $\leq 6a$	9.5 ± 4.1	11.3 ± 4.0	5.9 ± 1.2	6.1 ± 0.6	6.7 ± 1.8	6.3 ± 0.9	7.2 ± 1.4	6.8 ± 1.7	8.9 ± 3.5	10.0 ± 4.2	10.5 ± 5.2
Yoga-Erfahrung 7-10a	9.5 ± 4.8	10.7 ± 4.6	5.6 ± 0.4	6.4 ± 1.3	7.4 ± 2.5	6.1 ± 0.7	7.3 ± 2.9	6.0 ± 0.8	7.6 ± 2.4	10.1 ± 4.2	10.8 ± 4.4
Yoga-Erfahrung $> 10a$	8.6 ± 3.5	10.3 ± 3.1	5.7 ± 0.5	5.6 ± 0.3	6.4 ± 1.2	6.1 ± 0.7	6.1 ± 1.3	6.0 ± 0.7	7.3 ± 2.0	8.6 ± 3.5	9.1 ± 3.7
Alter $< 45a$	8.4 ± 3.4	10.2 ± 4.0	5.7 ± 0.9	6.1 ± 1.1	6.2 ± 0.9	6.1 ± 0.7	6.5 ± 1.2	6.4 ± 1.3	7.3 ± 2.2	9.5 ± 4.3	9.9 ± 4.1
Alter $\geq 45a$	10.0 ± 4.5	11.2 ± 3.5	5.8 ± 0.5	5.8 ± 0.5	7.5 ± 2.4	6.2 ± 0.7	7.1 ± 2.6	5.9 ± 0.7	8.3 ± 2.9	9.3 ± 3.4	10.2 ± 4.6
Alter $\leq 39a$	8.3 ± 3.0	10.3 ± 3.8	5.8 ± 1.0	5.9 ± 0.6	6.1 ± 0.9	6.1 ± 0.7	6.3 ± 1.1	6.8 ± 1.4	7.1 ± 2.4	8.7 ± 3.8	8.8 ± 4.1
Alter 40-49a	10.8 ± 4.5	11.6 ± 4.7	5.6 ± 0.4	6.3 ± 1.3	8.1 ± 2.4	6.3 ± 0.8	8.1 ± 2.6	5.9 ± 0.8	9.1 ± 2.8	10.9 ± 4.3	12.5 ± 3.9
Alter $\geq 50a$	7.9 ± 4.0	9.9 ± 1.8	5.8 ± 0.5	5.8 ± 0.3	6.0 ± 0.7	6.0 ± 0.4	5.6 ± 0.2	5.7 ± 0.3	6.7 ± 1.6	8.4 ± 2.8	8.2 ± 3.7
Training $\leq 4\times/\text{Woche}$	8.4 ± 4.0	10.7 ± 4.1	5.7 ± 0.8	5.9 ± 0.6	6.8 ± 2.0	6.1 ± 0.8	7.0 ± 2.4	6.3 ± 1.3	8.1 ± 3.0	9.3 ± 4.3	11.2 ± 4.5
Training $\geq 5\times/\text{Woche}$	10.1 ± 3.8	10.6 ± 3.4	5.7 ± 0.5	6.1 ± 1.2	6.8 ± 1.6	6.2 ± 0.6	6.4 ± 1.3	6.0 ± 0.5	7.4 ± 1.9	9.6 ± 3.3	8.4 ± 3.3
Pranayama $< 50\%$	8.8 ± 4.0	10.6 ± 3.7	5.5 ± 0.4	6.2 ± 1.0	6.7 ± 1.9	6.2 ± 0.8	6.9 ± 2.3	6.3 ± 1.2	7.8 ± 2.5	9.6 ± 4.1	10.6 ± 4.3
Pranayama $\geq 50\%$	9.6 ± 4.1	10.8 ± 4.1	6.1 ± 1.0	5.6 ± 0.4	6.9 ± 1.9	6.0 ± 0.5	6.6 ± 1.4	6.0 ± 0.7	7.8 ± 2.9	9.2 ± 3.5	9.1 ± 4.2
weiblich	8.8 ± 4.0	11.1 ± 3.5	5.8 ± 0.7	6.0 ± 0.9	7.0 ± 2.0	6.2 ± 0.8	7.0 ± 2.1	6.2 ± 1.1	7.9 ± 2.7	9.3 ± 3.2	10.6 ± 4.3
männlich	10.2 ± 4.1	9.1 ± 4.8	5.6 ± 0.6	6.1 ± 0.7	5.9 ± 0.7	6.0 ± 0.4	6.1 ± 1.4	6.3 ± 0.8	7.5 ± 2.3	9.9 ± 6.2	8.1 ± 3.6

C Ergebnistabellen für Gruppen-Vergleiche

Tabelle C.3e: Werte der Variable SDBB für alle Gruppen und Messintervalle
Mittelwert \pm Standardabweichung [s] der Variable für die bezeichneten 3-Minuten-Intervalle.

	L1	L2	S1	E1	S2	E2	S3	E3	S4	L1	L2
Yoga-Übende	1.9 \pm 1.6	1.6 \pm 0.9	1.5 \pm 1.1	1.9 \pm 0.9	1.6 \pm 0.7	1.9 \pm 0.9	1.8 \pm 0.9	2.1 \pm 1.0	1.4 \pm 0.8	1.5 \pm 0.8	1.8 \pm 1.3
Yoga-Lehrende	1.6 \pm 1.2	1.4 \pm 0.9	1.4 \pm 0.9	1.8 \pm 0.9	1.6 \pm 0.7	1.9 \pm 0.8	1.4 \pm 0.9	1.7 \pm 0.8	1.6 \pm 0.7	1.5 \pm 1.0	1.6 \pm 1.3
Lehrende \leq 3a	1.8 \pm 1.4	1.3 \pm 1.0	1.1 \pm 0.6	1.9 \pm 1.1	1.5 \pm 0.7	1.8 \pm 0.8	1.6 \pm 1.0	1.4 \pm 0.8	1.5 \pm 0.7	1.5 \pm 1.1	1.4 \pm 1.0
Lehrende \geq 4a	1.3 \pm 0.7	1.5 \pm 0.8	1.7 \pm 1.0	1.7 \pm 0.7	1.7 \pm 0.8	2.2 \pm 0.8	1.1 \pm 0.6	2.1 \pm 0.6	1.8 \pm 0.8	1.5 \pm 0.7	1.8 \pm 1.6
Yoga-Erfahrung \leq 6a	1.5 \pm 1.7	1.6 \pm 0.7	1.3 \pm 1.2	2.1 \pm 0.9	1.8 \pm 0.6	1.9 \pm 0.8	1.7 \pm 1.0	2.0 \pm 1.2	1.5 \pm 0.8	1.5 \pm 0.8	2.0 \pm 1.4
Yoga-Erfahrung 7-10a	1.5 \pm 0.9	1.4 \pm 1.1	1.4 \pm 0.8	1.9 \pm 1.1	1.5 \pm 0.7	1.9 \pm 0.8	1.7 \pm 1.2	1.2 \pm 0.7	1.5 \pm 0.7	1.5 \pm 1.3	1.4 \pm 1.1
Yoga-Erfahrung $>$ 10a	2.0 \pm 1.4	1.4 \pm 0.9	1.5 \pm 1.0	1.6 \pm 0.7	1.5 \pm 0.8	2.0 \pm 0.9	1.2 \pm 0.5	2.2 \pm 0.5	1.5 \pm 0.8	1.4 \pm 0.6	1.6 \pm 1.4
Alter $<$ 45a	2.0 \pm 1.2	1.7 \pm 0.9	1.2 \pm 0.9	2.1 \pm 0.9	1.6 \pm 0.6	1.9 \pm 0.8	1.6 \pm 0.8	2.0 \pm 0.9	1.4 \pm 0.6	1.3 \pm 0.7	1.6 \pm 1.2
Alter \geq 45a	1.4 \pm 1.4	1.1 \pm 0.7	1.7 \pm 1.0	1.5 \pm 0.8	1.5 \pm 0.8	1.9 \pm 0.9	1.4 \pm 1.0	1.6 \pm 0.8	1.7 \pm 0.9	1.7 \pm 1.0	1.6 \pm 1.3
Alter \leq 39a	2.0 \pm 1.5	1.8 \pm 0.8	1.3 \pm 1.0	1.9 \pm 0.9	1.5 \pm 0.7	1.9 \pm 0.9	1.6 \pm 1.0	2.2 \pm 0.8	1.4 \pm 0.7	1.4 \pm 0.9	1.8 \pm 1.1
Alter 40-49a	1.4 \pm 0.8	1.2 \pm 1.0	1.4 \pm 0.9	1.8 \pm 1.1	1.8 \pm 0.6	1.9 \pm 0.8	1.5 \pm 1.1	1.4 \pm 0.9	1.5 \pm 0.7	1.4 \pm 1.2	1.2 \pm 1.0
Alter \geq 50a	1.8 \pm 1.8	1.4 \pm 0.8	1.7 \pm 1.0	1.7 \pm 0.7	1.5 \pm 0.9	2.0 \pm 0.9	1.4 \pm 0.5	1.9 \pm 0.6	1.7 \pm 0.9	1.8 \pm 0.4	2.1 \pm 1.6
Training \leq 4x/Woche	2.0 \pm 1.5	1.5 \pm 0.9	1.5 \pm 0.9	1.8 \pm 1.0	1.4 \pm 0.7	1.9 \pm 0.8	1.5 \pm 1.0	1.7 \pm 0.8	1.3 \pm 0.7	1.4 \pm 1.0	1.8 \pm 1.4
Training \geq 5x/Woche	1.3 \pm 0.9	1.4 \pm 0.9	1.3 \pm 1.0	1.8 \pm 0.7	1.8 \pm 0.7	2.0 \pm 0.8	1.6 \pm 0.9	2.0 \pm 1.0	1.8 \pm 0.8	1.5 \pm 0.7	1.5 \pm 0.9
Pranayama $<$ 50%	1.4 \pm 0.7	1.5 \pm 0.9	1.1 \pm 0.8	2.0 \pm 1.0	1.5 \pm 0.7	2.0 \pm 0.7	1.4 \pm 1.0	1.7 \pm 0.9	1.4 \pm 0.6	1.5 \pm 1.1	1.8 \pm 1.4
Pranayama \geq 50%	2.2 \pm 1.9	1.4 \pm 0.8	1.9 \pm 1.1	1.5 \pm 0.7	1.7 \pm 0.8	1.7 \pm 1.0	1.6 \pm 0.8	2.0 \pm 0.9	1.7 \pm 0.9	1.4 \pm 0.6	1.4 \pm 0.8
weiblich	1.5 \pm 1.4	1.3 \pm 0.8	1.4 \pm 1.0	1.7 \pm 0.8	1.6 \pm 0.7	1.9 \pm 0.8	1.4 \pm 0.8	1.7 \pm 0.9	1.5 \pm 0.7	1.4 \pm 0.7	1.4 \pm 1.0
männlich	2.3 \pm 0.9	1.9 \pm 1.0	1.5 \pm 0.9	2.2 \pm 1.2	1.4 \pm 0.9	1.9 \pm 1.0	1.9 \pm 1.3	2.2 \pm 0.5	1.6 \pm 0.9	1.6 \pm 1.6	2.5 \pm 1.7

C Ergebnistabellen für Gruppen-Vergleiche

Tabelle C.3f: Werte der Variable Q für alle Gruppen und Messintervalle
Mittelwert \pm Standardabweichung [-] der Variable für die bezeichneten 3-Minuten-Intervalle.

	L1	L2	S1	E1	S2	E2	S3	E3	S4	L1	L2
Yoga-Übende	8.4 \pm 3.3	6.7 \pm 3.2	11.9 \pm 1.6	12.3 \pm 1.8	10.8 \pm 2.2	11.5 \pm 1.7	10.5 \pm 1.9	10.6 \pm 2.3	9.5 \pm 3.2	7.5 \pm 2.8	7.1 \pm 3.4
Yoga-Lehrende	9.1 \pm 4.1	7.3 \pm 2.6	12.9 \pm 1.4	12.6 \pm 1.9	11.3 \pm 2.8	12.0 \pm 2.1	11.2 \pm 2.7	11.9 \pm 1.6	10.1 \pm 2.8	7.3 \pm 3.1	7.1 \pm 3.1
Lehrende \leq 3a	9.1 \pm 4.3	6.8 \pm 3.0	13.1 \pm 1.4	12.1 \pm 2.3	11.3 \pm 3.2	12.2 \pm 2.5	10.8 \pm 3.2	12.0 \pm 1.5	10.2 \pm 3.0	7.1 \pm 3.1	6.1 \pm 2.9
Lehrende \geq 4a	9.0 \pm 4.0	7.9 \pm 2.0	12.6 \pm 1.4	13.3 \pm 1.1	11.3 \pm 2.4	11.8 \pm 1.5	11.8 \pm 1.9	11.8 \pm 1.9	10.0 \pm 2.7	7.6 \pm 3.3	8.5 \pm 3.0
Yoga-Erfahrung \leq 6a	8.1 \pm 3.6	6.6 \pm 3.1	12.0 \pm 1.9	12.0 \pm 1.9	10.8 \pm 2.4	11.1 \pm 1.7	9.9 \pm 1.8	10.6 \pm 2.4	9.0 \pm 3.5	6.6 \pm 2.7	6.8 \pm 3.2
Yoga-Erfahrung 7-10a	9.2 \pm 4.4	7.6 \pm 3.1	13.3 \pm 1.5	12.6 \pm 2.6	11.4 \pm 3.4	12.8 \pm 2.3	11.5 \pm 3.4	12.6 \pm 1.6	10.8 \pm 3.0	7.4 \pm 3.3	6.8 \pm 2.7
Yoga-Erfahrung $>$ 10a	9.0 \pm 3.6	6.9 \pm 2.4	12.3 \pm 1.1	12.8 \pm 0.8	11.1 \pm 2.1	11.6 \pm 1.6	11.3 \pm 1.8	11.1 \pm 1.5	9.7 \pm 2.4	7.8 \pm 3.0	7.6 \pm 3.7
Alter $<$ 45a	8.9 \pm 3.2	7.2 \pm 2.9	12.6 \pm 1.7	12.1 \pm 2.1	11.6 \pm 1.7	11.7 \pm 1.6	11.1 \pm 1.9	11.1 \pm 2.1	10.3 \pm 2.9	7.3 \pm 3.0	7.1 \pm 3.1
Alter \geq 45a	8.8 \pm 4.5	6.9 \pm 2.6	12.6 \pm 1.3	13.0 \pm 1.3	10.6 \pm 3.3	12.0 \pm 2.3	10.8 \pm 3.0	11.9 \pm 1.6	9.4 \pm 3.0	7.5 \pm 3.0	7.2 \pm 3.3
Alter \leq 39a	9.1 \pm 3.4	7.3 \pm 2.8	12.5 \pm 1.9	12.6 \pm 1.9	11.8 \pm 1.8	11.9 \pm 1.7	11.4 \pm 1.9	10.8 \pm 2.4	10.8 \pm 2.9	8.0 \pm 3.1	8.0 \pm 3.0
Alter 40-49a	7.2 \pm 3.0	6.6 \pm 3.1	12.8 \pm 1.4	12.2 \pm 2.3	9.7 \pm 2.8	11.7 \pm 2.4	9.6 \pm 2.8	11.7 \pm 1.2	8.4 \pm 2.6	6.3 \pm 2.8	5.1 \pm 1.7
Alter \geq 50a	10.9 \pm 4.7	7.4 \pm 2.4	12.3 \pm 1.0	13.0 \pm 0.7	12.2 \pm 2.5	12.0 \pm 1.8	12.4 \pm 1.4	12.1 \pm 2.0	10.8 \pm 2.8	8.1 \pm 2.9	8.8 \pm 3.7
Training \leq 4x/Woche	9.6 \pm 4.0	7.1 \pm 2.9	12.5 \pm 1.6	12.6 \pm 1.7	11.3 \pm 2.6	12.0 \pm 2.1	10.8 \pm 2.7	11.4 \pm 2.2	9.7 \pm 3.1	7.7 \pm 3.2	6.6 \pm 3.5
Training \geq 5x/Woche	7.7 \pm 3.4	7.1 \pm 2.6	12.6 \pm 1.4	12.5 \pm 2.1	10.9 \pm 2.7	11.7 \pm 1.7	11.2 \pm 2.1	11.6 \pm 1.6	10.1 \pm 2.7	6.9 \pm 2.6	8.0 \pm 2.6
Pranayama $<$ 50%	9.0 \pm 3.7	7.0 \pm 2.8	13.0 \pm 1.3	12.1 \pm 2.1	11.3 \pm 2.7	11.7 \pm 2.2	11.0 \pm 2.8	11.3 \pm 2.2	9.9 \pm 3.0	7.3 \pm 3.1	6.6 \pm 3.1
Pranayama \geq 50%	8.6 \pm 4.0	7.2 \pm 2.8	11.9 \pm 1.6	13.2 \pm 0.9	10.8 \pm 2.5	12.0 \pm 1.4	10.9 \pm 1.7	11.7 \pm 1.5	9.8 \pm 2.8	7.4 \pm 2.8	8.0 \pm 3.1
weiblich	9.0 \pm 3.8	6.6 \pm 2.4	12.3 \pm 1.5	12.5 \pm 2.0	10.6 \pm 2.6	11.7 \pm 2.1	10.6 \pm 2.4	11.4 \pm 2.0	9.7 \pm 3.0	7.1 \pm 2.5	6.7 \pm 3.0
männlich	8.1 \pm 4.0	9.0 \pm 3.3	13.4 \pm 1.3	12.6 \pm 1.2	13.0 \pm 1.3	12.5 \pm 0.6	12.5 \pm 1.8	11.6 \pm 1.9	10.5 \pm 2.4	8.3 \pm 4.4	8.7 \pm 3.4

C Ergebnistabellen für Gruppen-Vergleiche

Tabelle C.4: Anzahl signifikanter p-Werte bei allen Gruppen-Vergleichen

Alle Variablen und Gruppierungen: Anzahl der $p \leq 0.05 / p_{\text{Bonf}} \leq 0.05$ der jeweils 11 p-Werte. Null wird als Bindestrich dargestellt. Die Einfärbung bezieht sich auf das Signifikanzniveau des jeweils niedrigsten p-Wertes: $0.01 < p / p_{\text{Bonf}} \leq 0.05$, $0.001 < p / p_{\text{Bonf}} \leq 0.01$, $p \leq 0.001$. Tabelle 7.6 stellt einen Auszug dieser Tabelle dar, die entsprechenden Zeilen sind hellgrau unterlegt. Für die Umlegung der jeweiligen Anzahl auf p-Werte siehe Tabelle 7.7.

	P	SDNN	RMSSD	B	SDBB	Q
Yoga-Übende → Lehrende	-/-	5/-	2/-	-/-	-/-	-/-
Yoga-Übende → Lehrende ≤ 3a	-/-	1/-	-/-	-/-	-/-	-/-
Yoga-Übende → Lehrende ≥ 4a	-/-	7/2	5/-	-/-	-/-	-/-
Lehrende ≤ 3a → Lehrende ≥ 4a	-/-	2/-	2/-	-/-	-/-	-/-
Yoga-Erfahrung ≤ 6a → 7-10a	2/-	1/-	-/-	-/-	-/-	-/-
Yoga-Erfahrung ≤ 6a → > 10a	-/-	3/-	2/-	-/-	-/-	-/-
Yoga-Erfahrung 7-10a → > 10a	4/-	1/-	-/-	-/-	1/1	-/-
Alter < 45a → ≥ 45a	-/-	-/-	1/-	-/-	-/-	-/-
Alter ≤ 39a → 40-49a	-/-	3/-	-/-	1/-	-/-	1/-
Alter ≤ 39a → ≥ 50a	-/-	4/1	3/1	1/-	-/-	-/-
Alter 40-49a → ≥ 50a	-/-	1/1	1/-	1/-	1/-	2/-
Training ≤ 4×/Woche → ≥ 5×/Woche	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
Pranayama < 50% → ≥ 50%	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
Geschlecht: weiblich → männlich	-/-	-/-	-/-	-/-	1/-	-/-

D Datenkorrektur

Bei ersten Analysen der mit dem NeXus-10 aufgezeichneten Daten wurde bei der Errechnung der NN-Zeitreihe schnell deutlich, dass vereinzelte Datensätze eine erhebliche Anzahl an Artefakten aufwiesen. Die Betrachtung der Differenzen aufeinanderfolgender NN-Intervalle ΔNN_i ließ auf die Ursache schließen: Im Normalfall ist zu erwarten, dass die ΔNN_i um Null schwanken – es stellte sich allerdings heraus, dass die Artefakte bei ΔNN_i gehäuft zu Verschiebungen um $\pm 250\text{ms}$ führten, wie Abbildung D.1 zu entnehmen ist.

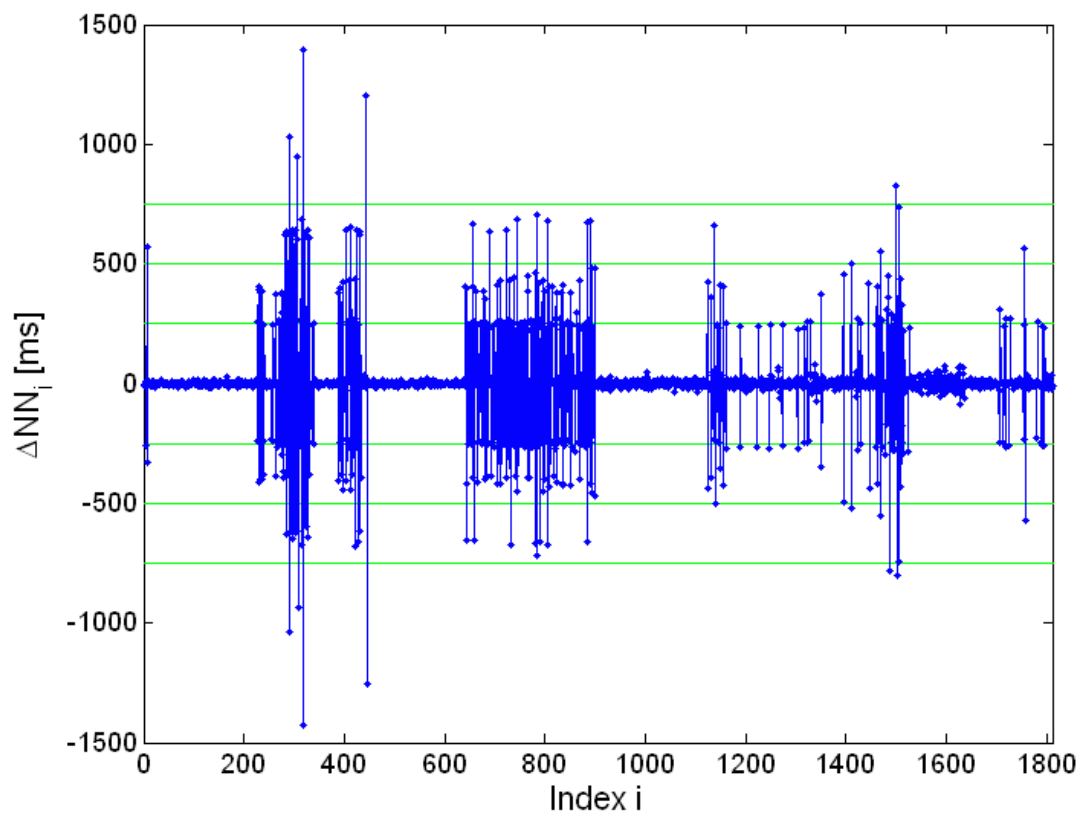


Abbildung D.1: Zeitreihe der ΔNN_i
Die grünen Geraden markieren Vielfache von 250ms.

Diese Regelmäßigkeit legte nahe, dass es sich hierbei nicht um physiologisch sondern um technisch bedingte Artefakte handeln musste. Das NeXus-10 bietet die Möglichkeit gemessene Datensignale entweder direkt auf einer Flash-Karte zu speichern oder aber via Bluetooth an einen Computer zu übermitteln, der die Daten mit Hilfe der „BioTrace+“ Software der Herstellerfirma MindMedia in Echtzeit anzeigt und speichert. Um während der gesamten Messdauer die Funktionalität aller Sensoren sicherstellen zu können, fiel die Wahl im Rahmen der vorliegenden Arbeit auf die Bluetooth-Übertragung.

Durch weiterführende Tests, in denen es gelang, das Auftreten von Artefakten zu provozieren und deren Anzahl zu steuern, konnte der Fehler letztlich klar definiert werden: Bei zu großer Entfernung bzw. bei Obstruktion des Blickkontaktes zwischen NeXus-10 und Laptop traten Verbindungsfehler auf, die dazu führten, dass ein Block von 250ms an Daten³ in allen Kanälen gleichzeitig verloren ging. Dieses Verhalten war nicht sofort erkennbar, da BioTrace+ auf das Fehlen von Daten weder durch eine Fehlermeldung noch durch eine entsprechende Darstellung in den aufgezeichneten Messkurven hinwies. Die Messung wurde quasi für die Dauer von 250ms pausiert und anschließend direkt fortgesetzt, sodass die Zeitachse mit jedem Auftreten eines Übertragungsfehlers um weitere 250ms von der tatsächlichen Zeit abwich, da sich die Zeitanzeige der BioTrace+ Software nicht nach einem objektiven Zeitgeber richtet, sondern aus der Anzahl empfangener Samples ergibt. Dieses Verhalten der Software wurde seitens MindMedia bestätigt, wobei die Tatsache, dass die fehlenden Blöcke allesamt eine Länge von 250ms aufweisen sollten, nicht logisch ergründbar war, sondern hierbei lediglich auf die Funktionsweise des von Microsoft vorgegebenen Bluetooth-Übertragungsprotokolls verwiesen wurde. Ohne also auf die Sicherheit technischer Hintergründe zurückgreifen zu können, wird bei der Korrektur der fehlenden Blöcke in weiterer Folge davon ausgegangen, dass es sich dabei konstant um 250ms Blöcke handelt – vgl. dazu Abbildung D.1.

Dass sich diese Annahme bewährt, lässt sich mit Hilfe der NN-Zeitreihe nachvollziehen. Jedes NN-Intervall wird als die zeitliche Differenz der Bezugspunkte aufeinanderfolgender Herzzyklen berechnet. In der vorliegenden Arbeit wurde als Bezugspunkt wie in Kapitel 5.2 näher ausgeführt die halbe Höhe der R-Zacke gewählt. Fällt ein fehlender 250ms Block zwischen zwei Bezugspunkte, so verkürzt sich das entsprechende NN_i um 250ms. Kommt der fehlende Block gerade so zu liegen, dass der Bezugspunkt hineinfällt, so kann zur Berechnung der Herzzykluslänge erst der nächste Bezugspunkt verwendet werden, wodurch das entsprechende NN_i auf etwa auf die um 250ms verminderte doppelte Länge anwächst. Diese beiden Fälle – zu jedem Zeitpunkt an $\langle NN \rangle_{\text{vicinity}}$, den arithmetischen Mittelwert der NN_i der näheren Umgebung, angepasst – sind in Abbildung D.2 durch die beiden orangefarbenen Kurven dargestellt. Bei größerer Häufung von fehlenden Blöcken kann eine Reihe weiterer Variationen der NN_i -Längen auftreten, die sich nach Gleichung (D.1) modellieren lassen.

$$NN_i \approx (a+1) \cdot \langle NN \rangle_{\text{vicinity}} - b \cdot 250\text{ms} \quad (\text{D.1})$$

Die Variablen a und b bezeichnen die Anzahl der fehlenden Blöcke zwischen zwei sichtbaren Bezugspunkten, wobei sich a auf diejenigen Blöcke bezieht, die direkt auf einem Bezugspunkt zu liegen kommen und somit das ermittelte NN_i verlängern, und b auf solche, die keinen Bezugspunkt inkludieren und NN_i dadurch verkürzen. Die Gesamtzahl

³ Ein Intervall von 250ms entspricht einer ganzzahligen Anzahl an Samples – je nach Samplerate 8, 32 oder 512 (vgl. dazu Tabelle 5.1 auf S.41).

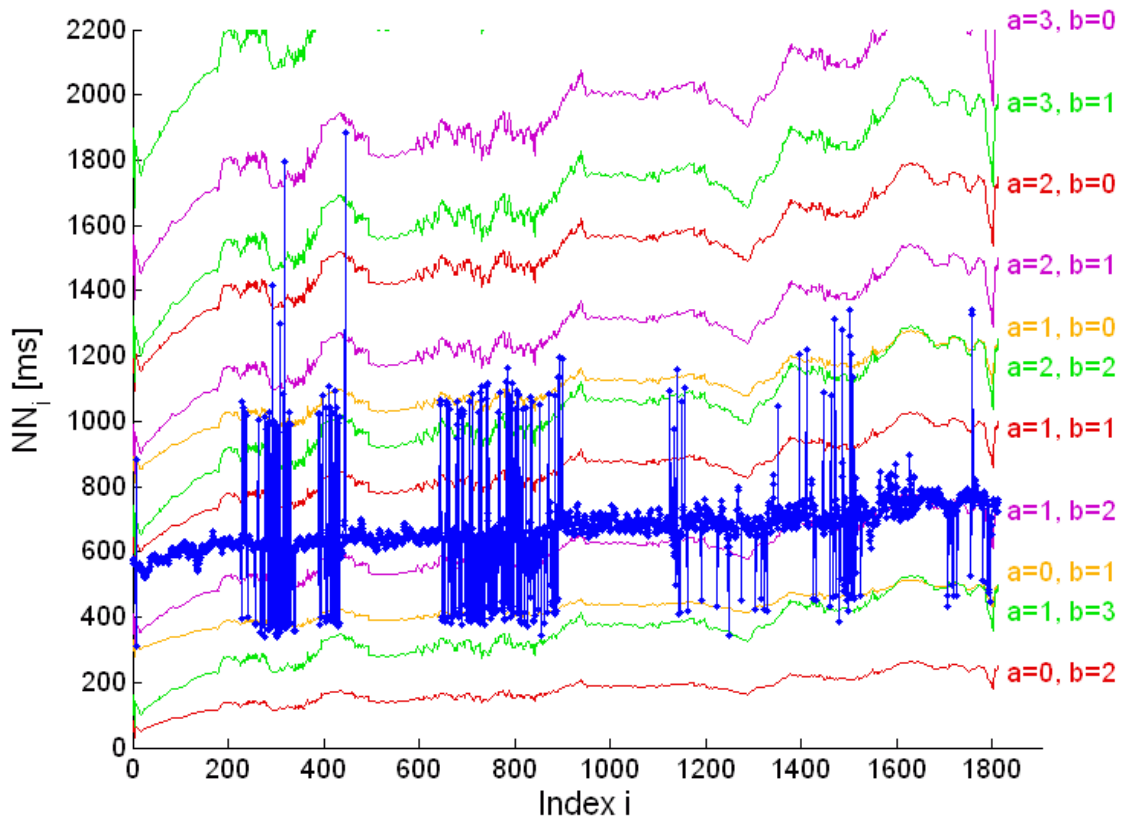


Abbildung D.2: NN-Zeitreihe mit Fehler-Modellen

Die Fehler-Modelle sind durch gewisse a (Anzahl fehlender Blöcke mit Bezugspunkt) und b (Anzahl fehlender Blöcke ohne Bezugspunkt) gekennzeichnet.

fehlender Blöcke ergibt sich somit zu $a+b$. Abbildung D.2 zeigt die NN-Zeitreihe, die den ΔNN_i aus Abbildung D.1 zugrunde liegt, mit einigen Fehler-Modellen. Die Modelle mit gleicher Gesamtanzahl fehlender Blöcke sind der Übersichtlichkeit halber gleich eingefärbt.

Um nun einerseits das Ausmaß der Beschädigung der Daten zu bestimmen und andererseits eine brauchbare Rekonstruktion durchführen zu können, wurden mit Hilfe einer eigens für diesen Zweck programmierten Software die „Bruchstellen“ in den Daten aufgefunden und markiert. Das Programm MDK (für „Manuelle Datenkorrektur“) markierte verdächtige NN-Intervalle und gestattete die gleichzeitige Anzeige aller Kanäle. Da fehlende Blöcke immer alle Kanäle gleichzeitig betrafen, wurde bei der Durchsicht der Daten besonderes Augenmerk auf Unstetigkeiten gelegt, die sich zeitgleich in allen Kanälen widerspiegeln. Die Software ermöglichte es Marker zu setzen und Kommentare zu speichern. Ein Screenshot der Software ist in Abbildung D.3 zu sehen.

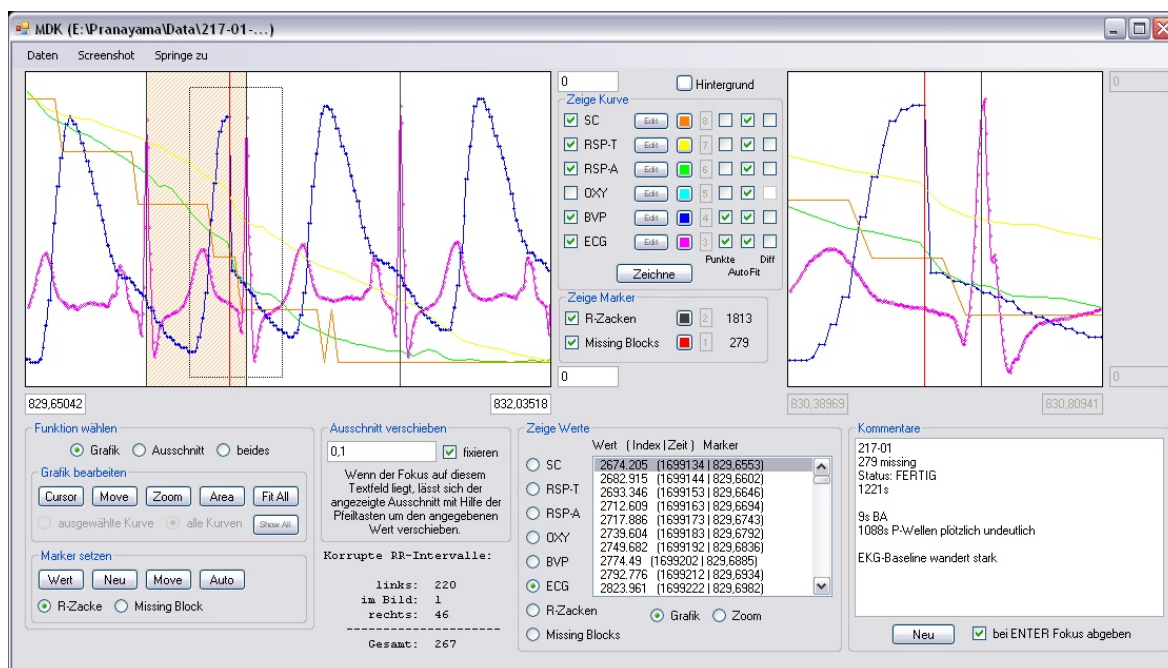


Abbildung D.3: Software „MDK“

Screenshot der eigens programmierten Software MDK („Manuelle Datenkorrektur“) zum Auffinden und Markieren fehlender Datenblöcke.

Tabelle D.1: Ausmaß der Beschädigung der Daten

Prozentueller Anteil fehlende Daten / Gesamtdaten. Die erste Spalte zeigt die TeilnehmerInnen-Nummer. Fettgedruckte Werte überschreiten die Grenze von 0.5% und kommen nicht zur Auswertung. Bei einigen Datensätzen wurde bereits die Markierung der fehlenden Blöcke mit MDK nicht durchgeführt. Zeilen in rot wurden von der weiteren Analyse ausgeschlossen.

Nummer	Block 1	Block 2	Block 3
122	6.87%	0.06%	0.16%
124	0.02%	/	0%
153	0.06%	0.01%	0%
217	5.40%	0.01%	0.02%
227	0.10%	0%	0.04%
240	0%	0%	0.04%
274	0.21%	0.04%	0%
285	6.57%	1.83%	2.46%
286	0%	0%	0.02%
338	0%	0.04%	0.02%
349	0%	0%	0%
374	0%	0.02%	0%
389	0.33%	0.44%	0%
411	0.02%	0.01%	0.02%
418	0%	0.07%	0.02%
470	0%	0.03%	0%

Nummer	Block 1	Block 2	Block 3
517	0.04%	0.06%	0%
521	0.06%	0%	0%
554	0.04%	0.05%	0%
562	0.04%	0.04%	0.02%
655	0%	0%	0%
678	0%	0.28%	0.08%
708	0.04%	0.03%	0%
709	0%	0%	0.04%
732	/	/	/
755	0.02%	0%	0%
803	0%	0%	0%
851	/	/	/
926	0%	1.50%	0.00%
940	0%	5.15%	11.58%
942	0.02%	0%	0%
967	0%	0.03%	0%

Die Durchsicht der Daten ergab, dass der Schaden nur sehr gering ausgefallen ist und sich vor allem auf bestimmte TeilnehmerInnen beschränkte, da das Messgerät NeXus-10 in diesen Fällen ungünstig gelegen zu sein scheint. Tabelle D.1 gibt einen Überblick, wie viel Prozent eines Datensatzes jeweils durch Übertragungsfehler verloren gingen. Pro Person existieren hierbei drei Datensätze, je einer für jeden Messblock: 20 Minuten liegen, 45 Minuten sitzen und üben, 20 Minuten liegen. Sobald die fehlenden Blöcke 0.5% der Gesamtzeit eines Messblockes überschreiten werden alle Daten der betroffenen Person von der letztendlichen Analyse ausgeschlossen um eine hohe Integrität der verwendeten Messdaten und damit auch die Qualität der Ergebnisse zu gewährleisten.

Die Rekonstruktion der Daten wurde automatisch durchgeführt und beschränkte sich auf lineare Interpolation zwischen Anfangs- und Endpunkt der fehlenden 250ms. Hauptziel der Rekonstruktion ist die verlässliche Wiederherstellung der Zeitachse. Für die Atemdaten ergibt sich darüber hinaus auch eine ausreichende Näherung für die tatsächlichen Messwerte, da sich hier in einer Viertelsekunde keine großen Schwankungen ergeben. Anders verhält es sich hingegen für BVP und EKG. Da im Rahmen der vorliegenden Arbeit allerdings nur die Positionen der R-Zacken von

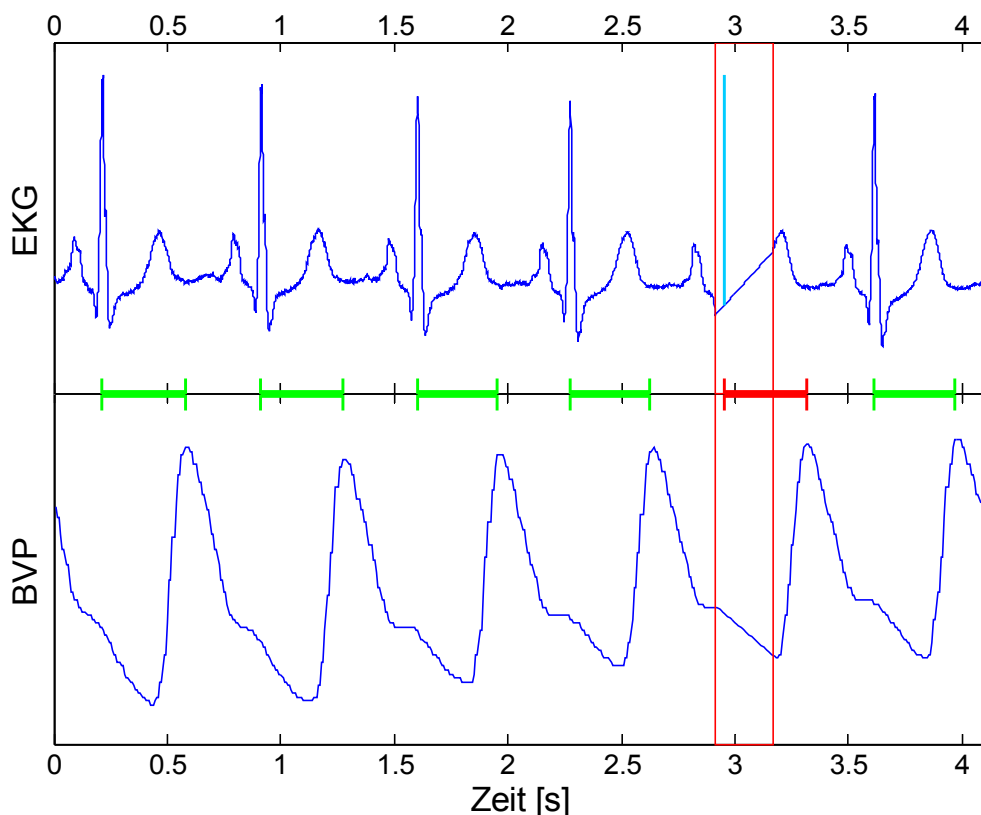


Abbildung D.4: Rekonstruktion von R-Zacken

Das rote Rechteck markiert einen fehlenden Block. Grüne Balken zeigen ermittelte Differenzen zwischen BVP-Spitzen und R-Zacken, und lassen Rückschlüsse auf die Länge des roten Balkens zu, durch den die Position der fehlenden R-Zacke (hellblau) rekonstruiert werden kann.

Bedeutung sind um aus den EKG-Daten eine NN-Zeitreihe abzuleiten, spielen die tatsächlichen Messwerte hier keine Rolle.

Einzig die Positionen von R-Zacken, welche durch einen fehlenden Block verloren gingen, müssen rekonstruiert werden. Durch die Aufzeichnung von EKG und BVP ergibt sich eine sehr saubere Möglichkeit diese Positionen möglichst realitätsnah abzuschätzen. Die Spitze des BVP im Finger ist im Durchschnitt etwa um das Drittel einer Sekunde gegenüber der R-Zacke verzögert, die ein Zeichen für die Einleitung der Kompression des Herzens ist. Da die fehlenden Blöcke eine Länge von 250ms aufweisen, muss – sofern nicht mehrere Blöcke hintereinander fehlen – zu jeder fehlenden R-Zacke das entsprechende BVP-Maximum intakt sein. Es wurde also der mittlere zeitliche Abstand zwischen R-Zacken und darauffolgenden BVP-Maxima für ein entsprechendes dreiminütiges Messintervall ermittelt und somit die Position fehlender R-Zacken von folgenden BVP-Maxima rückgerechnet. Abbildung D.4 fasst die Logik hinter der Rekonstruktion von R-Zacken bildlich zusammen. Wie auch schon bei der Sichtung fehlender Blöcke wurden betroffene R-Zacken manuell korrigiert um sicherzustellen, dass keine Sonderfälle, wie etwa mehrere fehlende Blöcke hintereinander – die Rekonstruktion verfälschen.

Da alle Daten manuell gesichtet wurden, kam keine weitere Artefaktkorrektur zum Einsatz. Die Daten wurden direkt nach diesen Korrekturen den in Kapitel 5.2 beschriebenen Algorithmen zugeführt und analysiert.

E Ergänzende Datenanalysen

Zusätzlich zu den im Rahmen der vorliegenden Arbeit zur Anwendung gekommenen Variablen und Gruppen-Vergleichen wurden auch noch weitere Analyseansätze verfolgt. Da sie keine Erkenntnisse liefern, die über das im Hauptteil der Arbeit bereits diskutierte hinaus gehen, sondern höchstens als Ergänzung gesehen werden können, sollen sie in diesem Anhang Erwähnung finden.

E.1 Messintervall-Vergleich für weitere Variablen

Für den Messintervall-Vergleich wurden neben P, B und Q auch deren Abweichung von zu erwartenden Normwerten untersucht, die grob mit 64, 16 und 4 angesetzt werden können – allesamt Zweierpotenzen. Dadurch ergeben sich die Variablen $P' = |P - 64|$, $B' = |B - 16|$ und $Q' = |Q - 4|$ – ein Ansatz der auch in der Diplomarbeit von Diepold[3] Anwendung fand und in der vorliegenden Arbeit aus Gründen der Vergleichbarkeit angedacht wurde.

Wie aus dem Vergleich der Verlaufskurven dieser Variablen vor (Abbildungen B.1, B.4 und B.6) und nach (Abbildungen E.1, E.2 und E.3) dieser Transformation ersichtlich ist ergeben sich dadurch für den Verlauf von Q' keine wesentlichen Änderungen, da Q in fast jedem Fall einen Wert größer als 4 annimmt. Die Atemfrequenz B ist in fast allen vorliegenden Fällen kleiner als 16, wodurch für B' sämtliche Verlaufskurven gerade umgekehrt werden. Das markanteste Merkmal für die Verlaufskurven von P' ist, dass der für P klare Trend beim Übergang zwischen Sitz- und Liegephasen für einige die TeilnehmerInnen mit niedrigerem Puls gerade umgekehrt wird, wodurch der gemeinsame Trend verloren geht.

Eben diese Feststellungen spiegeln sich auch in den Messintervall-Vergleichen deutlich wider, deren p-Werte in den Tabellen E.1, E.2 und E.3 zusammengefasst werden. Vergleicht man diese mit den entsprechenden Tabellen 7.3a, 7.3d und 7.3f auf den Seiten 62f, so sieht man schnell, dass sich für B' und Q' keine neuen Aussagen ergeben. Beides ist darauf zurückzuführen, dass die Atemfrequenz B während des Messablaufs tendenziell niedrig – also unter den durchschnittlich angenommenen 16 Atemzügen pro Minute – gehalten wurde. Bei gleichbleibendem Puls ergibt sich dadurch ein generell erhöhter Wert für den Puls-Atem-Quotienten Q, da mehr Herzzyklen auf einen Atemzug fallen. Vergleicht man die entsprechenden Tabellen für P' und P, so ist erkennbar, dass die hohen Signifikanzen, die für P bei Vergleichen mit den Messintervallen in liegender Position L1, L2, L3 und L4 aufgetreten sind, bei P' nicht mehr auftreten. Die Signifikanzen beim Vergleich von Messintervallen in sitzender Position sind an den gleichen Stellen aufgetreten, allerdings in abgeschwächter Form. Auch hier ergibt sich also keinerlei neue Information. Aufgrund dieser Überlegungen wurde dieser Ansatz für Gruppen-Vergleiche nicht weiterverfolgt.

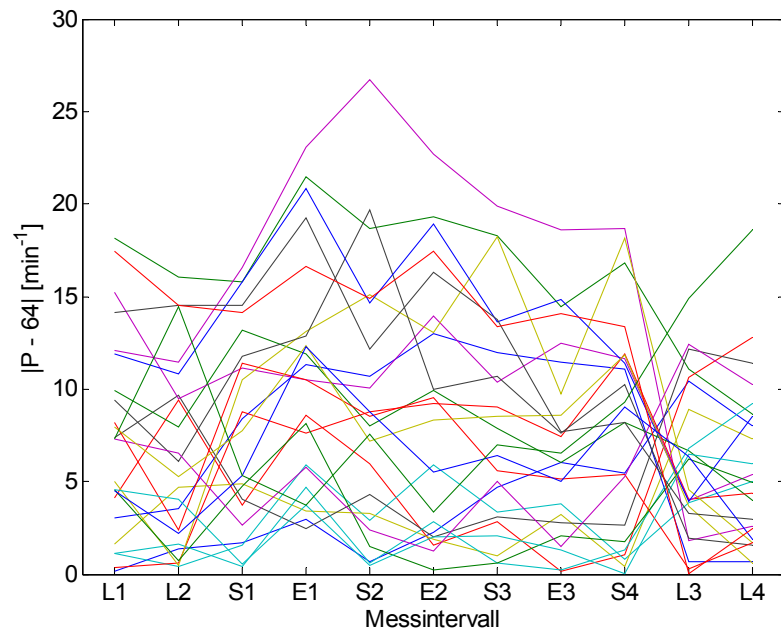


Abbildung E.1: Verlaufskurven für Variable P' = |P-64|
vgl. mit Abbildung B.1: Verlaufskurven für Variable P, S.89

Tabelle E.1: Messintervall-Vergleich für Variable P'
vgl. mit Tabelle 7.3a: Messintervall-Vergleich für Variable P, S.62

	L2	S1	E1	S2	E2	S3	E3	S4	L3	L4
L1	-.12287	+.37577	+.00427	+.49289	+.17932	+.88640	-.60705	+.95443	-.40735	-.37577
L2		+.14508	+.00391	+.16151	+.06329	+.18875	+.51109	+.30368	-.90901	-.66824
S1			+.00113	+.51109	+.26516	+.68916	-.16151	-.93169	-.21923	-.17024
E1				-.02781	-.00357	-.00427	-.00055	-.01293	-.03967	-.02584
S2					-.93169	-.47505	-.02781	-.39137	-.17024	-.17024
E2						-.34575	-.00857	-.45757	-.20870	-.14508
S3							-.05558	-.77510	-.24143	-.20870
E3								+.17024	-.66824	-.44045
S4									-.25310	-.21923
L3										-.54851

E.1 Messintervall-Vergleich für weitere Variablen

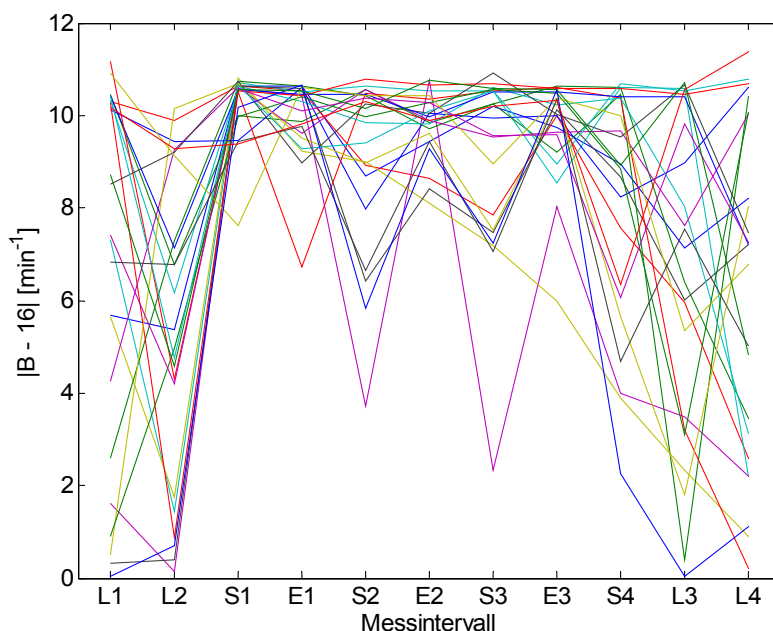


Abbildung E.2: Verlaufskurven für Variable $B' = |B-16|$
vgl. mit Abbildung B.4: Verlaufskurven für Variable B, S.90

Tabelle E.2: Messintervall-Vergleich für Variable B'
vgl. mit Tabelle 7.3d: Messintervall-Vergleich für Variable B, S63

	L2	S1	E1	S2	E2	S3	E3	S4	L3	L4
L1	-.08136	+.00246	+.00511	+.00857	+.00609	+.00325	+.00184	+1.2995	-.95443	-.64757
L2		+.00004	+.00003	+.00013	+.00004	+.00014	+.00002	+.00391	+1.16151	+3.3133
S1			-.11608	-.00558	-.02065	-.05933	-.12995	-.00044	-.00010	-.00023
E1				-.13735	-.26516	-.12287	-.40735	-.00857	-.00061	-.00036
S2					+4.2371	+1	+2.0870	-.03449	-.00558	-.00124
E2						-.25310	-.68916	-.01100	-.00040	-.00044
S3							+3.1731	-.01772	-.00203	-.00184
E3								-.00391	-.00113	-.00040
S4									-.03212	-.03967
L3										-.34575

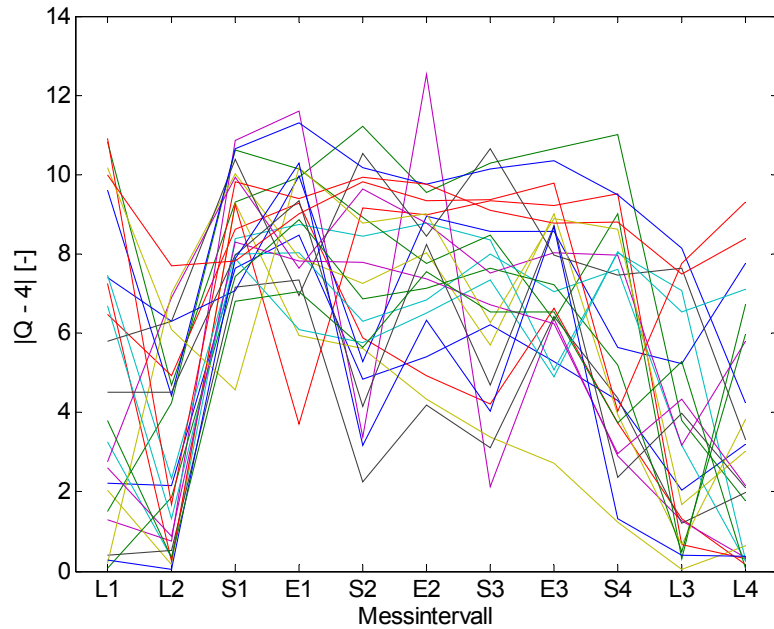


Abbildung E.3: Verlaufskurven für Variable $Q' = |Q-4|$
 vgl. mit Abbildung B.6: Verlaufskurven für Variable Q , S.91

Tabelle E.3: Messintervall-Vergleich für Variable Q'
 vgl. mit Tabelle 7.3f: Messintervall-Vergleich für Variable $Q = P/B$, S63

	L2	S1	E1	S2	E2	S3	E3	S4	L3	L4
L1	-.02400	+.00102	+.00067	+.00468	+.00113	+.00296	+.00152	+.14508	-.07186	-.07186
L2		+.00003	+.00002	+.00004	+.00002	+.00006	+.00002	+.00203	+.73171	+.97721
S1			-.66824	-.00724	-.06329	-.01400	-.02400	-.00055	-.00002	-.00004
E1				-.03212	-.05933	-.00932	-.00788	-.00184	-.00003	-.00003
S2					+.37577	-.62717	+.54851	-.00788	-.00003	-.00009
E2						-.11608	-.49289	-.00427	-.00002	-.00002
S3							+.52963	-.02584	-.00002	-.00002
E3								-.01516	-.00006	-.00006
S4									-.00325	-.00092
L3										-.81920

E.2 Gruppen-Vergleich für Änderung der Variablen

Einem zusätzlichen Ansatz bei der Auswertung der Gruppen-Vergleiche liegt die Überlegung zugrunde, dass sich Gruppen in einer Variable nicht nur hinsichtlich ihres Wertes während eines Messintervalls unterscheiden können, sondern theoretisch auch in ihrer Entwicklung von einem Messintervall zum nächsten. So wäre es etwa denkbar, dass eine Variable beim Übergang von einem Messintervall zum nächsten für Gruppe A tendenziell steigt, während sie für Gruppe B tendenziell sinkt. Streuen die Werte unterschiedlicher TeilnehmerInnen in den Messintervallen sehr stark, so wird dies zu keiner signifikanten Aussage für den Vergleich der Gruppen in den betroffenen Messintervallen führen – dennoch ist aber nicht auszuschließen, dass ein signifikanter Unterschied in der *Entwicklung* der Variablen festgestellt werden kann. Um dies zu prüfen, werden Δ -Variablen für jede untersuchte Variable eingeführt, wie Gleichung (E.1) verdeutlicht, wobei n den Index eines Messintervalls ($1=L1, 2=L2, 3=S1, \dots, 11=L4$) bezeichnet.

$$\begin{aligned} \Delta P_n &= P_{n+1} - P_n \\ \Delta SDNN_n &= SDNN_{n+1} - SDNN_n \quad \text{mit } n \in \mathbb{N}, 1 \leq n \leq 10 \end{aligned} \quad (\text{E.1})$$

...

Diese Δ -Variablen werden für alle TeilnehmerInnen einzeln errechnet, wobei es für jeden der 10 Übergänge von einem Messintervall zum nächsten (L1/L2, L2/S1, ..., L3/L4) pro Δ -Variable einen Wert gibt. Für diese kann nun wie bereits beim Gruppen-Vergleich der Rangsummentest verwendet werden, um Unterschiede zwischen den Gruppen bezüglich ihrer Signifikanz zu bewerten. Die p-Werte werden in bekannter Weise in den Tabellen E.4a-f dargestellt. Tabelle E.5 fasst die Anzahl der signifikanten p-Werte auf gleiche Weise zusammen, wie dies im Hauptteil der vorliegenden Arbeit durch Tabelle 7.6 der Fall ist. Tabelle E.6 stellt die Ergebnisse des weiteren Tabelle C.4 gegenüber. Anschließend an die Tabellen folgt eine kurze Diskussion der Daten, die vor allem dazu dienen soll, besseres Verständnis beim Lesen der Tabellen dieses Kapitels zu vermitteln.

E Ergänzende Datenanalysen

Tabelle E.4a: Alle Gruppenvergleiche für Variable ΔP

Auflistung aller p-Werte des Wilcoxon-Rangsummentests. Das Vorzeichen gibt an, ob die Δ -Variable im Mittel für die zweite genannte Gruppe höher (kein Vorzeichen) oder niedriger (-) ist als für die erste. Die Farbcodierung erfolgt gemäß der verschiedenen Signifikanzbänder: $0.05 < p \leq 1$, $0.01 < p \leq 0.05$, $0.001 < p \leq 0.01$, $p \leq 0.001$.

	L1/L2	L2/S1	S1/E1	E1/S2	S2/E2	E2/S3	S3/E3	E3/S4	S4/L3	L3/L4
Yoga-Übende → Lehrende	-.7363	.6460	-.9756	1	-.9756	-.1683	-.0708	.6027	.4813	-.4813
Yoga-Übende → Lehrende ≤ 3a	-.3704	.1139	-.6730	.1139	-.4807	-.6058	-.0745	.4807	1	-.3213
Yoga-Übende → Lehrende ≥ 4a	.6943	-.3357	.6943	-.0541	.3357	-.0541	-.2319	.9551	.1893	-.9551
Lehrende ≤ 3a → Lehrende ≥ 4a	.2105	-.0052	.6806	-.0115	.1142	-.1416	.4079	-.6065	.2991	.4698
Yoga-Erfahrung ≤ 6a → 7-10a	.3450	.4136	1	.1419	-.8518	-.3450	-.1812	.9497	.9497	-.4136
Yoga-Erfahrung ≤ 6a → > 10a	1	-.5622	.9578	-.4278	.3676	-.0559	-.2198	-.4923	.0160	-.1179
Yoga-Erfahrung 7-10a → > 10a	-.5148	-.3154	-.8286	-.0155	.3599	-.2031	.5148	-.5726	.0545	-.4598
Alter < 45a → ≥ 45a	.8167	-.0426	.2237	.9538	-.4173	-.2970	-.2466	.5239	.2710	-.6851
Alter ≤ 39a → 40-49a	-.4894	.1903	.5457	.2581	-.2224	.5457	-.0400	.1615	-.6048	-.4894
Alter ≤ 39a → ≥ 50a	.8639	-.1135	.6070	-.8639	-.4559	-.3277	-.1447	.3277	.1447	-.1810
Alter 40-49a → ≥ 50a	.9546	-.0256	1	-.3277	.3884	-.1447	.2721	-.7756	.1447	-.7756
Training ≤ 4×/Woche → ≥ 5×/Woche	.0570	-.7035	-.4292	-.3641	.1688	-.5780	-.7035	.9766	-.8836	.3641
Pranayama < 50% → ≥ 50%	.4743	-.0235	.4038	-.2572	.5915	-.5510	.7205	-.9051	.1896	.4382
Geschlecht: weiblich → männlich	.6697	-1	-.1768	.2269	-.8870	.8870	-.4343	.7762	-.4772	-1

E.2 Gruppen-Vergleich für Änderung der Variablen

Tabelle E.4b: Alle Gruppenvergleiche für Variable Δ SDNN

Auflistung aller p-Werte des Wilcoxon-Rangsummentests. Das Vorzeichen gibt an, ob die Δ -Variable im Mittel für die zweite genannte Gruppe höher (kein Vorzeichen) oder niedriger (–) ist als für die erste. Die Farbcodierung erfolgt gemäß der verschiedenen Signifikanzbänder: $0.05 < p \leq 1$, $0.01 < p \leq 0.05$, $0.001 < p \leq 0.01$, $p \leq 0.001$.

	L1/L2	L2/S1	S1/E1	E1/S2	S2/E2	E2/S3	S3/E3	E3/S4	S4/L3	L3/L4
Yoga-Übende → Lehrende	-.5607	1	.0922	-.2093	.3746	-.7363	-.5607	.6460	-.4084	-.8783
Yoga-Übende → Lehrende ≤ 3a	-.3213	.6058	.1996	-.0592	.1672	-.6058	.9626	-1	-.5414	-.4234
Yoga-Übende → Lehrende ≥ 4a	-.9551	-.5358	.1206	-.9551	1	1	-.2319	.3969	-.4634	.5358
Lehrende ≤ 3a → Lehrende ≥ 4a	.2523	-.2523	.7577	.0907	-.1738	.6065	-.2991	.4698	1	.1738
Yoga-Erfahrung ≤ 6a → 7-10a	-.4908	.2284	.1419	-.0593	.4908	-1	.6620	-.9497	-.0593	-1
Yoga-Erfahrung ≤ 6a → > 10a	-.7925	-.4278	.0047	-.2198	.7128	.9578	-.1806	.3676	-.0934	.4923
Yoga-Erfahrung 7-10a → > 10a	.1457	-.0266	.0676	.5148	-.6965	.5148	-.1457	.4598	.5726	.0831
Alter < 45a → ≥ 45a	-.4869	.6851	.4513	-.3539	.2237	-.4869	-.4173	.4173	-.5623	.8620
Alter ≤ 39a → 40-49a	-.1615	.1615	.1903	-.0040	.0188	-.0625	.4363	-.2224	-.7962	1
Alter ≤ 39a → ≥ 50a	-.2238	.8639	.3884	-.1447	.1135	-.3884	-.5287	.8639	-.9546	.3884
Alter 40-49a → ≥ 50a	-.7756	-.3277	-.7756	.0663	-.2721	.3277	-.1447	.0496	-.3884	.4559
Training ≤ 4×/Woche → ≥ 5×/Woche	.3641	-.1877	.2535	.4292	-.1073	.5387	-.8376	.7474	.8836	-.6605
Pranayama < 50% → ≥ 50%	.2330	-.3107	.1896	-.8115	-.9051	1	-.5119	.8115	.6333	.3711
Geschlecht: weiblich → männlich	.3197	-.5223	-.9433	.4772	-.3555	.2269	-.1768	.2007	-.3555	.5223

E Ergänzende Datenanalysen

Tabelle E.4c: Alle Gruppenvergleiche für Variable Δ RMSSD

Auflistung aller p-Werte des Wilcoxon-Rangsummentests. Das Vorzeichen gibt an, ob die Δ -Variable im Mittel für die zweite genannte Gruppe höher (kein Vorzeichen) oder niedriger (-) ist als für die erste. Die Farbcodierung erfolgt gemäß der verschiedenen Signifikanzbänder: $0.05 < p \leq 1$, $0.01 < p \leq 0.05$, $0.001 < p \leq 0.01$, $p \leq 0.001$.

	L1/L2	L2/S1	S1/E1	E1/S2	S2/E2	E2/S3	S3/E3	E3/S4	S4/L3	L3/L4
Yoga-Übende → Lehrende	-.1880	.5202	.1046	-.1880	.2093	.6906	.7829	-.6460	-.1046	-.5202
Yoga-Übende → Lehrende $\leq 3a$	-.1139	.4234	.2766	-.1388	.0592	.3704	.2359	-.2766	-.1139	-.3704
Yoga-Übende → Lehrende $\geq 4a$	-.6126	.8665	.0939	-.5358	.9551	-.7789	-.3969	-.6943	-.2810	-.9551
Lehrende $\leq 3a$ → Lehrende $\geq 4a$	.2991	-.6065	.6806	-.4079	-.1738	-.3510	-.1738	.4698	.5360	.1142
Yoga-Erfahrung $\leq 6a$ → 7-10a	-.2824	.5728	.2824	-.3450	-.4908	-.9497	.1812	-.2824	-.1812	-.3450
Yoga-Erfahrung $\leq 6a$ → $> 10a$	.7128	.3676	.0075	-.0160	.4923	.7128	-.6354	.8749	-.0110	.4923
Yoga-Erfahrung 7-10a → $> 10a$	.4082	-.9654	.1728	-.8968	.8968	.4598	-.1728	.2031	.5726	.0343
Alter $< 45a$ → $\geq 45a$	-.0239	.0929	.0725	-.2710	.4869	.8620	-.9538	.5239	-.0239	-.8620
Alter $\leq 39a$ → 40-49a	-.1135	.3401	.2581	-.0188	.0040	-.0503	.0400	-.0142	-.2224	1
Alter $\leq 39a$ → $\geq 50a$	-.0008	.0076	.3277	-.2238	.4559	.6889	-.9546	-.6889	-.0360	.6070
Alter 40-49a → $\geq 50a$	-.2721	.1447	-.9546	.2238	-.1447	.0879	-.2721	.2721	-.2721	.3884
Training $\leq 4\times/\text{Woche}$ → $\geq 5\times/\text{Woche}$	.2787	-.0177	.2787	.3959	-.1877	.5780	.8836	-.9300	.3641	-.9300
Pranayama $< 50\%$ → $\geq 50\%$	1	.4382	.1074	-.1896	.9051	.4743	-.9525	1	-.9525	.8115
Geschlecht: weiblich → männlich	.2863	.7762	-.5223	-.3555	-.7762	-.4772	1	-.9433	.4772	-.8870

E.2 Gruppen-Vergleich für Änderung der Variablen

Tabelle E.4d: Alle Gruppenvergleiche für Variable ΔB

Auflistung aller p-Werte des Wilcoxon-Rangsummentests. Das Vorzeichen gibt an, ob die Δ -Variable im Mittel für die zweite genannte Gruppe höher (kein Vorzeichen) oder niedriger (-) ist als für die erste. Die Farbcodierung erfolgt gemäß der verschiedenen Signifikanzbänder: $0.05 < p \leq 1$, $0.01 < p \leq 0.05$, $0.001 < p \leq 0.01$, $p \leq 0.001$.

	L1/L2	L2/S1	S1/E1	E1/S2	S2/E2	E2/S3	S3/E3	E3/S4	S4/L3	L3/L4
Yoga-Übende → Lehrende	-.4084	.6906	.9268	.7363	-.8303	-.2093	-.4440	.7363	.5202	-.6906
Yoga-Übende → Lehrende ≤ 3a	-.7430	-.9626	.7430	.9626	-.8148	.8148	-.2359	.6730	.4807	.3213
Yoga-Übende → Lehrende ≥ 4a	-.2810	.3969	-.5358	.4634	.9551	-.0401	-1	.9551	.7789	-.6943
Lehrende ≤ 3a → Lehrende ≥ 4a	-.4698	.4079	-.0229	-.7577	.7577	-.1142	.2105	-.7577	-.7577	-.2523
Yoga-Erfahrung ≤ 6a → 7-10a	-.5728	1	.9497	.9497	-.7546	.5728	-.5728	-.9497	.7546	.4908
Yoga-Erfahrung ≤ 6a → > 10a	-.9578	.5622	-.3132	.3676	.9578	-.0934	.7128	-.7925	.7925	.6354
Yoga-Erfahrung 7-10a → > 10a	.8286	.7618	-.1457	-.9654	.7618	-.6965	.1011	-.6334	-.5148	-.8968
Alter < 45a → ≥ 45a	-.4869	-.6430	-.2237	.2710	-.1827	.6021	-.2710	.2970	-.8620	1
Alter ≤ 39a → 40-49a	-.3865	-.5457	1	.0939	-.0770	.1135	-.0106	.0188	.7962	.2973
Alter ≤ 39a → ≥ 50a	.9546	.9546	-.3884	1	.7756	-.0879	-.6070	.6070	.6070	-.9546
Alter 40-49a → ≥ 50a	.4559	.5287	-.4559	-.2721	.1135	-.0176	.0496	-.0663	-.9546	-.3277
Training ≤ 4×/Woche → ≥ 5×/Woche	-.0841	1	.3959	-.7922	.7922	-.6605	.9766	-.9300	.7035	-.0570
Pranayama < 50% → ≥ 50%	-.5119	.7656	-.0145	.4038	-.1211	-.4038	-.9525	1	-1	-.1211
Geschlecht: weiblich → männlich	-.2007	.3555	.4343	-.2269	.2554	-.3197	.2863	-.7223	.9433	-.4772

E Ergänzende Datenanalysen

Tabelle E.4e: Alle Gruppenvergleiche für Variable Δ SDBB

Auflistung aller p-Werte des Wilcoxon-Rangsummentests. Das Vorzeichen gibt an, ob die Δ -Variable im Mittel für die zweite genannte Gruppe höher (kein Vorzeichen) oder niedriger (-) ist als für die erste. Die Farbcodierung erfolgt gemäß der verschiedenen Signifikanzbänder: $0.05 < p \leq 1$, $0.01 < p \leq 0.05$, $0.001 < p \leq 0.01$, $p \leq 0.001$.

	L1/L2	L2/S1	S1/E1	E1/S2	S2/E2	E2/S3	S3/E3	E3/S4	S4/L3	L3/L4
Yoga-Übende → Lehrende	1	1	.8783	.9756	.7829	-.2573	.8303	.1880	-.7829	-.8783
Yoga-Übende → Lehrende ≤ 3a	-.7430	-.7430	.7430	-.7430	.6730	-.5414	-.5414	.1388	-.9626	-.7430
Yoga-Übende → Lehrende ≥ 4a	.6943	.6943	-.9551	.6126	.2810	-.1893	.2319	.5358	-.6943	.9551
Lehrende ≤ 3a → Lehrende ≥ 4a	.4079	.6806	-.1416	.2523	.2991	-.2105	.0229	-.4079	-.4698	.5360
Yoga-Erfahrung ≤ 6a → 7-10a	-.9497	.7546	-.7546	-.9497	.9497	.8518	-.3450	.1812	-.8518	-.6620
Yoga-Erfahrung ≤ 6a → > 10a	-.5622	.6354	-.3676	.8749	.6354	-.5622	.2635	-.8749	-.7925	-.8749
Yoga-Erfahrung 7-10a → > 10a	-.6334	.8286	-.7618	.2370	.6334	-.4598	.0044	-.0434	-.9654	.7618
Alter < 45a → ≥ 45a	-.6851	.0426	-.0637	.0822	.7721	-.6430	-.6851	.1644	.2710	-.6021
Alter ≤ 39a → 40-49a	.7304	.2973	-.8633	.4363	-.4363	-.6665	-.2581	.0625	-.7962	-.2973
Alter ≤ 39a → ≥ 50a	-.8639	.1810	-.5287	.6889	.8639	-.6070	-.8639	.1810	.6889	-.9546
Alter 40-49a → ≥ 50a	-.8639	.7756	-.6070	-.9546	.3277	-.9546	.1810	-.5287	.5287	.3884
Training ≤ 4×/Woche → ≥ 5×/Woche	.5007	.9766	.8376	.3959	-.9766	-.7474	.7035	.8376	-.1877	-.6605
Pranayama < 50% → ≥ 50%	-.4382	.0950	-.0369	.1211	-.6764	.3107	.7656	-.8580	-.4038	-.9525
Geschlecht: weiblich → männlich	-.8870	-.4343	.5696	-.3197	.8311	.7762	-.9433	-.3937	.8311	.2269

E.2 Gruppen-Vergleich für Änderung der Variablen

Tabelle E.4f: Alle Gruppenvergleiche für Variable ΔQ

Auflistung aller p-Werte des Wilcoxon-Rangsummentests. Das Vorzeichen gibt an, ob die Δ -Variable im Mittel für die zweite genannte Gruppe höher (kein Vorzeichen) oder niedriger (–) ist als für die erste. Die Farbcodierung erfolgt gemäß der verschiedenen Signifikanzbänder: $0.05 < p \leq 1$, $0.01 < p \leq 0.05$, $0.001 < p \leq 0.01$, $p \leq 0.001$.

	L1/L2	L2/S1	S1/E1	E1/S2	S2/E2	E2/S3	S3/E3	E3/S4	S4/L3	L3/L4
Yoga-Übende → Lehrende	-.7829	.8303	-.8783	.7363	.8783	.3425	.6027	-.6906	-.5607	.7829
Yoga-Übende → Lehrende ≤ 3a	-1	.6730	-.5414	.8884	.8148	-.9626	.3704	-.7430	-.4807	-.4807
Yoga-Übende → Lehrende ≥ 4a	.6126	-.3357	.6943	-.3969	-1	.0939	-.9551	-.7789	-.8665	.7789
Lehrende ≤ 3a → Lehrende ≥ 4a	.4079	-.2991	.0549	-.4079	-1	.2105	-.2991	-.9182	.8371	.3510
Yoga-Erfahrung ≤ 6a → 7-10a	-.9497	1	-.9497	.9497	.6620	-.4908	.7546	-.8518	-.7546	-.4908
Yoga-Erfahrung ≤ 6a → > 10a	-.9578	-.6354	.3676	-.4278	.7128	.2198	-.5622	.9578	.6354	-.7925
Yoga-Erfahrung 7-10a → > 10a	-.9654	-.8968	.3599	-.6334	-.8968	.8286	-.2031	.8286	.4598	.8286
Alter < 45a → ≥ 45a	-.6430	.9538	.1475	-.2237	.3848	-.6021	.4173	-.2970	.6851	-.9078
Alter ≤ 39a → 40-49a	.2581	.5457	-1	-.1615	.1615	-.1615	.0315	-.0244	.9314	-.4363
Alter ≤ 39a → ≥ 50a	-.4559	-.4559	.2721	1	-.9546	.1135	.7756	-.6889	.7756	.8639
Alter 40-49a → ≥ 50a	-.3277	-.6889	.5287	.3884	-.1810	.0256	-.0496	.0879	-.6889	.2721
Training ≤ 4×/Woche → ≥ 5×/Woche	.1073	.7922	-.8836	-.5780	.7474	.7035	-.9300	.8836	-.4642	.1688
Pranayama < 50% → ≥ 50%	.4038	-.3401	.0145	-.2572	.1360	-.2572	.6764	-.8580	.9525	.1524
Geschlecht: weiblich → männlich	.1355	-.3555	-.2554	.1021	-.2007	.3937	-.2007	.7762	.6188	.6697

Tabelle E.5: Anzahl signifikanter p-Werte bei Gruppen-Vergleichen der Δ -Variablen

Alle Δ -Variablen und Gruppierungen: Anzahl der $p \leq 0.05 / p_{\text{Bonf}} \leq 0.05$ der jeweils 10 p-Werte. Null wird als Bindestrich dargestellt. Die Einfärbung bezieht sich auf das Signifikanzniveau des jeweils niedrigsten p-Wertes: $0.01 < p / p_{\text{Bonf}} \leq 0.05$, $0.001 < p / p_{\text{Bonf}} \leq 0.01$, $p \leq 0.001$.

	ΔP	$\Delta S D N N$	$\Delta R M S S D$	ΔB	$\Delta S D B B$	ΔQ
Yoga-Übende → Lehrende	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
Yoga-Übende → Lehrende $\leq 3a$	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
Yoga-Übende → Lehrende $\geq 4a$	-/-	-/-	-/-	1/-	-/-	-/-
Lehrende $\leq 3a$ → Lehrende $\geq 4a$	2/-	-/-	-/-	1/-	1/-	-/-
Yoga-Erfahrung $\leq 6a$ → 7-10a	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
Yoga-Erfahrung $\leq 6a$ → > 10a	1/-	1/1	3/-	-/-	-/-	-/-
Yoga-Erfahrung 7-10a → > 10a	1/-	1/-	1/-	-/-	2/1	-/-
Alter < 45a → $\geq 45a$	1/-	-/-	2/-	-/-	1/-	-/-
Alter $\leq 39a$ → 40-49a	1/-	2/1	4/1	2/-	-/-	2/-
Alter $\leq 39a$ → $\geq 50a$	-/-	-/-	3/1	-/-	-/-	-/-
Alter 40-49a → $\geq 50a$	1/-	1/-	-/-	2/-	-/-	2/-
Training $\leq 4 \times$ /Woche → $\geq 5 \times$ /Woche	-/-	-/-	1/-	-/-	-/-	-/-
Pranayama < 50% → $\geq 50\%$	1/-	-/-	-/-	1/-	1/-	1/-
Geschlecht: weiblich → männlich	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-

Tabelle E.6: Vergleich der Anzahl p-Werte ≤ 0.05 für Variablen/ Δ -Variablen

Gegenüberstellung der Tabellen C.4 und E.5. Falls auch mindestens für ein $p_{\text{Bonf}} \leq 0.05$ gilt, ist der entsprechende Zahl fettgedruckt.

	P/ ΔP	SDNN/ $\Delta S D N N$	RMSSD/ $\Delta R M S S D$	B/ ΔB	SDBB/ $\Delta S D B B$	Q/ ΔQ
Yoga-Übende → Lehrende	-/-	5/-	2/-	-/-	-/-	-/-
Yoga-Übende → Lehrende $\leq 3a$	-/-	1/-	-/-	-/-	-/-	-/-
Yoga-Übende → Lehrende $\geq 4a$	-/-	7/-	5/-	-/1	-/-	-/-
Lehrende $\leq 3a$ → Lehrende $\geq 4a$	-/2	2/-	2/-	-/1	-/1	-/-
Yoga-Erfahrung $\leq 6a$ → 7-10a	2/-	1/-	-/-	-/-	-/-	-/-
Yoga-Erfahrung $\leq 6a$ → > 10a	-/1	3/1	2/3	-/-	-/-	-/-
Yoga-Erfahrung 7-10a → > 10a	4/1	1/1	-/1	-/-	1/2	-/-
Alter < 45a → $\geq 45a$	-/1	-/-	1/2	-/-	-/1	-/-
Alter $\leq 39a$ → 40-49a	-/1	3/2	-/4	1/2	-/-	1/2
Alter $\leq 39a$ → $\geq 50a$	-/-	4/-	3/3	1/-	-/-	-/-
Alter 40-49a → $\geq 50a$	-/1	1/1	1/-	1/2	1/-	2/2
Training $\leq 4 \times$ /Woche → $\geq 5 \times$ /Woche	-/-	-/-	-/1	-/-	-/-	-/-
Pranayama < 50% → $\geq 50\%$	-/1	-/-	-/-	-/1	-/1	-/1
Geschlecht: weiblich → männlich	-/-	-/-	-/-	-/-	1/-	-/-

Tabelle E.7: Umlegung der Anzahl $p \leq 0.05$ auf übergeordneten p-Wert für 10 p-Werte
 Es gilt die übliche Farbcodierung: $0.01 < p \leq 0.05$, $0.001 < p \leq 0.01$, $p \leq 0.001$.

Anzahl	p-Wert	Anzahl	p-Wert	Anzahl	p-Wert
0	1	4	0.00103	8	1.61×10^{-9}
1	0.40126	5	6.37×10^{-5}	9	1.87×10^{-11}
2	0.08614	6	2.75×10^{-6}	10	9.80×10^{-14}
3	0.01150	7	8.20×10^{-8}		

Um schnell einen groben Überblick über die signifikanten Ergebnisse zu erhalten, empfiehlt es sich, die fettgedruckten Werte aus Tabelle E.6, die die Anzahl signifikanter p-Werte von Variablen und Δ -Variablen gegenüberstellt, näher zu betrachten. Tabelle E.7 ermöglicht für Gruppen-Vergleiche der Δ -Variablen die Umlegung der Anzahl signifikanter p-Werte auf einen p-Wert. Da die Gesamtzahl der p-Werte für Variablen und Δ -Variablen unterschiedlich ist, ist für Variablen Tabelle 7.7 auf S.69 heranzuziehen.

Bei der Interpretation ist es wichtig, sich vor Augen zu führen, dass die zwei verfolgten Ansätze nicht zwei Wege sind, die gleiche Frage zu beantworten, sondern zwei unterschiedliche Fragestellungen klären wollen – auch wenn diese sicherlich zusammenhängen. Der Gruppen-Vergleich der Variablen gibt Aufschluss darüber, zwischen welchen Gruppen sich eine Variablen signifikant in ihrer Ausprägung unterscheiden: „Ist der Puls P für die eine Gruppe höher als für die andere?“. Der Gruppen-Vergleich der Δ -Variablen hingegen beantwortet die Frage, inwiefern sich Gruppen in Bezug auf die Änderung einer Variable unterscheiden: „Steigt der Puls P stärker für die eine Gruppe als für die andere?“

Während SDNN sich für Übende und Lehrende, die seit mindestens 4 Jahren unterrichten, hochsignifikant unterscheidet, sind hinsichtlich der Änderungen der Variablen keinerlei signifikante Unterschiede zu verzeichnen. Anders ist dies beim Vergleich verschiedener Altersgruppen. Hier gibt es sowohl für die Variablen SDNN und RMSSD selbst, als auch für deren Änderungen signifikante Unterschiede. Worin diese genau bestehen, kann aus den Tabellen E.4a-f nachvollzogen werden.

E.3 Abschätzung der Abhängigkeit von p-Werten

Ein weiterer, gänzlich anderer Ansatz, der allerdings nur kurz angetestet wurde, beschäftigt sich mit der Frage, ob sich bei großen Scharen von p-Werten der Grad der Abhängigkeit der p-Werte untereinander abschätzen lässt. Der Grundgedanke fand in Kapitel 6.1.3 bereits Erwähnung, als die Auswirkung von Abhängigkeiten auf p_{Watson} diskutiert wurde. Dort wurde bereits erläutert, dass erhöhte Interdependenz der p-Werte zu signifikanteren Abweichungen von der Mediane führt – also auch zu einem niedrigeren p_{Watson} . Es lässt sich also festhalten, dass p_{Watson} unterschätzt und somit die Signifikanz

überschätzt wird. Entfernt man nun einzelne p-Werte, so sinkt der Grad der Abhängigkeit und das entsprechende p_{Watson} steigt. Lässt man allerdings zu viele p-Werte außer Acht, so verliert p_{Watson} an statistischer Aussagekraft.

Die fehlende Information über den Grad der Abhängigkeit macht es also unmöglich, festzustellen, welchen Wert p_{Watson} realistischer Weise annimmt. Ließe sich die Abhängigkeit vollkommen eliminieren, so hätte man es mit dem „echten“ p_{Watson} zu tun. Umgekehrt bedeutet dies, dass das Wissen um den realistischen Wert von p_{Watson} einen Rückschluss darauf zulässt, ob es gelungen ist, die Interdependenz der p-Werte weitestgehend zu eliminieren. Ziel ist es also, p-Werte derart zu entfernen, dass sich p_{Watson} einem realistischen Wert nähert.

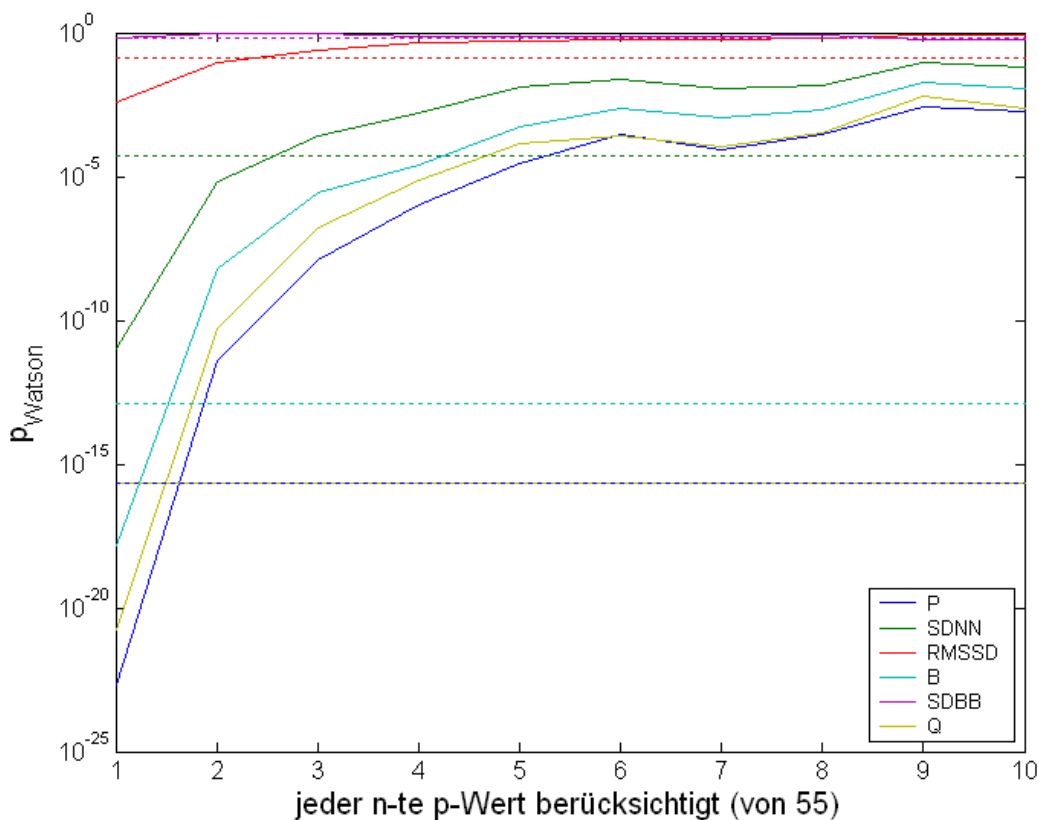


Abbildung E.4: Eliminieren der Interdependenz einer Schar von p-Werten

Darstellung von p_{Watson} in Abhängigkeit von der Anzahl berücksichtigter p-Werte. Das aus den Daten ermittelte p_{Quade} (vgl. Tabelle 7.4, S.65) ist für jede Variable als Gerade eingezeichnet.

Wie soll man nun abschätzen, was ein realistischer Wert für p_{Watson} ist? In der vorliegenden Arbeit wurde die Signifikanz bestimmter Ereignisse stets durch mehrere Methoden ermittelt. Etwa beim Messintervall-Vergleich, bei dem einerseits durch paarweise Anwendung des Vorzeichenrangtests 55 p-Werte ermittelt wurden, die sich durch Watsons U^2 -Test zu einem p_{Watson} zusammenfassen ließen. Andererseits wurde aber

auch der Quade-Test durchgeführt, der von Haus aus berücksichtigt, dass es sich um wiederholte Messungen handelt und die daraus entstehenden Abhängigkeiten bereits bei der Ermittlung des p_{Quade} berücksichtigt. Es ist also davon auszugehen, dass es sich bei p_{Quade} – der stets einige Größenordnungen höher lag als p_{Watson} , vgl. Tabelle 7.4 – um eine realistische Einschätzung der tatsächlichen Signifikanz handelt, während p_{Watson} selbige aufgrund von Abhängigkeiten überschätzt. So können nun aber so lange immer mehr p-Werte entfernt werden, bis sich p_{Watson} schließlich p_{Quade} annähert. Abbildung E.4 zeigt diesen Vorgang für alle sechs Variablen, wobei die Vorschrift für die Reduktion der p-Werte äußerst simpel war: Nach dem Sortieren der p-Werte wurde nur jeder n-te zur Berechnung von p_{Watson} herangezogen, wobei für n von 1 (jeder p-Wert) bis 10 (jeder 10. p-Wert, also von 55 p-Werten nur 5) getestet wurde. Aus Abbildung E.4 lässt sich auf diese Weise abschätzen, dass nur jeder zweite bis dritte p-Wert herangezogen werden darf, wenn man Abhängigkeiten zwischen den p-Werten ausschließen will.

Natürlich handelt es sich hierbei nur um eine erste grobe Abschätzung, da einerseits auch p_{Quade} fehlerbehaftet sein kann und andererseits die Vorschrift zur Reduktion der p-Werte nicht im Detail durchdacht ist. Nichtsdestoweniger ist dies ein vielversprechender Ansatz, dessen Weiterentwicklung auch über diese Arbeit hinaus durchaus interessant wäre.

F Informationsblatt und Einverständniserklärung

ProbandInnen-Information zur Teilnahme an der Studie

Auswirkungen von Hathayoga-Atemtechniken auf Herzratenvariabilität und andere physiologische Parameter

Sehr geehrte Teilnehmerin, sehr geehrter Teilnehmer!

Wir laden Sie ein an der oben genannten wissenschaftlichen Studie teilzunehmen. Die Aufklärung darüber erfolgt in einem ausführlichen Gespräch.

Wissenschaftliche Studien sind notwendig, um verlässliche neue Forschungsergebnisse zu gewinnen. Unverzichtbare Voraussetzung für die Durchführung dieser wissenschaftlichen Studie ist jedoch, dass Sie Ihr Einverständnis zur Teilnahme an dieser Studie schriftlich erklären. Eine entsprechende Einverständniserklärung wird getrennt von diesem Dokument an alle TeilnehmerInnen ausgegeben. Bitte lesen Sie den folgenden Text als Ergänzung zum Informationsgespräch mit Ihrem Versuchsleiter Herrn Kovacs sorgfältig durch und zögern Sie nicht Fragen zu stellen.

Bitte unterschreiben Sie die Einwilligungserklärung nur

- wenn Sie Art und Ablauf der Studie vollständig verstanden haben
- wenn Sie bereit sind, der Teilnahme zuzustimmen
- wenn Sie sich über Ihre Rechte als TeilnehmerIn an dieser Studie im Klaren sind

1. Was ist der Zweck dieser Studie?

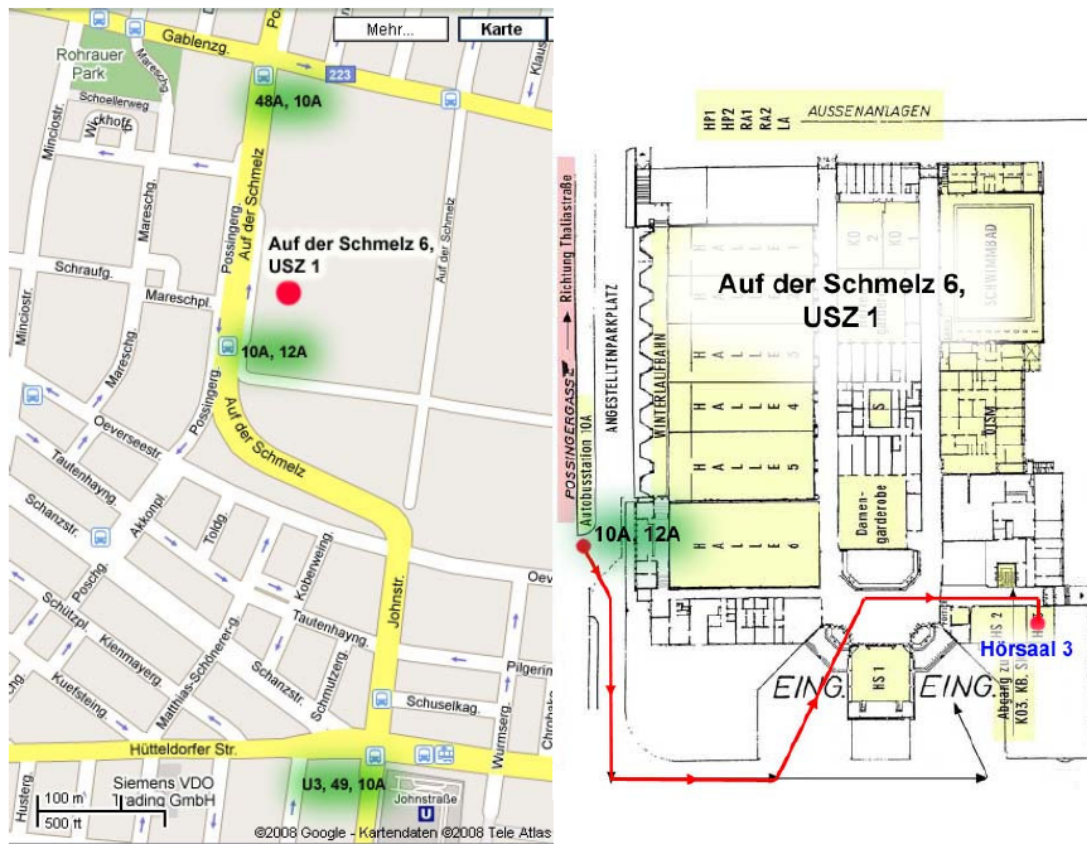
Es sollen die Auswirkungen von verschiedenen Atemübungen, die im Rahmen von Yoga praktiziert werden, auf die zeitliche Entwicklung bestimmter physiologischer Parameter in den auf die Übungen folgenden Ruhephasen untersucht werden. Besonderes Augenmerk wird hierbei auf die Herzratenvariabilität gelegt, mit Hilfe derer Aussagen über den Zustand des vegetativen Nervensystems gemacht werden können. Weiters soll untersucht werden, ob und inwiefern sich die Messdaten von Übenden und Lehrenden unterscheiden.

2. Wo und wann findet die Studie statt?

Die TeilnehmerInnen werden im September 2008 einzeln vermessen, wobei jeden Tag maximal zwei Messtermine angeboten werden – einer von 15-17 Uhr, der andere von 17-19 Uhr. Sie werden über Ihren persönlichen Termin zeitgerecht informiert. Sollten Sie noch keinen Wunschtermin angegeben haben, so bitten wir Sie, dies noch per Mail an zu tun.

Der Ort der Messung ist: USZ 1, Hörsaal 3
Auf der Schmelz 6a, A-1150 Wien

Für Anfahrtspläne empfehlen sich im Internet die Seiten <http://www.vor.at> (öffentliche Verkehrsmittel, Station „Auf der Schmelz“) und <http://maps.google.at> (mit dem Auto, Suche nach „Auf der Schmelz 6, Wien“).

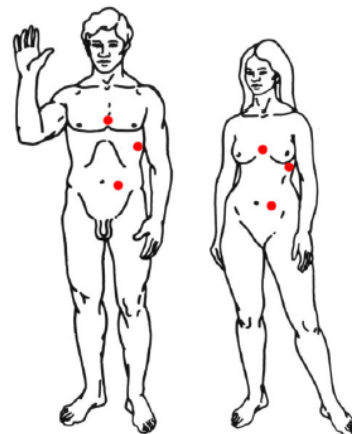


3. Welche Parameter werden gemessen?

Atmung – Die Atmung wird durch zwei Atemgurte gemessen, die unter der Kleidung getragen werden. Um für Hygiene zu sorgen werden feuchte Reinigungstücher zur Verfügung gestellt. Ein Gurt kommt direkt unter der Brust zu liegen und registriert die Brustatmung, ein weiterer misst die Hebung der Bauchdecke. Sollten Sie es so wünschen, können Sie die Atemgurte auch unter Anleitung selbst anbringen.

EKG – Hierzu sind 3 Elektroden anzubringen. Sollten Sie es so wünschen, können Sie dies unter Anleitung auch selbst übernehmen. Um möglichst gute Daten zu bekommen, bitten wir die teilnehmenden Männer gegebenenfalls die betroffenen Stellen von Behaarung zu befreien. Wir werden auch vor Ort Einwegrasierer zur Verfügung stellen.

Hautleitwert – Dieser Parameter misst die Feuchtigkeit der Haut und korreliert stark mit dem Stress der Testperson. Es handelt sich bei dem Sensor um zwei



kleine Elektroden, die klebefrei mit Klettverschlussbändern jeweils an der Wurzel des Zeigefingers und des Ringfinger der linken Hand befestigt werden. Möglicherweise kommt Leitgel zum Einsatz, um die Leitfähigkeit zu verbessern und so feinere Schwankungen registrieren zu können.

Puls und Sauerstoffsättigung – Diese beiden Parameter werden durch einen Fingerklipp gemessen, der am Zeigefinger der linken Hand angebracht wird. Um die Messung nicht zu verfälschen muss der betroffene Fingernagel frei von Nagellack sein. Wir werden gegebenenfalls Nagellackentferner und Wattepad zur Verfügung stellen.

Messgerät – All diese Sensoren sind durch Kabel mit dem Messgerät NEXUS-10 der Firma Mindmedia (nähere Informationen unter <http://www.mindmedia.nl>) verbunden, welches Sie während der Messung bei sich tragen werden. Die Datenübertragung erfolgt kabellos via Bluetooth an einen Laptop, der bereitsteht.



Fragebogen – Abschließend ist ein Fragebogen auszufüllen, in dem noch einige statistische Daten erhoben werden, sowie Fragen zu Ihrer Yogapraxis zu beantworten sind.

4. Wie läuft die Studie ab?

Nach Ankunft werden bei Bedarf noch offenen Fragen beantwortet, anschließend ist die Einverständniserklärung zu unterzeichnen.

Der Versuch wird von Marvin Kovacs geleitet. Falls es notwendig sein sollte – im Krankheitsfall oder dergleichen – wird er von Johanna Herzan bei den Messungen vertreten. Bei den Einführungsgesprächen – siehe dazu Punkt 10 – werden zum Kennenlernen beide anwesend sein.

Nachdem alle Sensoren angebracht wurden, bitten wir Sie, sich für **20 Minuten entspannt hinzulegen (Shavasana)**. Eine Matte sowie Kissen und einen leichte Decke werden zur Verfügung gestellt, Sie können aber auch Ihre eigenen Yoga Hilfsmittel mitbringen, falls Ihnen das mehr zusagt.

Im Anschluss daran werden Sie mit einem Tonband durch die Atemübungen, geführt. Es sind drei **Atemübungen im Sitzen** zu absolvieren, die durch Ruhephasen von 5-10 Minuten, in denen man sitzend atemgewahr ist, voneinander getrennt werden. Diese sind:

- **Wechselatmung** (Nadi Shodhana, Loma-Viloma Pr.):
erst Einatmen und Ausatmen gleich lang, dann Ausatmen länger als Einatmen
- **Bhramari**: Ausatmen und Summen
- **Ujjayi**: "rauschender Atem", in der sanften, leisen Variante

Es folgt eine abschließende **20-minütige Entspannungsphase im Liegen (Shavasana)**.

Nach dieser Messung mit dem NEXUS-10 ist der Fragebogen auszufüllen.

5. Was ist am Tag der Messung zu beachten?

Bitte achten Sie darauf, am Tag der Messung ausreichend zu trinken, nicht zu schwer zu essen und sich nicht übermäßig körperlich zu verausgaben. Sie sollen wie gewohnt Ihre Morgen / Vormittags Asana Praxis durchführen. Tragen Sie während der Messung angenehme, lockere Kleidung.

6. Gibt es Risiken, Beschwerden und Begleiterscheinungen?

Die im Rahmen dieser wissenschaftlichen Studie durchgeführten Maßnahmen können zu keinen Beschwerden führen und sind mit keinen Risiken behaftet. Das Gerät arbeitet vollkommen frei von Nebenwirkungen und kann selbst von HerzschrittmacherpatientInnen sorglos verwendet werden.

7. Wann wird die wissenschaftliche Studie vorzeitig beendet ?

Sie können jederzeit – auch ohne Angabe von Gründen – Ihre Teilnahmebereitschaft widerrufen und aus der Studie ausscheiden ohne dass Ihnen dadurch irgendwelche Nachteile entstehen.

8. In welcher Weise werden die im Rahmen dieser wissenschaftlichen Studie gesammelten Daten verwendet ?

Sofern gesetzlich nicht etwas anderes vorgesehen ist, haben nur der/die Versuchsleiter/in zu den vertraulichen Daten, in denen Sie namentlich genannt werden. Diese Personen unterliegen der Schweigepflicht.

Die Weitergabe der Daten erfolgt ausschließlich zu statistischen Zwecken und Sie werden ausnahmslos darin nicht namentlich genannt. Auch in etwaigen Veröffentlichungen der Daten dieser Studie werden Sie nicht namentlich genannt.

9. Entstehen für die TeilnehmerInnen Kosten? Gibt es einen Kostenersatz oder eine Vergütung?

Durch Ihre Teilnahme an dieser Studie entstehen für Sie keine zusätzlichen Kosten. Ein Kostenersatz oder eine Vergütung ist nicht vorgesehen.

10. Möglichkeit zur Diskussion weiterer Fragen

Es werden zwei Termine für ein Einführungsgespräch angeboten, welche in der Gruppe stattfinden und dazu dienen, Marvin Kovacs und Johanna Herzan, sowie das Messgerät bereits vor der eigentlichen Messung kennenzulernen. Die Teilnahme an einem dieser Gespräche ist **nicht verpflichtend notwendig** um auch an der Studie teilzunehmen.

- Dienstag 19.8.2008, 10:00-11:30
USZ 1, Hörsaal 2, Auf der Schmelz 6a, A-1150 Wien
- Sonntag 31.8.2008, 18:00-19:30
Yoga7, Burggasse 74/10

Darüber hinaus steht Ihnen Marvin Kovacs für weitere Fragen im Zusammenhang mit dieser wissenschaftlichen Studie gerne zur Verfügung.

Mail: ma.ko@gmx.at Tel: 0650 / 533 9836 (in dringenden Fällen)

Vielen Dank für Ihre Unterstützung!

Einwilligungserklärung - Declaration of Consent

Name der/s Teilnehmerin/s in Blockschrift

(name of the participant in capital letters):

Geburtsdatum (date of birth):

Adresse (address):

Telefonnummer (phone number):

E-Mail-Adresse (email address):

Ich erkläre mich hiermit bereit freiwillig und unentgeltlich an der wissenschaftlichen Studie „**Auswirkungen von Hathayoga-Atemtechniken auf Herzratenvariabilität und andere physiologische Parameter**“ teilzunehmen.

Ich bin von Herrn Kovacs ausführlich und verständlich über mögliche Belastungen und Risiken, sowie über Wesen, Bedeutung und Tragweite der wissenschaftlichen Studie und den sich für mich daraus ergebenden Anforderungen aufgeklärt worden. Ich habe darüber hinaus eine TeilnehmerInnen-Information, die insgesamt 4 Seiten umfasst, erhalten, gelesen und verstanden. Aufgetretene Fragen wurden mir von Herrn Kovacs verständlich und genügend beantwortet. Ich hatte ausreichend Zeit mich für die Teilnahme zu entscheiden. Ich habe zur Zeit keine weiteren Fragen mehr.

Ich werde den Anordnungen, die für die Durchführung der Studie erforderlich sind, Folge leisten, behalte mir jedoch das Recht vor, meine freiwillige Mitwirkung ohne Angabe von Gründen jederzeit zu beenden, ohne dass mir daraus Nachteile entstehen.

Ich bin zugleich damit einverstanden, daß meine im Rahmen dieser Studie ermittelten Daten aufgezeichnet und gespeichert werden. Beim Umgang mit sämtlichen gewonnenen Daten werden die Bestimmungen des Datenschutzgesetzes beachtet.

Eine Kopie dieser Einwilligungserklärung habe ich erhalten. Das Original verbleibt bei Herrn Marvin Kovacs.

I, the undersigned, hereby consent to the voluntary participation in the scientific study “**Effects of Hathayoga breathing techniques on Heart Rate Variability and other physiological parameters**“, for which I do not receive payment of any kind.

I confirm that Mr. Kovacs informed me thoroughly and understandably about possible strain or risks, as well as the sort, interest and importance of this study and the resulting requirements I have to meet. In addition I have received, read and understood a participant information containing of 4 pages. All arising questions were answered understandably and to my full satisfaction. I was granted enough time to decide my participation. Currently I have no further questions.

I will follow the instructions necessary for the success of the study, but reserve my right to cancel my participation at any time without having to name any reasons or facing any disadvantages.

Furthermore I agree that all the data won in the course of this study will be saved and stored. While working with the acquired data the current data protection act will be respected.

I received a copy of this declaration of consent. The signed original remains with Mr. Marvin Kovacs.

.....
Datum und Unterschrift der/s Teilnehmerin/s
date and signature of participant

.....
Datum und Unterschrift der/s Versuchsleiterin/s
date and signature of supervisor

9. Gab es im heutigen Tagesverlauf – vor der Messung – irgendwelche für Sie untypische Ereignisse?

III. Yoga-Praxis

10. Seit wie vielen Jahren üben Sie Yoga?

- 0-1 1-3 4-6 7-10 10-20 >20

11. Wie oft üben Sie Yoga pro Woche?

- täglich 5-6x 2-4x 1x <1x

12. Wie groß ist der Pranayama-Anteil Ihrer Übungen?

- >70% 50-70% 20-50% 10-20% <10%

13. Wie regelmäßig üben Sie die im Rahmen dieser Studie durchgeführten Übungen?

- Wechselatmung: häufig manchmal selten nie
Bhramari: häufig manchmal selten nie
Ujjayi: häufig manchmal selten nie

15. Sind Sie Lehrer/in oder Übende/r?

- Übende/r
Lehrer/in seit 0-1 1-3 4-10 >10 Jahren

14. Warum üben Sie Pranayama?

IV. Gesundheit

15. Ich konsumiere:

	nie	selten	manchmal	häufig	heute
Kaffee / koffeinhaltige Getränke	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Nikotin	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Energy Drinks	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

16. Leiden Sie an irgendwelchen chronischen Krankheiten? Wenn ja, an welchen?

17. Nehmen Sie regelmäßige Medikamente?

9. Ere		ja	nein	heute	e
	Blutdruck & Kreislauf	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
	Psychopharmaka	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
	Hormonhaushalt (Pille, etc.)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
	andere: _____	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

III.

18. Für Frauen: Wie lange liegt Ihre letzte Menstruation zurück?

10

11

V. Statistik12 Geschlecht: m w

Geburtsdatum:

Größe: _____ cm

Gewicht: _____ kg

13 Blutgruppe:

 Linkshänder RechtshänderVI. Allgemeine Bemerkungen

15 19. Wie zufrieden waren Sie mit dem Ablauf der Studie?

14

IV.

15

20. Hätten Sie Interesse an einer Folgestudie teilzunehmen?

16

Vielen Dank!

Lebenslauf

Angaben zur Person

Name: Marvin Darius Kovacs
geboren: 28.09.1983 in Wien
Staatsbürgerschaft: Österreich
Familienstand: verheiratet



Beruflicher Werdegang

Sep 2009 – Juli 2011: Ethiklehrer
Friedrich Eymann Waldorfschule

seit Jun 2009: Lehrender
Body & Health Academy

Sep 2008 – Aug 2011: Physiklehrer und Klassenvorstand
pORG 13 "Rudolf Steiner"

seit Feb 2008: Qualitätsmanagement
Österr. Forschungsförderungsgesellschaft mbH

Juli 2007 – Jan 2008: Stagehand
EPM (Event & Personal Management GmbH)

Feb 2007 – Jun 2007: technische Hilfskraft
Institut für Quantenoptik und Quanteninformation, ÖAW

Okt 2004 – Jan 2007: technische Hilfskraft
Institut für Experimentalphysik, Universität Wien

Ausbildungsweg

Jul 2012: Projektmanagementseminare
der „next level holding GmbH“

Jun 2012: Europäischer Wirtschaftsführerschein (EBC*L Stufe A)

seit Jun 2011 Lehrgang „Konzeptionelle Raumenergetik / Feng Shui“
an der Hietzinger Akademie

Okt 2003 – Nov 2012: Diplomstudium Physik
an der Universität Wien

Jan 2003 – Sep 2003: Sanitätsausbildung
im Rahmen des Grundwehrdienstes

Sep 1994 – Jun 2002: AHS
mit ausgezeichnetem Erfolg abgeschlossen