



universität
wien

Diplomarbeit

Titel der Diplomarbeit

Physiologische Reaktionen und das Empfinden von
Komfort und Belastung während der Fahrt mit der U-Bahn

Verfasserin

Sandra Eder

Angestrebter akademischer Grad

Magistra der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, 2014

Studienkennzahl: 298

Studienrichtung: Psychologie

Betreuer: Ao. Univ.-Prof. Dr. Michael Trimmel

Danksagung

Mein Dank geht an erster Stelle an meine Familie, die mich bisher bei all meinen Vorhaben und Wünschen unterstützt hat und immer für mich da war. Ohne ihre motivationale, emotionale und finanzielle Unterstützung, sowie ihre aufheiternden Worte, wenn mal etwas nicht so funktionierte wie ich wollte, wäre es mir nicht möglich gewesen an jenem Punkt im Leben zu stehen, an dem ich mich nun befinde. Ein herzliches DANKE an euch Mama, Papa, Christina und Oma.

Weiters möchte ich mich bei all meinen netten Studienkolleginnen und Kollegen bedanken. Sie hatten immer ein offenes Ohr für meine Probleme und ohne sie wäre das Studium nur halb so schön gewesen. Auch an meine Freundinnen und Freunde außerhalb der Uni sei an dieser Stelle selbstverständlich gedacht. Für ihr Interesse am Fortschritt meiner Arbeit, ihre Bereitschaft mich aufzumuntern und ihren Optimismus möchte ich Danke sagen.

Zu guter Letzt möchte ich mich bei Ao. Univ.-Prof. Dr. Michael Trimmel für das zur Verfügung gestellte Thema der Diplomarbeit und die hilfreichen Erläuterungen und Anmerkungen zu diversen Unklarheiten bedanken.

INHALT

Danksagung	3
1. EINLEITUNG.....	1
1.1 Problemstellung.....	3
1.2 Stand des Wissens	4
1.2.1 Definitionen und Theorien	4
1.2.2 Überblick über objektive Messmethoden.....	8
1.2.3 Das autonome Nervensystem (ANS)	9
1.2.4 Aufbau und Funktionsweise des Herzens	10
1.2.5 Elektrokardiogramm.....	10
1.2.6 Definition Herzrate (HR) und Herzratenvariabilität (HRV)	11
1.3 Messungen der HRV	13
1.3.1 HRV-Analyse im Zeitbereich (Time Domain Measures)	13
1.3.2 HRV-Analyse im Frequenzbereich (Frequency Domain Measures)	15
1.3.3 Parameter der HRV und ihr Zusammenhang mit dem ANS	17
1.4 Bisherige Studien	18
1.4.1 Studienergebnisse zum Umgebungsfaktor Lärm	20
1.4.2 Studienergebnisse zum Umgebungsfaktor Crowding	21
1.4.3 Studienergebnisse zum Umgebungsfaktor Temperatur	23
1.5 Forschungsfragen	25
2. METHODE	28
2.1 Untersuchungsteilnehmer.....	28

2.2 Untersuchungsdesign	28
2.3 Operationalisierung und Untersuchungsmaterialien	30
2.4 Geräte	34
2.5 Untersuchungsdurchführung	35
2.5.1 Datenmanagement/ Auswertung	36
2.6 Statistische Hypothesen.....	37
3. ERGEBNISSE.....	39
3.1 Deskriptive Statistik	39
3.1.1 Gruppierung bezüglich Komfortrating.....	43
3.2 Hypothesenprüfung	46
3.2.1. Subjektive Bewertung der Umgebungsfaktoren	46
3.2.2 Vergleich der drei Bedingungen hinsichtlich der physiologischen Parameter..	48
3.2.3 Spezifische Vergleiche der einzelnen physiologischen Parameter	50
3.2.3.1 HR	50
3.2.3.2 SDNN	52
3.2.3.3 rMSSD.....	53
3.2.3.4 pNN50	54
3.2.3.5 LF	55
3.2.3.6 HF.....	55
3.2.3.7 LF/HF	56
3.2.4 Vergleich der Bedingungen und Komfortratings (Komfort hoch/Komfort niedrig) hinsichtlich der physiologischen Parameter	58

3.2.5 Spezifische Vergleiche der einzelnen physiologischen Parameter hinsichtlich Bedingungen und Komfortrating	59
3.2.5.1 HR	59
3.2.5.2 SDNN	60
3.2.5.3 rMSSD.....	61
3.2.5.4 pNN50	63
3.2.5.5 LF	64
3.2.5.6 HF.....	65
3.2.5.7 LF/HF	66
3.2.6 Multiple Regression	67
4. DISKUSSION.....	68
4.1 Interpretation	68
4.2 Einschränkungen der Studie und Ausblick	74
4.3 Zusammenfassung	75
4.4 Abstract (Deutsch).....	77
4.5 Abstract (English)	78
5. LITERATURVERZEICHNIS	79
6. ANHANG	85
Lebenslauf.....	93

1. EINLEITUNG

Laut Statistik Austria nutzten im Jahre 2007 6.948.650 Personen öffentliche Verkehrsmittel in ganz Österreich, wobei allein in Wien 1.410.050 Personen und davon 41,9% täglich mit einem öffentlichen Verkehrsmittel unterwegs waren (Österreichischer Städtebund & Statistik Austria, 2009). Wenn man bedenkt, wie viele Leute sich gleichzeitig in einem U-Bahnwagen befinden, kann man sich auch vorstellen, dass es unter bestimmten Umständen zu erhöhtem Stress oder zu anderen Arten des Erlebens von Belastung bzw. „*discomfort*“ für das Individuum kommen kann. Allerdings darf man nicht vergessen, dass eine Fahrt mit öffentlichen Verkehrsmitteln auch als komfortabel empfunden werden kann und nicht zwangsläufig mit Stress und verringertem Wohlbefinden in Verbindung gebracht werden muss. Die Personen, die mit der U-Bahn fahren sind also einer Kombination von verschiedenen Umgebungsfaktoren ausgesetzt, die unterschiedlich auf sie wirken können. Gerade in den letzten Jahren wurde von einigen Wissenschaftlern auf die Wichtigkeit des Wohlbefindens der Personen in den verschiedensten Transportmitteln hingewiesen (da Silva, 2002; Delbosc, 2012).

Forscher aus den verschiedensten wissenschaftlichen Zweigen haben sich bereits mit dem Thema beschäftigt und konnten zeigen, dass Komfort und *discomfort* häufig als Reaktion auf die unterschiedlichsten Umgebungsfaktoren gezeigt werden (Da Silva, 2002; De Looze, Kuijt-Evers & van Dieen, 2003; Vink & Hallbeck, 2012; Wu et al., 2013). Eine Methode um diese Konstrukte zu messen sind physiologische Messungen, wie beispielsweise die Aufzeichnung der kardiovaskulären Aktivität. So werden die Ergebnisse einer EKG-Messung verwendet um die autonome Funktion des Herzens zu beurteilen und Rückschlüsse auf das Erleben und Wohlbefinden der Personen vornehmen zu können (Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing Electrophysiology, 1996). Autonome Dysfunktionen können mit unzähligen Störungen (kardiovaskulär, neurologisch

und psychiatrisch) einhergehen, die mit einer erhöhten Aktivität des Sympathikus bzw. einer reduzierten Aktivität des Parasympathikus assoziiert werden (Sztajzel, 2004; Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing Electrophysiology, 1996). Die Messung der Herzratenvariabilität (HRV) wird als eine wichtige Technik angesehen um die autonomen Funktionen und den Zusammenhang des autonomen Nervensystems mit der Entstehung von Krankheiten zu erkunden (Sztajzel, 2004).

Forschungsergebnisse belegen, dass klimatische Aspekte, wie Gerüche, Luftqualität, Ventilation und Temperatur, sowie Aspekte des Sitzes, Platzfaktoren, Lärm, Beleuchtung und schließlich Vibration und Bewegung die wichtigsten Faktoren für die Festlegung des Komfortlevels von Zugpassagieren sind (Schwanitz, Wittkowski, Rolny & Basner, 2013) und dass diese Umgebungsfaktoren einen Einfluss auf die kardiovaskuläre Aktivität haben (Björ, Burström, Karlsson, Nilsson, Näslund & Wiklund, 2007; Lan, Wargocki, Wyon & Lian, 2011; W. Liu, Lian & Y. Liu, 2008; Wu et al, 2013; Yao, Lian, W. Liu, Jiang, Y. Liu & Lu, 2009). Trimmel (2008) konzentrierte sich in einer seiner Studien auf die Erfassung der körperlichen Reaktionen (HR, pNN50) von Piloten und Flugbegleiterinnen während Langstreckenflügen. Bisher wurden jedoch die meisten Studien zum Thema unter Laborbedingungen durchgeführt und konzentrierten sich häufig ausschließlich auf einen Faktor der Umgebung, also beispielsweise auf den Einfluss der Temperatur auf die HRV (Lan et al., 2011; Liu et al., 2008).

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es demnach Informationen über das Erleben von Komfort und *discomfort* durch die Messung der Herzrate und Herzratenvariabilität in einem natürlichen Setting, der U-Bahn, zu sammeln und somit die Auswirkungen der Fahrt auf die körperlichen Reaktionen der Person, im Speziellen auf die Herztätigkeit, zu erfassen. Zusätzlich wird auch auf die subjektive Bewertung des Komforts eingegangen.

1.1 Problemstellung

Der Begriff Komfort wird häufig im alltäglichen Sprachgebrauch verwendet, doch eine genaue Definition des Begriffes hat sich bis in die Gegenwart noch nicht durchgesetzt. Im Zusammenhang mit Untersuchungen zur Verbesserung der Gestaltung des Arbeitsplatzes und auch mit Studien zur Vermarktung von Produkten wurden die Begriffe Komfort und Unbehagen bzw. *discomfort*, aus dem englischen Sprachgebrauch, in Verbindung gebracht. Das Interesse am Wohlbefinden und der Gesundheit der Menschen steigt immer mehr, daher versuchen die unterschiedlichsten wissenschaftlichen Disziplinen herauszufinden, was genau Komfort ist und wie man *discomfort* verhindern kann.

Bisweilen gibt es keine allgemein akzeptierte Meinung bezüglich des Zusammenhangs zwischen Komfort und *discomfort*. Unter den Forschern herrschen Unstimmigkeiten, wie genau die Beziehung zwischen diesen beiden Begriffen aussieht. Laut Hertzberg (1972) könne Komfort mit der Abwesenheit von *discomfort* gleichgesetzt werden (zitiert nach Schwanitz et al., 2013) und umgekehrt (zitiert nach De Looze et al., 2003). Im Gegensatz zu dem Konzept mit zwei diskreten Zuständen gibt es aber auch die Annahme von Diskontinuität zwischen Komfort und *discomfort* (Helander & Zhang, 1997).

Ein Modell dazu stammt von De Looze et al. (2003), welche meinen, dass den Konzepten Komfort und *discomfort* verschiedene Faktoren unterliegen, wobei sich dieses Modell im Speziellen auf den „sitting comfort“ bezieht. Weiters gibt es laut Moes (2005) einen Prozess der aus fünf Phasen besteht, die ablaufen bevor *discomfort* erlebt wird (zitiert nach Vink & Hallbeck, 2012). Basierend auf diesen beiden Modellen konstruierten Vink und Hallbeck (2012) ein neues um das Verständnis der Faktoren, auf denen Komfort und *discomfort* basieren, zu erhöhen.

1.2 Stand des Wissens

1.2.1 Definitionen und Theorien

Wie bereits in der Einleitung erwähnt gibt es zahlreiche Definitionen von Komfort und *discomfort*, abhängig vom jeweiligen Forschungszweig und dem Zusammenhang, in welchem die beiden Konstrukte erforscht wurden. Eine davon stammt von Slater (1985), der Komfort als einen angenehmen Zustand von physiologischer, psychologischer und physikalischer Harmonie zwischen einem Menschen und dessen Umgebung bezeichnet (zitiert nach De Looze et al., 2003, S. 986). Auch Richards (1980) meint, dass Komfort der Zustand einer Person ist, der subjektives Wohlbefinden beinhaltet, in Reaktion zur Umgebung oder zur Situation (zitiert nach De Looze et al., 2003, S. 986). Vink und Hallbeck (2012) geben in ihrem Artikel zusätzlich zur Definition von Komfort auch eine Definition von *discomfort* an: „discomfort is seen as an unpleasant state of the human body in reaction to its physical environment“ (S. 271).

Die Mehrzahl der vorhandenen Studien konzentrierte sich bisher auf die Betrachtung von Komfort und *discomfort* in Umgebungen mit unterschiedlichen Temperaturen und Lärmpegel. Auch Evaluationsstudien von „sitting comfort“, also zur Bewertung von Sitzmöglichkeiten, insbesondere Bürosesseln, bilden einen großen Teil der vorhandenen Forschung zu diesen Konstrukten. Das Modell von Helander und Zhang (1997) bezieht sich auf den „sitting comfort“ und besagt, dass man nicht annehmen könne, dass die Abwesenheit von *discomfort* automatisch zum Erleben von Komfort führe und dass *discomfort* in Verbindung mit physischen Merkmalen der Umgebung, wie Haltung, Starrheit, Schmerzen und Müdigkeit stehe (Vink & Hallbeck, 2012). Komfort sei hingegen mit Luxus bzw. Üppigkeit, Wohlbefinden, Entspannung und Erfrischung verbunden und werde erst erlebt bzw. bemerkt, wenn mehr als das eigentlich Erwartete eintritt (Vink & Hallbeck, 2012).

Ein anderes oft zitiertes Modell ist jenes von De Looze et al. (2003), welches in Abbildung 1 dargestellt wird und sich ursprünglich auf den Produktkomfort bezieht.

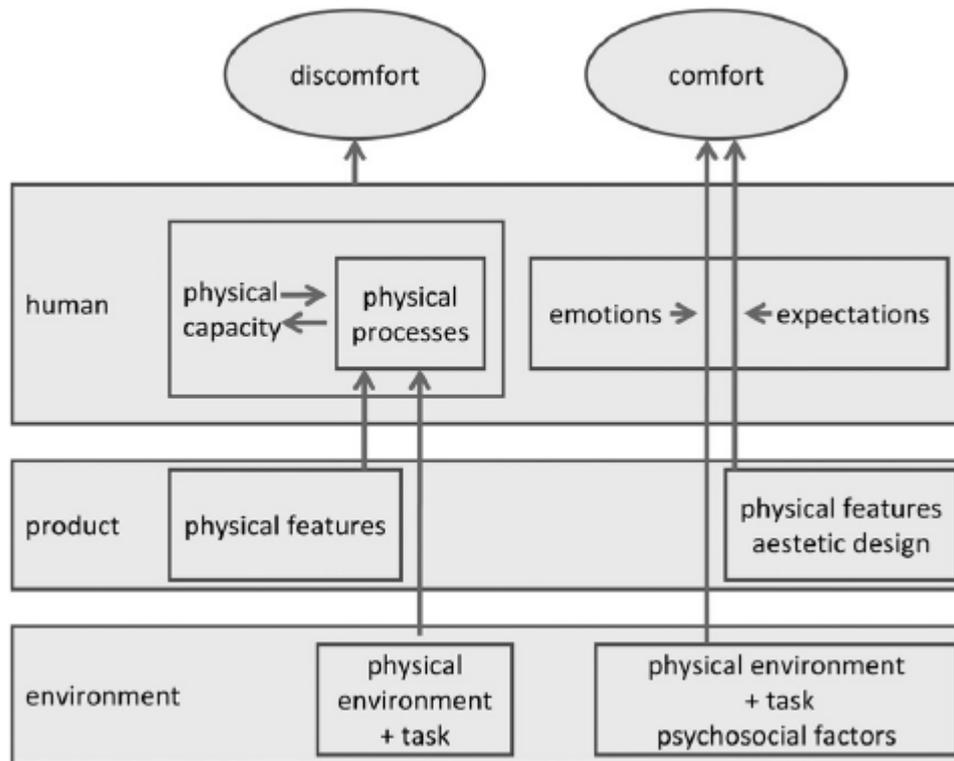


Abbildung 1. Das Komfort-Modell von De Looze, Kuijt-Evers und van Dieen (2003) (zitiert nach Vink & Hallbeck, 2012, S. 273)

Wenn man die linke Seite des Modells betrachtet, sieht man, dass sie sich auf das Erleben von *discomfort* bezieht. Laut De Looze et al. (2003) wird die sitzende Person durch die physischen Merkmale des Sitzes (*product level*), sowie durch die Umgebung und die Aufgabe (*environment level*) belastenden Faktoren ausgesetzt, wie zum Beispiel dem Druck des Sitzes auf den Körper und die Gelenke. Diese externen Belastungen können nun zur Muskelaktivierung, zum Anstieg der Haut- und Körpertemperatur und darauf folgend zu weiteren chemischen, physiologischen und biomechanischen Antworten bzw. Reaktionen des Körpers führen. Somit kann die Wahrnehmung von *discomfort* durch Reizung diverser Sensoren, wie der Haut, Muskeln, Gelenke und Sehnen, sowie der inneren Organe und der Schmerzsensoren entstehen. Die rechte Seite des Modells beschäftigt sich hingegen mit dem

Erleben von Komfort. Auch hier werden drei Level unterschieden, nämlich das Individuum (*human*), das Produkt (*product*) und der Kontext bzw. die Umgebung (*environment*), wobei bei Letzterem zusätzlich zu den physischen Merkmalen auch psychosoziale Faktoren (z. B.: Arbeitszufriedenheit und soziale Unterstützung) eine Rolle spielen. Zu den physischen Merkmalen des Produktlevels kommt das ästhetische Design hinzu, welches ebenfalls die Wahrnehmung von Komfort beeinflussen kann. Auf der Ebene des Individuums hingegen nimmt man an, dass individuelle Erwartungen, sowie Gefühle und Emotionen beeinflussende Faktoren sein können.

Ein anderes bereits erwähntes Modell ist jenes von Moes (2005), mit dessen Hilfe versucht wird den Prozess der Entstehung von *discomfort*, im Speziellen wieder auf den „sitting discomfort“ bezogen, zu erklären (zitiert nach Vink & Hallbeck, 2012). Es werden fünf Phasen durchlaufen bevor *discomfort* erlebt wird, nämlich Interaktion (*interaction*), Effekt im Körperinneren (*effect in the internal body*), wahrgenommene Effekte (*perceived effects*), die Beurteilung bzw. (Ein)schätzung der Effekte (*appreciation of the effect*) und schließlich *discomfort*, wobei dieser Prozess abhängig ist von der Person, dem Sitz bzw. dem Produkt, der Absicht und dem Grund der Nutzung (zitiert nach Vink & Hallbeck, 2012). Laut Moes (2005) entsteht eine Interaktion, wenn eine Person einen Sitz mit einer bestimmten Absicht nutzt, wobei die Interaktion beispielsweise aus der Druckverteilung des Kontaktes von Person und Sitz besteht (zitiert nach Vink & Hallbeck, 2012). Diese Interaktion ruft nun interne Körperreaktionen hervor, wie Druck auf die Nerven und Blutgefäße. Diese Effekte werden dann registriert und interpretiert, beispielsweise als Schmerz. Danach folgt die Beurteilung der wahrgenommenen Effekte. Fällt diese negativ aus kommt es zu Gefühlen von *discomfort* (zitiert nach Vink & Hallbeck, 2012).

Inspiziert von den Modellen von De Looze (2003) und Moes (2005) konstruierten Vink und Hallbeck (2012) ein neues Modell (Siehe Abb.2).

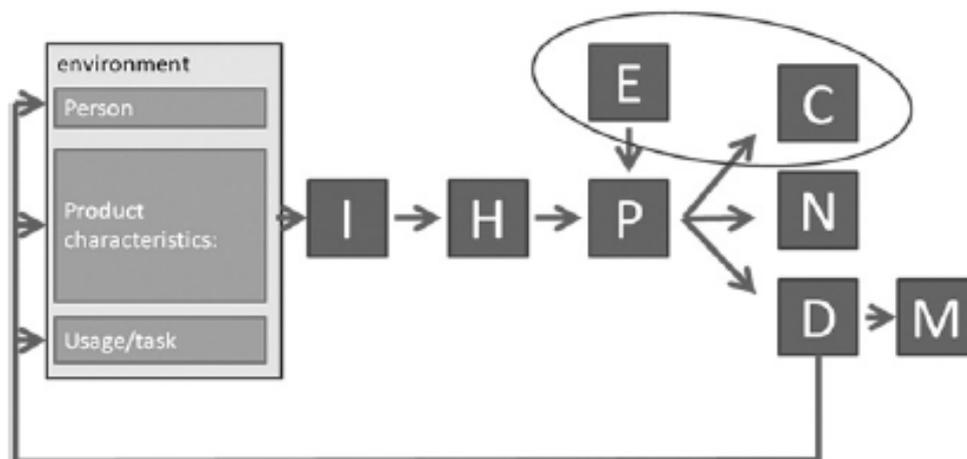


Abbildung 2. Neu konzipiertes Komfort-Modell von Vink und Hallbeck, (2012), S. 275.

Die Interaktion (I) mit der Umwelt wird verursacht durch den Kontakt zwischen der Person, dem Produkt und dessen Verwendung bzw. Aufgabe. Das kann nun zu internen Effekten im Körper der Person führen (H, *internal human body effects*), wie beispielsweise taktile Empfindungen und Muskelaktivierung. Die wahrgenommenen Effekte (P, *percieved effects*) werden von den körperinternen Effekten beeinflusst, aber auch von Erwartungen (E) und werden als komfortabel (C), neutral (N) oder unkomfortabel (D, *discomfort*) eingestuft. Die Autoren betonen, dass es nicht nur eine Form von Komfort oder *discomfort* gibt, sondern verschiedene, die von extrem komfortabel zu eher unkomfortabel und von nicht unkomfortabel zu extrem unkomfortabel reichen können. *Discomfort* kann schlussendlich zu Beschwerden im Bewegungsapparat führen (M, *musculoskeletal complaints*). Der Kreis um E (Erwartungen) und C (Komfort) bildet die Annahme der Autoren ab, dass Erfahrungen häufig mit Komfort in Verbindung stehen. Wenn der *discomfort* zu hoch ist, oder der Komfort nicht hoch genug, dann gibt es eine Rückmeldung an die Person, die dann das Produkt adaptieren, etwas an ihrer Position im Sitz oder den Verwendungszweck bzw. die Aufgabe ändern kann.

1.2.2 Überblick über objektive Messmethoden

Es gibt verschiedene Methoden um Komfort und *discomfort* bzw. das Wohlbefinden einer Person zu messen. Meist werden dafür subjektive Methoden, wie die direkte Befragung der Probanden, verwendet. Eine Möglichkeit das Befinden einer Person objektiv zu erfassen erlauben physiologische Messungen. Psychophysiologie ist eine Subdisziplin der Psychologie und wird als bedeutend in den angewandten Bereichen, wie Ergonomie und Human Factors erachtet (Trimmel, Fairclough & Henning, 2009). Die am häufigsten verwendeten psychophysiologischen Messmethoden sind die Aufzeichnung der kardiovaskulären Aktivität, (Elektrokardiogramm, EKG), der hirnelektrischen Aktivität (Elektroenzephalographie, EEG), der elektrischen Muskelaktivität (Elektromyogramm, EMG), der Hautaktivität, der Augenbewegungen, der Temperatur von Haut und Körper, sowie von hormonellen Reaktionen (Trimmel et al., 2009).

Zusätzlich zu den bereits erwähnten Messmethoden gibt es noch weitere objektive Verfahren, die im Speziellen in Studien zur Evaluation des „sitting comfort“ verwendet wurden, wie zum Beispiel die Messung der Körperhaltung, Anzahl der Körperbewegungen, Messungen des Drucks an der Rückenlehne und der Sitzfläche, sowie Schätzungen der Belastung der Wirbelsäule (De Looze et al., 2003). De Looze et al. (2003) betonten, dass „for discomfort the relationship of objective measures with discomfort would be stronger than for comfort, as the link between discomfort objective measures of physical exposure, dose or response is more direct.“ (S. 988).

Die vorliegende Arbeit konzentrierte sich auf die Messung der kardiovaskulären Aktivität, was die Betrachtung von Parametern der Herzrate (HR) und der Herzratenvariabilität (HRV) beinhaltet.

1.2.3 Das autonome Nervensystem (ANS)

In der Neuroanatomie unterscheidet man zwischen zentralem Nervensystem (ZNS) und peripherem Nervensystem, wobei diese Unterteilung deskriptiv-anatomischen Charakter hat, während man eine Unterteilung in das somatische und das autonome (auch vegetative) Nervensystem auf Grund von funktionellen Gesichtspunkten vornimmt (Gramann & Schandry, 2009). Die Aufgabe des somatischen Systems ist es Sinneseindrücke zu verarbeiten und motorische Reaktionen zu steuern, während das autonome System für die Regulation der körperinternen Vorgänge zuständig ist, welche Großteils unabhängig von willentlicher Steuerung sind und sich sowohl auf das zentrale Nervensystem als auch auf das periphere Nervensystem verteilen (Gramann & Schandry, 2009). Viele psychophysiologische Indikatoren werden aus Reaktionen des ANS und den von ihm gesteuerten Organen gewonnen, beispielsweise Pulsfrequenz, elektrodermale Aktivität und Pupillenweite, wobei die Hauptaufgabe des ANS die Anpassung der Funktion der inneren Organe an veränderte äußere Bedingungen ist (Gramann & Schandry, 2009).

Das ANS kann in zwei Subsysteme eingeteilt werden, das sympathische und das parasympathische Nervensystem, wobei die zentralen Zellgruppen des Sympathikus und die des Parasympathikus in unterschiedlichen Abschnitten des ZNS liegen. Die Systeme stehen teilweise in einem „funktionellen Antagonismus“ zueinander, was bedeutet, dass die meisten Organe von beiden Systemen innerviert werden, jedoch mit gegensätzlichem Effekt (Birbaumer & Schmidt, 2006; Gramann & Schandry, 2009; Sztajzel, 2004). So führt der Sympathikus zu einer erhöhten momentanen Leistungsfähigkeit, was heißt, dass die Stimulation des Sympathikus in den meisten Organsystemen mit einer Aktivierungssteigerung einhergeht, während der Parasympathikus eine dämpfende Wirkung hat, also im Ruhezustand überwiegt und Funktionen wie Verdauung und Reproduktion unterstützt (Gramann & Schandry, 2009). In Zeiten hoher Energieanforderungen durch die Umwelt kommt es zur

Erhöhung des Blutdrucks und der Puls- und Atemfrequenz verursacht durch die Dominanz des Sympathikus, wohingegen in Zeiten der Ruhe der Parasympathikus vorherrschend ist und beispielsweise Herz- und Atemfrequenz gesenkt werden (Gramann & Schandry, 2009).

1.2.4 Aufbau und Funktionsweise des Herzens

Das Herz ist das Zentrum des kardiovaskulären Systems und pumpt das Blut durch die Gefäße. Es ist in folgende Kammern geteilt: rechter Vorhof, rechter Ventrikel, linker Vorhof und linker Ventrikel (Birbaumer & Schmidt, 2006). Das Herz benötigt für seine Leistung keine Impulse von außen und ist unabhängig von zentralnervöser Erregung, was als Automatie bezeichnet wird (Gramann & Schandry, 2009). Das Erregungsleitungssystem besteht aus vier Elementen: dem Sinusknoten, welcher der Schrittmacher des Herzens ist (Birbaumer & Schmidt, 2006), dem Atrioventrikular- Knoten, dem Hisschen Bündel und den Purkinje Fasern (Gramann & Schandry, 2009).

1.2.5 Elektrokardiogramm

Das EKG besteht im Normalfall aus 5 Zacken oder Wellen, die mit alphabetisch aufeinanderfolgenden Buchstaben, nämlich P, Q, R, S und T bezeichnet werden, deren Abfolge sich mit jedem Herzzyklus wiederholt (Gramann & Schandry, 2009). Die einzelnen Wellenformen lassen sich möglichst genau den entsprechenden Prozessen im Herzmuskel zuordnen, wobei die P-Zacke die Erregung der Vorhöfe widerspiegelt, die PQ-Strecke der Dauer der Erregungsüberleitung von Sinusknoten zu den Purkinje-Fasern entspricht und der QRS-Komplex der Erregungsausbreitung in der Kammermuskulatur (Birbaumer & Schmidt, 2006; Schandry, 1989). Die höchste Zacke im EKG ist normalerweise die R-Zacke, die auch dazu verwendet wird, die einzelnen Herzschläge zu markieren und zu identifizieren (Schandry, 1989). Während der ST-Strecke treten keine Potentialschwankungen oder

Potentialdifferenten auf und die T-Zacke ist Ausdruck der Kammer-Repolarisation (Gramann & Schandry, 2009). Zur Verdeutlichung der einzelnen Zacken im EKG siehe Abb. 3.

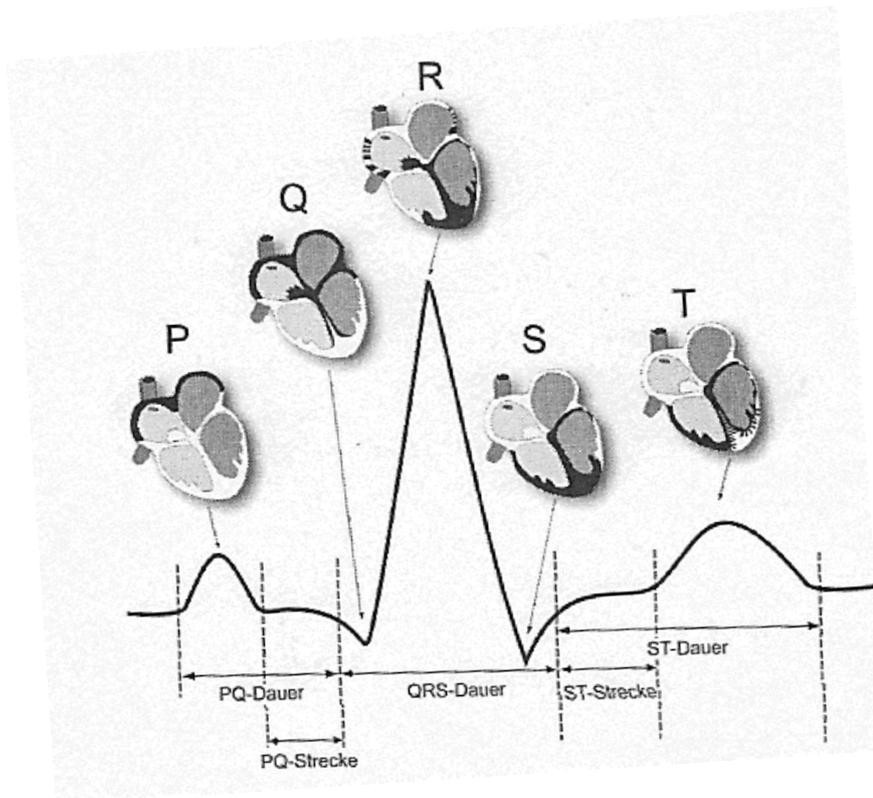


Abbildung 3. Idealisierte Normalform des EKG (Birbaum & Schmidt, 2009, S. 105)

1.2.6 Definition Herzrate (HR) und Herzratenvariabilität (HRV)

Unter Herzrate (HR) versteht man die Anzahl der Herzschläge pro Minute. Sie ist ein Indikator für viele psychophysische Zustandsänderungen (Schandry, 1989). Die Herznerven stellen die nervale Verbindung zum ZNS dar, wobei hier zwischen cholinergen Fasern (verlangsamen die Herzfrequenz) und adrenergen Fasern (beschleunigen die Herzfrequenz) unterschieden wird (Schandry, 1989).

Die Herzfrequenzvariabilität ("heart rate variability", HRV) reflektiert die Abstimmung der Herzkreislauf- und kardiorespiratorischen Regelsysteme, welche die

Herzfrequenz modulieren, wobei eine verringerte HRV ein verringertes komplexes Regulationsvermögen des Organismus bedeutet (Hoyer, 2009). Sie stellt das Ausmaß der Herzfrequenzschwankungen innerhalb eines definierten Messzeitraumes dar, wobei aufeinanderfolgende Herzschläge analysiert werden. Das menschliche Herz schlägt nicht ständig im selben Rhythmus, genauer gesagt soll es das auch gar nicht tun, denn je unregelmäßiger das Herz schlägt und je schneller sich der Herzschlag an die momentane Situation anpasst, desto gesünder ist der menschliche Organismus (Kleiger, Stein & Bigger, 2005; Schandry, 1989; Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing Electrophysiology, 1996). Immer öfter wird die HRV als objektive Messmethode in der Forschung, der Diagnostik und in der klinischen Praxis angewandt. So wird die HRV beispielsweise verwendet um die autonome Funktion des Herzens zu beurteilen und/ oder Risiken an den verschiedensten kardiologischen und nichtkardiologischen Störungen zu erkranken festzustellen (Kleiger et al., 2005).

Die Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing Electrophysiology (1996) betont:

Experimental evidence for an association between propensity for lethal arrhythmias and signs of either increased sympathetic or reduced vagal activity has spurred efforts for the development of quantitative markers of autonomic activity. HRV represents one of the most promising such markers. (S. 1043)

Die klinische Relevanz der HRV sei auf Grund der Ergebnisse einer Studie von Hon und Lee aus dem Jahre 1965 (zitiert nach Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing Electrophysiology, 1996) folgendermaßen zu begründen: fötaler Stress führt zu Veränderungen der RR- Intervalle, noch bevor überhaupt Veränderungen in der Herzrate selbst entdeckt werden können.

1.3 Messungen der HRV

1.3.1 HRV-Analyse im Zeitbereich (*Time Domain Measures*)

Hierbei handelt es sich um die Analyse von sukzessiven RR-Intervallen und deren Differenzen, wobei ein RR-Intervall der Länge eines Herzzyklus entspricht (Task Force of the European Society of Cardiology the North American Society of Pacing Electrophysiology, 1996). In einer kontinuierlichen EKG-Aufzeichnung wird jeder QRS-Komplex erfasst und die momentane Herzrate oder die NN-Intervalle (*normal-to-normal*), was Intervalle zwischen aufeinanderfolgenden QRS-Komplexen sind die aus einer Sinusknotendepolarisation resultieren, festgelegt (Task Force of the European Society of Cardiology the North American Society of Pacing Electrophysiology, 1996). Einige statistische Variablen können direkt aus den Intervallen, und einige aus den Differenzen dieser berechnet werden. Laut Task Force (1996) sind einfache Variablen der Analyse im Zeitbereich der Mittelwert der Herzrate oder der Mittelwert der NN-Intervalle. Bei den time domain Messungen unterscheidet man statistische und geometrische Methoden (Task Force of the European Society of Cardiology the North American Society of Pacing Electrophysiology, 1996), wobei im Folgenden einige etablierte Parameter der statistischen Methode vorgestellt werden.

Die am einfachsten zu berechnende Variable ist die Standardabweichung aller NN-Intervalle (SDNN), welche alle Komponenten darstellt, die verantwortlich für die Variabilität in der Aufzeichnung sind (Task Force of the European Society of Cardiology the North American Society of Pacing Electrophysiology, 1996). Die SDNN ist abhängig von der Länge der Aufzeichnung. Daher ist es üblich solche Berechnungen bei 24-Stunden Aufzeichnungen bzw. bei Aufzeichnungen mit gleicher Messdauer durchzuführen und nur Vergleiche der SDNN anzustellen, wenn es sich um die Betrachtung von annähernd gleicher Aktivitäten

handelt (Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing Electrophysiology, 1996).

Eine Variable, die bei der Betrachtung von kürzeren Aufzeichnungsperioden (üblicherweise Intervalle von fünf Minuten) innerhalb einer Aufzeichnung verwendet wird ist die SDANN, nämlich die Standardabweichung der durchschnittlichen NN-Intervalllänge während kürzerer Aufzeichnungen. Der SDNN-Index hingegen ist der Mittelwert der 5min-Standardabweichungen von den NN-Intervallen über 24 Stunden (Task Force of the European Society of Cardiology the North American Society of Pacing Electrophysiology, 1996).

Die am häufigsten verwendeten Messungen, abgeleitet von Intervalldifferenzen sind rMSSD, NN50 und pNN50 (Task Force of the European Society of Cardiology the North American Society of Pacing Electrophysiology, 1996). Unter rMSSD versteht man die Quadratwurzel des Mittelwertes der Summe der quadrierten Differenzen aufeinanderfolgender NN-Intervalle und ist laut Task-Force (1996) genauso wie pNN50 ein stabiles Maß für den Parasympathikus. NN50 hingegen bezeichnet die Anzahl aufeinanderfolgender NN-Intervalle, die sich um mehr als 50 ms unterscheiden. pNN50 ist der Anteil sukzessiver NN-Intervalle mit einem Unterschied von $>50\text{ms}$ im Vergleich zum vorausgehenden Intervall, bezogen auf die Gesamtzahl von NN-Intervallen (Kleiger et al., 2005; Task Force of the European Society of Cardiology the North American Society of Pacing Electrophysiology, 1996). Neben pNN50 sind auch andere Parameter der pNN-Familie interessant, nämlich jene, mit Intervalldifferenzen weniger als 50 ms (Mietus et al., 2002; zitiert nach K. Trimmel, 2011). K. Trimmel (2011) konnte im Vergleich zum traditionell verwendeten Parameter pNN50 höhere Effektstärken für pNN05, pNN10, pNN20, pNN25, pNN30 und pNN40 feststellen. Für einen Überblick der Parameter der HRV-Analyse im Zeitbereich siehe Tabelle 1.

Tab. 1: Variablen der HRV-Analyse im Zeitbereich; statistische Methoden (nach Task Force of the European Society of Cardiology the North American Society of Pacing Electrophysiology, 1996, S. 1045)

Variable	Beschreibung
SDNN (ms)	Standardabweichung aller NN-Intervalle
SDANN (ms)	Standardabweichung der durchschnittlichen NN-Intervalllänge während kürzerer Aufzeichnungen (meist 5 Minuten)
SDNN-Index	Mittelwert der 5min-Standardabweichungen über 24 Stunden
rMSSD (ms)	Wurzel des Durchschnittswertes der Summe der quadrierten Differenzen aufeinanderfolgender NN-Intervalle
NN50 (ms)	Anzahl der aufeinanderfolgenden NN-Intervalle, die sich um mehr als 50 ms unterscheiden
pNN50 (%)	NN 50/ Anzahl aller NN-Intervalle

1.3.2 HRV-Analyse im Frequenzbereich (Frequency Domain Measures)

Zur HRV-Analyse im Frequenzbereich stehen unterschiedliche spektrale Analysemethoden zur Verfügung. Die power spectral density Analyse (PSD) liefert Informationen darüber, wie die Varianz (power) als eine Funktion der Frequenz verteilt ist (Task Force of the European Society of Cardiology the North American Society of Pacing Electrophysiology, 1996). Man unterscheidet parametrische und nicht-parametrische Methoden, wobei die Vorteile der nicht-parametrischen Methoden der einfach anwendbare Algorithmus (Fast Fourier Transformation) und die hohe Verarbeitungsgeschwindigkeit sind (Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing Electrophysiology, 1996). Anhand Langzeit- (Analyse der NN-Intervalle aus dem gesamten 24h-EKG) oder Kurzeitenaufzeichnungen (Analyse aus einem Zeitraum von 2 – 5 Minuten) kann eine Untersuchung der frequenzspezifischen Schwankungen durchgeführt werden (Task Force of the European Society of Cardiology the North American Society of Pacing Electrophysiology, 1996).

Die PSD kann in vier Komponenten zerlegt werden: ultra low frequency (ULF), very low frequency (VLF), low frequency (LF) und high frequency (HF), wobei die Summe aller Frequenzbereiche total power (TP) genannt wird und die Varianz aller NN-Intervalle darstellt (Kleiger et al., 2005; Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing Electrophysiology, 1996). Für weitere Erläuterungen zu den Messwerten der HRV-Analyse im Frequenzbereich siehe Tabelle 2.

Tab. 2: Variablen der HRV-Analyse im Frequenzbereich (nach Task Force of the European Society of Cardiology the North American Society of Pacing Electrophysiology, 1996, S. 1049)

Variable	Beschreibung	Frequenzbereich
Total power (ms ²)	Varianz aller NN-Intervalle	≤ 0.4 Hz
ULF (ms ²)	Varianz im ULF-Bereich	≤ 0.003 Hz
VLF (ms ²)	Varianz im VLF-Bereich	0.003 - 0.04 Hz
LF (ms ²)	Varianz im LF-Bereich	0.04 - 0.15
HF (ms ²)	Varianz im HF-Bereich	0.15 - 0.4 Hz
LF norm	Normalisierter Wert der LF: $= \frac{LF}{TP - VLF} \times 100$	
HF norm	Normalisierter Wert der HF: $= \frac{HF}{TP - VLF} \times 100$	
LF/HF	Verhältnis der LF zur HF-Varianz	

Anmerkungen: ULF= ultra low frequency; VLF= very low frequency; LF= low frequency; HF= high frequency; Hz= Hertz

Die Messung der Frequenzbereiche erfolgt normalerweise in absoluten Werten (Millisekunden zum Quadrat). LF und HF können aber auch in normierten Einheiten gemessen werden (LF_{norm}, HF_{norm}), wobei dies den relativen Wert jeder power-Komponente

im Verhältnis zur total power minus der VLF- Komponente zeigt (Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing Electrophysiology, 1996).

Wichtig zu erwähnen ist weiters, dass Frequenzen im ULF-Bereich, genauso wie jene im VLF, nur bei langzeitigen Aufzeichnungen interpretiert werden sollen und nicht bei Messungen ≤ 5 Minuten (Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing Electrophysiology, 1996).

1.3.3 Parameter der HRV und ihr Zusammenhang mit dem ANS

Um verstehen zu können was ein beobachteter Wert der verschiedenen HRV-Parameter aussagt, wird nun der Zusammenhang dieser mit den beiden Subsystemen des ZNS, also dem Sympathikus und dem Parasympathikus, erläutert. Die Kennwerte rMSSD und pNN50 sind laut Sztajzel (2004) die am häufigsten verwendeten Parameter, die auf Intervalldifferenzen basieren. Sie reagieren auf kurzzeitige HRV-Veränderungen und sind unabhängig von Tag/Nacht-Variationen (Sztajzel, 2004). Viele Forscher sind sich einig, dass rMSSD und pNN50 auf eine vagale Modulation zurückzuführen sind, also mit dem Parasympathikus in Verbindung gebracht werden können (Hoyer, 2009, Schnell et al., 2013, Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing Electrophysiology, 1996).

Bei den Kennwerten der Messung aus dem Frequenzbereich, nämlich HF und LF ist die eindeutige Zuordnung zu Sympathikus bzw. Parasympathikus ein oft strittiges Thema. Während man sich einig ist, dass in der HF-Komponente die vagale Aktivität eine wichtige Rolle spielt, gibt es Diskussionen bezüglich der LF-Komponente. Hierzu bestehen Annahmen, dass diese als Ausdruck der sympathischen Modulation angesehen werden kann und andere, welche die LF als eine Kombination von sympathischer und parasympathischer Aktivität interpretieren (Schnell et al., 2013; Sztajzel, 2004; Task Force of the European Society of

Cardiology and the North American Society of Pacing Electrophysiology, 1996). Reyes del Paso et al. (2013) zeigen Ergebnisse auf, die die Gültigkeit der Annahme, dass die LF-Komponente als Index für die Sympathikusaktivität steht, anzweifeln. Die Autoren gehen davon aus, dass der LF-Kennwert sehr wahrscheinlich vom Parasympathikus beeinflusst wird und daher auch das Verhältnis von LF/HF parasympathischen Einfluss widerspiegelt (Reyes del Paso et al., 2013). Dies steht im Gegensatz zu den bisherigen Annahmen, dass dieses die sympatho-vagale Balance reflektiert und als Messwert dieses Gleichgewichts verwendet werden kann (Hoyer, 2009; Sztajzel, 2004; Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing Electrophysiology, 1996). Schnell et al. (2013) meinen dazu, dass ein hoher Wert des LF/HF-Quotienten auf eine Dominanz der sympathischen Aktivität hinweist, wohingegen ein niedriger Wert bedeutet, dass die parasympathische Aktivität vorherrschend ist.

Bezüglich des Kennwertes der VLF sind die physiologischen Einflussgrößen laut Task Force (1996) fraglich, sodass die Interpretation der VLF aus Kurzeitaufzeichnungen nicht zu empfehlen ist, was auch auf Kennwerte der ULF zutrifft. Diese soll man nur bei Langzeitaufzeichnungen berechnen.

1.4 Bisherige Studien

Wie schon in der Einleitung angedeutet, muss die Fahrt mit öffentlichen Verkehrsmitteln nicht zwingend zu einem erhöhten Stress, einem verminderten Wohlbefinden und dem Erleben von *discomfort* führen. Was von einigen Personen als Belastung angesehen wird, kann unter Umständen von einigen Personen auch als Komfortfaktor wahrgenommen werden. Ein Beispiel dafür wäre die subjektive Wahrnehmung der Temperatur innerhalb des Transportmittels, die als zu hoch, aber auch als angenehm empfunden werden kann.

Da Silva (2002) betont:

The comfort experienced by humans in a given environment can be classified as a subjective assessment, because it is possible to find a considerable variation in response of different people to the same situation. Nevertheless, the factors on which the opinions of people on comfort level are based are physical variables that characterize the surroundings, e.g. temperature, air velocity, acceleration, and light intensity. (S. R41)

Die Personen, die öffentliche Verkehrsmittel benutzen, bewerten daher subjektiv das Vorhandensein bzw. Nicht-Vorhandensein von Komfort und *discomfort* bezogen auf die Umgebungsfaktoren im Verkehrsmittel. In einer Studie von Beirao und Sarsfield Cabral (2007) wurden weiche saubere Sitze, angenehme Temperaturen und Gerüche, das Vorhandensein einer Klimaanlage und nicht zu viele Personen im Fahrzeug als Faktoren für Komfort definiert.

Bisherige Studien beschäftigten sich hauptsächlich mit der Erfassung des Zusammenhangs von „indoor“ Stressoren mit Komfort, Gesundheit und Produktivität (Lee & Brand, 2005), wobei die Informationen bezüglich des Zusammenhanges zwischen („indoor“) Umweltfaktoren und Wohlbefinden immer noch begrenzt sind. Bluysen Janssen, van den Brink und de Kluizenaar (2011) schlagen folgende Erhebungstechniken für die Erfassung von *indoor environmental quality* (IEQ) vor: medizinische Untersuchung zur Informationssammlung bezüglich der objektiven Antworten des Körpers auf Umweltaspekte, Fragebögen, um Informationen bezüglich der subjektiven Sicht der Personen hinsichtlich der Umweltfaktoren, deren *states* und *traits* zu erhalten und schließlich noch die Beobachtung, um die Antworten der Personen auf bestimmte Situationen zu erhalten.

In einer aktuellen Studie von Schwanitz, Wittkowski, Rolny und Basner (2013) wurde eine Rangordnung der relativen Wichtigkeit von unterschiedlichen Komfortaspekten der Umgebung (z. B.: Beleuchtung, Platz zum Arbeiten, Luftfeuchtigkeit) in einem Zug,

basierend auf einer Stichprobe von 262 Passagieren, erstellt. Besonderes Interesse der Autoren lag auf der Platzierung des Aspektes der Luftdruckfluktuation im Zug. Es wurden auch Gruppenvergleiche bezüglich der generellen Einstellung zum Transportmodus Zug, der Rangordnung der Komfortaspekte und der Häufigkeit verschiedener Aktivitäten während der Zugfahrt (beispielsweise Lesen, Arbeiten und Schlafen) aufgestellt. Vorwiegend waren klimatische Einflussfaktoren, wie Gerüche, Luftqualität, Ventilation und Temperatur die wichtigsten Aspekte für die Festlegung des Komfortlevels der Passagiere, gefolgt von Aspekten des Sitzes, Platzfaktoren, Lärm, Beleuchtung und schließlich Vibration und Bewegung (Schwanitz et al., 2013).

Nun werden einige Studienergebnisse vorgestellt, die sich auf die Bereiche Lärm, Crowding, Hitze und die physiologischen Reaktionen des Körpers spezialisieren, wobei in den vorhandenen Studien meist nur auf einen Faktor der Umgebung Bezug genommen wird.

1.4.1 Studienergebnisse zum Umgebungsfaktor Lärm

Bisherige Studien fanden Belege dafür, dass laute (>90 dBA) und unvorhersehbare Geräuschaussetzung Katecholamine und den Blutdruck erhöhen und zu einer erhöhten Herzrate sowie Hautableitung führen (Cohen & Weinstein, 1982; Glass & Singer, 1972; McLean & Tarnopolsky, 1977, zitiert nach Evans & Cohen, 1987). Weiters wurde ein Zusammenhang zwischen Lärm und kardiovaskulären Störungen (Welch, 1979, zitiert nach Evans & Cohen, 1987) sowie Lärm und Herzkrankheiten (Cohen & Weinstein, 1982, zitiert nach Evans & Cohen, 1987) gefunden. In einer Studie untersuchten Björ et al. (2007) mögliche akute Effekte von Vibration und Lärm auf die HRV. Es wurden 20 Personen getestet, die jeweils vier Bedingungen ausgesetzt wurden, nämlich nur Lärm, nur Vibration, Lärm und Vibration kombiniert und einer Kontrollbedingung. In der Bedingung, in der die Versuchspersonen nur Lärm ausgesetzt wurden, konnten erhöhte Werte für total power, VLF, HF und LF beobachtet werden, wohingegen die Bedingung Vibration genau gegenteilige

Effekte hervorbrachte (Björ et al., 2007). Eine reduziert total power kann auf eine verminderte vagale Aktivität hinweisen und eine kurzzeitige Antwort auf akuten Stress reflektieren, sodass der erhöhte Wert der total power in der Lärmbedingung demnach für eine erhöhte Sympathikusaktivität steht (Björ et al., 2007). Kraus et al. (2013) konnten in ihrer Studie zeigen, dass alltägliche Lärmaussetzung mit sofortigen Veränderungen in der HRV einhergeht und somit eine mögliche Verbindung von Lärm und kardiovaskulärem Risiko besteht. Sie konnten einen Anstieg in der HR und im LF/HF-Verhältnis, sowie ein Sinken der HF und LF beobachten, wenn die Lärmaussetzung um 5 dB stieg, im Vergleich zur Ausgangslautstärke von <65 dB; SDNN stieg in Verbindung mit einer Lärmerhöhung in der Bedingung <65 dB und sank bei einer Lärmbelastung von ≥ 65 dB (Kraus et al., 2013). Yanagihashi, Ohira, Kimura und Fujiwara (1997) fanden in ihrer Studie, in der psycho-physiologische Effekte verschiedener Geräuschstimulationen untersucht wurden, einen signifikant niedrigeren HF-Wert unter mechanischen Geräuschen im Vergleich zu Musik und Vogelgezwitscher. Daher schlussfolgern sie, dass mechanische Geräusche das parasympathische Nervensystem hemmen und ein Gefühl von Unbehagen auslösen (Yanagihashi et al., 1997).

1.4.2 Studienergebnisse zum Umgebungsfaktor Crowding

Auch bezüglich des Crowdings konnten Studien einen signifikanten Zusammenhang von *density* (Dichte) und erhöhtem Blutdruck, erhöhter Herzrate und erhöhter Hautleitfähigkeit finden (Baum & Paulus, 1987). Negativer Affekt, Anspannung, Ängstlichkeit und Stress begleiteten häufig Crowding (Baum & Paulus, 1987; Sundstrom, 1987, zitiert nach Evans & Cohen, 1987).

Stokols (1972) unterscheidet zwischen „Dichte als objektiven Maß der räumlichen Begrenzung einer Situation und Crowding als subjektivem Erleben von Beengung. Dichte wird erfasst als Anzahl der Personen pro Flächeneinheit, Crowding über Selbstbeurteilung oder physiologischen Streßindikatoren wie z.B. die Erhöhung des Adrenalinspiegels“

(Hellbrück & Fischer, 1999, S. 346). Für eine genauere Differenzierung und Erläuterungen des Crowding-Begriffes siehe Hellbrück und Fischer (1999) sowie Baum und Paulus (1987). Faktoren, die die Wahrnehmung von Crowding und das Erleben von Stress in einer Umgebung mit hoher Dichte beeinflussen, sind die Wahrnehmung von Kontrolle und Vorhersehbarkeit von Ereignissen (Cox, Houdmont & Griffiths, 2006). Baum und Valins (1979), Evans und Lepore (1992) sowie Sherrod und Cohen (1979) berichteten, dass hohe Dichte zu einem Kontrollverlust führen kann und dass dieser der primäre Mechanismus ist, der die Beziehung zwischen Dichte und Stress vermittelt (zitiert nach Hellbrück & Fischer, 1999). Weiters können auch Reizüberflutung, der Mangel an Bewegungsfreiheit bzw. Privatsphäre und die Intensität der Interaktionen mit anderen Menschen einen Einfluss auf das Erleben haben (Cox et al., 2006).

Turner, Corbett, O’Harra und White (2005) konnten eine Vielzahl an Problemen, die Gesundheit und die Sicherheit betreffend, auf Grund von Crowding in Zügen feststellen (zitiert nach Evans & Wener, 2007). In einer Studie von Evans und Wener (2007) wurde die Rolle des Eindringens in den persönlichen Raum und Crowding bei Pendlern während der Fahrt mit dem Zug zur *Rush hour* in New York City untersucht. Mc Geeham konnte 2005 in einer Studie beobachten, dass Personen selbst bei zunehmender Dichte im Zugwagon, anstatt sich auf die übrigen freien Plätze zu setzen, lieber die Option des Stehens, an Plätzen die die physische Distanz zu den anderen Passagieren maximieren, wählten (zitiert nach Evans & Wener, 2007). Das zeigt, dass Crowding auftritt, wenn die Regulation von sozialer Interaktion nicht funktioniert und die aktuell erlebte soziale Interaktion unser Verlangen nach dieser übersteigt, was bedeuten kann, dass das Eindringen in den persönlichen Raum ein fundamentaler Grund von Crowding ist (Evans & Wener, 2007).

1.4.3 Studienergebnisse zum Umgebungsfaktor Temperatur

Laut Kosonen und Tan (2004) ist die thermale Umgebung einer der wichtigsten Umgebungsfaktoren in Innenräumen und sowohl die Gesundheit als auch die Leistung würden davon beeinflusst werden. In einer Studie von Lan et al. aus dem Jahr 2011 wurden 12 Personen zwei unterschiedlichen thermalen Bedingungen in einem Büro ausgesetzt, nämlich einer Bedingung mit 22 °C und einer mit 30 °C. Ziel der Studie war es die Effekte von thermalem *discomfort* auf die Gesundheit und die Leistung der Personen zu untersuchen, wobei neben Fragebögen auch physiologische Messmethoden eingesetzt wurden (z.B.: Erhebung von Hauttemperatur, Herzrate, Respirationsrate und Biomarker im Speichel). Während jeder Bedingung mussten die Personen typische Bürotätigkeiten ausführen und neurobehaviorale Tests bearbeiten. Physiologische Parameter und Biomarker wurden zu mehreren Zeitpunkten gemessen. Die Autoren kamen zu den Ergebnissen, dass die teilnehmenden Personen signifikant zufriedener mit der thermalen Umgebung bei 22 °C waren, im Gegensatz zu der Umgebung mit 30 °C. Es wurde eine negative Stimmung und weniger Elan bei den Versuchspersonen in der 30°C Bedingung beobachtet, was bei der Bedingung mit 22 °C nicht der Fall war. Bezüglich der Herzrate konnte festgestellt werden, dass diese bei 22 °C niedriger war, als bei 30°C (Lan et al., 2011). Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch Liu et al. (2008), die beobachten konnten, dass das LF/HF Verhältnis, also das Verhältnis der low- zur high-frequency Varianz, bei hohen (29 °C und 30 °C) und niedrigen (21 °C) Temperaturen höher war, als bei moderaten Temperaturen (24 °C, 26 °C und 28 °C). Das erhöhte LF/HF Verhältnis zeigt, dass die Aktivität des sympathischen Nervensystems erhöht wurde, was wiederum heißt, dass der Blutfluss der Haut reduziert wurde um die Körperwärme zu bewahren und die Körpertemperatur im Normalbereich zu erhalten (Liu et al., 2008). Auch Yao et al. (2009) meinen, dass die Temperatur der Umgebung einen Einfluss auf die vagale und sympathische Aktivität hat, wenn eine Person diese als komfortabel oder

unkomfortabel empfindet. Daher würde bei thermalem Unwohlsein der Person der Sympathikus vorherrschend sein, während der Parasympathikus aktiver ist, wenn sich eine Person in der thermalen Umgebung wohl fühlt, sie also als komfortabel empfindet (Yao et al., 2009). In ihrer Studie konnten sie zeigen, dass der Wert des LF_{norm}/HF_{norm} -Verhältnisses ungefähr 1.00 annahm, wenn sich die Versuchspersonen laut eigenen Angaben neutral in der thermalen Umgebung fühlten, wohingegen bei Einschätzungen der Umgebung als kühl und kalt bzw. warm und heiß deutlich größere Werte gefunden werden konnten (Yao et al., 2009).

Bei Yamamoto et al. (2007) wurden sechs gesunde männliche Versuchspersonen 30 Minuten einer Temperaturbedingung von 35 °C ausgesetzt, woraufhin beobachtet werden konnte, dass der normalisierte HF-Wert signifikant sank und das Verhältnis von LF zu HF signifikant stieg (zitiert nach Ren, O`Neil, Park, Sparrow, Vokonas & Schwartz, 2011).

Im Gegensatz zu den bereits erwähnten Studien, die sich mit der thermalen Umgebung beschäftigen, gibt es auch einige wenige Studien, die die Auswirkung der Temperatur auf die körperlichen Reaktionen in Verbindung mit Luftverschmutzung untersucht haben (Ren et al., 2011; Wu et al., 2013). Wu et al. (2013) untersuchten Zusammenhänge zwischen Temperaturexposition und HRV bei 14 gesunden Taxifahrern im Kontext von verkehrsbedingter Luftverschmutzung. Sie wollten mit Hilfe ihrer Studie die Effekte von Temperatur auf die HRV, sowie mögliche Wechselwirkungen zwischen Temperatur und Luftverschmutzung untersuchen. Folgende Ergebnisse konnten gefunden werden. Steigende Temperaturlevel konnten mit einem geringeren SDNN-Wert in Verbindung gebracht werden, einem geringeren Wert der HF-power bei hohen Temperaturbedingungen in der warmen Saison (>35 °C), einem erhöhten Wert der HF-power bei steigenden Temperaturen (>25 °C) in der kalten Saison, sowie einem Anstieg des LF/HF- Verhältnisses (Wu et al., 2013). Weiters nahmen die Forscher auf Grund der gefundenen Ergebnisse an, dass es eine Wechselwirkung zwischen Temperatur und Luftverschmutzung gibt und dass diese beiden

Faktoren das Auftreten von kardiologischen Dysfunktionen in gesunden Versuchspersonen beeinflussen (Wu et al., 2013).

1.5 Forschungsfragen

Wie bereits erwähnt wurden bisherige Studien zum Thema Komfort hauptsächlich unter Laborbedingungen durchgeführt und konzentrierten sich häufig ausschließlich auf einen Faktor der Umgebung. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es das Erleben von Komfort und *discomfort*, hervorgerufen durch verschiedenste Faktoren der Umgebung, mittels Messung von physiologischen Reaktionen in einem natürlichen Setting, der U-Bahn, zu untersuchen und somit die Auswirkungen der Fahrt auf die Person zu beobachten. Auch die subjektive Bewertung des Komforts der Umgebungsfaktoren wird erhoben, um feststellen zu können, ob die Studienteilnehmer ihr Komfortempfinden während der Fahrt unterschiedlich als jenes nach der Fahrt beurteilen. Da bisher keine vergleichbaren Studien durchgeführt wurden, wird das Sammeln neuer Information durch die vorliegende Arbeit angestrebt.

Die Messung der kardiovaskulären Aktivität als objektive, nichtinvasive Messmethode wird dazu verwendet Veränderungen der sympathischen und parasympathischen Aktivität als Reaktion auf Anforderungen der Situation beobachten zu können und hat sich bereits in vielen Studien bewiesen (Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology, 1996). So verwendeten Björ et al. (2007), sowie Kraus et al. (2013) Messungen der HRV um auf Grund von Lärmexposition Veränderungen in den physiologischen Parametern zu finden. Auch als objektive Methode zur Messung des thermalen Komforts wurde die HRV verwendet, wie beispielsweise bei Yao et al. (2009), Lan et al. (2011), Liu et al. (2008) und Wu et al. (2013). So sei bei thermalem Unwohlsein der Person der Sympathikus vorherrschend, während bei thermalem Komfort der Parasympathikus aktiver sei (Yao et al., 2009). In ihrer Studie weisen Schwanitz et al. (2013)

auf die Bedeutung der verschiedenen Faktoren (Lärm, Vibration, Temperatur) innerhalb eines Zugwagens hin, welche in Verbindung mit physiologischen und psychologischen Komfortaspekten stehen.

Bei der Benutzung von Transportmitteln, speziell wenn diese für den Weg in die Arbeit verwendet werden, komme es laut Singer, Lundberg und Frankenhauser (1978) zu einer Erhöhung des physiologischen Stresses (zitiert nach Wener & Evans, 2011). Aus diesen Überlegungen geht die Forschungsfrage hervor, ob U-Bahn fahren mit einer Veränderung der autonomen Regulation einhergeht.

Da Silva (2002) betont in seinem Artikel die wachsende Notwendigkeit für Verbesserungen des Komforts in privaten und öffentlichen Verkehrsmitteln, wobei der Fokus seiner Untersuchungen auf der Betrachtung der Umgebungsfaktoren des Autos liegt. Die Temperatur habe einen starken Einfluss auf die Gesundheit und den Komfort der Passagiere und auch die Luftqualität sinke bei Anwesenheit mehrerer Personen in einem Transportmittel, welches einen begrenzten Raum mit unzureichender Ventilation darstelle (Da Silva, 2002). Dies führt nun zu der Annahme, dass der Einfluss der Umgebungsbedingungen des Autos mit jenem in der U-Bahn vergleichbar ist und mit Veränderungen in physiologischen und subjektiven Parametern einhergeht. Somit ergibt sich die Frage nach einem Unterschied in den physiologischen Parametern für die Situation während der Fahrt und nach der Fahrt, sowie bezüglich der Komfortbewertung der Umgebungsfaktoren in hoch und niedrig.

Ein weiteres Interesse der vorliegenden Untersuchung bezieht sich auf Unterschiede in der subjektiven Bewertung der Komfortaspekte während und nach der Fahrt. Schwanitz et al. (2013) untersuchten unterschiedliche Komfortaspekte innerhalb eines Zugwagens hinsichtlich ihrer relativen Wichtigkeit, wobei sich zeigte, dass Gerüche, Luftqualität, Ventilation und Temperatur die wichtigsten Aspekte für die Festlegung des Komfortlevels der Passagiere

waren, gefolgt von Aspekten des Sitzes, Platzfaktoren, Lärm, Beleuchtung und schließlich Vibration und Bewegung.

Ein Artikel von Karjalainen aus dem Jahr 2012 betrachtet vorhandene Studien zum Einfluss des Geschlechts auf die Beurteilung der thermalen Umgebung. Es zeigte sich in mehr als der Hälfte der vorhandenen Labor- und Feldstudien eine größere Unzufriedenheit mit der thermalen Umgebung bei Frauen, im Gegensatz zu Männern (Karjalainen, 2012). Dies könne darauf zurückzuführen sein, dass Frauen sensibler auf Abweichungen von der als optimal empfundenen Temperatur reagieren und dadurch öfter Unzufriedenheit bzw. *discomfort* äußern (Karjalainen, 2012). Auch Indraganti und Rao (2010) weisen in ihrer Studie auf die zahlreichen Faktoren hin, die einen Einfluss auf die thermale Akzeptanz haben. Sie fanden geringe, jedoch signifikante Korrelationen zwischen Alter, thermaler Empfindung und allgemeinem Komfort (Indraganti et al., 2010). Es zeigte sich, dass ältere Versuchsteilnehmer toleranter bezüglich der thermalen Umgebung waren und dass Frauen eine Präferenz für warme Umgebungen zeigten (Indraganti et al., 2010). Bezüglich des Umgebungsfaktors Lärm konnten Pellerin und Candas (2003) eine höhere Akzeptanz von geräuschvollen Umgebungen bei Frauen finden, sowie eine höhere Sensibilität auf Temperaturaspekte. Auch die vorliegende Untersuchung betrachtet mögliche Einflüsse von Geschlecht, Alter, Stressreaktivität, allgemeinem Wohlbefinden, aktuellem Befinden und der Persönlichkeit auf die Bewertung der Umgebungsbedingungen.

2. METHODE

2.1 Untersuchungsteilnehmer

Insgesamt nahmen 42 Personen (10 männlich, 32 weiblich) an der quasiexperimentellen Untersuchung teil. Die Untersuchungsteilnehmer wurden aus dem Freundes- und Bekanntenkreis rekrutiert und stellten sich freiwillig zur Verfügung. Die Altersspanne der getesteten Personen reicht von 19 bis 53 Jahren (25.90 ± 8.26 Jahre). Hinsichtlich der höchsten abgeschlossenen Bildung ist der Abschluss einer AHS bzw. BHS, also die Matura, vorherrschend (24 von 42 Personen). Für genauere Informationen siehe Tabelle 3 in Kapitel 3.1.

2.2 Untersuchungsdesign

Die Untersuchung wurde als Quasiexperiment angelegt, da es keine Randomisierung gab und eine anfallende Stichprobe verwendet wurde (Campbell & Stanley, 1963, zitiert nach Trimmel, 2009). Die Testung der teilnehmenden Personen erfolgte in natürlichen Umgebungen, so dass man von einer Feldstudie sprechen kann, die sich durch hohe externe Validität auszeichnet (Trimmel, 2009). Sie erfolgte für jeden Teilnehmer individuell bzw. konnten bis zu maximal drei Personen simultan untersucht werden. Es gab drei Bedingungen (Messzeitpunkte), nämlich Kontrollbedingung 1 (t1), Fahrtbedingung (Fahrt) und Kontrollbedingung 2 (t2), wobei jede Person an allen Bedingungen teilnahm, sodass sich ein Messwiederholungsfaktor ergibt. Für jede Person wurden verschiedenste psychologische Variablen erfasst, sowie physiologische Parameter mittels Elektrokardiogramm (EKG) aufgezeichnet. Für den statistischen Vergleich der Bedingungen wurden Zeitintervalle von je 5 Minuten pro Bedingung gebildet, die im Hinblick auf die verschiedenen HRV-Parameter

(SDNN, pNN50, rMSSD, HF, LF, LF/HF), der Herzrate und der Bewertung des Komforts als hoch bzw. niedrig verglichen werden.

Da eine Versuchsgruppe zu drei Messzeitpunkten untersucht wurde ergibt sich ein Messwiederholungsplan (Winer, Brown, Michels, 1991, zitiert nach Trimmel, 2009) mit 3 Bedingungen (Kontrollbedingung 1, Fahrtbedingung, Kontrollbedingung 2). Daher wird eine 1×3 MANOVA mit Messwiederholung für die 3 Bedingungen durchgeführt, sowie nach signifikantem Ergebnis dieser, follow-up ANOVAs für jeden HRV-Parameter extra berechnet.

Auch für die Testung von Mittelwertunterschieden der subjektiven Bewertungen der Umgebungsfaktoren zwischen Fahrtbedingung und Kontrollbedingung 2 werden eine MANOVA mit Messwiederholung, sowie darauf folgende t-Tests für abhängige Stichproben durchgeführt. Weiters wird eine Gruppierung der Versuchspersonen bezüglich der Höhe der Komfortbewertung (hoch, niedrig) vorgenommen, sodass sich ein 2×2 MANOVA-Design mit Messwiederholungsfaktor und Zwischensubjektfaktor ergibt (Field, 2009). Die unabhängigen Variablen stellen die Bedingungen unter denen Komfort gemessen wurde (Fahrtbedingung und Kontrollbedingung 2), sowie die Einteilung der Versuchspersonen bezüglich der Komfortratings (hoher Komfort, niedriger Komfort) dar. Die abhängigen Variablen sind die Ausprägungen der unterschiedlichen physiologischen Parameter (HR, SDNN, rMSSD, pNN50, LF, HF, LF/HF). Falls ein signifikantes Ergebnis der MANOVA gefunden werden kann, werden Follow-up ANOVAs mit Messwiederholung für jeden HRV-Parameter und für die HR durchgeführt um Veränderungen innerhalb jedes HRV-Parameters über alle Untersuchungsbedingungen aufschlüsseln zu können.

Auf mögliche Störvariablen wird durch die Durchführung einer Multiplen Regression eingegangen, bei der der Einfluss von Alter, Geschlecht, Stressreaktivität, allgemeinem

Wohlbefinden, aktuellem Befinden und Persönlichkeit auf die Bewertung der Umgebungsbedingungen erhoben werden.

2.3 Operationalisierung und Untersuchungsmaterialien

Im Folgenden werden die verschiedenen Bedingungen und die verwendeten Fragebögen bzw. Erhebungsinstrumente genauer beschrieben und vorgestellt.

2.3.1 Untersuchungsbedingungen

Es gab drei Bedingungen, nämlich Kontrollbedingung 1 beim Ausfüllen eines Fragebogens (*paper-pencil* Format) in einem ruhigen Raum, im Sitzen und darauf folgend die Fahrtbedingung. Hier war ein Fragebogen während der Fahrt mit der U-Bahn auszufüllen, wobei dieser nach Belieben bzw. Verfügbarkeit von Plätzen im Sitzen oder Stehen ausgefüllt werden konnte. Die dritte und letzte Bedingung, Kontrollbedingung 2, umfasste das Bearbeiten eines Fragebogens nach der Fahrt und wurde im Sitzen oder Stehen durchgeführt, abhängig davon, ob die Person in der Fahrtbedingung einen Sitz- oder Stehplatz hatte. Kontrollbedingung 1 und Kontrollbedingung 2 dienen dazu Vergleichswerte der Herzparameter zu erfassen.

2.3.2 Erfassung psychologischer Variablen durch Fragebögen

Es wurden drei Fragebögen im *paper-pencil* Format in deutscher Sprache vorgegeben. Neben der Erhebung von soziodemografischen Daten wurden auch Informationen bezüglich der Persönlichkeit, der Stressreaktivität, dem allgemeinen Wohlbefinden, der aktuellen Befindlichkeit und zu Umgebungsfaktoren in der U-Bahn während der Fahrt sowie zu Umgebungsfaktoren nach der Fahrt gesammelt.

2.3.2.1 Big Five Inventory – SOEP (BFI-S)

Der in der Untersuchung verwendete Fragebogen zur Einschätzung der Persönlichkeit war der Big Five Inventory-SOEP (BFI-S), der die Dimensionen Gewissenhaftigkeit, Extraversion, Neurotizismus, Offenheit für Erfahrungen und Verträglichkeit erfasst (Gerlitz & Schupp, 2005). Es wurde die Kurzversion mit 15 Items (je drei Items pro Dimension) verwendet, da sich diese als besonders ökonomisch in der Bearbeitungszeit erwiesen hat. Die Items für die jeweiligen Dimensionen werden durch Fragen nach dem Schema „Ich bin jemand, der...“ auf einer Skala von 1 („trifft überhaupt nicht zu“) bis 7 („trifft voll zu“) erhoben. Die Dimension Neurotizismus wird zum Beispiel über die Zustimmung zu den Aussagen bestimmt, jemand zu sein, der „sich oft Sorgen macht“, „leicht nervös wird“ und „entspannt ist, mit Stress gut umgehen kann“. Die Dimension Offenheit beinhaltet, dass eine Person „eine lebhaft Phantasie, Vorstellung hat“, „originell ist, neue Ideen einbringt“ und „künstlerische, ästhetische Erfahrungen schätzt“ (Dehne & Schupp, 2007).

2.3.2.2 Stress-Reaktivitäts-Skala (SRS)

Die Messung der Stressreaktivität erfolgte mit Hilfe der Stress-Reaktivitäts-Skala (SRS) von Schulz, Jansen und Schlotz (2005), die erklären, dass sich Stressreaktivität „auf die Disposition einer Person, Belastungen mit schnellen, intensiven und lang andauernden Stressreaktionen zu beantworten“ bezieht (S. 124). Man unterscheidet zwischen den Skalen Stressreaktivität (SR) bei Arbeitsüberlastung, SR bei sozialen Konflikten, SR bei sozialer Bewertung, SR bei Misserfolg, SR in der Vorbereitungsphase und SR in der Post-Stress-Phase. Auch ein Summenwert für die generelle Stressreaktivität kann gebildet werden und genau dieser ist auch für die vorliegende Untersuchung relevant. Der Wertebereich der generellen Stressreaktivität reicht von 29 bis 87. Die SRS fragt nach Dauer und Ausmaß affektiver Reaktionen, die typischerweise in unterschiedlichen Stressreaktionen gezeigt werden. Jedes Item besteht aus einer typischen Stresssituation („Wenn ich etwas vorhabe, das

für mich sehr wichtig ist“) und drei Antwortmöglichkeiten („bleibe ich im allgemeinen ziemlich ruhig“, „bin ich meist etwas nervös“, „bin ich meist sehr angespannt“) (Schulz, Jansen & Schlotz, 2005).

2.3.2.3 WHO (Fünf) Fragebogen zum Wohlbefinden

Mit diesem Instrument wird das persönliche Wohlbefinden mit Hilfe von fünf Aussagen zum Wohlbefinden in den letzten zwei Wochen („In den letzten zwei Wochen...“) erhoben. Diese Aussagen („...war ich froh und guter Laune“, „...habe ich mich ruhig und entspannt gefühlt“) sind auf einer sechsstufigen Skala zu bewerten, wobei 5 = „die ganze Zeit“, 4 = „meistens“, 3 = „etwas mehr als die Hälfte der Zeit“, 2 = „etwas weniger als die Hälfte der Zeit“, 1 = „ab und zu“ und 0 = „zu keinem Zeitpunkt“ bedeutet. Durch die Bewertung von 0 bis 5 ergibt sich somit ein theoretischer Rohwert von 25, wobei 0 für das geringste Wohlbefinden/die niedrigste Lebensqualität und 25 für das größte Wohlbefinden/die höchste Lebensqualität steht (<http://www.who-5.org>).

2.3.2.4 Mehrdimensionaler Befindlichkeitsfragebogen (MDBF)

Die aktuelle Befindlichkeit wird mittels der Langform des MDBF erhoben, wobei man unter Befindlichkeit „das aktuelle, ins Bewußtsein gerückte innere Erleben und Empfinden eines Individuums“ verstehen kann (Steyer, Schwenkmezger, Notz & Eid, 1997, S. 4). Das Instrument erfasst drei bipolar konzipierte Dimensionen der aktuellen psychischen Befindlichkeit, nämlich Gute Stimmung-Schlechte Stimmung (GS), Wachheit-Müdigkeit (WM) und Ruhe-Unruhe (RU). Die Langform des MDBF besteht aus 24 einfachen Adjektiven („zufrieden“, „gut“, „angespannt“, „schlapp“ etc.) , die von der Testperson in Bezug auf ihr momentanes Befinden mit Hilfe einer fünfstufigen Antwortskala (1 = „überhaupt nicht“ , 5 = „sehr“) beurteilt werden sollen. Somit ergibt sich ein möglicher Wertebereich von 8 bis 40 je Skala, wobei beispielsweise ein hoher Wert in der Dimension

Ruhe-Unruhe bedeutet, dass die Person innerlich ruhig und gelassen ist, wohingegen ein niedriger Wert in dieser Dimension dafür steht, dass die Person angespannt, nervös und unruhig ist (Steyer et al., 1997).

2.3.2.5 Wahrgenommener Stress

Zur Erhebung des subjektiv wahrgenommenen Stresses während der Fahrt mit der U-Bahn werden, angelehnt an eine Studie von Wener, Evans, Phillips und Nadler (2003), zwei Items, der im Original von Kluger (1992) und Novaco und Kollegen (1990, 1991, 1992) verwendeten sechs Items zur Messung des wahrgenommenen Stresses beim Pendeln zur Arbeit, adaptiert („overall the trip was stressful to me“ und „it took a lot of effort to make this round trip“). Laut Wener et al. (2003) würde die Tatsache, dass die beiden Items sehr hoch mit den sechs Items aus der Originalskala korrelieren ($\text{Alpha} = 0.77$) dafür sprechen, dass die beiden Skalen dasselbe messen. Die in der vorliegenden Arbeit verwendeten Items lauten „Im Großen und Ganzen stresst mich die Fahrt“ und „Diese Fahrt empfinde ich als mühsam“. Die Beurteilung erfolgte auf einer fünfstufigen Skala, wobei 0 = „stimme überhaupt nicht zu“ und 5 = „stimme stark zu“ repräsentiert. Weiters wurden diese beiden Items auch zur Stresserhebung in der Kontrollsituation nach der Fahrt verwendet („Im Großen und Ganzen stresst mich diese Situation“ und „Diese Situation empfinde ich als mühsam“).

2.3.2.6 Messung von Komfort bzw. *discomfort*

Da sich die vorliegende Untersuchung auf die Erfassung von Komfort bzw. *discomfort* im Transportmittel U-Bahn bezieht wurde ein Fragebogen von M. Trimmel (unveröffentlicht) verwendet, der neben Art der verwendeten U-Bahnlinie, Häufigkeit der Nutzung und typischer Zeit der Nutzung auch verschiedenste Umgebungsfaktoren erfasst. Um später nachvollziehen zu können, ob die Versuchsperson den Fragebogen im Stehen oder Sitzen ausgefüllt hat, wird gleich zu Beginn die Frage nach der Transportsituation während der

aktuellen Fahrt gestellt, die mit drei Auswahlmöglichkeiten zu beantworten ist, nämlich „sitzend“, „stehend ohne Gedränge“ und „stehend mit Gedränge“. Darauf folgen weitere Aussagen zur Einschätzung der Belegung während der aktuellen Fahrt (1 = „fast uneingeschränkt“ und 5 = „extrem eingeschränkt“) und dem Empfinden des persönlichen Raums (1 = „viele freie Sitzplätze“ und 5 = „nur sehr gedrängtes Stehen möglich“). Um nun den Komfort bzw. *discomfort* zu erheben, sind Fragen zu den verschiedensten Umgebungsfaktoren auf einer Skala mit fünf Abstufungen zu beantworten, wobei 1 = „sehr unkomfortabel“, 2 = „unkomfortabel“, 3 = „neutral“, 4 = „komfortabel“ und 5 = „sehr komfortabel“ bedeutet. Auch zur Verschmutzung, der Sicherheit des Transportmittels und zum Erleben von Übelkeit wird die Versuchsperson befragt. Um bei der späteren Analyse Vergleiche zwischen dem Erleben von Komfort bzw. *discomfort* während der Fahrt und in der Kontrollbedingung nach der Fahrt anstellen zu können, werden die oben erläuterten Fragen in leicht veränderter Form bezogen auf die Situation nach der Fahrt erneut vorgegeben.

2.4 Geräte

Für die Aufzeichnung der kardiovaskulären Aktivität wurden portable EKG-Geräte (Medilog® AR12 Digital Holter Recorder, Hersteller: TOM Medical Entwicklungs GmbH) verwendet. Es wurden drei selbstklebende Elektroden angebracht; eine unterhalb des rechten Schlüsselbeins, eine im mittleren Bereich des Brustbeins sowie eine weitere unterhalb des letzten Rippenbogens der linken Seite. Die Rekorder wurden mit Hilfe von Palms (palmOne, Inc.) synchronisiert, wobei vor Beginn der Untersuchung eine Abgleichung des Gerätes mit einer digitalen Armbanduhr erfolgte.

Folgende physiologische Variablen wurden zur weiteren Analyse verwendet. Die mittlere Herzrate (bpM), die zeitbezogenen HRV-Parameter SDNN (ms), rMSSD (ms) und pNN50 (%), sowie die Parameter HF (ms²), LF (ms²) und LF/HF aus der Spektralanalyse.

2.5 Untersuchungsdurchführung

Die Rekrutierung der Versuchspersonen erfolgte aus dem Bekanntenkreis. Die Terminvergabe für die Testung erfolgte per Telefon, E-Mail oder persönlich, wobei hier eine Orientierung an den Wünschen der Versuchspersonen erfolgte. Nachdem ein passender Termin gefunden wurde fand das erste Zusammentreffen entweder im Hygieneinstitut Wien (Kinderspitalgasse 15, 1090 Wien) oder in der Privatwohnung der Versuchspersonen statt, damit Vergleichswerte der HRV-Parameter erhoben werden konnten. Während des ersten Treffens wurde den teilnehmenden Personen der Untersuchungsablauf erklärt und das Anschließen an das portable EKG-Gerät vorgenommen, sowie eventuell auftretende Fragen beantwortet.

Nach dem Verkabeln wurden die Versuchspersonen instruiert sich hin zu setzen und in Ruhe den folgenden Fragebogen auszufüllen. Der erste Teil der Testung, also die Kontrollbedingung 1, setzte sich aus einem Fragebogen im *paper-pencil* Format, der die demografischen Daten erhob, Items des WHO Fragebogens zum allgemeinen Wohlbefinden, den Persönlichkeitsfragebogen BFI-S und die Stress-Reaktivitäts-Skala beinhaltete, zusammen. Das Ausfüllen dieses Fragebogens wurde dazu verwendet eine Baseline der physiologischen Ableitungen zu erheben, um später Vergleiche mit den Ableitungen während der Fahrt durchführen zu können. Für diese Erhebung benötigten die getesteten Personen ca. 7-10 Minuten.

Danach wurden die Studienteilnehmer bezüglich der Fahrt mit der U-Bahn instruiert. Sie sollten mindestens 5 Minuten innerhalb der fahrenden U-Bahn verbringen, wobei sie je nach Belieben bzw. verfügbaren Plätzen stehen oder sitzen konnten. Die Zuteilung zu den U-Bahnlinien erfolgte durch den Untersuchungsleiter im Hinblick auf die Häufigkeitsverteilung der Linienbenutzung. Unter den Versuchspersonen sollte die Benutzung der unterschiedlichen

Linien annähernd ausgeglichen sein, sodass jede gleich häufig verwendet wurde. Auch die Anfangszeit, also die Zeit beim Betreten des Wagens, sowie die Endzeit der Fahrt wurden von diesem notiert. Während der Fahrt wurden Fragen zur Häufigkeit, zur typischen Zeit der U-Bahn-Nutzung, sowie auch bezüglich der Transportsituation während der aktuellen Fahrt gestellt. Darauf folgten Items zur subjektiven Komforteinschätzung der Umgebungsfaktoren, der MDBF zur Erfassung der aktuellen psychischen Befindlichkeit und die Items zum wahrgenommenen Stress. Der Ausstieg aus dem Wagon erfolgte nachdem der Fragebogen fertig ausgefüllt war, jedoch frühestens nach einer Fahrtzeit von 5 Minuten.

Die schriftliche Befragung der teilnehmenden Personen in der Kontrollbedingung 2 erfolgte wieder in einem ruhigen Raum (Hygieneinstitut bzw. Privatwohnung). Der Fragebogen wurde mit Rücksicht auf die Situation während der vorherigen Fahrt im Stehen oder Sitzen ausgefüllt. Auch in dieser Bedingung mussten Fragen zur Komfortbewertung der Umgebungsfaktoren, der MDBF und die Items zum wahrgenommenen Stress beantwortet werden. Die durchschnittliche Zeit für die Fertigstellung dieses Fragebogens betrug 6 Minuten. Nach Ende der Erhebung wurde das EKG-Gerät entfernt und abschließend erfolgten das Beantworten von aufgetretenen Fragen, sowie das Bedanken und die Verabschiedung.

2.5.1 Datenmanagement/Auswertung

Die Messungen und Auswertungen der Herzratenvariabilität erfolgte angelehnt an die Standards und Empfehlungen der Task Force of the European Society of Cardiology the North American Society of Pacing Electrophysiology (1996). Die Daten wurden mit Hilfe einer Speicherkarte (Scan Disk Inc.) am portablen EKG-Rekorder gespeichert und nach Ende der Aufzeichnung auf einen Computer im Labor des Hygieneinstituts übertragen. Zur Analyse der erhobenen Daten wurde das Programm Medilog Darwin (Medilog AR12, www.schiller.at), das auf dem Laborcomputer installiert ist, verwendet. Nach dem Import der Daten in das Programm wurde eine Template Analyse für jede Aufnahme durchgeführt und

diese auf Artefakte und Aufzeichnungsfehler inspiziert. Gegebenenfalls wurden Arrhythmien von der Analyse ausgeschlossen, sodass nur Normalschläge bearbeitet wurden. Für jede Person wurden je drei 5-Minuten-Intervalle exportiert, nämlich 5 Minuten vor Beginn der Fahrt beim Ausfüllen des Fragebogens, 5 Minuten während der Fahrt und 5 Minuten nach der Fahrt wiederum beim Ausfüllen eines Fragebogens. Ein Zeitprotokoll befindet sich in Tabelle 7A im Anhang. Zur Analyse der Aufzeichnungen wurde die Fast Fourier Transformation (FFT 128) verwendet und nach Abschluss dieser konnten die Daten mit Hilfe eines Makros in eine Microsoft Excel Datei exportiert werden.

Zur statistischen Analyse der HRV-Parameter wurden diese von der Excel-Datei in das Programm SPSS (IBM SPSS Statistics, Version 21) übertragen. Auch die Daten der Fragebögen wurden in SPSS hinzugefügt, sodass ein vollständiger Datensatz erstellt werden konnte.

2.6 Statistische Hypothesen

Folgende statistische Hypothesen wurden formuliert:

1) H1: Es gibt Unterschiede zwischen den Bedingungen Kontrollbedingung 1 (vor der Fahrt), der Fahrtbedingung und der Kontrollbedingung 2 (nach der Fahrt) in der HR, den Zeitbereichsparametern (SDNN, rMSSD und pNN50) sowie den Frequenzbereichsparametern (LF, HF und LF/HF) der HRV.

H0: Es gibt keine Unterschiede zwischen den Bedingungen Kontrollbedingung 1 (vor der Fahrt), der Fahrtbedingung und der Kontrollbedingung 2 (nach der Fahrt) in der HR, den Zeitbereichsparametern (SDNN, rMSSD und pNN50) sowie den Frequenzbereichsparametern (LF, HF und LF/HF) der HRV.

- 2) H1: Es gibt Unterschiede in der HR, den Zeitbereichsparametern (SDNN, rMSSD und pNN50) sowie den Frequenzbereichsparametern (LF, HF und LF/HF) der HRV zwischen Personen mit hohen Komfortratings und Personen mit niedrigen Komfortratings der Umgebungsbedingungen, sowie zwischen Fahrtbedingung und Kontrollbedingung 2.

H0: Es gibt keine Unterschiede in der HR, den Zeitbereichsparametern (SDNN, rMSSD und pNN50) sowie den Frequenzbereichsparametern (LF, HF und LF/HF) der HRV zwischen Personen mit hohen Komfortratings und Personen mit niedrigen Komfortratings der Umgebungsbedingungen, sowie zwischen Fahrtbedingung und Kontrollbedingung 2 (nach der Fahrt).

- 3) H1: Es gibt Unterschiede in der subjektiven Bewertung der Komfortaspekte zwischen Fahrtbedingung und Kontrollbedingung 2.

H0: Es gibt keine Unterschiede in der subjektiven Bewertung der Komfortaspekte zwischen Fahrtbedingung und Kontrollbedingung 2.

- 4) H1: Alter, Geschlecht, SR-Gesamt, WHO 5, die Skalen des BFI-S und des MDBF haben einen Einfluss auf die Bewertung der Umgebungsbedingungen.

H0: Alter, Geschlecht, SR-Gesamt, WHO 5, die Skalen des BFI-S und des MDBF haben keinen Einfluss auf die Bewertung der Umgebungsbedingungen.

3. ERGEBNISSE

In dem vorliegenden Kapitel werden die deskriptiven und die inferenzstatistischen Ergebnisse dargestellt. Die Auswertung der Daten erfolgte mit Hilfe des Statistikprogrammes SPSS in der 21. Version. Für alle statistischen Test wurde ein Signifikanzwert von $\alpha = .05$ festgelegt und die Signifikanzprüfungen erfolgten zweiseitig. Im Falle einer Verletzung der Voraussetzung der Spharizität bei der Testung von Haupteffekten und Wechselwirkungen wird die Huynh-Feld Korrektur für Schätzungen (ϵ) $> .75$ angewandt, sowie die Greenhouse-Geisser Korrektur bei Schätzungen (ϵ) $< .75$ (Field, 2009).

3.1 Deskriptive Statistik

Bezüglich der Stichproben konnten folgende deskriptive Charakteristiken beobachtet werden. Der Mittelwert des Alters der Gesamtstichprobe liegt bei $M = 25.90$ und die Standardabweichung beträgt $SD = 8.26$. Für die weiblichen Untersuchungsteilnehmer ergibt sich ein Mittelwert von $M = 25.63$ und eine Standardabweichung von $SD = 7.95$, wohingegen die männlichen Teilnehmer einen Mittelwert von $M = 26.80$ und eine Standardabweichung von $SD = 9.58$ zeigten. Als höchster Bildungsabschluss war in der Gesamtstichprobe der Abschluss einer höheren Schule, also die Absolvierung der Matura, vorherrschend. Für genauere Informationen zu der höchsten abgeschlossenen Bildung der weiblichen und männlichen Stichprobe siehe Tabelle 3.

Tab. 3: Stichprobencharakteristiken bezüglich des Alters und der Bildung der Untersuchungsteilnehmer

	Alter (Jahren)		Bildung (absolute Häufigkeiten)					
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
Gesamtstichprobe N = 42	25.90	8.26	1	3	24	2	6	6
Stichprobe weiblich n = 32	25.63	7.95	1	1	18	2	5	5
Stichprobe männlich n = 10	26.80	9.58	0	2	6	0	1	1

Anmerkungen: N(n) = Stichprobe, M = Mittelwert, SD = Standardabweichung, 0 = Pflichtschule, 1 = Lehre oder Berufsschule, 2 = Matura, 3 = Fachhochschulabschluss, 4 = Universitätsstudium, 5 = Sonstiges (Kolleg)

Da in der vorliegenden Untersuchung eine Einschätzung der Umgebungsfaktoren während der Fahrt mit der U-Bahn als auch nach der Fahrt bezüglich des Komforts stattfand, werden im Folgenden die deskriptiven Charakteristiken dieser Items dargestellt. Informationen zu den Ergebnissen (Mittelwerte, Standardabweichungen, Minimum und Maximum, 95% Konfidenzintervalle) befinden sich in Tabelle 4.

Tabelle 4: Deskriptive Statistiken für die Komfortbewertung der Umgebungsfaktoren in der Fahrtbedingung (Fahrt) und der Kontrollbedingung 2 nach der Fahrt (t2). N = 42

	Item	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	95 % KI	
						<i>Unter- grenze</i>	<i>Ober- grenze</i>
Fahrt	Temperatur_Fahrt	3.02	1.07	1.00	5.00	2.69	3.36
	Geräusch_Fahrt	2.86	0.72	1.00	5.00	2.63	3.08
	Luft_Fahrt	2.55	0.67	1.00	4.00	2.34	2.76
	Beschleunigung_Fahrt	3.10	0.76	1.00	4.00	2.86	3.33
	Ein-/Ausstieg_Fahrt	3.24	0.93	1.00	5.00	2.95	3.53
	Warten_Fahrt	3.14	0.84	1.00	5.00	2.88	3.41
	Zeitliche Verlässlichkeit_Fahrt	3.71	0.87	1.00	5.00	3.45	3.98

	Beleuchtung_Fahrt	3.48	0.83	1.00	5.00	3.22	3.74
	Unterhaltungsmöglichkeiten_Fahrt	2.76	0.79	1.00	5.00	2.52	3.01
	Körperkontakt_Fahrt	2.02	0.87	1.00	4.00	1.75	2.29
	Komfort U-Bahn allgemein_Fahrt	3.57	0.83	2.00	5.00	3.31	3.83
t2	Temperatur_t2	3.36	1.06	2.00	5.00	3.03	3.69
	Geräusch_t2	4.05	1.01	2.00	5.00	3.73	4.36
	Luft_t2	3.76	0.91	2.00	5.00	3.48	4.04
	Ein-/Austreten_t2	4.05	0.83	2.00	5.00	3.79	4.03
	Beleuchtung_t2	3.95	0.94	2.00	5.00	3.66	4.24
	Unterhaltungsmöglichkeiten_t2	4.02	0.98	1.00	5.00	3.72	4.33
	Körperkontakt_t2	3.21	1.2	1.00	5.00	2.84	3.59
	Komfort allgemein_t2	4.31	0.64	3.00	5.00	4.11	4.51

Wie schon in Kapitel 2.3.2.6 erläutert wurde, erfolgten einige Anpassungen des Fragebogens zu den Umgebungsfaktoren während der Fahrt, um diesen für die Komfortbewertung der Umgebungsfaktoren der Bedingung nach der Fahrt verwenden zu können. Daher wurden Bewertungen zu Faktoren wie Beschleunigungsverhalten der U-Bahn, zeitliche Verlässlichkeit und das Warten an der Station nur in der Fahrtbedingung erhoben womit ein Vergleich dieser Werte hinsichtlich der Kontrollbedingung 2 nicht möglich ist.

Tabelle 5 zeigt die Mittelwerte und Standardabweichungen der HR, sowie der Parameter der HRV für die Zeitpunkte Kontrollbedingung 1 (t1), Fahrtbedingung (Fahrt) und Kontrollbedingung 2 (t2). Hier kann die Veränderung der physiologischen Parameter über die unterschiedlichen Bedingungen beobachtet werden, wie beispielsweise der Anstieg der

Herzrate von $M = 81.01$ ($SD = 10.67$) vor der Fahrt, auf $M = 85.09$ ($SD = 11.90$) während der Fahrt und das erneute Absinken der HR auf $M = 82.57$ ($SD = 12.03$) nach der Fahrt.

Tab 5: Deskriptive Statistik der Herzrate (HR) und der HRV-Parameter zu den drei Zeitpunkten

Parameter	Kontrollbedingung 1		Fahrtbedingung		Kontrollbedingung 2	
	M	SD	M	SD	M	SD
HR (BpM)	81.01	10.67	85.09	11.90	82.57	12.03
SDNN	51.37	22.63	45.07	23.14	63.99	29,92
rMSSD	35.48	25.19	32.78	25.90	37.13	24.52
pNN50	15.57	19.04	13.08	18.17	15.43	17.41
LF	743.05	1420.20	1069.37	1310.24	1571.40	1781.41
HF	200.59	462.59	415.70	741.64	453.57	780.44
LF/HF	0.37	0.49	0.60	0.34	0.61	0.25

Anmerkungen: M = Mittelwert, SD = Standardabweichung, BpM = Beats per Minute

Auch für die Skalen Gute Stimmung-Schlechte Stimmung, Wachheit-Müdigkeit und Ruhe-Unruhe des MDBF und die Items zur Messung des wahrgenommenen Stresses können Vergleiche zwischen der Fahrtbedingung und der Kontrollbedingung 2 gemacht werden. Die Mittelwerte und Standardabweichungen zeigt Tabelle 6. Für genauere Informationen zu den Items siehe Kapitel 2.3.2.

Tab.6: Deskriptive Statistik für die Skalen des MDBF und die Items zum wahrgenommenen Stress in der Fahrtbedingung und der Kontrollbedingung 2 (nach der Fahrt)

Fragebögen/Items	Fahrtbedingung		Kontrollbedingung 2	
	M_Fahrt	SD_Fahrt	M_t2	SD_t2
MDBF-Skala GS	32.60	4.82	35.02	3.43
MDBF-Skala WM	25.34	7.12	25.50	6.71
MDBF-Skala RU	30.63	5.33	33.81	3.67

Fahrt stressig	0.95	0.96	0.29	0.51
Fahrt mühsam	1.07	1.09	0.33	0.53

Anmerkungen: M = Mittelwert, SD = Standardabweichung, Skala GS = Gute Stimmung-Schlechte Stimmung, Skala WM = Wachheit-Müdigkeit, Skala RU = Ruhe-Unruhe

3.1.1 Gruppierung bezüglich Komfortrating

Um Unterschiede der Personen bezüglich deren Komforteinschätzungen zu erhalten, wurden diese gruppiert. Zuerst wurde der Mittelwerte über die Komfortbewertungen der unterschiedlichen Umgebungsfaktoren (Fahrt) gebildet. Das erfolgte durch Addition der Umgebungsfaktoren mit anschließendem Dividieren durch deren Anzahl. Siehe Tabelle 7 um Angaben zu den Durchschnitt der Komfortbewertungen für jede Versuchspersonen zu erhalten.

Darauf folgte eine Aufteilung in die Gruppen „hoher Komfort“ bei einem Komfortrating ≥ 3 , und „niedriger Komfort“ bei einem Rating < 3 (Siehe Tabelle 7). Die Mittelwerte und Standardabweichungen der HRV-Parameter getrennt nach hohem und niedrigem Komfort, sowie Fahrtbedingung und Kontrollbedingung 2 sind in Tabelle 8 zu finden.

Tab.7: Mittelwert der Komfortbewertungen der Umgebungsfaktoren während der Fahrt mit der U-Bahn und die Zuteilung der Vpn zu den Gruppen Komfort hoch und Komfort niedrig

Vnp-Code	MEAN Komfort_Umgebung- Fahrt	Gruppe Komfort hoch	Vpn-Code	MEAN Komfort_Umge- bung-Fahrt	Gruppe Komfort niedrig
AHU90WI	3.00	2	BLE89KR	2.90	1
ANA89KR	3.00	2	BNI83WI	2.70	1
ANE90SA	3.80	2	CGR89SA	2.70	1
CHO90KR	3.10	2	CHO91LI	2.50	1
DGI87IN	3.50	2	CWI90SA	2.80	1
ESC90KR	3.10	2	CZE87SA	2.90	1
HCH63GM	3.20	2	DHA84WA	2.40	1
JFU89ZW	3.00	2	HDE60KR	2.60	1
KMA89KR	3.00	2	HGI89WI	2.20	1
LKR89WI	3.50	2	JST93KR	2.80	1
MKU90KR	3.20	2	JWI92KR	2.80	1
MWI90KR	3.30	2	MAN89KR	2.80	1

MWI93KR	3.00	2	MBR66SA	2.70	1
PWA88KR	3.10	2	MJE86KL	2.90	1
SBR63SA	3.30	2	MSK91KR	2.90	1
SFR87KR	3.80	2	MZE91WI	2.80	1
SGR93KR	3.30	2	NHO88KR	2.60	1
SRE90LI	3.10	2	RST87WI	2.80	1
SZE90KR	3.10	2	SDE84WA	2.90	1
SZE90SA	3.30	2	VKL93KR	2.40	1
TVC90KL	3.60	2			
WBA89VO	3.10	2			

Tab. 8: Deskriptive Statistik für die Stichprobe gruppiert nach Komfort niedrig und Komfort hoch für die Fahrtbedingung (Fahrt) und die Kontrollbedingung 2 (t2)

Parameter	Komfort niedrig n = 20		Komfort hoch n = 22		Komfort niedrig n = 20		Komfort hoch n = 22	
	M_Fahrt	SD_Fahrt	M_Fahrt	SD_Fahrt	M_t2	SD_t2	M_t2	SD_t2
HR	82.60	11.35	87.36	12.18	80.79	11.68	84.18	12.39
SDNN	46.82	26.93	43.49	19.58	63.41	27.23	64.51	32.81
rMSSD	37.06	33.51	28.90	16.14	38.82	28.81	35.60	20.42
pNN50	15.45	22.36	10.91	13.48	16.23	18.94	14.70	16.31
LF	1315.42	1744.45	845.69	698.80	1494.50	1675.33	1641.31	1909.33
HF	606.76	1018.63	242.01	262.15	528.99	1052.57	385.00	420.04
LF/HF	.56	.39	.63	.28	.65	.29	.59	.22

Anmerkungen: n = Stichprobe, M = Mittelwert, SD = Standardabweichung

Tabelle 9 beinhaltet Häufigkeitsangaben zu Geschlecht, Alter, Bildung und verwendeter U-Bahn-Linie getrennt nach den Gruppen mit hohem Komfortrating und niedrigem Komfortrating.

Tab.9: Häufigkeitsangaben bezüglich Geschlecht, Alter, Bildung und verwendeter U-Bahn-Linie für die Gruppen Komfort hoch und Komfort niedrig

		Häufigkeit	Prozent	
Gruppe Komfort hoch N = 22	Geschlecht	weiblich	18	81.8
		männlich	4	18.2
	Alter	19	2	9.1
		22	6	27.3
		23	7	31.8
		24	2	9.1
		25	3	13.6
		50	2	9.1
	Bildung	Lehre o. Berufsschule	2	9.1
		Matura	14	63.6
		FH-Abschluss	2	9.1
		Uni-Abschluss	1	4.5
		Sonstiges (Kolleg)	3	13.6
	U-Linie	U1	4	18.2
U2		7	31.8	
U3		4	18.2	
U4		2	9.1	
U6		5	22.7	
Gruppe Komfort niedrig N = 20	Geschlecht	weiblich	14	70
		männlich	6	30
	Alter	20	3	15
		22	2	10
		23	2	10
		24	4	20
		25	3	15
		26	1	5
		29	3	15
		47	1	5
		53	1	5
	Bildung	Lehre o. Berufsschule	1	5
		Matura	1	5
		FH-Abschluss	10	50
		Uni-Abschluss	5	25
		Sonstiges (Kolleg)	3	15
	U-Linie	U1	4	20
		U2	3	15
		U3	5	25
U4		5	25	
U6		3	15	

3.2 Hypothesenprüfung

3.2.1. Subjektive Bewertung der Umgebungsfaktoren

Um die subjektive Komfortbewertung der Umgebungsfaktoren während der U-Bahn-Fahrt mit jener nach der Fahrt vergleichen zu können wird eine MANOVA mit Messwiederholung durchgeführt. In Tabelle 1A des Anhangs befinden sich Angaben bezüglich der Normalverteilung der Umgebungsfaktoren. Mit Ausnahme von „Temperatur“ kann für keinen der restlichen Faktoren die Normalverteilung angenommen werden.

Die MANOVA mit Messwiederholung zeigt ein signifikantes Ergebnis für den Haupteffekt Bedingungen ($F(1, 40) = 95.438, p = .000, \eta^2 = .699$), für den Haupteffekt Umgebungsfaktoren ($F(7, 35) = 25.493, p = .000, \eta^2 = .836$), sowie für die Wechselwirkung Bedingungen \times Umgebungsfaktoren ($F(7, 35) = 6.148, p = .000, \eta^2 = .551$). Siehe auch Tabelle 10. Für die Ergebnisse der univariaten Tests der MANOVA mit Messwiederholung siehe Tabelle 2A des Anhangs.

Tab. 10: Ergebnis der MANOVA mit Messwiederholung für die subjektive Bewertung der verschiedenen Umgebungsfaktoren

Effekt	Wert	F	Effekt df	Fehler df	p	Partielles η^2
Bedingungen	.699	95.438	1	41	.000*	.699
Umgebungsfaktoren	.836	25.493	7	35	.000*	.836
Bedingungen \times Umgebungsfaktoren	.551	6.148	7	35	.000*	.551

Anmerkung: F = Prüfwert der Varianzanalyse, df = Freiheitsgrade, p = Signifikanz; *p < .05

Abbildung 4 zeigt die Mittelwerte der Umgebungsfaktoren getrennt nach den Bedingungen, wobei daraus ersichtlich ist, dass es Unterschiede zwischen den verschiedenen Faktoren gibt. Weiters sind auch die stets geringeren subjektiven Bewertungen in der Fahrtbedingung, im Vergleich zur Kontrollbedingung 2 (nach der Fahrt), zu erkennen.

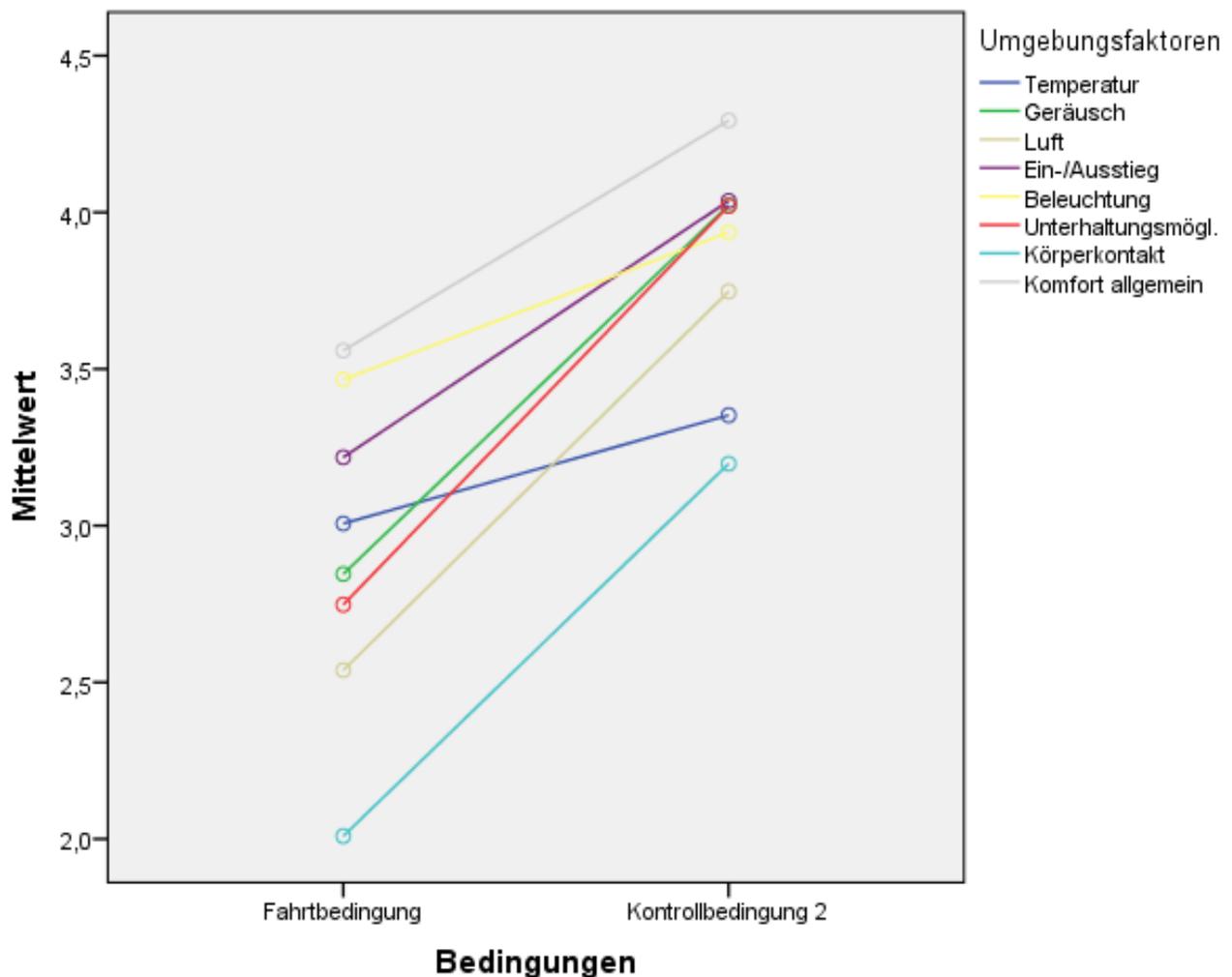


Abb. 4: Mittelwerte der subjektiven Bewertungen der Umgebungsfaktoren getrennt nach den Bedingungen

Um nun die Umgebungsfaktoren einzeln zwischen den Bedingungen vergleichen zu können wird ein t-Test für abhängige Stichproben verwendet. Dieser setzt Normalverteilung voraus, die nur für „Temperatur“ gegeben ist (siehe Tabelle 2). Zur Berechnung der Mittelwertunterschiede aller anderen Umgebungsfaktoren wird der Wilcoxon-Test, als parameterfreies Verfahren, verwendet (Field, 2009). Die Mittelwerte der Umgebungsfaktoren

wurden bereits in Kap. 3.1 (Tabelle 4) dargestellt. Es zeigen sich zwischen allen Faktoren signifikante Unterschiede, mit Ausnahme des Faktors „Temperatur“, welcher nicht signifikant ist (siehe Tabelle 11).

Tab. 11: Ergebnisse der Mittelwertvergleiche der Umgebungsfaktoren zwischen Fahrtbedingung und Kontrollbedingung 2

Wilcoxon- Test			
	Z	Sig.	
U_Persönlicher Raum - Persönl. Raum_t2	-3.787	.000*	
U_Belegung - Belegung_t2	-4.798	.000*	
U_Geräusch - Geräusch_t2	-4.920	.000*	
U_Luft - Luft_t2	-4.773	.000*	
U_Ein/Ausstieg - Ein/Austreten_t2	-3.473	.001*	
U_Beleuchtung- Beleuchtung_t2	-2.497	.013*	
U_Unterhaltungsmöglichkeiten - Unterhaltungsmögl._t2	-4.708	.000*	
U_Körperkontakt - Körperkontakt_t2	-4.627	.000*	
U_Komfort allg. - Komfort allg_t2	-3.756	.000*	
T-Test bei gepaarten Stichproben			
	T	df	Sig.
U_Temperatur - Temperatur_t2	-1.711	41	.095

Anmerkung: df = Freiheitsgrade, *p < .05

3.2.2 Vergleich der drei Bedingungen (vor, während, nach der Fahrt) hinsichtlich der physiologischen Parameter

Für die Durchführung der geplanten statistischen Analysen wurden zuerst die Voraussetzungen dafür geprüft. In Tabelle 3A des Anhangs ist zu sehen, dass die Voraussetzung der Normalverteilung nur bei wenigen der HRV-Parameter (berechnet für Kontrollbedingung 1, Fahrtbedingung und Kontrollbedingung 2) gegeben ist. So zeigt sich, dass für die HR in allen drei Bedingungen die Normalverteilung vorliegt, für den Parameter

SDNN zu t1 und t2 und für das LF/HF-Verhältnis wiederum zu allen drei Zeitpunkten. Auf die Testung der Gleichheit der Varianzen kann laut Field (2009) verzichtet werden, da gleiche Stichprobengrößen für die drei Bedingungen vorliegen. Außerdem sei die Testung der Spherizität nur bei univariaten Tests mit Messwiederholung eine nötige Voraussetzung, sodass die Durchführung einer MANOVA diese nicht verlangt (Field, 2009). Die MANOVA wird trotz Verletzung der Normalverteilung einiger Parameter durchgeführt, da sie als robust genug gilt, um trotz der fehlenden Erfüllung der Voraussetzungen gerechnet werden zu können (Field, 2009; Stevens, 2002, zitiert nach Bortz & Schuster, 2010).

Die Ergebnisse der MANOVA mit Messwiederholung für die HR und die HRV-Parameter SDNN, rMSSD, pNN50, LF, HF und LF/HF zeigen einen signifikanten Effekt von $F(2, 40) = 3.393$, $p = .044$, $\eta^2 = .145$ für die Bedingungen, für die Parameter ($F(6, 36) = 1128.926$, $p = .000$, $\eta^2 = .995$) und auch für die Wechselwirkung von Bedingungen und Parameter ($F(12, 30) = 10.734$, $p = .000$, $\eta^2 = .811$). Siehe dazu auch Tabelle 12 und Tabelle 13. Auf Grund der signifikanten Ergebnisse werden die HR und die einzelnen HRV-Parameter genauer betrachtet. Dies geschieht mit Hilfe von Follow-up ANOVAs mit Messwiederholung und Post-Hoc-Tests nach Bonferroni.

Tab. 12: Ergebnisse der MANOVA mit Messwiederholung (t1, Fahrt, t2) für die HR und die HRV-Parameter (SDNN, rMSSD, pNN50, LF, HF, LF/HF)

Effekt	Wert	F	Effekt df	Fehler df	p	Partielles Eta ²
Bedingungen	0.145	3.393	2	40	.044*	.145
Parameter	.995	1128.926	6	36	.000*	.995
Bedingungen × Parameter	.811	10.734	12	30	.000*	.811

Anmerkung: F = Prüfwert der Varianzanalyse, df = Freiheitsgrade, p = Signifikanz; *p < .05

Tab. 13: Ergebnisse der univariaten Tests der MANOVA mit Messwiederholung (t1, Fahrt, t2) für die physiologischen Parameter

	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	p	Eta ²
<i>Test der Innersubjekteffekte</i>						
Bedingung	3612761.913	2	1806380.957	4.212	.018*	.093
Fehler(Bedingung)	35163417.614	82	428822.166			
Parameter	127459843.712	1.142	111653771.042	39.169	.000*	.489
Fehler (Parameter)	133418089.012	46.804	2850564.506			
Bedingungen × Parameter	12585312.353	2.049	6141620.739	4.079	.020*	.090
Fehler	126491401.789	84.017	1505553.331			
<i>Test der Zwischensubjekteffekte</i>						
Konstanter Term	50276712.269	1	50276712.269	46.186	.000	.530
Fehler	44631720.008	41	1088578.537			

Anmerkung: df = Freiheitsgrade, F = Prüfwert der Varianzanalyse, p = Signifikanz, *P < .05

Da die Sphrizität nur für den Effekt Bedingungen gegeben war ($\chi^2(2) = 5.441$, $p = .066$) wurde bei den restlichen Effekten die Korrektur nach Greenhouse-Geisser verwendet ($\chi^2(20)_{\text{Parameter}} = 1312,036$, $p = .000$, $G-G = .190$ und $\chi^2(77)_{\text{Bed} \cdot \text{x Parameter}} = 2928.926$, $p = .000$, $G-G = .171$).

3.2.3 Spezifische Vergleiche der einzelnen physiologischen Parameter

3.2.3.1 HR

Der Sphrizitätstest ($\chi^2(2) = 3.445$, $p > .05$) für die HR zeigt, dass diese angenommen werden kann, und keine Korrektur vorgenommen werden muss. Genauere Informationen bezüglich der Sphrizitätstest für alle HRV-Parameter zeigt Tabelle 4A im Anhang. Die

ANOVA mit Messwiederholung zeigt einen signifikanten Effekt mit $F(2, 82) = 10.52$, $p = .000$, $\eta^2 = .204$ (siehe Tabelle 14).

Tab. 14: Ergebnis der Follow-up ANOVA mit Messwiederholung für die HR

	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	p	Eta ²
<i>Test der Innersubjekteffekte</i>						
Bedingungen	356.593	2	178.297	10.52	.000*	.204
Fehler (Bedingung)	1389.86	82	16.950			
<i>Test der Zwischensubjekteffekte</i>						
Konstanter Term	865716.422	1	865716.422	2364.569	.000	.983
Fehler	15010.925	41	366.120			

Anmerkung: df = Freiheitsgrade, F = Prüfwert der Varianzanalyse, p = Signifikanz, *p < .05

Der Post-Hoc-Test nach Bonferroni zeigt signifikante Unterschiede zwischen der Kontrollbedingung 1 und der Fahrtbedingung mit $p = .000$, sowie signifikante Unterschiede zwischen der Fahrtbedingung und der Kontrollbedingung 2, $p = .008$, mit ansteigenden Werten von Kontrollbedingung 1 ($M = 81.01$) auf die Fahrtbedingung ($M = 85.09$) und wiederum einem Absinken von der Fahrtbedingung auf die Kontrollbedingung 2 ($M = 82.57$). Kein signifikanter Unterschied kann zwischen den Kontrollbedingungen 1 und 2 gefunden werden ($p = .393$). Die Abbildung 5 zeigt die Veränderung der Mittelwerte über die drei Bedingungen für die Herzrate.

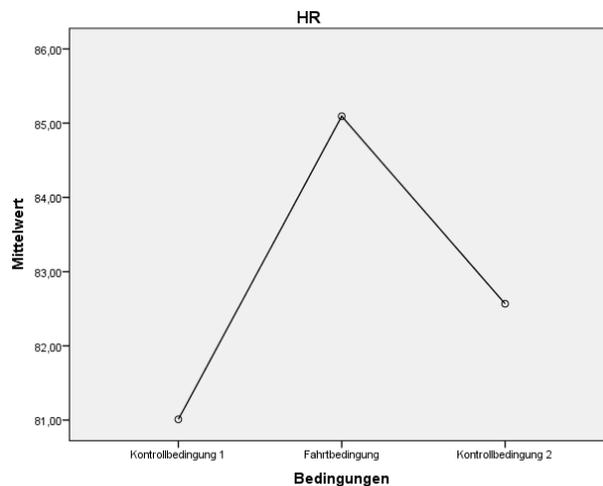


Abb. 5: Veränderung der Mittelwerte über die drei Bedingungen für die Herzrate (HR)

3.2.3.2 SDNN

Für den Parameter SDNN kann keine Normalverteilung angenommen werden (siehe Tabelle 4A im Anhang). Aufgrund der Verletzung dieser Voraussetzung wird ein parameterfreies Verfahren, die Rangvarianzanalyse nach Friedman, durchgeführt. Diese ist mit $\chi^2(2) = 36.048$ und $p = .000$ signifikant. Darauf folgt als Post-Hoc-Test der Wilcoxon-Test, wobei das Alpha-Signifikanzniveau korrigiert werden muss, indem man dieses durch die Anzahl der durchgeführten Tests dividiert (Field, 2009). Somit ergibt sich ein neues kritisches Signifikanzniveau von $(0.05/3) = .0167$.

Der Post-Hoc-Test zeigt signifikante Unterschiede zwischen Kontrollbedingung 1 und Fahrtbedingung, $p = .002$ ($Z = -3.151$), zwischen Kontrollbedingung 1 und Kontrollbedingung 2 mit $p = .001$ ($Z = -3.414$), und auch signifikante Unterschiede zwischen Fahrtbedingung und Kontrollbedingung 2, $p = .000$ ($Z = -4.789$). Hier zeigt sich ein Absinken des Wertes von Kontrollbedingung 1 ($M = 51.37$) auf die Fahrtbedingung ($M = 45.07$), sowie ein Anstieg in Kontrollbedingung 2 ($M = 63.99$) gegenüber beiden anderen Bedingungen (siehe Abb. 6).

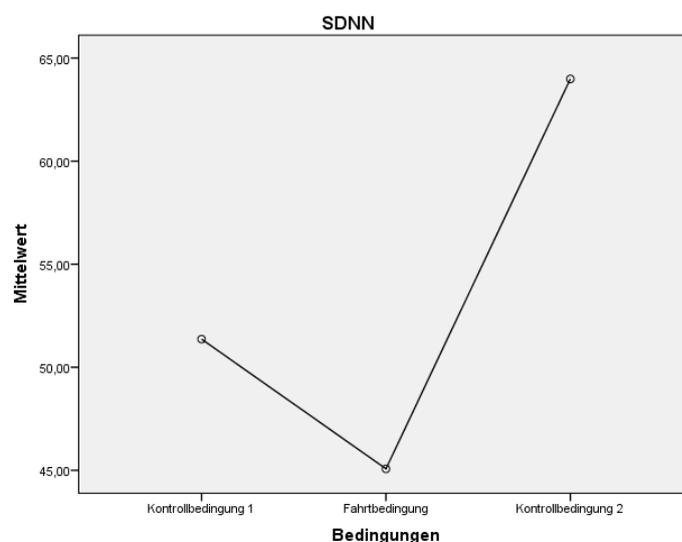


Abb. 6: Veränderung der Mittelwerte über die drei Bedingungen für den Parameter SDNN

3.2.3.3 rMSSD

Für den Parameter rMSSD kann keine Normalverteilung angenommen werden, wodurch eine Rangvarianzanalyse nach Friedman durchgeführt wird. Diese ist mit $\chi^2(2) = 11.581$ und $p = .003$ signifikant.

Laut Ergebnissen des Post-Hoc-Tests nach Wilcoxon liegen signifikante Unterschiede mit $p = .006$ ($Z = -2.726$) zwischen Fahrtbedingung und Kontrollbedingung 2 vor, wohingegen keine weiteren signifikanten Unterschiede zwischen den restlichen Bedingungen gefunden werden können. Der Vergleich von Kontrollbedingung 1 und Fahrtbedingung ergibt ein $p = .102$ ($Z = 1.633$) und jener von Kontrollbedingung 1 mit Kontrollbedingung 2 ein $p = .138$ ($Z = -1.482$). Die Werte des Parameters rMSSD zeigen ein Absinken von Kontrollbedingung 1 ($M = 35.48$) auf die Fahrtbedingung ($M = 32.78$), sowie einen Anstieg in Kontrollbedingung 2 ($M = 37.13$). Siehe Abbildung 7.

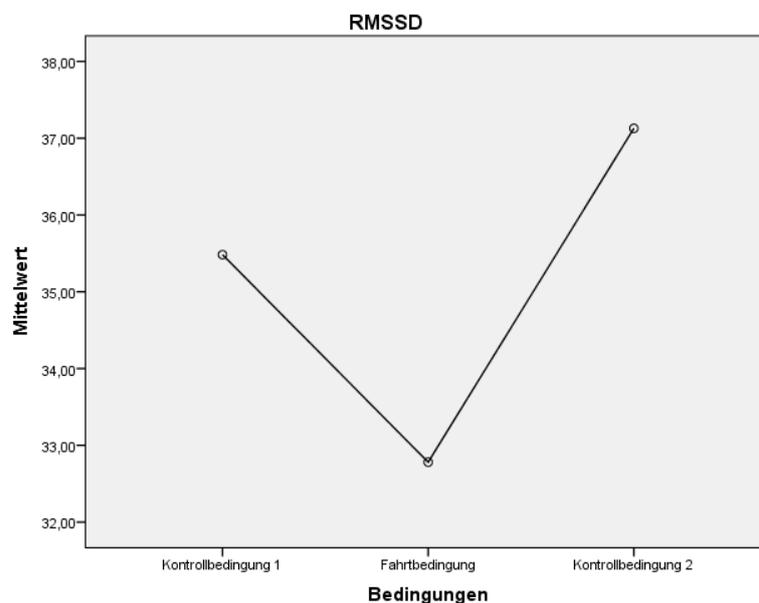


Abb. 7: Veränderung der Mittelwerte über die drei Bedingungen für den Parameter rMSSD

3.2.3.4 pNN50

Da keine Normalverteilung des Parameters pNN50 gegeben ist wird eine Rangvarianzanalyse nach Friedman durchgeführt. Diese zeigt ein signifikantes Ergebnis, $\chi^2(2) = 6.012$ und $p = .049$. Post-Hoc-Tests nach Wilcoxon ergeben keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bedingungen, wobei der Vergleich zwischen Fahrtbedingungen und Kontrollbedingung 2 mit einem $p = .021$ ($Z = -2.313$) nur knapp unter dem korrigierten α -Niveau von $.0167$ liegt. Der Post-Hoc-Vergleich von Kontrollbedingung 1 und Fahrt ($p = .088$; $Z = -1.707$) und den beiden Kontrollbedingungen ($p = .717$; $Z = -.363$) ergibt jedoch deutlich nicht signifikante Ergebnisse.

Bei Betrachtung der Mittelwerte zeigt sich ein geringes Absinken des Wertes von Kontrollbedingung 1 ($M = 15.57$) auf die Fahrtbedingung ($M = 13.08$), sowie einen erneuten Anstieg in Kontrollbedingung 2 ($M = 15.43$) auf annähernd jenen Wert von Kontrollbedingung 1 (siehe Abbildung 8).

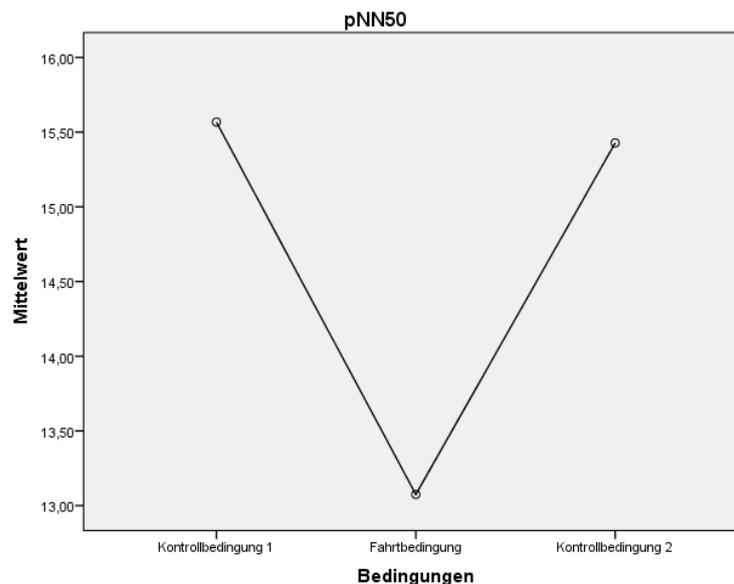


Abb. 8: Veränderung der Mittelwerte über die drei Bedingungen für den Parameter pNN50

3.2.3.5 LF

Für den Parameter LF ergibt die Rangvarianzanalyse nach Friedman einen signifikanten Effekt, $\chi^2(2) = 12.333$ und $p = .002$.

Der Post-Hoc-Test nach Wilcoxon zeigt einen signifikanten Unterschied zwischen der Kontrollbedingung 1 und der Kontrollbedingung 2 ($p = .005$; $Z = -2.807$). Keine signifikanten Effekte können zwischen Kontrollbedingung 1 und Fahrtbedingung ($p = .050$; $Z = -1.957$) sowie zwischen Fahrtbedingung und Kontrollbedingung 2 ($p = .041$; $Z = -2.044$) gefunden werden. Hier steigt der Mittelwert der Kontrollbedingung 1 ($M = 743.01$) in der Fahrtbedingung ($M = 1069.37$) und weiterhin in der Kontrollbedingung 2 ($M = 1571,40$), siehe Abbildung 9.

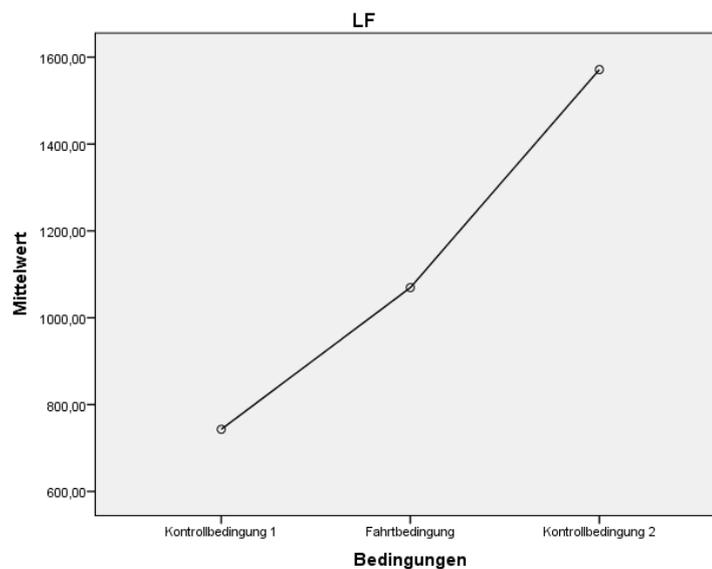


Abb. 9: Veränderung der Mittelwerte über die drei Bedingungen für den Parameter LF

3.2.3.6 HF

Für den Parameter HF kann keine Normalverteilung angenommen werden. Die Rangvarianzanalyse nach Friedman ist mit $\chi^2(2) = 16.000$ und $p = .000$ signifikant.

Laut Ergebnissen des Post-Hoc-Tests nach Wilcoxon können signifikante Unterschiede zwischen den beiden Kontrollbedingungen mit $p = .001$ ($Z = -3.207$) gefunden werden, sowie auch zwischen Fahrtbedingung und Kontrollbedingung 1 mit $p = .003$ ($Z = -2.970$). Kein signifikanter Unterschied kann zwischen Fahrtbedingung und Kontrollbedingung 2 gefunden werden ($p = .093$; $Z = -1.682$). Es kommt zu einem Anstieg der Mittelwerte von Kontrollbedingung 1 ($M = 200.59$) auf die Fahrtbedingung ($M = 415.70$) und zu einen weiteren Anstieg in Kontrollbedingung 2 ($M = 453.57$) (siehe Abbildung 10).

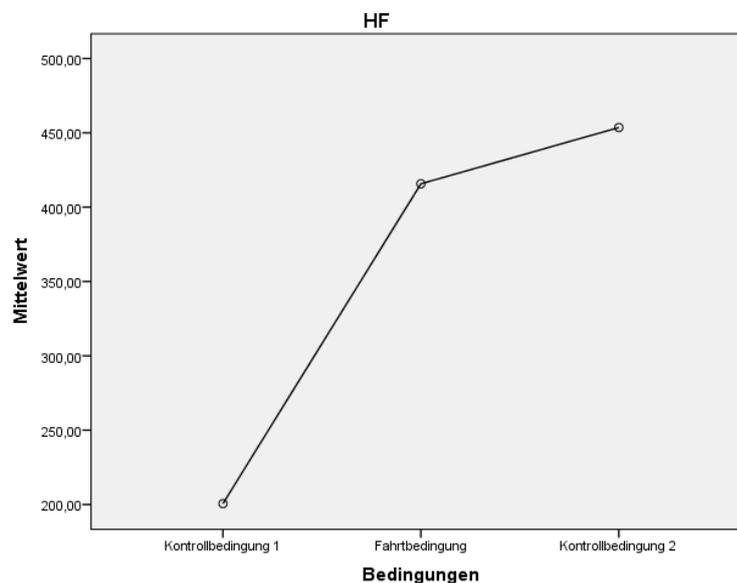


Abb. 10: Veränderung der Mittelwerte über die drei Bedingungen für den Parameter HF

3.2.3.7 LF/HF

Laut Mauchlys Test kann die Spherizität nicht angenommen werden ($\chi^2(2) = 6.278$, $p < .05$), worauf eine Korrektur nach Huyhn-Feldt ($\epsilon = .909$) durchgeführt wird (Tab. 4A im Anhang). Das LF/HF-Verhältnis zeigt einen signifikanten Effekt mit $F(1.82, 74.52) = 6.67$, $p = .003$, $\eta^2 = .140$ (siehe Tabelle 15).

Tab. 15: Ergebnis der Follow-up ANOVA mit Messwiederholung für LF/HF

	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	p	Eta ²
<i>Test der Innersubjekteffekte</i>						
Bedingungen	1.59	1.82	.873	6.67	.003*	.140
Fehler (Bedingung)	9.753	74.52	.13			
<i>Test der Zwischensubjekteffekte</i>						
Konstanter Term	34.785	1	34.785	195.509	.000	.827
Fehler	7.295	41	.178			

Anmerkung: df = Freiheitsgrade, F = Prüfwert der Varianzanalyse, p = Signifikanz, *p < .05

Der Post-Hoc-Test zeigt signifikante Unterschiede zwischen Kontrollbedingung 1 und Fahrtbedingung, $p = .037$, sowie zwischen Kontrollbedingung 1 und Kontrollbedingung 2, $p = .005$. Es zeigt sich ein Anstieg von Kontrollbedingung 1 ($M = .367$) auf die Fahrtbedingung ($M = .596$), sowie ein weiterer Anstieg in Kontrollbedingung 2 ($M = .614$). Siehe Abbildung 11. Kein signifikanter Unterschied konnten zwischen der Fahrtbedingung und Kontrollbedingung 2 gefunden werden ($p = 1$).

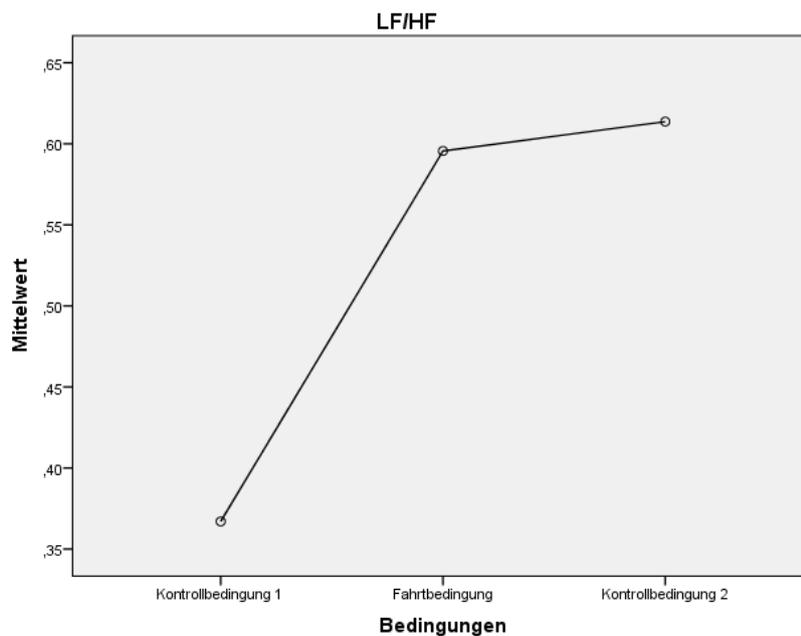


Abb. 11: Veränderung der Mittelwerte über die drei Bedingungen für den Parameter LF/HF

3.2.4 Vergleich der Bedingungen (Fahrt, t2) und Komfortratings (Komfort hoch/Komfort niedrig) hinsichtlich der physiologischen Parameter

Die 2×2 MANOVA mit Messwiederholung zeigt ein signifikantes Ergebnis für den Effekt Parameter, $F(6, 35) = 1019.177$, $p = .000$, $\eta^2 = .994$. Kein signifikantes Ergebnis konnte für den Haupteffekt Bedingungen, $F(1, 40) = 3.126$, $p = .085$, $\eta^2 = .072$, für die Wechselwirkung von Parameter \times Komfortrating, $F(6, 35) = .717$, $p = .638$, $\eta^2 = .109$, und auch für die Wechselwirkung von Bedingung \times Komfortrating, $F(1, 40) = 1.908$, $p = .175$, $\eta^2 = .046$ hinsichtlich der physiologischen Parameter gefunden werden. Weiters kann auch kein signifikanter Effekt für Komfortrating gefunden werden, $F(1, 40) = .452$, $p = .505$, $\eta^2 = .011$. Siehe auch Tabelle 16.

Tab.16: Ergebnis der 2×2 MANOVA mit Messwiederholungsfaktor (Fahrt/nach Fahrt) und Zwischensubjektfaktor (Komfort hoch/niedrig) für die HR und die HRV-Parameter (SDNN, rMSSD, pNN50, LF, HF, LF/HF)

Effekt	Wert	F	Effekt df	Fehler df	p	Partielles Eta ²
Parameter	.994	1019.177	6	35	.000*	.994
Parameter \times Komfortrating	.109	.717	6	35	.638	.109
Bedingungen	.072	3.126	1	40	.085	.072
Bedingungen \times Komfortrating	.046	1.908	1	40	.175	.046
Komfortrating		.452	1	40	.505	.011

Anmerkung: F = Prüfwert der Varianzanalyse, df = Freiheitsgrade, p = Signifikanz; *p < .05

Aufgrund des nur knapp nicht signifikanten Ergebnisses für den Effekt Bedingungen ($p = .085$) werden weitere Analysen mit Hilfe von ANOVAs mit Messwiederholung durchgeführt. Zuerst wird die Normalverteilung der physiologischen Parameter mittels Kolmogorov-Smirnov-Test geprüft. Wie in Tabelle 5A des Anhangs ersichtlich liegt nur für die Herzrate und den Parameter LF/HF eine Normalverteilung vor. Laut Field (2009) gibt es kein entsprechendes parameterfreies Verfahren für eine faktorielle

ANOVA mit Messwiederholung, wodurch die Testung der restlichen physiologischen Parameter ebenfalls mittels ANOVA mit Messwiederholung erfolgt.

3.2.5 Spezifische Vergleiche der einzelnen physiologischen Parameter hinsichtlich Bedingungen (Fahrt, t2) und Komfortrating (hoch, niedrig)

3.2.5.1 HR

Für die HR kann die Normalverteilung angenommen werden (siehe Tab. 5A). Es wird eine Varianzanalyse mit dem Messwiederholungsfaktor „Bedingungen“ und dem Zwischensubjektfaktor „Komfortrating“ durchgeführt. Der Levene-Test bestätigt, dass die Varianzen in allen Bedingungen gleich sind ($F(1, 40)_{\text{Fahrt}} = .371$, $p_{\text{Fahrt}} = .546$ und $F(1, 40)_{\text{Kontrollb.2}} = .257$, $p_{\text{Kontrollb.2}} = .615$). Es zeigt sich ein signifikanter Haupteffekt für Bedingungen, $F(1, 40) = 9.913$, $p = .003$, $\eta^2 = .199$. Es konnten keine weiteren signifikanten Effekte oder Wechselwirkungen gefunden werden. Siehe Tabelle 17 und Abbildung 12.

Tab. 17: Ergebnis der Follow-up ANOVA mit Messwiederholungsfaktor „Bedingungen“ und Zwischensubjektfaktor „Komfortrating“ für die HR

	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	p	Eta ²
<i>Test der Innersubjekteffekte</i>						
Bedingungen	130.220	1	130.220	9.913	.003*	.199
Bedingungen × Komfortrating	9.889	1	9.889	.753	.391	.018
Fehler (Bedingung)	525.476	40	13.137			
<i>Test der Zwischensubjekteffekte</i>						
Konstanter Term	587607.253	1	587607.253	2165.689	.000	.982
Komfortrating	347.431	1	347.431	1.280	.265	.031
Fehler	10853.030	40	271.326			

Anmerkung: df = Freiheitsgrade, F = Prüfwert der Varianzanalyse, p = Signifikanz, *p < .05

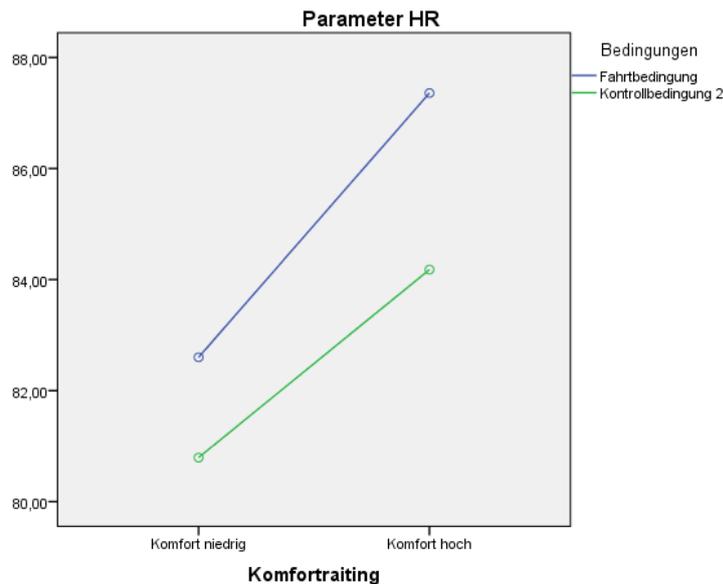


Abb. 12: Mittelwerte der HR für die Komfortratings (niedrig/hoch) in der Fahrbedingung sowie der Kontrollbedingung 2 (nach der Fahrt)

3.2.5.2 SDNN

Für den Parameter SDNN kann keine Normalverteilung angenommen werden. Laut Levene-Test liegt Varianzhomogenität für die Fahrbedingung, $F(1, 40) = .747$, $p = .393$ und für die Kontrollbedingung 2, $F(1, 40) = .082$, $p = .775$, vor. Wie in Tabelle 18 ersichtlich kann ein signifikanter Effekt für den Faktor Bedingungen gefunden werden, mit $F(1, 40) = 33.006$, $p = .000$ und $\eta^2 = .452$. Bezüglich der restlichen Faktoren konnten keine signifikanten Effekte oder Wechselwirkungen beobachtet werden (Abbildung 13).

Tab. 18: Ergebnis der Follow-up ANOVA mit Messwiederholungsfaktor „Bedingungen“ und Zwischensubjektfaktor „Komfortrating“ für SDNN

	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	p	Eta ²
<i>Test der Innersubjekteffekte</i>						
Bedingungen	7412.215	1	7412.215	33.006	.000*	.452
Bedingungen × Komfortrating	103.135	1	103.135	.459	.502	.011
Fehler (Bedingung)	8982.871	40	224.572			

<i>Test der Zwischensubjekteffekte</i>						
Konstanter Term	249460.791	1	249460.791	201.385	.000	.834
Komfortrating	26.049	1	26.049	.021	.885	.001
Fehler	49549.001	1	1238.735			

Anmerkung: df = Freiheitsgrade, F = Prüfwert der Varianzanalyse, p = Signifikanz, *p < .05

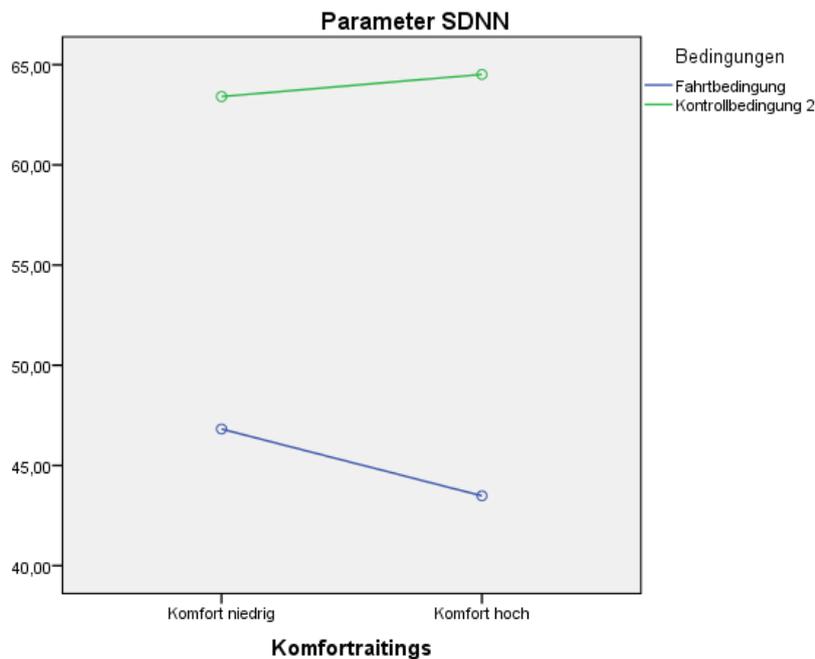


Abb. 13: Mittelwerte des HRV-Parameters SDNN für die Komfortratings (niedrig/hoch) in der Fahrtdingung sowie der Kontrollbedingung 2 (nach der Fahrt)

3.2.5.3 rMSSD

Für rMSSD kann keine Normalverteilung angenommen werden. Der Levene-Test lässt darauf schließen, dass die Varianzen homogen sind, da rMSSD in der Fahrtdingung $F(1, 40) = 1.716$, $p = .198$ und in der Kontrollbedingung 2 $F(1, 40) = .213$, $p = .647$, beträgt. Es kann ein signifikanter Effekt für Bedingungen mit $F(1, 40) = 6.554$, $p = .014$ und $\eta^2 = .141$ gefunden werden. Die restlichen Faktoren erzielen keine signifikanten Effekte oder Wechselwirkungen, siehe auch Tabelle 19 und Abbildung 14.

Tab. 19: Ergebnis der Follow-up ANOVA mit Messwiederholungsfaktor „Bedingungen“ und Zwischensubjektfaktor „Komfortrating“ für rMSSD

	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	p	Eta ²
<i>Test der Innersubjekteffekte</i>						
Bedingungen	374.899	1	374.899	6.554	.014*	.141
Bedingungen × Komfortrating	127.828	1	127.828	2.235	.143	.053
Fehler (Bedingung)	2288.084	40	57.202			
<i>Test der Zwischensubjekteffekte</i>						
Konstanter Term	103196.682	1	103196.682	84.176	.000	.678
Komfortrating	678.248	1	678.248	.553	.461	.014
Fehler	49038.390	40	1225.960			

Anmerkung: df = Freiheitsgrade, F = Prüfwert der Varianzanalyse, p = Signifikanz, *p < .05

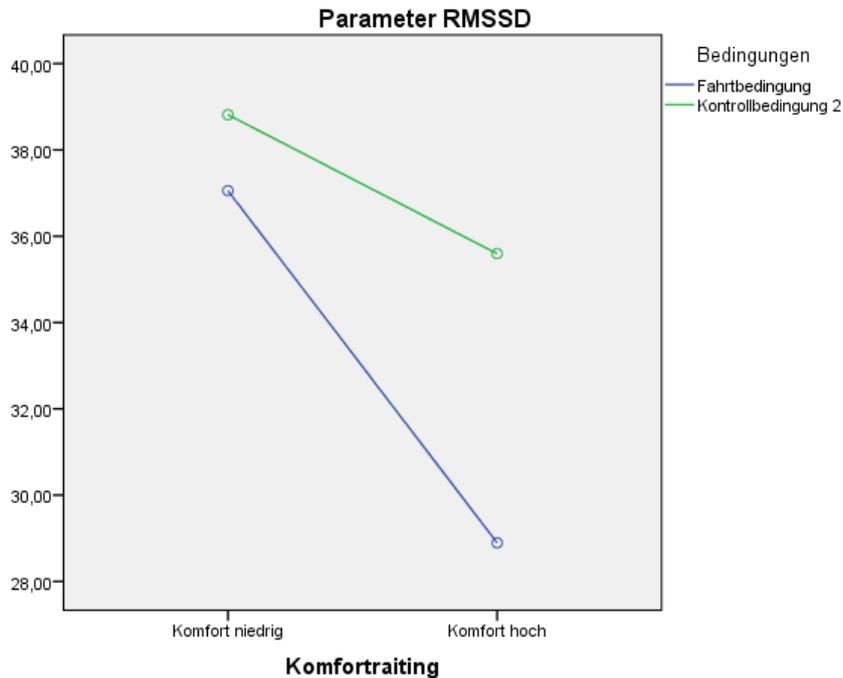


Abb. 14: Mittelwerte des HRV-Parameters rMSSD für die Komfortratings (niedrig/hoch) in der Fahrtbedingung sowie der Kontrollbedingung 2 (nach der Fahrt)

3.2.5.4 pNN50

Für den Parameter pNN50 kann keine Normalverteilung angenommen werden. Der Levene-Test zeigt, dass die Homogenität der Varianzen gegeben ist, $F(1, 40)_{\text{Fahrt}} = 1.533$, $p = .223$ und $F(1, 40)_{\text{K2}} = .002$, $p = .967$. Für die ANOVA mit Messwiederholungsfaktor und Zwischensubjektfaktor ergeben sich keine signifikanten Effekte oder Wechselwirkungen, siehe dazu Tabelle 20 und Abbildung 15.

Tab. 20: Ergebnis der Follow-up ANOVA mit Messwiederholungsfaktor „Bedingungen“ und Zwischensubjektfaktor „Komfortrating“ für pNN50

	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	p	Eta ²
<i>Test der Innersubjekteffekte</i>						
Bedingungen	109.060	1	109.060	3.052	.088	.071
Bedingungen × Komfortrating	47.079	1	47.079	1.317	.258	.032
Fehler (Bedingung)	1429.545	40	35.739			
<i>Test der Zwischensubjekteffekte</i>						
Konstanter Term	17194.993	1	17194.993	28.321	.000	.415
Komfortrating	192.890	1	192.890	.318	.576	.008
Fehler	24286.202	40	607.155			

Anmerkung: df = Freiheitsgrade, F = Prüfwert der Varianzanalyse, p = Signifikanz, *p < .05

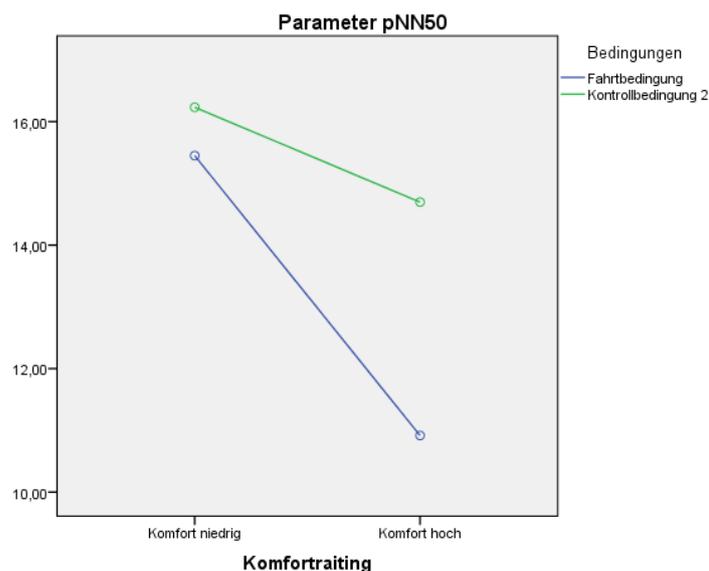


Abb. 15: Mittelwerte des HRV-Parameters pNN50 für die Komfortratings (niedrig/hoch) in der Fahrtbedingung sowie der Kontrollbedingung 2 (nach der Fahrt)

3.2.5.5 LF

Die Normalverteilung kann für diesen Parameter nicht angenommen werden. Auf Grund des Ergebnisses des Levene-Tests kann nur bei LF in der Kontrollbedingung 2 von der Homogenität der Varianzen ausgegangen werden, $F(1, 40) = .125$, $p = .726$. Für LF während der Fahrt ergibt sich ein $F(1, 40) = 4.803$ und ein $p = .034$. Wie in Tabelle 21 ersichtlich zeigen sich keine signifikanten Effekte oder Wechselwirkungen. Siehe auch Abbildung 16.

Tab. 21: Ergebnis der Follow-up ANOVA mit Messwiederholungsfaktor „Bedingungen“ und Zwischensubjektfaktor „Komfortrating“ für LF

	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	p	Eta ²
<i>Test der Innersubjekteffekte</i>						
Bedingungen	4976474.735	1	4976474.735	3.934	.054	.090
Bedingungen × Komfortrating	1991159.969	1	1991159.969	1.574	.217	.038
Fehler (Bedingung)	50601045.49	40	1265026.137			
<i>Test der Zwischensubjekteffekte</i>						
Konstanter Term	146966576.7	1	146966576.7	39.894	.000	.499
Komfortrating	546180.738	1	546180.738	.148	.702	.004
Fehler	147357537.4	40	3683938.436			

Anmerkung: df = Freiheitsgrade, F = Prüfwert der Varianzanalyse, p = Signifikanz

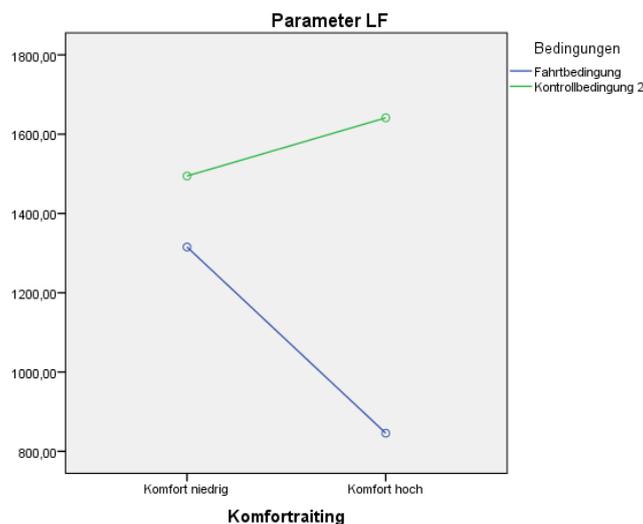


Abb. 16: Mittelwerte des HRV-Parameters LF für die Komfortratings (niedrig/hoch) in der Fahrtbedingung sowie der Kontrollbedingung 2 (nach der Fahrt)

3.2.5.6 HF

Es kann keine Normalverteilung angenommen werden und laut Ergebnis des Levene-Tests kann nur für den Parameter HF in der Kontrollbedingung 2 von Varianzhomogenität ausgegangen werden, $F(1, 40) = 1.196$, $p = .281$. Für HF in der Fahrtbedingung zeigt sich ein $F(1, 40) = 11.640$ und $p = .001$. Wie in Tabelle 22 ersichtlich zeigen sich keine signifikanten Effekte. Siehe auch Abbildung 17.

Tab. 22: Ergebnis der Follow-up ANOVA mit Messwiederholungsfaktor „Bedingungen“ und Zwischensubjektfaktor „Komfortrating“ für HF

	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	p	Eta ²
<i>Test der Innersubjekteffekte</i>						
Bedingungen	22281.497	1	22281.947	.134	.716	.003
Bedingungen × Komfortrating	255258.481	1	255258.481	1.541	.222	.037
Fehler (Bedingung)	6627535.406	40	165688.385			
<i>Test der Zwischensubjekteffekte</i>						
Konstanter Term	16276612.34	1	16276612.34	16.573	.000	.293
Komfortrating	1355712.155	1	1355712.155	1.380	.247	.033
Fehler	39285480.84	40	981237.021			

Anmerkung: df = Freiheitsgrade, F = Prüfwert der Varianzanalyse, p = Signifikanz

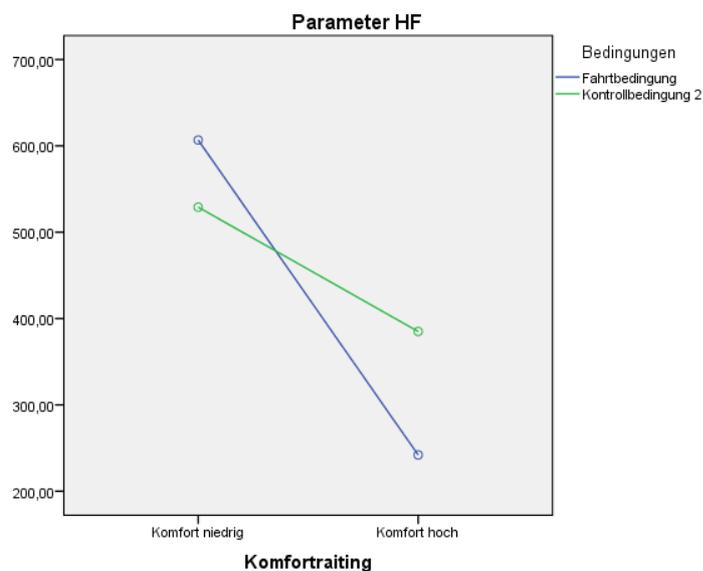


Abb. 17: Mittelwerte des HRV-Parameters HF für die Komfortratings (niedrig/hoch) in der Fahrtbedingung sowie der Kontrollbedingung 2 (nach der Fahrt)

3.2.5.7 LF/HF

Für den Parameter LF/HF kann die Normalverteilung angenommen werden, sodass eine ANOVA mit Messwiederholungsfaktor und Zwischensubjektfaktor durchgeführt wird. Laut Levene-Test ist die Varianzhomogenität gegeben ($F(1, 40)_{\text{Fahrt}} = 1.065$, $p = .308$ und $F(1, 40)_{\text{K2}} = 1.658$, $p = .205$). Aus Tabelle 23 wird ersichtlich, dass keine signifikanten Effekte für den Parameter LF/HF gefunden werden können. Siehe auch Abbildung 18.

Tab. 23: Ergebnis der Follow-up ANOVA mit Messwiederholungsfaktor „Bedingungen“ und Zwischensubjektfaktor „Komfortrating“ für LF/HF

	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	p	Eta ²
<i>Test der Innersubjekteffekte</i>						
Bedingungen	.009	1	.009	.113	.738	.003
Bedingungen × Komfortrating	.084	1	.084	1.023	.318	.025
Fehler (Bedingung)	3.303	40	.083			
<i>Test der Zwischensubjekteffekte</i>						
Konstanter Term	30.633	1	30.633	317.709	.000	.888
Komfortrating	9.563E-005	1	9563E-005	.001	.975	.000
Fehler	3.857	40	.096			

Anmerkung: df = Freiheitsgrade, F = Prüfwert der Varianzanalyse, p = Signifikanz

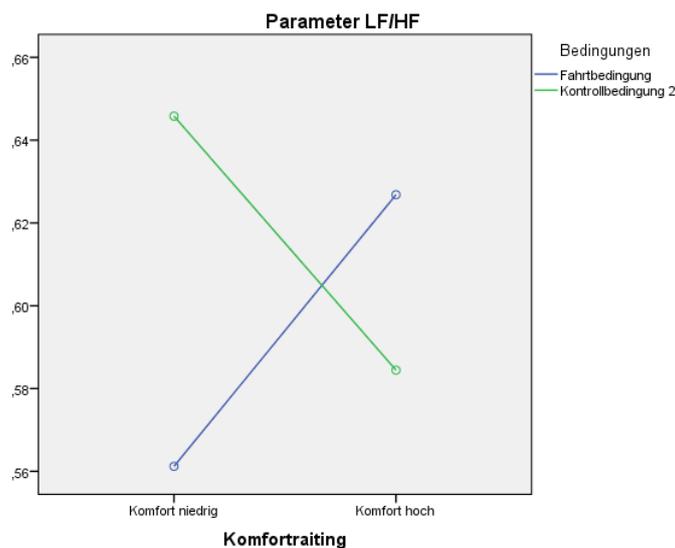


Abb. 18: Mittelwerte des HRV-Parameters LF/HF für die Komfortratings (niedrig/hoch) in der Fahrtbedingung sowie der Kontrollbedingung 2 (nach der Fahrt)

3.2.6 Multiple Regression

Es wird eine Multiple Lineare Regressionsanalyse zur Vorhersage der Variable „Komfortbewertung der Umgebungsfaktoren“ während der U-Bahn-Fahrt durch die Variablen Alter, Geschlecht, Wohlbefinden, Stressreaktivität, Offenheit, Gewissenhaftigkeit, Extraversion, Verträglichkeit, Neurotizismus und Skalen des MDBF (Gute Stimmung-Schlechte Stimmung, Wachheit-Müdigkeit, Ruhe-Unruhe) durchgeführt. Es soll der Einfluss der genannten Variablen auf die subjektive Bewertung der Umgebungsfaktoren in der Fahrtbedingung untersucht werden. Als Regressionsmethode wird die Methode „Einschluss“ gewählt, also alle Prädiktoren gleichzeitig in das Modell hinzugefügt. Das Modell ist nicht signifikant ($p = .515$) mit einem $R^2 = .282$. Der Durbin-Watson-Test ergibt einen Wert von 2.259, was laut Field (2009) zeigt, dass die Residuen nicht untereinander korrelieren. Von allen verwendeten Prädiktoren erweist sich keiner als signifikant. In Tabelle 24 sind die Werte der verwendeten Prädiktoren enthalten.

Tab. 24: Zusammenfassung der Regressionsanalyse (Methode Einschluss) zur Vorhersage der Variable „Umgebungsbewertung während der U-Bahn-Fahrt“

Variable	B	SE	β	p
Geschlecht	-.003	.143	-.004	.981
Alter	-.007	.008	-.152	.430
SR_gesamt	-.006	.013	-.097	.658
WHO 5	-.014	.014	-.174	.322
MDBF_GS_t1	.035	.018	.447	.062
MDBF_WM_t1	.012	.010	.247	.229
MDBF_RU_t1	-.022	.017	-.329	.210
BFI_Offenheit	-.008	.018	-.087	.681
BFI_Gewissenhaftigkeit	-.027	.025	-.208	.303

BFI_Extraversion	-.011	.016	-.128	.497
BFI_Verträglichkeit	-.011	.024	-.094	.653
BFI_Neutrotizismus	.007	.023	.058	.771

Anmerkung: B = Regressionskoeffizient, SE = Standardfehler, β = standardisierte Koeffizienten, SR = Stressreaktivität, WHO 5 = Fragebogen zum Wohlbefinden, MDBF_GS_t1 = Skala Gute Stimmung-Schlechte Stimmung des MDBF zum Zeitpunkt während der Fahrt, MDBF_WM = Skala Wachheit-Müdigkeit, MDBF_RU = Skala Ruhe-Unruhe, BFI = Big Five Inventory

4. DISKUSSION

4.1 Interpretation

Ziel der vorliegenden Arbeit war das Erleben von Komfort und Belastung bzw. *discomfort*, hervorgerufen durch verschiedenste Faktoren der Umgebung, mittels Messung von physiologischen Reaktionen in einem natürlichen Setting (U-Bahn) zu untersuchen. Die Auswirkungen der Fahrt auf die Person bzw. deren HR und HRV-Parameter, sowie auf die subjektive Komfortbewertung der Umgebungsfaktoren sollten erfasst werden. Die Gewinnung neuer Informationen stand im Vordergrund, da bisher keine Studien durchgeführt wurden, die sich mit der Untersuchung der Reaktionen des Körpers während einer U-Bahn-Fahrt auseinandergesetzt haben.

Bei der Betrachtung von Tabelle 4 (Kapitel 3.1) zeigt sich, dass die Komfortbewertungen in der Kontrollbedingung 2, also nach der Fahrt, stets höher waren, als jene während der Fahrt. Das wird durch die signifikante Wechselwirkung (Bedingungen \times Umgebungsfaktoren) und den signifikanten Haupteffekt (Bedingungen) der MANOVA mit Messwiederholung deutlich. Dies bestätigt die H1, die besagt, dass es Unterschiede in der subjektiven Bewertung des Komforts zwischen Fahrtbedingung und Kontrollbedingung 2 gibt. Auch zwischen den einzelnen Umgebungsfaktoren finden sich signifikante Unterschiede wieder. So lassen sich die geringsten Bewertungen für den Faktor Körperkontakt und die höchsten Bewertungen für die Faktoren Komfort allgemein und Beleuchtung finden (Siehe dazu Kap. 3.1/ Tabelle 4 und

Kap. 3.2.1/ Abbildung 4). Das könnte bedeuten, dass der Einfluss bzw. die Wichtigkeit der Umgebungsfaktoren unterschiedlich groß ist, was auch Schwanitz et al. (2013) in ihrer Studie fanden. All diese Beobachtungen bezüglich der subjektiven Komfortbewertungen könnten dafür sprechen, dass die U-Bahn-Fahrt als unkomfortabel bzw. belastend angesehen werden kann. Diese Vermutung wird verstärkt, wenn man die Werte der Items zum wahrgenommenen Stress während der Fahrt („Im Großen und Ganzen stresst mich die Fahrt“ und „Diese Fahrt empfinde ich als mühsam“) mit den Werten nach der Fahrt vergleicht. Hier zeigen sich deutlich erhöhte Mittelwerte in der Fahrtbedingung, wobei hohe Werte für starke Zustimmung stehen (Siehe Kapitel 3.1/ Tabelle 6).

Weiters kann die H1 bezüglich des Vergleichs der physiologischen Parameter zwischen den drei Bedingungen (vor der Fahrt, während der Fahrt, nach der Fahrt) angenommen werden. Es wurden signifikante Ergebnisse gefunden, die größtenteils konsistent mit jenen bereits vorhandener Studien sind. So wird eine signifikant erhöhte Herzrate in der Fahrtbedingung, im Vergleich zu den beiden Kontrollbedingungen, festgestellt. Laut Schandry (1989) komme es durch physische und psychische Anforderungen zu einem Wechsel der Herzrate. Eine Erhöhung der Herzrate sei häufig auf Angst- und Schmerzreize, sowie Stress zurückzuführen, im Gegensatz zur Abnahme der Frequenz bei Entspannung (Schandry, 1989). Auch Kraus et al. (2013) meinen, dass es durch eine stressige Situation zur Ausschüttung von Hormonen im Körper kommt, was die Überleitung sympathischer Signale an die Herzmuskelfasern aktiviert, und zu einem Anstieg der Herzrate führt. Somit könnte die physiologische Reaktion während der Fahrt mit der U-Bahn auf Stress, physische Beanspruchung oder psychische Belastung zurückzuführen sein. Ravits (1997) weist auf die höhere körperliche Anstrengung bei Vibration hin und die dabei stattfindende Steigerung der Atemfrequenz, in deren Folge ebenfalls die HR ansteigt (zitiert nach Björ et al., 2007). Dies könnte auch während der U-Bahn-Fahrt der Fall sein.

Für den HRV-Parameter SDNN, der die Gesamtvariabilität in den Aufzeichnungen repräsentiert (Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing Electrophysiology, 1996), kann ein signifikantes Absinken des Wertes in der Fahrtbedingung, verglichen mit den beiden Kontrollbedingungen, beobachtet werden. Wu et al. (2013) brachten in ihrer Studie einen geringeren SDNN-Wert in Verbindung mit thermalen *discomfort*. Kraus et al. (2013) konnten ein Absinken des SDNN-Wertes bei erhöhter Lärmbelastigung beobachten. Somit kann die Verminderung der Variabilität der HRV während der Fahrt ein verringertes Regulationsvermögen des Organismus darstellen.

Der HRV-Parameter rMSSD wird auf eine vagale Modulation zurückgeführt, also mit dem Parasympathikus in Verbindung gebracht (Hoyer, 2009; Schnell et al., 2013; Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing Electrophysiology, 1996). Hierzu zeigen sich signifikante Unterschiede zwischen der Fahrtbedingung und der Kontrollbedingung 2 (nach der Fahrt). Der rMSSD-Wert ist während der Fahrt niedriger als in den beiden Kontrollbedingungen, was zeigen könnte, dass die Aktivität des Parasympathikus abnimmt und daher eine höhere Energieanforderung an den Körper durch die Umgebung der U-Bahn stattfindet. Dies könne durch *discomfort*, Stress, Angst aber auch andere Faktoren, die nicht kontrolliert bzw. erhoben werden konnten, bedingt sein.

Bezüglich pNN50 können keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bedingungen in den Post-Hoc-Tests gefunden werden. Deskriptiv zeigt sich aber ein gering kleinerer Mittelwert in der Fahrtbedingung, im Gegensatz zu den beiden Kontrollbedingungen. Der Parameter pNN50 zeigt eine hohe Korrelation mit dem Parameter rMSSD und wird wiederum mit einer Dominanz des Parasympathikus in Verbindung gebracht (Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing Electrophysiology, 1996). Somit könnte man auch für pNN50 eventuell die Situation während

der U-Bahn-Fahrt für die Hemmung der Aktivität des Parasympathikus verantwortlich machen.

Wie bereits in Kapitel 1.3.3 erwähnt kann man auf Grund bisheriger Forschungen keine eindeutige Zuordnung der LF-Komponente zu Parasympathikus bzw. Sympathikus vornehmen. Hierzu bestehen Annahmen, dass diese als Ausdruck der sympathischen Modulation angesehen werden kann, andere, welche die LF als eine Kombination von sympathischer und parasympathischer Aktivität interpretieren (Schnell et al., 2013; Sztajzel, 2004; Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing Electrophysiology, 1996), sowie weitere Annahmen, die die LF-Komponente ausschließlich als parasympathisch vermittelt betrachten (Reyes del Paso et al., 2013). In der vorliegenden Untersuchung zeigt sich ein Anstieg der Mittelwerte von Kontrollbedingung 1 auf die Fahrtbedingung und weiter auf die Kontrollbedingung 2. Hier ist es sicherlich empfehlenswert weitere Studien durchzuführen um zukünftig eine Interpretation zu ermöglichen.

Die HF-Komponente ist vagal vermittelt (Björ et al., 2007; Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing Electrophysiology, 1996) und spiegelt daher die Aktivität des Parasympathikus wieder. Studien zeigten ein Absinken des HF-Wertes bei einem Anstieg der Lautstärke (Kraus et al., 2013) bzw. mechanischen Geräuschen (Yanagihashi et al., 1997), einen sinkenden Wert bei steigender Temperatur (>35 °C) in der warmen Saison, sowie einen erhöhten Wert bei steigenden Temperaturen (>25 °C) in der kalten Saison, (Wu et al., 2013). In der vorliegenden Studie kann ein Anstieg der HF über alle drei Bedingungen beobachtet werden, was gegen eine Annahme der Verminderung der Aktivität des Parasympathikus während der Fahrt mit der U-Bahn spricht, wie beispielsweise bei den Parametern rMSSD und pNN50 beobachtet werden konnte.

Für das Verhältnis von LF zu HF, also LF/HF, kann ein signifikanter Unterschied zwischen Kontrollbedingung 1 und der Fahrtbedingung gefunden werden. Es zeigen sich ein Anstieg von Kontrollbedingung 1 auf die Fahrtbedingung, sowie ein weiterer Anstieg in Kontrollbedingung 2. Laut Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing Electrophysiology (1996) dient der Parameter LF/HF dazu, das Gleichgewicht zwischen Sympathikus und Parasympathikus zu reflektieren. So stehe ein erhöhter LF/HF-Quotient für eine Dominanz der sympathischen Aktivität (Liu et al., 2008; Schnell et al., 2013). Durch mentalen Stress könne dieses Gleichgewicht der Aktivität zwischen Sympathikus und Parasympathikus gestört werden und zu einer Dominanz des Sympathikus führen (Yanagihashi et al., 1997). Bisherige Studien konnten einen Anstieg von LF/HF bei erhöhter Lärmaussetzung (Kraus et al., 2013), sowie bei niedrigen und hohen Temperaturen im Gegensatz zu moderaten Temperaturen (Liu et al., 2008; Ren et al., 2011; Wu et al., 2013) beobachten. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit lassen darauf schließen, dass die Fahrt mit der U-Bahn mit psycho-physiologischer Belastung einhergeht, da auch hier ein erhöhter Wert in der Fahrtbedingung gefunden wurde. In Kontrollbedingung 2, also nach der Fahrt, steigt dieser Wert jedoch minimal weiter an. Die Messung der physiologischen Parameter für Kontrollbedingung 2 erfolgte bei der Mehrzahl der untersuchten Personen mit geringem Zeitabstand zur Fahrt selbst. Somit könnte es möglich sein, dass sich der LF/HF-Wert noch nicht normalisieren bzw. seinen ursprünglichen Ausgangswert, vergleichbar mit jenem geringen Wert in Kontrollbedingung 1, annehmen konnte. Hierzu sollte man weitere Untersuchungen durchführen, in denen die Zeitabstände zwischen den Bedingungen standardisiert werden, sodass klare Aussagen möglich sind. Abschließend ist anzumerken, dass es auch Annahmen gibt, die den LF-Kennwert sehr wahrscheinlich als parasympathisch beeinflusst sehen (Reyes del Paso et al., 2013) womit keine eindeutige Interpretation dieses Kennwertes vorgenommen werden kann.

Die 2×2 MANOVA mit Messwiederholungsfaktor (Fahrt/nach der Fahrt) und Zwischensubjektfaktor (Komfortrating hoch/ Komfortrating niedrig) für die HR und die HRV Parameter ergibt keine signifikanten Ergebnisse, weshalb die H_0 beibehalten wird. Auf Grund des tendenziell signifikanten Haupteffektes (Bedingungen) wurden jedoch weitere Vergleiche durchgeführt. Für die HR und die HRV-Parameter SDNN und rMSSD konnten signifikante Unterschiede zwischen der Fahrtbedingung und der Kontrollbedingung gefunden werden. Diese sind mit den bereits erläuterten Ergebnissen der MANOVA ohne Zwischensubjektfaktor konsistent.

Keine signifikanten Unterschiede in der Physiologie zeigten sich bezüglich der Komfortratings, also zwischen Personen, die den Komfort hoch bzw. niedrig beurteilt haben. Ein Grund dafür könnte sein, dass sich diese subjektiven Ratings der Studienteilnehmer eher im Durchschnittsbereich der vorhandenen Skala ansiedeln, und keine Extremsituationen (1 = „sehr unkomfortabel“, 5 = „sehr komfortabel“) beobachtet werden konnten. Wenn es eine größere Bandbreite beim Gebrauch der Bewertungen geben würde bzw. stärkere Unterschiede zwischen den zu vergleichenden Situationen hergestellt werden könnten, wären eventuell deutlicherer Ergebnisse möglich.

Eine Studie von Liu et al. (2008) zeigt, dass das Verhältnis von LF zu HF bei *discomfort* höher ist als bei Komfort. Die Betrachtung der Mittelwerte der verschiedenen HRV-Parameter dieser Untersuchung zeigen jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen Personen, die den Komfort als hoch eingeschätzt haben und jenen, die den Komfort als niedrig eingeschätzt haben.

Die in der vorliegenden Untersuchung durchgeführte multiple Regression ist nicht signifikant, wodurch die H_0 beibehalten wird. Von allen verwendeten Prädiktoren erweist sich keiner als signifikant, was speziell auf diese Studie bezogen bedeutet, dass weder Persönlichkeit, aktuelle Befindlichkeit, Alter, Geschlecht, Stressreaktivität, noch allgemeines

Wohlbefinden einen Einfluss auf die subjektive Bewertung der Umgebungsfaktoren in der U-Bahn haben.

4.2 Einschränkungen der Studie und Ausblick

Bezüglich der vorliegenden Studie muss die Zusammensetzung der Stichprobe kritisch betrachtet werden. Wie schon in Kapitel 3.1 erläutert liegt das Durchschnittsalter in der Stichprobe bei ca. 25 Jahren, da vorwiegend Studenten und Freunde befragt wurden. Das bedeutet auch, dass die Mehrheit der getesteten Personen Erfahrung mit der Benutzung von öffentlichen Verkehrsmitteln hatte und die Situation während der Fahrt bereits kannte. Um näherer Information bezüglich der Häufigkeit der Nutzung der U-Bahn und weiteren Häufigkeitsangaben zur Fahrtsituation während der Testung zu erhalten siehe Tabelle 6A im Anhang.

Auch zur Untersuchungsdurchführung und der Umsetzung der Testung muss man anmerken, dass es interessant wäre in zukünftigen Studien die Standardisierung der Testsituation zu erhöhen, um die Vergleichbarkeit zwischen den Versuchspersonen zu gewährleisten und die Aussagekraft der Ergebnisse zu steigern. In der vorliegenden Studie wurden die Versuchspersonen zu unterschiedlichen Zeiten und in unterschiedlichen U-Bahn-Linien beobachtet. Auch die Dauer der Fahrt variierte, wobei die Minstdauer stets bei 5 Minuten lag. Auch auf die objektive Messung der Temperatur, des Lärms und des Luftdrucks wurde in den Versuchsbedingungen nicht Bezug genommen. Somit wäre es wünschenswert in kommenden Studien auch diese Parameter zu erheben um noch genauere Aussagen bezüglich der unterschiedlichen Bedingungen, denen die Personen ausgesetzt sind, zu erhalten. Anzumerken ist weiters, dass in der vorliegenden Untersuchung keine extremen Situationen beobachtet werden konnten, wie zum Beispiel extreme Eingeschränktheit der Personen während der Fahrt durch sehr starke Belegung des Wagons oder extreme Hitze. Hier

ist jedoch fraglich in wie weit man die Studienteilnehmer einer solche Extremsituation aussetzen kann bzw. darf. Auf die Erhebung der Atemfrequenz wurde in der vorliegenden Untersuchung verzichtet, wobei jedoch einige Studien zeigen, dass die HRV von der Respirationsrate bzw. Atemfrequenz beeinflusst wird (Kobayashi, 1996; Hayano, 1988; Yoshida & Yana, 1995; Hayano et al., 1994, zitiert nach Yanagihashi et al., 1997). Durch das natürliche Setting der Untersuchung wird die Ergebnisinterpretation erschwert, da es häufig Einflussfaktoren gibt, die nicht kontrolliert werden können, was bei Testungen unter Laborbedingungen normalerweise kein Problem darstellt. Ein Vorteil der Untersuchungen im Feld ist jedoch ihre hohe externe Validität.

4.3 Zusammenfassung

Da das Interesse am Wohlbefinden und der Gesundheit der Menschen in den letzten Jahren immer öfter Thema in den verschiedensten Studien war, beschäftigte sich die vorliegende Studie mit den Auswirkungen einer U-Bahn-Fahrt bzw. den Auswirkungen der zahlreichen Umgebungsfaktoren innerhalb der U-Bahn, auf das Empfinden von Komfort und *discomfort* und die autonome Funktion des Herzens. Bisherige Studien legen ihren Fokus Großteils auf die Betrachtung eines einzelnen Aspektes der Umgebung innerhalb eines Laborsettings, wie beispielsweise die Auswirkung von hohen und niedrigen Temperaturen auf die Gesundheit und Leistung der getesteten Personen (Lan et al., 2011). Ziel dieser Studie war jedoch Informationen über das Erleben von Komfort und *discomfort* durch die Messung der Herzrate, sowie der Herzratenvariabilität in einem natürlichen Setting zu sammeln. Laut Sztajzel (2004) und Task Force (1996) können Dysfunktionen des autonomen Nervensystems, die mit einer erhöhten Aktivität des Sympathikus bzw. einer reduzierten Parasympathikusaktivität assoziiert werden, mit unterschiedlichen Beeinträchtigungen der Gesundheit einhergehen.

Es wurden physiologische Parameter, subjektive Ratings zu den Umgebungsfaktoren, Angaben zu Persönlichkeit, aktueller Befindlichkeit, allgemeinem Wohlbefinden, Stressreaktivität, sowie soziodemografische Daten an 42 Personen, im Alter von 19-53 Jahren, zu drei Zeitpunkten erhoben. Somit ergab sich ein Design mit Messwiederholung.

Die subjektiven Komfortbewertungen fielen unterschiedlich hoch für die betrachteten Umgebungsfaktoren aus und zeigten signifikante Unterschiede zwischen Fahrtbedingung und Kontrollbedingung 2. Die Auswertung der physiologischen Daten zeigte signifikante Unterschiede zwischen der Fahrtbedingung und den Kontrollbedingungen. Für die Situation während der Fahrt zeigten sich eine erhöhte Herzrate, ein erhöhter Wert des LF/HF-Verhältnisses, sowie ein Absinken der Parameter SDNN, rMSSD und pNN50. Diese Ergebnisse spiegeln eine Erhöhung der Sympathikusaktivität bzw. eine Reduktion der Aktivität des Parasympathikus wieder, was darauf zurückzuführen sein könnte, dass die Fahrt mit der U-Bahn als physisch oder psychisch belastend angesehen werden kann. Eine Unterscheidung der Personen mit hohen Komfortratings und niedrigen Komfortratings bezüglich der Physiologie brachte keine signifikanten Ergebnisse, was eventuell darauf zurückzuführen ist, dass keine extremen oder stark differenzierten Situationen beobachtet werden konnten. Diese würden möglicherweise eine größere Bandbreite an Komfortbewertungen provozieren und deutliche Ergebnisse liefern. Eine Interpretation der Effekte gestaltet sich schwierig, da bei Untersuchungen außerhalb des Labors häufig Einflussfaktoren mitwirken, die nicht kontrollierbar sind. Dennoch zeichnet sich die vorliegende Studie durch ihre externe Validität aus und zeigt, dass es durchaus zu Veränderungen in der kardiovaskulären Aktivität während der Fahrt mit der U-Bahn kommt. Für die Zukunft wäre es wünschenswert, dass weitere Forschungen zu den Auswirkungen der (öffentlichen) Verkehrsmittel auf das Wohlbefinden, die Gesundheit und das Empfinden von Komfort und *discomfort* der Menschen betrieben werden.

4.4 Abstract (Deutsch)

Seit einigen Jahren steigt die Anzahl an Studien zu Komfort und *discomfort*, wobei sich diese meist auf die Betrachtung der Wirkung eines Umgebungsaspektes in Laborbedingungen beschränken. In der vorliegenden Studie wurden die Herzrate (HR) und die Herzratenvariabilität (HRV) von 42 Personen mittels EKG vor, während und nach der U-Bahn-Fahrt erhoben. Ziel war es physiologische Reaktionen und subjektive Komfortbewertungen bezüglich einer Kombination von Umgebungsfaktoren (z. B.: Lärm, Temperatur, Geruch) zu erhalten. Die MANOVA mit Messwiederholung zeigte signifikante Unterschiede zwischen Fahrtbedingung und Kontrollbedingungen für die HRV-Parameter. Der Anstieg von HR und LF/HF sowie das Absinken von SDNN und rMSSD in der Fahrtbedingung lassen auf eine Dominanz des Sympathikus bzw. ein Absinken der Parasympathikusaktivität schließen. Dies könnte man damit begründen, dass die U-Bahnfahrt als physische und psychische Beanspruchung oder Stress angesehen werden kann. Keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Physiologie konnten zwischen Personen mit hohen und niedrigen Komfortratings gefunden werden. Für die Parameter HR, SDNN und rMSSD zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen der Bedingung während und der Bedingung nach der Fahrt. Weitere Forschungsansätze zu diesem Thema wären wünschenswert.

4.5 Abstract (English)

During the last few years there was an increasing interest in studies concerning comfort and discomfort. However most of the studies focused on the effects of one single environmental aspect and were conducted in laboratory settings. This study measured the physiological reactions (heartrate; heart rate variability, HRV) of 42 persons as well as their subjective ratings of combined environmental aspects (e.g. noise, temperature, smell) regarding comfort before, after and during the ride with the subway. The repeated measurement MANOVA showed significant effects for the HRV-parameters between the ride-condition and the control-conditions. There was an increase in HR and LF/HF, and a decrease in SDNN and rMSSD during the subway-ride, which indicates a domination of the sympathetic nervous system and a decreasing activity of the para-sympathetic system. Hence it can be suggested that the subway-ride leads to physiological and psychological load, as well as stress. There were no significant differences regarding HRV between high and low ratings of comfort. Significant differences between the conditions during and after the subway-ride could be found for HR, SDNN and rMSSD. It is recommended to conduct further investigations on this topic.

5. LITERATURVERZEICHNIS

- Baum, A. & Paulus, P. (1987). Crowding. In D. Stokols & I. Altman (Hrsg.), *Handbook of environmental psychology, Vol. I* (S. 533-570). New York: Wiley.
- Beirao, G. & Sarsfield Cabral, J. A. (2007). Understanding attitudes towards public transport and private car: A qualitative study. *Transport Policy, 14*, 478-489. DOI: 10.1016/j.tranpol.2007.04.009
- Birbaumer, N. & Schmidt, R.F. (2006). *Biologische Psychologie*. Berlin: Springer.
- Björ, B., Burström, L., Karlsson, M., Nilsson, T., Näslund, U. & Wiklund, U. (2007). Acute effects on heart rate variability when exposed to hand transmitted vibration and noise. *Int Arch Occup Environ Health, 81*, 193-199. DOI: 10.1070/s00420-007-0205-0
- Blyussen, M., Janssen, S., van den Brink, L. & de Kluizenaar, Y. (2011). Assessment of wellbeing in an indoor office environment. *Building and Environment, 46*, 2632-2640. DOI: 10.1016/j.buildenv.2011.06.026
- Bortz, J. & Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*. Berlin: Springer.
- Cox, T., Houdmont, J. & Griffiths, A. (2006). Rail passenger crowding, stress, health and safety in Britain. *Transportation Research: Part A, 40*, 244-258. DOI: 10.1016/j.tra.2005.07.001
- Da Silva, M. C. G. (2002). Measurements of comfort in vehicles. *Measurement Science and Technology, 13*, R41-R60. DOI: 10.1088/0957-0233/13/6/201
- Dehne, M. & Schupp, J. (2007). *Persönlichkeitsmerkmale im Sozioökonomischen Panel (SOEP) Konzepte, Umsetzung und empirische Eigenschaften*. DIW Research Notes 26, Berlin: Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung.

- Delbosc, A. (2012). The role of well being in transport policy. *Transport Policy*, 23, 25-33. DOI: 10.1016/j.tranpol.2012.06.005
- De Looze, M. P., Kuijt-Evers L. F. M. & van Dieen, J. (2003). Sitting comfort and discomfort and the relationships with objective measures. *Ergonomics*, 46(10), 985-997. DOI: 10.1080/0014013031000121977
- Evans, G. W. & Cohen, S. (1987). Environmental stress. In D. Stokols & I. Altman (Hrsg.), *Handbook of environmental psychology, Vol. I* (S. 571-610). New York: Wiley.
- Evans, G. W. & Wener, R. E. (2007). Crowding and personal space invasion on the train: Please don't make me sit in the middle. *Journal of Environmental Psychology*, 27, 90-94. DOI: 10.1016/j.jenvp.2006.10.002
- Field, A. (2009). *Discovering statistics using SPSS* (3rd ed.). London: SAGE Publications Ltd.
- Gerlitz, J. Y. & Schupp, J. (2005). *Zur Erhebung der Big-Five-basierten Persönlichkeitsmerkmale im SOEP. Dokumentation der Instrumentenentwicklung BFI-S auf Basis des SEOP- Pretests 2005*. DIW Research Notes 4, Berlin: Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung.
- Gramann, K. & Schandry, R. (2009). *Psychophysiologie: Körperliche Indikatoren psychischen Geschehens* (Vol. 4). Weinheim: Beltz Verlag.
- Helander, M. & Zhang, L. (1997). Field studies of comfort and discomfort in sitting. *Ergonomics*, 40(9), 895-915. DOI: 10.1080/001401397187739
- Hellbrück, J. & Fischer, M. (1999) *Umweltpsychologie. Ein Lehrbuch*. Göttingen: Hogrefe.
- Hoyer, D. (2009). Zur Bedeutung und Analyse der Herzfrequenzvariabilität. *Neurophysiologie-Labor*, 31, 158-171. DOI: 10.1016/j.neulab.2008.09.005

- Indraganti, M. & Rao, K. D. (2010) Effect of age, gender, economic group and tenure on thermal comfort: A field study in residential buildings in hot and dry climate with seasonal variations. *Energy and Buildings*, 42, 273-281. DOI: 10.1016/j.enbuild.2009.09.003
- Karjalainen, S. (2012). Thermal comfort and gender: a literature review. *Indoor Air*, 22, 96-109. DOI: 10.1111/j.1600-0668.2011.00747.x
- Kleiger, R. E., Stein, P. K. & Bigger, J. T. (2005). Heart rate variability: Measurement and clinical utility. *Annals of Noninvasive Electrocardiology*, 10(1), 88-101. DOI: 10.1111/j.1542-474X.2005.10101.x
- Kosonen, R. & Tan, F. (2004). Assessment of productivity loss in air-conditioned buildings using PMV index. *Energy and Buildings*, 36(10), 987-993. DOI: 10.1016/j.enbuild.2004.06.021
- Kraus, U., Schneider, A., Breitner, S., Hampel, R., Ruckerl, R., Pitz, M. et al. (2013). Individual Daytime Noise Exposure during Routine Activities and Heart Rate Variability in Adults: A Repeated Measures Study. *Environmental Health Perspectives*, 121(5), 607-612. DOI: 10.1289/ehp.1205606
- Lan, L., Wargocki, P., Wyon, D. P. & Lian, Z. (2011). Effects of thermal discomfort in an office on perceived air quality, SBS symptoms, physiological responses, and human performance. *Indoor Air*, 21(5), 376-390. DOI: 10.1111/j.1600-0668.2011.00714.x
- Lee, S. Y. & Brand, J. L. (2005). Effects of control over office workspace on perception of the work environment and work outcomes. *Journal of Environmental Psychology*, 25(3), 323-333. DOI: 10.1016/j.jenvp.2005.08.001
- Liu, W., Lian, Z. & Liu, Y. (2008). Heart rate variability at different thermal comfort levels. *European Journal of Applied Physiology*, 103, 361-366. DOI: 10.1007/s00421-008-0718-6

Österreichischer Städtebund & Statistik Austria (2009). Österreichs Städte in Zahlen. Wien.

Heruntergeladen am 20.01.2013 <http://www.statistik.at>

Pellerin, N. & Candas, V. (2003). Combined effects of temperature and noise on human discomfort. *Physiology & Behavior*, 78(1), 99-106. DOI: 10.1016/S0031-9384(02)00956-3

Ren, C., O'Neil, M. S., Park, S. K., Sparrow, D., Vokonas, P. & Schwartz, J. (2011). Ambient Temperature, Air Pollution, and Heart Rate Variability in an Aging Population. *American Journal of Epidemiology*, 173(9), 1013-1021. DOI: 10.1093/aje/kwq477

Reyes del Paso, G. A., Langewitz, W., Mulder, L. J. M., van Roon, A. & Duschek, S. (2013) The utility of low frequency heart rate variability as an index of sympathetic cardiac tone: A review with emphasis on a reanalysis of previous studies. *Psychophysiology*, 50, 477-487. DOI: 10.1111/psyp.12027

Schandry, R. (1989). *Lehrbuch der Psychophysiologie. Körperliche Indikatoren psychischen Geschehens*. München-Weinheim. Psychologie Verlags Union.

Schnell, I., Potchter, O., Epstein, Y., Yaakov, Y., Hermesh, H., Brenner, S. et al. (2013). The effects of exposure to environmental factors on Heart Rate Variability: An ecological perspective. *Environmental Pollution*, 183, 7-13. DOI: 10.1016/j.envpol.2013.02.005

Schulz, P., Jansen, L. J. & Schlotz, W. (2005). Stressreaktivität: Theoretisches Konzept und Messung. *Diagnostika*, 51(3), 124-133. Göttingen: Hogrefe Verlag. DOI: 10.1026/0012-1924.51.3.124

Schwanitz, S., Wittkowski, M., Rolny, V. & Basner, M. (2013). Pressure variations on a train – Where is the threshold to railway passenger discomfort? *Applied Ergonomics*, 44(2); 200-209. DOI: 10.1016/j.apergo.2012.07.003

Steyer, R., Schwenkmezger, P., Notz, P. & Eid, M. (1997). Der mehrdimensionale Befindlichkeitsfragebogen (MDBF). Göttingen: Hogrefe Verlag.

- Stokols, D. (1972). On the distinction between density and crowding: Some implications for future research. *Psychological Review*, 79(3), 275-277.
- Sztajzel, J. (2004). Heart rate variability: a noninvasive electrocardiographic method to measure the autonomic nervous system. *Swiss Medical Weekly*, 134(35-36), 514-522.
- Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing Electrophysiology (1996). Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation*, 93(5), 1043-1065. DOI: 10.1161/01.CIR.93.5.1043
- Trimmel, K. (2011). Sensitivity of HRV parameters including pNNxx proven by short term exposure to 2700 m altitude. *Physiological Measurement*, 32(3), 275-285. DOI: 10.1088/0967-3334/32/3/001
- Trimmel, M. (2008). Environmental Conditions and Psychophysiological Response of Pilots and Flight Attendants in Commercial Long-Haul Flights. *The Ergonomics Open Journal*, 1, 67-78. DOI: 10.2174/1875934300801010067
- Trimmel, M. (2009). *Wissenschaftliches Arbeiten in Psychologie und Medizin*. Wien: Facultas
- Trimmel, M., Fairclough, S. & Henning, R. (2009). Psychophysiology in ergonomics. *Applied Ergonomics*, 40(6), 963-964. DOI: 10.1016/j.apergo.2009.02.003
- Vink, P. & Hallbeck, S. (2012). Editorial: Comfort and discomfort studies demonstrate the need for a new model. *Applied Ergonomics*, 43(2), 271-276. DOI: 10.1016/j.apergo.2011.06.001
- Wener, R. E., Evans, G. W., Phillips, D. & Nadler, N. (2003). Running for the 7:45: The effects of public transit improvements on commuter stress. *Transportation*, 30; 203-220. DOI: 10.1023/A:1022516221808

- Wener, R. E., Evans, G. W.(2011). Comparing stress of car and train commuters.
Transportation Research Part F, 14, 111-116. DOI: 10.1016/j.trf.2010.11.008
- WHO-Five Well-Being Index. Heruntergeladen am 10.05.2013 <http://www.who-5.org>
- Wu, S., Deng, F., Liu, Y., Shima, M., Niu, J., Huang, Q. et al. (2013). Temperature, traffic-related air pollution, and heart rate variability in a panel of healthy adults.
Environmental Research, 120, 82-89. DOI: 10.1016/j.envres.2012.08.008
- Yanagihashi, R., Ohira, M., Kimura, T. & Fujiwara, T. (1997). Physiological and psychological assessment of sound. *International Journal of Biometeorology, 40*, 157-161.
- Yao, Y., Lian, Z., Liu, W., Jiang, C., Liu, Y. & Lu, H. (2009). Heart rate variation and electroencephalograph – the potential physiological factors for thermal comfort study.
Indoor Air, 19, 93-101. DOI: 10.1111/j.1600-0668.2008.00565.x

6. ANHANG

Tab. 1A: Kolmogorov-Smirnov-Test für die subjektive Bewertung der Umgebungsfaktoren

	K-S-Test		K-S-Test		
	Z	Sig.	Z	Sig.	
U_Temperatur	1.292	.071	Temperatur_t2	1.174	.127
U_Geräusch	2.054	.000	Geräusch_t2	1.810	.003
U_Luft	1.930	.001	Luft_t2	1.635	.010
U_Ein/Ausstieg	1.437	.032	Ein/Austreten_t2	1.394	.041
U_Beleuchtung	1.833	.002	Beleuchtung_t2	1.366	0.48
U_Unterhaltungsmöglichkeiten	1.547	.017	Unterhaltungsmöglichkeiten_t2	1.443	.031
U_Körperkontakt	1.460	.028	Körperkontakt_t2	1.393	.041
U_Komfort allg.	1.648	.009	Komfort allg._t2	1.815	.003

Anmerkung: df = Freiheitsgrade, F = Prüfwert der Varianzanalyse, p = Signifikanz

Tab 2A: Ergebnisse der univariaten Tests der MANOVA mit Messwiederholung (Fahrt, nach Fahrt) für die subjektive Bewertung der Umgebungsfaktoren

	Quadratsumme Vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	p	Eta ²
<i>Test der Innersubjekteffekte</i>						
Bedingung	136.621	1	136.621	95.438	.000*	.699
Fehler (Bedingung)	58.692	41	1.432			
Umgebungsfaktoren	97.903	7	13.986	18.945	.000*	.311
Fehler (Umgebungsfaktoren)	217.034	287	.756			
Bedingungen × Umgebungsfaktoren	19.606	7	2.801	5.101	.000*	.111
Fehler (Bedingung × Umgebungsfaktoren)	157.582	287	.549			
<i>Test der Zwischensubjekteffekte</i>						
Konstanter Term	7714.371	1	7714.371	3095.451	.000	.987
Fehler	102.192	41	2.492			

Anmerkung: df = Freiheitsgrade, F = Prüfwert der Varianzanalyse, p = Signifikanz, *P < .05

Tab.3A: Test auf Normalverteilung der HR und der HRV-Parameter (Kolmogorov-Smirnov) für t1, Fahrt und t2

Parameter	Kontrollbedingung 1			Fahrtbedingung			Kontrollbedingung 2		
	Statistik	df	p	Statistik	df	p	Statistik	df	p
HR	.091	42	.200	.100	42	.200	.119	42	.144
SDNN	.125	42	.100	.170	42	.004	.132	42	.062
rMSSD	.162	42	.007	.177	42	.002	.182	42	.008
pNN50	.218	42	.000	.236	42	.000	.188	42	.001
LF	.301	42	.000	.244	42	.000	.230	42	.000
HF	.333	42	.000	.356	42	.000	.285	42	.000
LF/HF	.133	42	.060	.103	42	.200	.064	42	.200

Anmerkungen: M = Mittelwert, SD = Standardabweichung, df = Freiheitsgrade, p = Signifikanz, *p < .05

Tab. 4A: Ergebnisse Mauchly's Sphäritätstests für die HR und die HRV-Parameter der Follow-up ANOVA mit Messwiederholung für die drei Bedingungen

Effekt	Parameter	W	X ²	df	p	Epsilon	
						G – G	H – F
Bedingung	HR	.917	3.445	2	.179	.924	.965
	SDNN	.694	14.595	2	.001*	.766	.790
	rMSSD	.976	.958	2	.620	.977	1.000
	pNN50	.939	2.532	2	.282	.942	.986
	LF	.937	2.612	2	.271	.941	.984
	HF	.750	11.495	2	.003*	.800	.828
	Log LF/HF	.855	6.278	2	.043*	.873	.909

Anmerkung: W = Wert, df = Freiheitsgrade, p = Signifikanz, G – G = Greenhouse-Geisser Korrektur, H – F = Huynh-Feldt Korrektur, *p < .05

Tab. 5A : Test auf Normalverteilung der HR und der HRV-Parameter (Kolmogorov-Smirnov) für Komfort hoch und Komfort niedrig

	<i>Fahrtbedingung</i>			<i>Kontrollbedingung 2</i>			
	Parameter	<i>Statistik</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	<i>Statistik</i>	<i>df</i>	<i>p</i>
Komfort niedrig	HR	.190	20	.056	.175	20	.110
	SDNN	.241	20	.003	.134	20	.200
	rMSSD	.240	20	.004	.241	20	.003
	pNN50	.245	20	.003	.254	20	.002
	LF	.280	20	.000	.224	20	.010
	HF	.389	20	.000	.352	20	.000
	LF/HF	.136	20	.200	.084	20	.200
	<i>Fahrtbedingung</i>			<i>Kontrollbedingung 2</i>			
	Parameter	<i>Statistik</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	<i>Statistik</i>	<i>df</i>	<i>P</i>
Komfort hoch	HR	.097	22	.200	.118	22	.200
	SDNN	.107	22	.200	.185	22	.048
	rMSSD	.164	22	.129	.158	22	.163
	pNN50	.250	22	.001	.199	22	.023
	LF	.161	22	.145	.246	22	.001
	HF	.250	22	.001	.206	22	.016
	LF/HF	.074	22	.200	.106	22	.200

Tab. 6A: Häufigkeitsangaben bezüglich der U-Bahn-Fahrt in der Fahrtbedingung

	Absolute Häufigkeit	Relative Häufigkeit (%)
Verwendete U-Bahn		
U1	8	19.0
U2	10	23.8
U3	9	21.4
U4	7	16.7
U6	8	19.0
Art der U-Bahn		
Niederflur mit Öffnungsknopf	23	54.8
Garnitur mit Öffnungshebel	19	45.2
Häufigkeit der U-Bahn-Nutzung		
<als 1 mal im Jahr	1	2.4
1-2 mal im Jahr	8	19.0
mehrmals im Jahr	7	16.7
mehrmals im Monat	4	9.5
1-2 mal in der Woche	3	7.1
mehrmals wöchentlich	10	23.8
(fast) täglich	9	21.4
Vorwiegende Zeit der Nutzung		
Nebenverkehrszeit	18	42.9
Nacht (zwischen 22 und 5 Uhr)	1	2.4
Hauptverkehrszeit	23	54.8
Transportsituation während der aktuellen Fahrt		
sitzend	34	81.0
stehend ohne Gedränge	7	16.7
stehend mit Gedränge	1	2.4
Empfinden des persönlichen Raums während der aktuellen Fahrt		
(fast) uneingeschränkt	21	50.0
etwas eingeschränkt	16	38.1
ziemlich eingeschränkt	5	11.9
sehr eingeschränkt	0	0
extrem eingeschränkt	0	0
Belegung des Wagens		
viele freie Sitzplätze	4	9.5
wenig freie Sitzplätze	22	52.4
nur viel Platz zum Stehen	10	23.8
nur wenig Platz zum Stehen	5	11.9
nur sehr gedrängtes Stehen möglich	1	2.4
Verschmutzung des U-Bahn-Wagens		
überhaupt nicht	14	9.5
etwas	19	64.3
mittel	7	16.7
ziemlich stark	2	7.1
sehr stark	1	2.4
Angst in der U-Bahn (Diebstahl, Sicherheit etc.)		
überhaupt nicht	14	33.3
etwas	19	45.2
mittel	7	16.7

ziemlich stark	2	4.8
sehr stark	0	0
Häufigkeit der Übelkeit während der Fahrt		
nie	32	76.2
sehr selten	7	16.7
manchmal	3	7.1
öfters	0	0
oft	0	0
Empfinden der Fahrt als stressig		
stimme überhaupt nicht zu	16	38.1
stimme nicht zu	16	38.1
weder noch	6	14.3
stimme zu	4	9.5
stimme stark zu	0	0
Empfinden der Fahrt als mühsam		
stimme überhaupt nicht zu	15	35.7
stimme nicht zu	15	35.7
weder noch	8	19
stimme zu	2	4.8
stimme stark zu	2	4.8

Tab. 7A: Zeitprotokoll der Erhebungen zu t1, Fahrt, t2 für alle Versuchspersonen

Nr.	Vpn-Code	U-Linie	Datum	t1 Beginn-Ende	Fahrt Beginn-Ende	t2 Beginn-Ende	TOM- Nr.	Außen- temp.
38	AHU90WI	U3	02.10. 2013	15.38.00 - 15.43.00	16.14 - 16.19 Sitzend	16.50 - 16.55	202	~10°C
5	ANA89KR	U2	19.06. 2013	14.09.00 - 14.14.00	14.32 - 14.37 Sitzend	14.56 - 15.01	13	~30°C
30	ANE90SA	U6	12.09. 2013	14.52.00 - 14.57.00	15.14 - 15.19 Sitzend	15.37 - 15.42	17	~17°C
9	BLE89KR	U2	11.07. 2013	14.21.00 - 14.26.00	14.42 - 14.47 Sitzend	15.18 - 15.23	17	~21°C
42	BNI83WI	U6	10.10. 2013	10.43.00 - 10.48.00	11.10 - 11.15 Stehend	11.20 - 11.25	17	~13°C
36	CGR89SA	U1	22.09. 2013	15.40.00 - 15.45.00	16.14 - 16.19 Sitzend	16.40 - 16.45	13	~17°C
17	CHO90KR	U4	22.07. 2013	13.00 .00- 13.05.00	13.28 - 13.33 Sitzend	13.48 - 13-53	202	~29°C
40	CHO91LI	U3	02.10. 2013	15.38.00 - 15.43.00	16.14 - 16.19 Stehend	16.50 - 16.55	13	~10°C
33	CWI90SA	U3	17.09. 2013	17.09.00 - 17.14.00	17.49 -17.54 Sitzend	18.29 - 18.34	17	~11°C
14	CZE87SA	U6	18.07. 2013	15.26.00 - 15.31.00	15.55 - 16.00 Sitzend	16.06 - 16.11	13	~28°C
39	DGI87IN	U3	02.10. 2013	15.38.00 - 15.43.00	16.14 - 16.19 Stehend	16.51 - 16.56	17	~10°C
21	DHA84WA	U4	25.07. 2013	11.32.00 - 11.37.00	11.49 - 11.54 Sitzend	12.00 - 12.05	13	~30°C
31	ESC90KR	U6	12.09. 2013	14.52.00 - 14.57.00	15.14 - 15.19 Stehend	15.37 - 15.42	202	~17°C
16	HCH63GM	U6	18.07. 2013	15.26.00 - 15.31.00	15.55 - 16.00 Sitzend	16.06 - 16.11	17	~26°C
25	HDE60KR	U1	01.08.	14.41.00 - 14.46.00	15.21 - 15.26 Sitzend	15.45 - 15.50	17	~27°C

			2013					
4	HGI89WI	U3	18.06. 2013	14.10.00 - 14.15.00	14.39 - 14.44 Sitzend	16.08 - 16.13	202	~30°C
29	JFU89ZW	U6	11.09. 2013	12.03.00 - 12.08.00	12.41 - 12.46 Stehend	14.24 - 14.29	202	~18°C
15	JST93KR	U6	18.07. 2013	15.26.00 - 15.31.00	15.55 - 16.00 Sitzend	16.06 - 16.11	202	~28°C
10	JWI92KR	U1	12.07. 2013	13.25.00 - 13.30.00	13.53 - 13.58 Sitzend	14.24 - 14.29	202	~22°C
35	KMA89KR	U1	22.09. 2013	15.40.00 - 15.45.00	16.14 - 16.19 Sitzend	16.39 - 16.44	202	~17°C
37	LKR89WI	U3	02.10. 2013	12.47.00 - 12.52.00	13.13 - 13.18 Stehend	13.35 - 13.40	202	~12°C
34	MAN89KR	U3	17.09. 2013	17.09.00 - 17.14.00	17.49 - 17.54 Sitzend	18.29 - 18.34	202	~11°C
23	MBR66SA	U1	01.08. 2013	14.40.00 - 14.45.00	15.21 - 15.26 Sitzend	15.46 - 15.51	202	~27°C
3	MJE86KL	U4	13.06. 2013	13.51.00 - 13.56.00	14.18 - 14.23 Stehend	14.56 - 15.01	13	~24°C
2	MKU90KR	U4	13.06. 2013	13.51.00 - 13.56.00	14.17 - 14.22 Sitzend	14.56 - 15.01	202	~24°C
13	MSK91KR	U2	16.07. 2013	20.26.00 - 20.31.00	20.53 - 20.58 Sitzend	21.05 - 21.10	202	~20°C
12	MWI90KR	U1	12.07. 2013	13.25.00 - 13.30.00	13.53 - 13.58 Sitzend	14.24 - 14.29	17	~22°C
27	MWI93KR	U2	16.08. 2013	19.47.00 - 19.52.00	20.12- 20.17 Sitzend	21.00 - 21.05	202	~20°C
22	MZE91WI	U3	30.07. 2013	18.01.00 - 18.06.00	18.35 - 18.40 Sitzend	18.52 - 18.57	17	~21°C
28	NHO88KR	U4	04.09. 2013	17.12.00 - 17.17.00	17.43 - 17.48 Stehend	18.23 - 18.28	13	~18°C
11	PWA88KR	U1	12.07. 2013	13.25.00 - 13.30.00	13.53 - 13.58 Sitzend	14.24 - 14.29	13	~22°C

19	RST87WI	U4	25.07. 2013	11.32.00 - 11.37.00	11.49 - 11.54 Sitzend	12.00 - 12.05	17	~30°C
24	SBR63SA	U1	01.08. 2013	14.40.00 - 14.45.00	15.21 - 15.26 Sitzend	15.46 - 15.51	13	~27°C
20	SDE84WA	U4	25.07. 2013	11.32.00 - 11.37.00	11.49 - 11.54 Sitzend	12.00 - 12.05	202	~30°C
18	SFR87KR	U2	22.07. 2013	18.55.00 - 19.00.00	19.27 - 19.32 Sitzend	19.39 - 19.44	13	~20°C
26	SGR93KR	U2	16.08. 2013	19.47.00 - 19.52.00	20.12- 20.17 Sitzend	21.00 - 21.05	17	~20°C
7	SRE90LI	U6	26.06. 2013	10.08.00 -10.13.00	10.25 - 10.30 Sitzend	10.47 - 10.52	13	~15°C
1	SZE90KR	U2	11.06. 2013	13.17.00 - 13.22.00	13.42 - 13.47 Sitzend	14.13 - 14.18	17	~17°C
41	SZE90SA	U3	09.10. 2013	19.11.00 - 19.16.00	19.55 - 20.00 Sitzend	20.13 - 20.18	17	~12°C
8	TVC90KL	U2	26.06. 2013	14.51.00 - 14.56.00	15.16 - 15.21 Sitzend	15.43 - 15.48	17	~15°C
32	VKL93KR	U2	16.09. 2013	18.08.00 - 18.13.00	18.32 - 18.37 Sitzend	18.44 - 18.49	13	~16°C
6	WBA89VO	U2	19.06. 2013	14.09.00 - 14.14.00	14.32 - 14.37 Sitzend	14.55 - 15.00	202	~30°C

Anmerkung: Außentemperatur erhoben durch www.wetter.com

LEBENS LAUF

Persönliche Daten

Name: Sandra Eder

Geburtsdatum: 30.08.1990

Geburtsort: Krems an der Donau

Staatsbürgerschaft: Österreich

Ausbildung

1996 - 2000 Volksschule Mautern an der Donau

2000 - 2004 Sport- und Europahauptschule Mautern an der Donau

2004 - 2008 Privates Oberstufenrealgymnasium Englische Fräulein Krems (Schwerpunkt Musik und Instrumentalunterricht)

seit 2008 Diplomstudium Psychologie an der Universität Wien

Praktika im Bereich der Psychologie

Juli-September 2012 Universitätsklinik für Kinder- und Jugendpsychiatrie AKH Wien

Außeruniversitäre Berufserfahrung

2006 Ferialpraktikum als Assistenz im Sekretariat Kraftwerk Theiß

2008 Praktikum im Kindergarten Stein an der Donau

2007-2010 Tätigkeit als Instrumentallehrerin für Kinder und Jugendliche (Gitarre und Querflöte)

2009 Ferialpraktikum als Zusteller bei der Österreichischen Post AG

2010 geringfügige Anstellung als Kassakraft, sowie Gastronomiemitarbeiterin im Cineplexx Donauplex

2011-2013 geringfügige Anstellung als Cateringmitarbeiterin bei der Firma Gourmet Group

Sprachen

Englisch: sehr gute Kenntnisse in Wort und Schrift

Französisch: Kenntnisse auf Maturaniveau