

Diplomarbeit

Versuch einer Quantifizierung des internen Schienenbonus anhand humanphysiologischer Einflussfaktoren

oder

Der Fahrgastkomfort in öffentlichen Bussen und Straßenbahnen Wiens

TU Wien

Institut für Verkehrswissenschaften, Forschungsbereich für Verkehrsplanung und
Verkehrstechnik

Betreuung durch Ao.Univ.Prof. Mag. Dr. Günter Emberger

Pia Toth, BA

0840630

067.431 Individuelles Masterstudium Verkehrsplanung

Zusammenfassung:

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der existierenden Hypothese des internen Schienenbonus. Diese besagt, dass schienengebundene Fahrzeuge einen höheren Fahrgastkomfort bieten, als Busse des öffentlichen Verkehrs.

Die Bestärkung beziehungsweise Abschwächung dieser Hypothese erfolgte mittels Messung der Faktoren Licht, Lärm, Temperatur und Beschleunigung in öffentlichen Bussen und Straßenbahnen in Wien, die Einfluss auf die Sinneswahrnehmung des mobilen Menschen haben können. Diese Messfaktoren wurden in einem weiteren Schritt mittels einer Befragung von Fahrgästen gewichtet. Die zentrale Forschungsfrage dabei lautete:

Lässt sich die Hypothese des internen Schienenbonus durch Messungen von Faktoren, die Einfluss auf die Humanphysiologie haben, bekräftigen?

Wesentliche Ergebnisse:

Eindeutige Aussagen konnten nur für einen der Faktoren getroffen werden. Die Lichtverhältnisse hatten laut Befragung in keinem der untersuchten Verkehrsmittel einen wesentlichen Einfluss auf den Fahrgastkomfort. Sowohl die objektiven Lärmmesswerte, als auch die entsprechenden Ergebnisse der Befragung einzeln ließen keinen deutlichen Favoriten unter den Verkehrsmitteln erkennen. Aggregiert lässt sich jedoch ein schwacher Vorzug für den Bus ableiten. Durch Messung der Temperaturverhältnisse wurde der interne Schienenbonus bekräftigt, während sich die befragten Fahrgäste besonders im Winter in Bussen wohler fühlten als in Straßenbahnen. Das deutlichste Ergebnis liefert der Faktor Beschleunigung: Sowohl anhand der objektiven Messungen, als auch durch die subjektiven Meinungen der Fahrgäste bekräftigt er die Existenz eines Schienenbonus.

Abstract:

This thesis addresses to the existing hypothesis of the tram bonus, which claims that rail-bound vehicles provide a higher level of comfort for passengers than public busses.

In order to prove or disprove the hypothesis the factors light, noise, temperature and acceleration were measured, all of which may have an impact on a passenger's perception of comfort in public busses or trams in Vienna (Austria). In the next step these factors were being weighted based on a survey of passengers. The basic research question is:

Is it possible to confirm the hypothesis of the tram bonus by measuring factors that have an impact on a human's perception?

Essential outcomes:

Clear statements can only be made for one of the factors. According to the survey in none of the examined transport modes, the lighting has shown an essential impact on passengers' comfort. Neither the measured noise-data nor the respective outcome of the survey favor one transport mode obviously. Aggregated, however, a weak preference for the bus can be derived. By measuring the temperature the tram bonus can be confirmed, while the pollees preferred busses over trams, especially in winter. The factor acceleration produces the most distinct outcome: By means of the objective measurement, as well as of the subjective survey of the passengers the existence of a tram bonus can be proven.

0. Inhalt

1. Einleitung.....	7
1.1. Der Schienenbonus im rechtlichen Sinn	7
1.2. Der „interne Schienenbonus“	8
2. Methoden	11
3. Literaturstudie.....	13
3.1. Fallstudien	13
3.2. Studien über die Sichtweise von Fahrgästen über das Verkehrsmittel.....	14
3.3. Modellbasierte Vorgehensweisen	15
4. Humanphysiologische Merkmale [...].	17
4.1. Leistungsgrenzen der Sinnesorgane	18
4.1.1. <i>Wahrnehmung von Licht über das Auge:</i>	20
4.1.2. <i>Wahrnehmung von Lärm über die Ohren:</i>	23
4.1.3. <i>Wahrnehmung von Temperatur über die Haut:</i>	25
4.1.4. <i>Wahrnehmung von Beschleunigung [...]:</i>	27
4.1.5. <i>Verarbeitung im Gehirn:</i>	30
4.2. Zusammenfassung.....	31
5. Messungen & Datenaufbereitung	33
5.1. Messgeräte.....	35
5.1.1. <i>Licht, Temperatur, Beschleunigung:</i>	35
5.1.2. <i>Lärm:</i>	36
5.1.3. <i>Messnormierung:</i>	36
5.2. Messprotokoll	38
5.3. Messablauf	39
5.4. Datenaufbereitung	40
5.4.1. <i>Licht/Temperatur & Lärm:</i>	40
5.4.2. <i>Beschleunigung:</i>	41
5.4.3. <i>Zusammenfassung der Datenaufbereitung:</i>	42
6. Datenauswertung zum Vergleich von Bus und Straßenbahn	44
6.1. Darstellung der Messwerte mittels Histogrammen	44
6.1.1. <i>Licht:</i>	46
6.1.2. <i>Lärm:</i>	47
6.1.3. <i>Temperatur:</i>	48
6.1.4. <i>Beschleunigung:</i>	50
6.2. Vergleich der Verkehrsmittel mittels statistischer Indikatoren	53
6.2.1. Exkurs – Vergleich der Mittelwerte:	57
6.3. Überschreitungen des humanphysiologischen Komfortbereichs	58
6.3.1. <i>Spitzen:</i>	59
6.3.2. <i>Betrachtung der einzelnen Messfahrten:</i>	60
6.4. Zusammenfassung.....	67
6.5. Exkurs – Messdauer.....	69
7. Exkurs – Vergleich unter den Straßenbahnen	72
7.1. Darstellung der Messwerte mittels Histogrammen	72

7.1.1.	<i>Licht:</i>	72
7.1.2.	<i>Lärm:</i>	73
7.1.3.	<i>Temperatur:</i>	74
7.1.4.	<i>Beschleunigung:</i>	75
7.2.	Vergleich der Straßenbahnen mittels statistischer Indikatoren	77
7.3.	Überschreitungen des humanphysiologischen Komfortbereichs	80
7.3.1.	<i>Spitzen:</i>	80
7.3.2.	<i>Dauerbelastung:</i>	82
7.4.	Zusammenfassung	83
8.	Fahrgastbefragung	85
8.1.	Ablauf der Befragung	86
8.2.	Auswertung der Befragung	87
8.3.	Ergebnisse der Befragung	87
8.3.1.	<i>Licht:</i>	88
8.3.2.	<i>Lärm:</i>	90
8.3.3.	<i>Temperatur:</i>	92
8.3.4.	<i>Beschleunigung:</i>	95
8.4.	Zusammenfassung	97
9.	Conclusio	99
9.1.	Zusammenfassung aller Analysen	99
9.2.	Kommentare zu den aufgestellten Hypothesen	103
9.3.	Fazit	104
9.4.	Forschungsausblick	105
10.	Quellen	107
10.1.	Literatur	107
10.2.	Abbildungen	109
10.3.	Tabellen	111
11.	Anhang	113
11.1.	Messprotokoll	113
11.2.	Fragebogen	113

1. Einleitung

Die Aufgabenstellung der vorliegenden Arbeit war es eine neue, möglichst objektive Methode zu finden um die Hypothese des internen Schienenbonus zu bekräftigen beziehungsweise abzuschwächen zu können. Der Begriff des Schienenbonus wird im Folgenden ausführlich erläutert. Im Sinne der Objektivität wurde als Methode ein normiertes Messverfahren aussagekräftiger Indikatoren gewählt. Vorgegeben war des Weiteren, dass der Einfluss öffentlicher Verkehrsmittel auf den menschlichen Körper untersucht werden sollte. Bislang wurde das Thema lediglich anhand psychologischer Herangehensweisen untersucht, nicht jedoch physiologisch.

Der Begriff „Schienenbonus“ hat in der Verkehrsplanung verschiedene Bedeutungen. Es handelt sich einerseits um einen rechtlichen Begriff, der im Zusammenhang mit der Beurteilung von Lärm steht und andererseits um den Fahrkomfort, der in schienengebundenen Fahrzeugen anders bewertet wird, als in straßengebundenen. Auch wenn sich diese Arbeit mit der zweiten Bedeutung beschäftigt, soll die erste zur Klärung ebenfalls kurz umrissen werden (siehe Kapitel 1.1). Im Verlauf von Kapitel 1.2 werden zwei Hypothesen aufgestellt, die im besten Fall mit Hilfe der vorliegenden Arbeit bekräftigt werden können.

1.1. Der Schienenbonus im rechtlichen Sinn

Rechtlich betrachtet bezieht sich der Begriff Schienenbonus auf den unterschiedlich wahrgenommenen Lärm, den Straßen- im Vergleich zu Schienenfahrzeugen verursachen. Bei gleichem Dauerschallpegel (siehe Kapitel 4.1.2) von Schienen- und Straßenfahrzeugen werden Schienenfahrzeuge als weniger belästigend wahrgenommen. Ist der Straßenverkehrslärm um 5 dB leiser als der Lärm von Schienenfahrzeugen, werden sie als gleich störend empfunden. Der Schienenbonus ist also ein gesetzlich festgelegter Pegelabschlag um 5 dB, der bei der Berechnung des Dauerschallpegels von Schienenfahrzeugen berücksichtigt wird. (Bukovnik, 2011a)

In der Praxis wird der Schienenbonus jedoch kritisiert und existiert in dieser Form nur in Österreich, der Schweiz und Deutschland, sowie in Frankreich mit 3 dB. Studien zeigen, dass der subjektive Bonus ab einem energieäquivalenten Dauerschallpegel von 70 dB abnimmt. Auch mit der Anzahl der Zugvorbeifahrten verliert der Bonus. (Macoun, 2009)

1.2. Der „interne Schienenbonus“

Eine andere Herangehensweise zum Thema Schienenbonus bezeichnet den unterschiedlich wahrgenommenen Fahrgastkomfort in schienenengebundenen Fahrzeugen des öffentlichen Verkehrs im Vergleich zu Linienbussen. Neutral betrachtet sollte also vom Fahrgastkomfort die Rede sein, da der Begriff Schienenbonus bereits einen Vorteil für die Schiene suggeriert. Da allerdings schon Studien zu dem Thema durchgeführt wurden, die häufig schienengebundene Fahrzeuge als komfortabler einstufen, beschäftigt sich diese Arbeit mit der Bekräftigung oder Abschwächung der folgenden Hypothese:

Hypothese A - Schienengebundene Fahrzeuge werden von Fahrgästen als komfortabler wahrgenommen als Straßenfahrzeuge des öffentlichen Verkehrs. Kurz: Es existiert ein interner Schienenbonus.

Der Schienenbonus, im eben dargestellten Sinn des Fahrkomforts, wird in der Literatur auch häufig als Trambonus bezeichnet – in dieser Arbeit zur eindeutigen Unterscheidung vom rechtlichen Begriff als *interner Schienenbonus*.

Aus mehreren realen Fällen zeigt sich, dass die Fahrgastzahlen beim Ersatz einer Buslinie durch eine Straßenbahnlinie steigen – und umgekehrt. (Kasch, 2002) Die Gründe dafür sind unklar. Einen wesentlichen Einfluss scheint die Verbesserung der Gesamtsituation (Haltestellenausstattung, etc.) zu haben. Das erklärt jedoch nicht einen Abfall der Fahrgastzahlen beim Umbau von der Schiene auf die Straße. In mehreren Umfragen, teilweise in Kombination mit Modellen, wurde versucht, diese Gründe von Fahrgästen zu erfragen. Als subjektiv angenommene Faktoren, die immer wieder

auftauchen, gelten Fahrgastkomfort, Atmosphäre oder Fahrgefühl. Diese werden in der Literatur, unter anderem, folgendermaßen beschrieben:

- *„Das Fahrgefühl unterscheidet sich durch die Spurführung, den elektrischen Antrieb und die damit verbundene sanftere Fahrweise [...] deutlich von dem des Busses. [...] Allerdings ist es schwierig, dieses Thema objektiv zu beleuchten, da das Erleben von öffentlichem Raum und damit auch von öffentlichem Verkehr in hohem Grade subjektiv ist und eine Vielzahl von objektiven und subjektiven Faktoren eine Rolle spielen.“ - (Bouchain, 2008)*
- *“Table 2: Perception variables and measured aspects*

Perception variables	Measured [...] characteristics
<i>Curves</i>	<i>Gently through the corners</i>
<i>[...]</i>	
<i>Atmosphere (in the vehicle)</i>	<i>Pleasant atmosphere in the vehicle Possibility to read/work in the vehicle Driving noise low in the vehicle [...]</i>
<i>Comfort</i>	<i>Stop nearby Easy boarding Large chance of a seat in the vehicle Good seat in the vehicle</i>
<i>[...]“</i>	

Tabelle 1: Beispiel einer Beschreibung von Atmosphäre und Fahrgastkomfort in der Literatur; Quelle: (Bunschoten, 2013).

Fahrgastkomfort und Fahrgefühl wurden bisher aus der subjektiven Meinung von NutzerInnen abgeleitet. Einige dieser Faktoren gehen jedoch auf objektiv erfassbare Gründe, wie Lärm oder Schwingungen zurück. Diese Faktoren werden von Fahrgästen unbewusst wahrgenommen und bewertet. Es entsteht ein Gefühl das dem Fahrgast sagt *Ich fühle mich wohl – ich mag das Fahrzeug.* – oder das Gegenteil.

Diese unbewusst erlebten Einflüsse gehen zurück auf die physiologische Sinneswahrnehmung des Menschen. Wie ein Mensch eine bestimmte Einwirkung genau wahrnimmt lässt sich zwar nicht messen – Intensität und Dauer sind jedoch quantifizierbar. So lassen sich Licht, Lärm, Temperatur und Beschleunigung mit Messgeräten erfassen und vergleichen. Außerdem gibt es für einige Faktoren

Erfahrungswerte bezüglich ihrer psychologischen Wahrnehmung des Menschen, wodurch sich teilweise festmachen lässt wie sehr sich Personen in der Regel von Einflüssen gestört fühlen. Daraus kann das zu erwartende Wohlbefinden von Fahrgästen abgeleitet werden. In der vorliegenden Arbeit wurde dies beispielhaft anhand der öffentlichen Verkehrsmittel Straßenbahn und Linienbus in Wien untersucht.

Diese Arbeit befasst sich im ersten Schritt mit der Untersuchung der vorhandenen Literatur zum Thema interner Schienenbonus.

Der zweite große Teil befasst sich mit der Sinnesphysiologie des Menschen - was die menschlichen Sinne im Allgemeinen zu leisten vermögen und wie Reize unter wechselnden Bedingungen unterschiedlich wahrgenommen werden. Im Fokus stehen dabei die Sinnesorgane Auge, Ohr und Haut.

Der Hauptteil befasst sich mit der Messung von Reizen, die während der Fahrt in den öffentlichen Verkehrsmitteln auf den Fahrgast einwirken. Diese sind Licht(schwankungen), Lärm, Temperatur(schwankungen) und Beschleunigung in Form von Schwingungen oder Vibration. Ziel der Messungen ist es zu ermitteln, ob zwischen den Verkehrsmitteln, in Bezug auf die oben genannten Faktoren, Unterschiede erkennbar sind. Die zweite wesentliche Hypothese dieser Arbeit lautet daher:

Hypothese B - Die objektive Messung von Faktoren, die Einfluss auf die menschliche Sinnesphysiologie haben, bekräftigt die Existenz des internen Schienenbonus.

Anhand psychologischer Erfahrungswerte werden Wohlfühlbereiche des Menschen bezüglich äußerer Einflussfaktoren definiert, um eruieren zu können in welchem Verkehrsmittel diese häufiger überschritten werden.

Im letzten Teil werden mittels einer Fahrgastbefragung die zuvor objektiv gemessenen Werte nach subjektiven Kriterien gewichtet.

Als Ergebnis soll eine Aussage darüber getroffen werden, ob die Messung der oben genannten Faktoren, die einen Einfluss auf den humanphysiologischen Komfortbereich haben können, gemeinsam mit deren Gewichtung durch die Befragung, die Theorie des internen Schienenbonus bekräftigen oder abschwächen.

2. Methoden

Der Schienenbonus kann zum aktuellen Zeitpunkt grundsätzlich auf vier Arten untersucht werden:

- durch (z.B. Vorher-Nachher) Untersuchungen realer Beispiele, in denen Buslinien durch Straßenbahnlinien ersetzt wurden, oder umgekehrt
- durch Modellierung
- durch Befragungen von NutzerInnen über deren Vorlieben
- durch Messungen

Vorher-Nachher Untersuchungen sind sehr zeitaufwändig, Modelle fehleranfällig und Befragungen lieferten in der Vergangenheit häufig keine eindeutigen Ergebnisse. So soll sich diese Studie auf die Quantifizierung mittels Messungen fokussieren um ein möglichst objektives Ergebnis zu gewährleisten.

Die erste Methode, die in dieser Arbeit angewandt wurde, war eine Literaturstudie, im Sinne einer Sekundäranalyse, der bereits vorhandenen Arbeiten zum Thema Schienenbonus. Die vorhandene Literatur wurde je nach der angewandten Methode exzerpiert (siehe Kapitel 3).

Der Hauptteil dieser Arbeit befasst sich mit der Messung von Licht, Lärm, Temperatur und Beschleunigung in verschiedenen Bus- und Straßenbahnlinien in Wien. Sowohl für die Messungen, als auch für die Auswertung der erfassten Daten wurden neue, spezifische Methoden entwickelt. Diese werden im entsprechenden Kapitel (siehe Kapitel 5) genauer behandelt. Abb. 1 gibt einen schemenhaften Ausblick auf die verwendeten Messgeräte, die im Hauptteil der Arbeit zum Einsatz kamen (siehe Kapitel 5.1).

Die Aufbereitung der Daten, die mittels dieser Messgeräte aufgenommen wurden, erfolgte mittels Microsoft Excel (<http://office.microsoft.com/de-at/excel/>) (siehe Kapitel 5.4). Die statistische Auswertung der Daten wurde mit Hilfe des Statistikprogramms IBM SPSS Statistics (<http://www-01.ibm.com/software/at/analytics/spss/>) vorgenommen (siehe Kapitel 6).

Im letzten Teil der Arbeit wurde die empirische Methode der Befragung angewandt. Da die Messergebnisse keine Auskunft darüber geben welche Parameter den

Fahrgastkomfort subjektiv am stärksten beeinflussen, wurde vor der endgültigen Interpretation der Ergebnisse eine Umfrage, mit Schwerpunkt auf quantitative Fragestellungen, durchgeführt. Einige Fragen wurden jedoch, zur Gewinnung neuer Aspekte, offen gestellt und sind somit qualitativ. Die Fragestellungen bezogen sich auf die Bewertung und Gewichtung der zuvor objektiv gemessenen Größen (z.B. *Stört Beschleunigen mehr als Lärm?*). Die Umfrage wurde online mittels des Umfrageprogramms surveymonkey (<https://de.surveymonkey.com/>) durchgeführt (siehe Kapitel 8).

Im letzten Schritt wurden die Ergebnisse der Messungen und der Befragung zusammengeführt und interpretiert (siehe Kapitel 9).

Im Ergebnis soll sich zeigen, ob es bei den unterschiedlichen Parametern objektiv einen Schienenbonus gibt (z.B. *In der Straßenbahn ist es leiser als im Bus.*) und falls ja, ob dieser von den Fahrgästen auch wertgeschätzt wird (z.B. *x % der Befragten finden den Lärm im Bus störender als in der Straßenbahn.*)

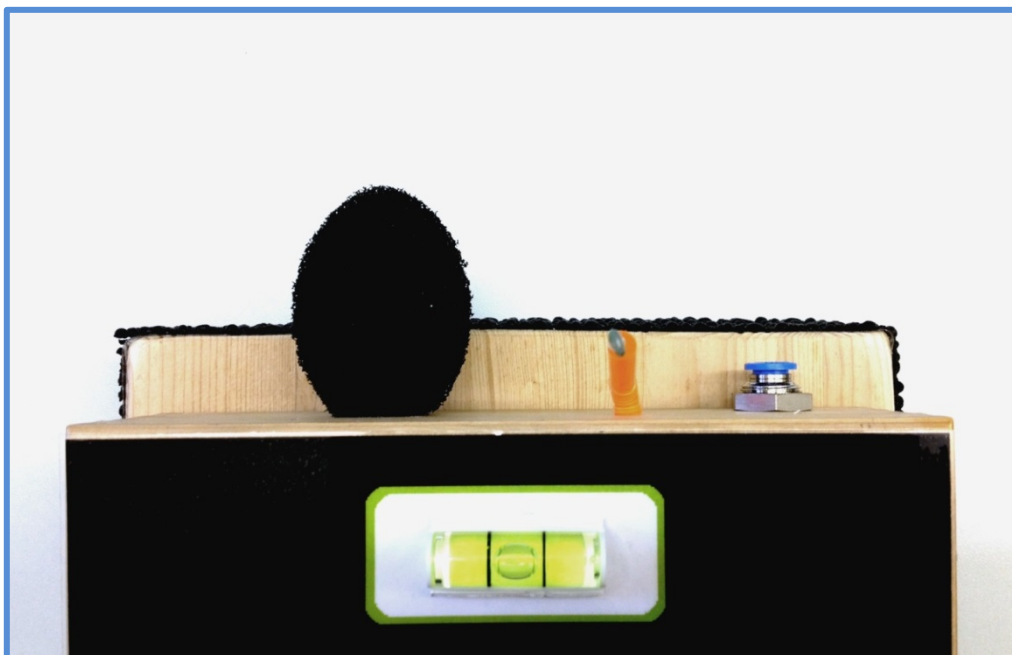


Abb. 1: Data Logger; Quelle: eigene Darstellung.

3. Literaturstudie

Das folgende Kapitel beschäftigt sich mit Literatur, beziehungsweise Studien, die sich bereits mit dem Thema des internen Schienenbonus auseinandergesetzt haben. Dieses Thema wurde schon aus unterschiedlichen Perspektiven und mit verschiedenen eingesetzten Methoden untersucht.

Die vorhandene Literatur lässt sich folgendermaßen gliedern (Bunschoten, 2012):

- Fallstudien (Studien über Einzelfälle)
- Metastudien (die aggregierte Analyse mehrerer bereits durchgeführter Studien)
- Studien über die Sichtweise von Fahrgästen über das Verkehrsmittel
- modellbasierte Vorgehensweisen

3.1. Fallstudien

- Im Artikel „Schienenbonus: Es bleiben Fragen“ von 2002 wurde anhand mehrerer realer Fälle überprüft, wie sich die Fahrgastzahlen bei einem Systemwechsel von Bus auf Schiene ändern. Die wesentliche Erkenntnis lautet, dass mit solch einem Umbau immer eine Veränderung vieler Systemkomponenten einhergeht, wie etwa die Einrichtung eines eigenständigen Gleiskörpers, hochwertig ausgestattete Haltestellen, dynamische Fahrgastinformation und mehr Platz in den Fahrzeugen. In den Vorher-Nachher-Untersuchungen wurden Angebotsstruktur, Pünktlichkeit, Fahrpreis, Ausstattung der Haltestellen, Fahrgastinformation und Fahrgastkomfort (in Form der Sitzplatzwahrscheinlichkeit) betrachtet. Bei den betrachteten Fällen betrug die Fahrgastzunahme im Durchschnitt 83 %, wobei fast immer auch die besagten Rahmenbedingungen wesentlich verbessert wurden. (Kasch, 2002)

Das Fazit aus den meisten Fallstudien lautet, dass die Fahrgastzahlen, beim Ersatz einer Buslinie durch eine Straßenbahn steigen.

3.2. Studien über die Sichtweise von Fahrgästen über das Verkehrsmittel

Studien, die die subjektive Einstellung von Fahrgästen erfassen wollen gehen zumeist mittels Befragungen vor. Passagiere werden direkt befragt, welches Verkehrsmittel ihnen mehr zusagt und warum.

- Bouchain spricht in seiner Dissertation von 2008 zum Thema Stadtbahn den Unterschied zwischen Straßenbahn und Bus in einem Absatz an: *„Das Fahrgefühl unterscheidet sich durch die Spurführung, den elektrischen Antrieb und die damit verbundene sanftere Fahrweise sowie durch die offener wirkende Gestaltung des Innenraums deutlich von dem des Busses. Dies bietet mehr Möglichkeiten, die Fahrt zu nutzen und differenzierter auf die Umgebung einzugehen. Allerdings ist es schwierig, dieses Thema objektiv zu beleuchten, da das Erleben von öffentlichem Raum und damit auch von öffentlichem Verkehr in hohem Grade subjektiv ist und eine Vielzahl von objektiven und subjektiven Faktoren eine Rolle spielen. Eugster et al. (1995: 18f) bezeichnen diese Faktoren der Wahrnehmung des öffentlichen Verkehrs von innen als „Fahrerlebnis“ und stellen eine Liste von objektiven und subjektiven Einflüssen zusammen. Objektive Faktoren sind demnach u. a. Tageszeit, Wochentag, Witterung, Fahrzeuglärm, Passagierlärm, Gedränge, Verspätungen, die Dauer des Aufenthalts im Tram, die gefahrene Strecke sowie der Zweck der Fahrt.“* - (Bouchain, 2008)
- Eine Befragung wurde 2013 an der TU Delft durchgeführt. Untersucht wurden dabei Kurvenfahrt, direkte Verbindungen (inkl. kein Stau, keine Verspätungen,...), Zuverlässigkeit, Gewissheit (dass die Linie in Betrieb bleibt), Komfort im Fahrzeug (freie Sitzplätze,...), Atmosphäre im Fahrzeug (Lärm,...), Sicherheit, Erkennbarkeit der Route und der Stationen, Informationsgrad, Umweltverträglichkeit, Lärm (außerhalb des Fahrzeugs) sowie Abgase. Die Auswertung ergab eine Präferenz für die Straßenbahn bezüglich aller Indikatoren. Des Weiteren wurde nachgewiesen, dass ein gewisser Gewohnheitseffekt bei der Wahl zwischen Bus und Straßenbahn eine Rolle spielt. Personen, die oft öffentliche Verkehrsmittel benutzen, bevorzugen die Straßenbahn. Personen die oft die Straßenbahn benutzen, bevorzugen diese auch. Personen, die oft den Bus benutzen, beispielsweise weil es in ihrer Heimatstadt keine Straßenbahn gibt, entscheiden sich auch in anderen Städten eher für den Bus. (Bunschoten, 2013)

- Ein ähnlicher Ansatz mit ähnlichem Ergebnis wurde bereits in „Quantifizierung des Schienenbonus“ 2003 verfolgt. Ein zusätzliches relevantes Ergebnis hierbei lautete, dass AutofahrerInnen eher zur Bahn als zum Bus wechseln würden. (Schulz, 2003)
- In der Befragung von Scherer 2011 wurden die folgenden Aspekte betrachtet: Relevanz, Wert, Einfachheit der Benutzung, Zuverlässigkeit, Frequenz, Sicherheit, vorteilhafte Position der Haltestelle, Einstieg, Umweltfreundlichkeit, Direktheit der Route, Fahrzeug (modern, neu, geräumig, nicht überfüllt), Übersichtlichkeit des Netzes, Attraktivität, Komfort, Lärm, Fahrkomfort und Geschwindigkeit. Die Auswertung der Befragung zeigte, dass beim Bus eher emotionale Aspekte geschätzt werden (Relevanz, einfache Nutzung) – bei der Straßenbahn rationale (Umweltfreundlichkeit und Zuverlässigkeit). In allen Faktoren außer Lärm, Geschwindigkeit und der Position der Haltestelle wurde die Straßenbahn besser bewertet als der Bus. Des Weiteren wurde festgestellt, dass die Straßenbahn bei Personen, die häufig öffentliche Verkehrsmittel benutzen deutlich besser bewertet wird als der Bus. (Scherer, 2011)

Auch Studien über die Sichtweise von Fahrgästen über ein Verkehrsmittel ergeben häufig eine Präferenz für die Straßenbahn. Viele (zum Teil alle) Faktoren, die den Fahrgästen zur Beurteilung vorgelegt wurden, wurden bei der Straßenbahn besser bewertet als beim Bus.

3.3. Modellbasierte Vorgehensweisen

Axhausen und Ben-Akiva erstellten Szenarien in welchen sich die Befragten für eine Variante entscheiden sollten.

- Axhausen kombinierte in seinem Modell zwei unterschiedliche Befragungsmethoden. In der ersten sollten sich die TeilnehmerInnen zwischen zwei fiktiven Szenarien, einmal zwischen Auto und Straßenbahn und einmal zwischen Bus und Straßenbahn, verbunden mit unterschiedlichen Kosten, Zugangs- und Reisezeiten, entscheiden. Der zweite Teil befasst sich mit einer Vorher-Nachher-

Befragung über den Ersatz einer Straßenbahnlinie in Dresden durch moderne Busse. Die aggregierte Auswertung beider Befragungen ergab eine schwache Präferenz für die Schiene. Gründe dafür waren die bessere Nutzbarkeit der Fahrzeit in der Straßenbahn sowie höhere Erwartungen in deren Qualität. (Axhausen, 2001)

- Ben-Akiva erzielt mit seinen Modellen unterschiedliche Ergebnisse. Das erste ergibt eine leichte Präferenz für die Schiene, mit einer besonderen Tendenz zur U-Bahn. Außerdem bevorzugen Personen, die kein Auto besitzen den Bus. Das zweite Modell besagt, dass es keinen Unterschied in der Beliebtheit zwischen schienengebundenem ÖV und dem Bus gibt, wenn die Rahmenbedingungen (z. B. Frequenz) gleich sind. (Ben-Akiva, 2002)

In modellbasierte Studien wurden weniger deutliche Ergebnisse erreicht. Jedoch ergibt sich auch hier eine schwache Präferenz für schienengebundene Fahrzeuge.

Alle bisherigen Studien gehen davon aus, dass der Fahrgastkomfort subjektiv und damit nicht quantitativ erfassbar ist. Zum Teil ist das richtig, da Komponenten wie Tagesverfassung eines Passagiers oder generelle Einstellung zum Verkehrsmittel beziehungsweise der getätigten Fahrt nicht objektiv erfasst werden können. Einige Aspekte des Fahrgastkomforts sind jedoch humanphysiologisch bedingt und können gemessen und quantifiziert werden.

4. Humanphysiologische Merkmale zur potentiellen Quantifizierung des Schienenbonus

Um den Fahrgastkomfort quantifizieren zu können ist es notwendig die physiologischen Leistungs- und Wahrnehmungsgrenzen des Menschen darzustellen. Der mobile Mensch ist starken physiologischen Belastungen ausgesetzt. Diese sind (unter anderen):

- Schwankungen der Beleuchtungsintensität über die Augen
- Lärm über die Ohren
- Temperaturschwankungen über die Haut
- Schwingungen oder Vibrationen in Form von Beschleunigung über das Innenohr und die Haut

Ein weiterer Einflussfaktor könnte der Geruch sein, der sich jedoch mit herkömmlichen Messgeräten nicht quantifizieren lässt. In hügeligeren Regionen als Wien könnte auch der Luftdruck eine Rolle spielen, wenn dessen Änderung in den Ohren spürbar wird.

Die besprochenen Sinnesorgane sind nur ein Auszug aus der Gesamtheit des menschlichen Wahrnehmungsvermögens. Abb. 2 fasst die Sinne systematisch zusammen, wobei diejenigen farblich hervorgehoben sind, die im Folgenden genauer behandelt werden.

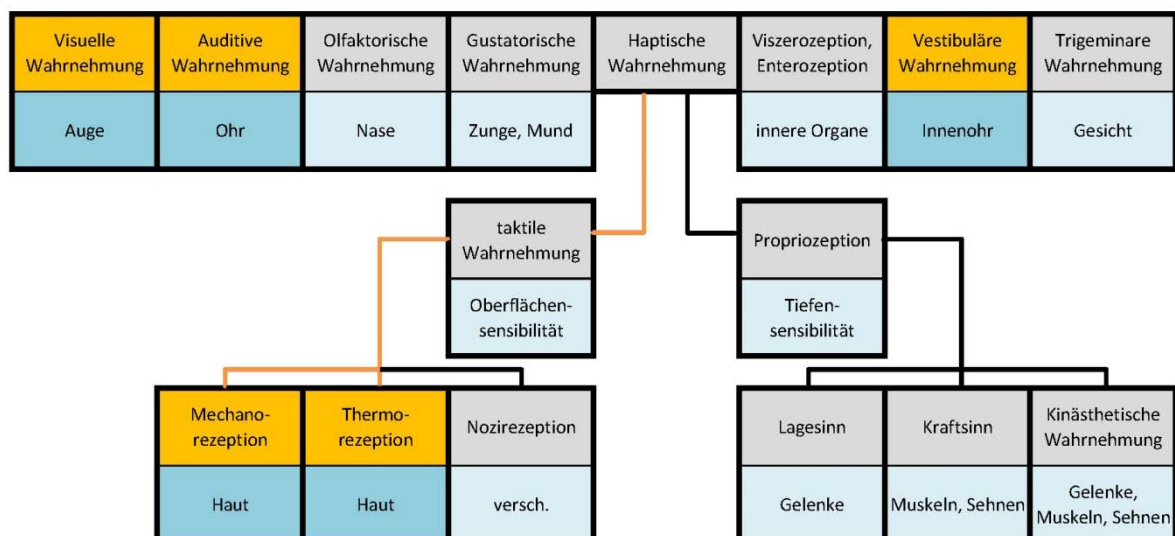


Abb. 2: Überblick über die menschliche Wahrnehmung und die entsprechenden Sinne; Quelle: eigene Darstellung auf Basis von Wikipedia.

4.1. Leistungsgrenzen der Sinnesorgane

Zur Quantifizierung des menschlichen Komfortbereichs dient die subjektive Sinnesphysiologie oder Psychophysik. Diese beschreibt die subjektiven Empfindungen wahrgenommener Sinneseindrücke. Dieses Phänomen wurde bereits im 19. Jahrhundert von Ernst Weber und Gustav Fechner untersucht. Ihre Forschung besagt grundsätzlich, dass die Erhöhung eines Reizes abhängig von seiner Ausgangstärke wahrgenommen wird. Die Weber-Regel gilt nur für einen mittleren Wahrnehmungsbereich. Diese Genauigkeit ist für die folgenden Untersuchungen ausreichend, da Fahrgäste in öffentlichen Verkehrsmitteln in der Regel mit keinen Extremen konfrontiert sind. Die Unterschiedsschwellen, also wie stark ein Reiz zunehmen muss, damit eine Änderung wahrgenommen wird, finden ihre Darstellung im Laufe dieses Kapitels. Des Weiteren werden im Folgenden die Wahrnehmungsschwellen beschrieben. Diese sind definiert als Reize, die mit fünfzigprozentiger Wahrscheinlichkeit wahrgenommen werden. (Speckmann, 2013)

Wesentlich zur Quantifizierung des Fahrkomforts sind jedoch nicht nur Wahrnehmungs- und Schmerzschwelle, also ab wann ein Reiz die Sinnesorgane verletzt, sondern auch die Abstufungen zwischen diesen Extremen. Innerhalb dieser Grenzen existieren Bereiche der Reizintensität, die von Menschen als angenehm oder erträglich wahrgenommen werden, bevor sie in unangenehme oder unerträgliche Bereiche übergehen, also die Schmerzschwelle, beziehungsweise physiologische Grenze, überschreiten. Pirath quantifizierte diese Wahrnehmungsgrenzen bereits 1949 mittels seiner Behaglichkeitssonne (siehe Abb. 3)

Das Leistungsvermögen der angesprochenen Sinnesorgane wird in den Kapiteln 4.1.1 bis 4.1.4 behandelt. Die relevanten Begrifflichkeiten dafür werden im Folgenden definiert.

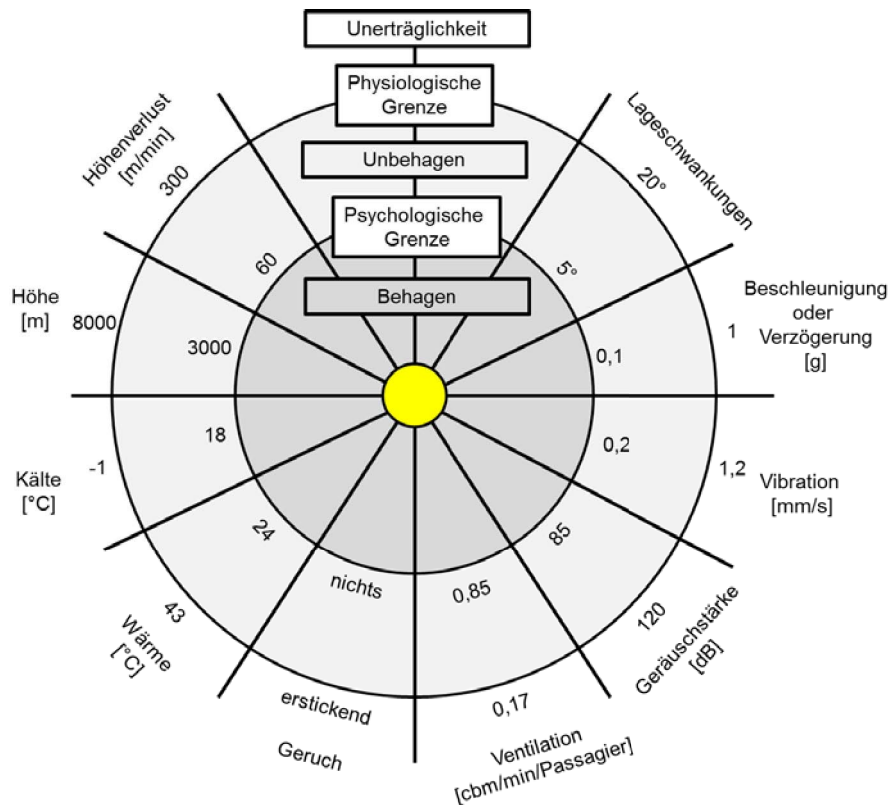


Abb. 3: Behaglichkeitssonne; Quelle: eigene Darstellung auf Basis von (Schlimm, 2011).

Reiz...Objektive Größe, die in einer bestimmten Form (mechanisch, chemisch, etc.) auf den Menschen einwirkt

Sinnessystem...gibt an welche Reizqualität wahrgenommen wird

Sinnesorgan...Organ des menschlichen Körpers, das auf bestimmte Reize sensibel reagiert; kann oft unterschiedliche Reizqualitäten (z.B. Licht & Farbe) wahrnehmen

Sinneszelle....„Sensor“; Reizempfänger eines Sinnesorgans, der für eine ganz bestimmte Reizqualität empfindlich ist

Absolute Wahrnehmungsschwelle; Reizschwelle...Intensität, die ein Reiz mindestens aufbringen muss, um vom Menschen wahrgenommen zu werden

Obergrenze; Schmerzschwelle...maximale Intensität eines Reizes, die vom Menschen wahrgenommen werden kann (z.B. Wellenlänge des Lichts); maximale Intensität, die ein Reiz erreichen kann ohne die menschlichen Sinnesorgane zu verletzen

Relative Unterschiedsschwelle...kleinster Wert um den sich ein Reiz ändern muss, damit diese Änderung wahrgenommen werden kann

Wahrnehmbare Eindrücke...maximale Anzahl an Sinneseindrücken, die der Mensch wahrnehmen kann; dieser Wert ist kleiner als die Anzahl der Eindrücke, die die Sinneszellen aufnehmen können

4.1.1. Wahrnehmung von Licht über das Auge:

Zu Veränderungen in der Beleuchtungssituation kommt es beispielsweise beim Durchfahren eines Tunnels oder bei wechselnder elektrischer Beleuchtung bei Nachtfahrten. Auch tagsüber kann es bei kurvenreichen Strecken zu einer ständigen Veränderung der Sonneneinstrahlung kommen. Dies beeinflusst den Fahrgastkomfort besonders beim Lesen oder beim Arbeiten/Spielen mit elektronischen Geräten (Smartphone, etc.). Wie das menschliche Auge auf unterschiedliche Helligkeitsstufen, Farben und Änderungen der Beleuchtungsintensität reagiert, wird hier dargestellt:

Das Auge liefert unter allen Sinnesorganen die meisten Informationen an das Gehirn. (Huppelsberg, 2009) Etwa ein Viertel des gesamten Gehirns und 60 % der Großhirnrinde sind mit der Analyse von Sinneseindrücken beschäftigt, die über das Auge gewonnen wurden. Aus einer riesigen Datenmenge an visuellen Sinneseindrücken schafft das Gehirn in weiterer Folge ein stimmiges Bild der Umwelt. (Simm, 2011) Die wahrgenommenen Qualitäten sind Helligkeit, Form, Farbe und Bewegung. Elektromagnetische Strahlungen mit einer Wellenlänge von 400 bis 750 nm (Nanometer) werden vom Auge in elektrische Impulse umgewandelt, die dann als Licht erscheinen. 400 nm entsprechen blauem Licht - 750 rotem. (Speckmann, 2013)

Die Augen selbst bewegen sich mit einer Geschwindigkeit von 10 bis 80 m/s (Metern pro Sekunde) von einem Fixpunkt zum nächsten. Eine Fixationsperiode, also wie lange das Auge unbewusst auf einem Punkt ruht, dauert dabei 0,15 bis 2 Sekunden. Bewegungswahrnehmung ist eine wesentliche Überlebenshilfe, insbesondere beim Erkennen von herannahenden Objekten (wilde Tiere bis Autos). Bewegung kann von Menschen bereits ab einer Winkelgeschwindigkeit von etwa $0,2^\circ/\text{s}$ (Grad pro Sekunde) wahrgenommen werden. Das entspricht in Etwa einem Stundenzeiger der halb so lang für eine Umdrehung braucht. Bewegung kann auf zwei Arten wahrgenommen werden:

Entweder werden auf der Retina benachbarte Rezeptoren erregt oder die Augen folgen der Bewegung eines betrachteten Objekts. Zur Verarbeitung von Bewegungswahrnehmung im Gehirn ist häufig die Mithilfe anderer Sinneseindrücke notwendig, sowie Interpretation beziehungsweise Erfahrung. Beispielsweise weiß man, dass sich Gebäude nicht bewegen, also muss der Betrachter selbst in Bewegung sein. (Groß, 2011) Ab 18 bis 30 Bildern pro Sekunde, je nach der Geschwindigkeit mit der sich das betrachtete Objekt bewegt, nimmt das menschliche Auge eine kontinuierliche Bildfolge wahr. Diese Anzahl stellt die psychologische Grenze dar (vgl. Kapitel 4.1). Filme etwa werden mit 24 Bildern pro Sekunde, also einem Bild alle 42 Millisekunden gesendet. (Malaka, 2009)

Der Pupillenreflex setzt nach etwa 160 ms (Millisekunden) ein, die Kontraktion der Pupille dauert etwa 400 ms. Der gesamte Pupillenreflex dauert meistens etwas länger als 1 Sekunde. (Beckmann, o.J.)

Relevant für die Messungen im Zuge dieser Arbeit ist die Helligkeit. Für die Messung von Helligkeit ist jedoch die Farbe des Lichts ein entscheidender Faktor, da diese die wahrgenommene Helligkeit beeinflusst. Die Hellempfindlichkeit des Auges ist im Bereich von 555 nm (gelbgrün) am größten, bei blauem Licht am geringsten. Diese Eigenheit wird bei Helligkeitsmessungen mittels Luxmeter berücksichtigt. (Waller, 2010) Luxmeter messen die Beleuchtungsstärke, welche wiederum das Maß für die Helligkeit ist, die auf eine Fläche trifft. Herkömmliche Luxmeter besitzen eine lichtempfindliche Zelle, die das einfallende Licht misst. Dieses wird dann mit dem Spektrum der Lichtempfindlichkeit des menschlichen Auges abgeglichen. (Van Der Steen, 2013) Der Mensch kann Beleuchtungsstärken zwischen 0,001 und 100.000 lx (Lux) wahrnehmen. Zum Beispiel beträgt die Lichtstärke einer herkömmlichen Kerze, die laut Definition mit einer Stärke von 1 cd (Candela) brennt, im Abstand von 2 m (Metern) zum Betrachter 0,25 lx:

$$\frac{1 \text{ cd}}{2 \text{ m}} = 0,25 \text{ lx}$$

Tageslicht liegt bei etwa 30.000 bis 100.000 lx. Eine angenehme Beleuchtung für Büroräume wären in Etwa 400 lx. (GreenBusinessLight, 2014) Die Unterschiedsschwelle für die Helligkeit liegt nach Weber (siehe Kapitel 4.1) bei 1,6 %. (Paulin, 2002) Änderungen der Beleuchtungsstärke sollten also von einer Sekunde auf die nächste diese 1,6 % nicht übersteigen, da diese sonst wahrgenommen werden und als störend

empfundener werden können. Absolut sollte die Lichtstärken keinesfalls unter 120 lx (Erfahrungswert) betragen, um noch Tätigkeiten wie Lesen nachgehen zu können.

Die Anpassung des Auges an unterschiedliche Leuchtdichten wird als Adaptation bezeichnet. Die Leuchtdichte ist eine genauere Beschreibung der humanphysiologischen, optischen Wahrnehmung einer Fläche auf die Licht trifft. Je mehr Zeit man in der Dunkelheit verbringt umso geringere Erhöhungen der Leuchtdichte sind notwendig um eine Wahrnehmung auszulösen. (Huppelsberg, 2009) Als dunkel sind Leuchtdichten unter 10^{-2} cd/m beziehungsweise 0,01 lx definiert. Ab dieser Leuchtdichte werden nur noch die Rezeptoren für Dämmerungssehen, genannt Stäbchen, nicht mehr die Zapfen für das Tagessehen aktiv. Bei der Dunkeladaptation (von hell auf dunkel) werden die Stäbchen erst nach acht Minuten aktiv. Die gesamte Adaptation dauert bis zu 30 Minuten. (Speckmann, 2013) Beim Wechsel von dunkel auf hell braucht das Auge einige Sekunden bis etwa eine Minute um an die veränderten Lichtverhältnisse angepasst zu sein. Schlimmstenfalls kann es zu einer Blendung kommen, was eine Störung der Wahrnehmung von Konturen darstellt. (iportale, o.J.)

Schnelle Änderungen der Beleuchtungsdichte werden als Flimmern bezeichnet. Dieses Phänomen tritt beispielsweise beim Vorbeifahren an einer Baumreihe bei tiefstehender Sonne auf. Beim Dämmerungssehen wird Flimmern ab einer Frequenz von über 20 Lichteindrücken pro Sekunde als einheitliches Bild wahrgenommen – beim Tagessehen erst ab 60. (Speckmann, 2013) Die genannten 60 Bilder pro Sekunde stellen die physiologische Grenze des menschlichen Auges dar. Ab 100 Hz (Hertz), also 100 Lichteindrücken pro Sekunde wird ein kontinuierliches und völlig flimmerfreies Bild wahrgenommen (vgl. 24 Bilder pro Sekunde beim Film). (Malaka, 2009) Besonders stark wahrgenommen werden Frequenzen von 8 bis 10 Hz. (Speckmann, 2013)

Bei der Messung von Licht geht es also grundsätzlich nicht nur um die absolute Intensität der Beleuchtung, sondern auch um deren Veränderung. Da es jedoch bei den Messungen im Zuge dieser Arbeit eher um die Intensität gehen soll, wird dieser Wert nur einmal pro Sekunde erfasst. Ob Flimmern (> 20 Lichteindrücke pro Sekunde) vorliegt kann mit dieser Aufnahmefrequenz nicht festgestellt werden. Jedoch wird erfasst ob sich die Helligkeit von einer Sekunde auf die nächste stärker als 1,6 % verändert, was der relativen Unterschiedsschwelle entspricht.

4.1.2. Wahrnehmung von Lärm über die Ohren:

Innerhalb der öffentlichen Verkehrsmittel entsteht Lärm einerseits durch die Fahrgäste und andererseits durch das Fahrzeug selbst. Der Fahrgastlärm nimmt im Normalfall mit der Anzahl der Fahrgäste zu. Aber auch mit lauterer Fahrzeuggeräuschen nimmt die Lautstärke der Fahrgastgespräche zu. Fahrzeuggeräusche bilden sich aus dem Lärm des Antriebs (insbesondere Motor) und den unterschiedlichen Widerständen (Reifen auf der Straße, Luftwiderstand, Rad auf der Schiene, etc.). Wie Lärm vom Menschen wahrgenommen wird, wird im Folgenden dargestellt:

Die Wahrnehmung von Lärm bewegt sich zwischen physikalisch objektiven Größen und psychologisch subjektiven Einflussfaktoren. Es kann zwar gemessen werden wie laut ein Geräusch ist, wie störend dieses für ein Individuum ist wird jedoch von der Person selbst sowie den Umständen in denen sich diese befindet, bestimmt. Durch Untersuchungen können nicht einmal Richtwerte angegeben werden, ab wie viel Dezibel ein Geräusch stört, da die Streuung dabei zu groß ist. (Bukovnik, 2011a) Als besonders störend werden jedoch häufig Geräusche wahrgenommen, die einen Informationsgehalt besitzen. Ein klassisches Beispiel für den öffentlichen Verkehr sind Telefonate, die oft wesentlich belästigender wahrgenommen werden als Motorengeräusche, selbst wenn diese objektiv gemessen gleich laut wären. Durch solche informationshaltigen Geräusche wird die Konzentration mehr beeinflusst und damit die Möglichkeit, die Fahrt beispielsweise mit Arbeiten oder Lesen zu nutzen. Solche Faktoren können jedoch weder medizinisch noch technisch mit Messgeräten erfasst werden. Im Weiteren werden daher die objektiv erfassbaren Größen des Lärms näher erläutert:

Das menschliche Ohr kann Frequenzen von etwa 16 Hz bis 20 kHz (Kilohertz) wahrnehmen.

Schalldruck ist jener Druck den Schallwellen auf eine Oberfläche ausüben. Bei einer Tonhöhe von 3.000 Hz liegt der niedrigste noch wahrnehmbare Schalldruck bei $2 \cdot 10^{-5}$ Pa (Pascal). Die Schmerzgrenze liegt bei ebendieser Frequenz bei 20 Pa. (Huppelsberg, 2009) Der Schalldruckpegel wird mittels Schallpegelmessgerät ermittelt. Dabei wird der Schalldruck über ein Mikrofon aufgenommen und in die entsprechende elektrische Spannung umgewandelt, welche dann quantifiziert werden kann. Zumeist können außerdem kurzfristige Schalldruckspitzen erfasst und ausgewertet werden. (Kolbinger, 2014)

Lärm wird als Schallpegel in Dezibel (dB) gemessen. Der vom Menschen wahrnehmbare Schallpegel reicht von Null bis 140 dB. Relevant bezüglich gesundheitlicher Aspekte sind einzelne Lärmereignisse über 110 dB sowie ein energieäquivalenter Dauerschallpegel (L_{eq}) von über 80 dB. Der energieäquivalente Dauerschallpegel liefert einen repräsentativen Durchschnittswert über die gesamte Messdauer. Ebenso werden einzelne Lärmereignisse mit der Dauer von 1 Sekunde vom Schallpegelmessgerät als L_{eq} ausgegeben, wobei jeweils der aufgenommene Schall über diese Zeitspanne gemittelt wird. Der energieäquivalente Dauerschallpegel wird folgendermaßen berechnet: (Bukovnik, 2011a)

$$L_{eq} = 10 * \lg \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} 10^{\frac{L(t)}{10}} * dt$$

Das menschliche Gehör ist auf unterschiedliche Frequenzen unterschiedlich empfindlich. Um dieser differenzierten Wahrnehmung gerecht zu werden erfolgt daher in bestimmten Frequenzbereichen ein Pegelzuschlag, in anderen ein -abschlag. Diese Korrektur wird als A-bewerteter Pegel bezeichnet. Aus demselben Grund wurde die Einheit Phon eingeführt. Diese gibt die subjektiv empfundene Lautstärke eines Tons an. Die Hörschwelle liegt bei 4 Phon – die Schmerzgrenze bei 130. Die menschliche Stimme bewegt sich in einem Bereich zwischen 40 und 80 Phon, sowie in einer Höhe von 250 bis 4.000 Hz. (Huppelsberg, 2009)

Bei der genannten Hörschwelle von 4 Phon und einer Schmerzgrenze von 130 liegt Verkehrslärm mit 70 bis 90 Phon in einem hohen Bereich. (Huppelsberg, 2009) Ein normales Gespräch wird in Etwas mit 60 dB geführt. Ab einer Dauerbelastung von 80 dB kommt es zu leichten Schädigungen des Gehörs und es kann zu Magengeschwüren, Bluthochdruck, Arteriosklerose und in weiterer Folge zu Herzinfarkten führen. Jedoch steigt das Risiko für solche gesundheitlichen Beeinträchtigungen bereits ab 65 dB. Lärm als Stressor löst bei mehr als 90 dB eine Kampf- oder Fluchtreaktion aus. (Reinberger, 2012) Rund drei Viertel der österreichischen Bevölkerung gibt an, dass Verkehrslärm die am meisten störende Lärmquelle im Alltag ist, wobei der Straßenverkehr die überwiegende Mehrheit darstellt. (Bukovnik, 2011a)

Die Unterschiedsschwelle bei der Frequenz, also der Tonhöhe, liegt bei 0,3 %, wobei ein Halbtonschritt in der Musik einem Unterschied von 6 % entspricht. In einem mittleren

Hörbereich liegt die Unterschiedsschwelle der Lautstärke bei 1 dB, an den Rändern bei 3 bis 5 dB. (Speckmann, 2013)

Zu erfassende Größen bei einer Lärmmessung sind einerseits der energieäquivalente Dauerschallpegel, andererseits die Auftrittshäufigkeit von Lärmspitzen. (Bukovnik, 2011a)

4.1.3. Wahrnehmung von Temperatur über die Haut:

Zu Temperaturschwankungen in öffentlichen Verkehrsmitteln kommt es, wenn man im Sommer in ein klimatisiertes, oder im Winter in ein beheiztes Fahrzeug einsteigt. Außerdem kann es in Haltestellen beim Öffnen der Türen oder durch geöffnete Fenster zu Zugluft kommen. Starke Temperaturschwankungen werden als unangenehm empfunden und können den Kreislauf belasten.

Die taktile Wahrnehmung, also die Wahrnehmung über die Haut, beinhaltet den Tastsinn, den Temperatursinn, den Stellungs-, Bewegungs- und Kraftsinn sowie die Wahrnehmung von Schmerz. (Huppelsberg, 2009) Im Folgenden wird der Temperatursinn besprochen, während in Kapitel 4.1.4 vor allem der Tastsinn und seine Fähigkeit zur Schwingungswahrnehmung im Fokus steht.

Über die Haut wird Temperatur größtenteils durch Warm- oder Kaltsensoren wahrgenommen. Kaltsensoren werden im Bereich von Null bis 26°C (Grad Celsius) (Optimum 20°C) aktiv – Warmsensoren von 27 bis 42°C (Optimum 40°C). Im Bereich von 31 bis 35°C, der Indifferenztemperatur, findet keine Temperaturwahrnehmung statt. Hitze-rezeptoren werden bei über 42°C aktiv. Diese hohen Temperaturen werden ebenso wie jene unter 15°C als Schmerz wahrgenommen. (Speckmann, 2013)

Die Temperaturwahrnehmung dient jedoch nicht nur der Information über die Temperatur von berührten Gegenständen sondern auch der Wahrnehmung von Außentemperaturen. (Schmidt, 2006)

Die Indifferenztemperatur der Luft ist jener Bereich, in dem keine Temperaturwahrnehmung stattfindet und die Temperatur damit als angenehm empfunden wird. Diese liegt zwischen 27 und 31°C, ist jedoch stark abhängig von der relativen Luftfeuchtigkeit, der Windgeschwindigkeit, der Wärmestrahlung der Umgebung und der Bekleidung. (Speckmann, 2013) Eine obere und eine untere Komfortgrenze der Temperatur lassen

sich aufgrund der Kleidung und unterschiedlicher Vorlieben nur schwer festlegen. Temperaturwahrnehmung ist sehr subjektiv. Als adäquate Temperatur innerhalb eines Fahrzeugs kann eine ähnliche Temperatur wie die innerhalb eines Wohnraums herangezogen werden. Diese liegt im Schlafzimmer bei 18 und in Wohnräumen bei 20 bis 22°C. Bade- und Kinderzimmer werden idealerweise mit 23°C beheizt. (Winkler, 2016)

Die Körperkerntemperatur eines gesunden Erwachsenen liegt etwa bei 36 bis 37°C. Bei Anstrengung kann sich diese auf Kosten eines höheren Energieverbrauchs auf 39°C erhöhen. Bereits ein halbes Grad mehr oder weniger bringt den Körper zum Schwitzen oder Frieren. (Heier, 2008)

Der Körper kann auf Kälte besser reagieren als auf Hitze, da die Kälterezeptoren der Haut bereits eine Gegenreaktion einleiten, bevor die Körpertemperatur absinkt, nämlich das Zittern. Fällt die Körpertemperatur trotzdem, kann unter 32°C Bewusstlosigkeit auftreten – unter 28°C Tod durch Kammerflimmern. (Huppelsberg, 2009) Kurzfristig kann der Körper jedoch Außentemperaturen bis zu -120°C aushalten. (Heier, 2008) Auf der anderen Seite der Skala besteht ab einer Körpertemperatur von 41°C das Risiko von Dehydration, Bewusstseinsstörungen bis hin zum Koma, Krampfanfällen, Hypotonie (niedriger Blutdruck) sowie Herz-Kreislauf-Versagen. 44°C Körperkerntemperatur werden im Normalfall nicht überlebt. (Huppelsberg, 2009)

Kalte Temperaturen (< 31°C) müssen stark erhöht werden (bis über 1°C) damit diese Erwärmung auch wahrgenommen wird, jedoch nur etwa 0,2°C abkühlen, damit eine Abkühlung empfunden wird. Bei warmen Temperaturen (> 36°C) verhält sich dieser Umstand umgekehrt: Erwärmungen sind bereits ab 0,2°C wahrnehmbar, Abkühlung jedoch erst bei einer Änderung um 0,4 bis 1,4°C. (Drewing, o.J.)

Die Thermorezeptoren nehmen Änderungen im Bereich von 0,001°C wahr, die psychophysiologische Auflösung ist jedoch deutlich geringer. (Schandry, 1989) Bei schnellen Temperaturänderungen von über 0,1°C pro Sekunde werden Unterschiede von 0,1 bis 0,3°C erkannt. Bei langsamer Erwärmung oder Abkühlung liegt die Unterschiedsschwelle bei 1 bis 3°C (Schmidt, 2006). In der Regel sind also Schwankungen über 1°C, sowie die Auftrittshäufigkeit dieser Schwankungen, relevant.

Temperaturen werden mit einem Thermometer gemessen. Flüssigkeitsthermometer wurden weitgehend von elektrischen Thermometern ersetzt. In Widerstandsthermo-

metern wird der elektrische Widerstand von Metall gemessen, der sich bei unterschiedlichen Temperaturen ändert. Durch Herstellung eines Stromkreises misst ein Widerstandsmesser den entsprechenden Wert. Dieser wird mit der Temperaturskala abgeglichen. (Stöhr, 2002)

4.1.4. Wahrnehmung von Beschleunigung über die Haut und über das vestibuläre System im Innenohr:

Die Wahrnehmung der Schwingungen bei der Fahrt in öffentlichen Verkehrsmitteln umfasst im Wesentlichen die Komponenten Kurvenfahrt, Beschleunigen/Bremsen und das Verhältnis von Reifen/Rad zum Untergrund in Form von Stößen oder Vibrationen. Beschleunigungswahrnehmung erfolgt sowohl über das vestibuläre System im Innenohr, als auch peripher über die Haut. (Huppelsberg, 2009)

Tastsinn:

Über den Tastsinn der Haut werden Druck, Berührung und Vibration wahrgenommen. Drucksensoren nehmen die Intensität eines Reizes wahr, Berührungssensoren die Geschwindigkeit mit der sich ein Reiz ändert. (Huppelsberg, 2009) Der Tastsinn besitzt zwei Typen von Rezeptoren: Die schnelladaptierenden RA-Sensoren und die langsam-adaptierenden SA-Sensoren. Zu den RA-Sensoren zählen die Meissner- und die Paccini-Körperchen. (Speckmann, 2013)

Vibration wird als Beschleunigung, mit der sich Hautverformungen ereignen wahrgenommen. Die optimale Wahrnehmung von Vibration findet im Bereich von 100 bis 400 Beschleunigungen pro Sekunde statt. (Huppelsberg, 2009) Ein Zusammenspiel von Meissner-Körperchen (niedrigere Frequenzen) und Paccini-Körperchen (höhere Frequenzen) ermöglicht Schwingungswahrnehmung in einem Bereich von 3 bis 500 Hz. (Speckmann, 2013)

Vestibuläres System:

Der Gleichgewichtssinn, oder das vestibuläre System, liegt im Innenohr und besteht aus den Bogengängen sowie den Maculaorganen. Durch die Verschiebung von Kalziumkarbonatkristallen, die sich bei Bewegung des Kopfes träge in den Bogengängen bewegen, kann Beschleunigung oder Rotation wahrgenommen werden, allerdings keine unbeschleunigte Bewegung (Schmidt, 2006). Vor der Erfindung schneller Fortbewegungsmittel stellte die stärkste Linearbeschleunigung die Schwerkraft dar. Die Maculaorgane des vestibulären Systems dienten daher in erster Linie der Bestimmung der Körperlage. Schnelle Linearbeschleunigung wird als Änderung der Körperlage interpretiert. (srf.ch, o.J.) Drehbewegungen können bereits ab $0,005^\circ$ pro Sekunde wahrgenommen werden. (Schmidt, 2006) Lageschwankungen über 20° werden als sehr unangenehm empfunden. (Schlimm, 2011)

Im Frequenzbereich unter 20 Hz werden Schwingungen als Vibrationen und Druck im Ohr wahrgenommen, nicht als Ton. Verschiedene Tonhöhen und Lautstärken können nicht mehr unterschieden werden. (milieuziektes.nl, o.J.)

Körperschall bezeichnet Schwingungen, die zwar im Bereich des Hörvermögens liegen, sich jedoch in Festkörpern ausbreiten. Wie Schall werden auch andere Schwingungen je nach Weg, Geschwindigkeit, Beschleunigung oder Frequenz unterschiedlich vom Menschen wahrgenommen. Um die Wahrnehmung von Schwingungen objektiv zu quantifizieren, werden sogenannte W_m -bewertete Schwingbeschleunigungen verwendet. Ähnlich wie der A-bewertete Schalldruckpegel (siehe Kapitel 4.1.2) dient die W_m -Bewertung der Anpassung an die menschliche Sinneswahrnehmung. Unabhängig von Messgröße, Richtung und Frequenz werden dabei einheitliche Zahlenwerte für die Schwingbeschleunigungen abgeleitet. So liegt die Fühlschwelle von Schwingungen nach W_m -Bewertung bei $3,75 \text{ mm/s}^2$, was $0,000382 \text{ g}$ entspricht. Dieser Wert ist das Minimum bei voller Konzentration und hängt tatsächlich stark von äußeren und persönlichen Bedingungen ab. Die Weckschwelle liegt bei etwa $28,6 \text{ mm/s}^2$ ($0,003 \text{ g}$) abhängig von der Schlafphase. Schwingungen ab $57,1 \text{ mm/s}^2$ ($0,0058 \text{ g}$) gelten als stark spürbar – von 228 bis 3.570 mm/s^2 ($0,364 \text{ g}$) als sehr stark spürbar. (Bukovnik, 2011b)

Die g-Kraft (Gravitation, Erdbeschleunigung) auf der Erde liegt auf Seehöhe bei 1 g , oder $9,8 \text{ m/s}^2$ (9.800 mm/s^2). Welche Beschleunigung der menschliche Körper maximal toleriert ist von Person zu Person unterschiedlich. Im Durchschnitt kann man bei einer positiv einwirkenden g-Kraft von etwa 5 g ausgehen, was fast 50 m/s^2 entspricht.

Ausrüstung und Training können diesen Wert auf 9 g erhöhen. Wirkt die g-Kraft negativ, also wenn das Blut von den Füßen in den Kopf fließt hält der Mensch höchstens -2 bis -3 g aus. (Gforces.net, 2010) Jedoch werden bereits Kräfte über 1 g als unangenehm empfunden. (Schlimm, 2011) Für sehr kurze Zeit (< 1 Sekunde) können auch dreistellige g-Kräfte ausgehalten werden (z.B. ein Schlag). Längerfristige g-Kräfte über 10 g sind tödlich. (Gforces.net, 2010)

Vibrationen unter 1 Hz sowie Störungen des vestibulären Systems können Symptome ähnlich wie bei der Kinetose (Reisekrankheit) hervorrufen, welche Schwindel, Kopfschmerzen und Übelkeit umfasst. Vibrationen zwischen 1 und 20 Hz rufen unterschiedlichste Symptome hervor, da in diesem Frequenzbereich alle Organe unterschiedlich stark schwingen. (milieuziektes.nl, o.J.)

Die Messung von Schwingungen erfolgt in drei Richtungen und wird mittels Seismometer in der Einheit g oder mm/s^2 gemessen. Da schon sehr kleine Beschleunigungsänderungen wahrgenommen werden sind viele Messungen pro Sekunde notwendig.

Beschleunigungssensoren basieren auf der Idee entweder die Verschiebung einer Prüfmasse (z.B. mittels Federn) oder den Druck den eine Masse auf eine Fläche ausübt zu messen. In Mikro-Beschleunigungssensoren, wie sie beispielsweise in Smartphones zu finden sind, wird eine Prüfmasse (heute zumeist aus Silicium) an Federn befestigt. So wird die Verschiebung der Prüfmasse in die entsprechende Richtung gemessen. (Schulte, 2009)

Bei der Messung von Ganzkörperschwingungen eines Menschen wird berücksichtigt, dass unterschiedliche Frequenzen unterschiedlich wahrgenommen werden und unterschiedliche (eventuell auch gesundheitsschädliche) Auswirkungen auf den Körper haben. So ist der Mensch bei horizontalen Schwingungen im Bereich von fünf bis 50 Hz am empfindlichsten, bei vertikalen zwischen 20 und 120 Hz. Für die maximal zulässige Tagesbelastung von Schwingungen gibt es in Europa Schwingungsrichtlinien, wobei diese 1.150 mm/s^2 (0,117 g) nicht überschreiten dürfen, Spitzen sollten nicht mehr als 3.500 mm/s^2 (0,357 g) betragen.

Bei der Messung von Ganzkörperschwingungen ist es sinnvoll sowohl den Effektivwert (~Durchschnitt) als auch die Intensität und Häufigkeit von Spitzen zu erfassen. Bei Versuchen mit sitzenden Personen wird das Messgerät auf der Sitzfläche angebracht, bei stehenden in der Nähe der Füße. (Brüel&Kjær, 2009)

4.1.5. *Verarbeitung im Gehirn:*

Reize werden durch die Sinnesorgane mittels Sinneszellen (=“Sensoren“) aufgenommen. Danach werden sie über Nervenfasern weitergeleitet. Die Geschwindigkeit der Reizübertragung variiert dabei stark. Druck beispielsweise wird über A β -Fasern, die einen Durchmesser von 15 μ m (Mikrometern) mit etwa 50 m/s übertragen - Temperatur über A δ -Fasern (< 3 μ m) mit etwa 15 m/s. Je nach empfangender Sinneszelle werden Reize über die Nervenfasern direkt ins Gehirn oder über das Rückenmark ins Gehirn geleitet. (Schmidt, 2006) Über das Zwischenhirn landen die Informationen schließlich in einem definierten Bereich des Großhirns. (Beck, 2003)

Es reicht jedoch nicht, Reize einfach aufzunehmen. Diese müssen in weiterer Folge geprüft, (aus)sortiert und gegebenenfalls gespeichert werden. Erst so wird ein Reiz zu einer Sinneswahrnehmung. Diese ist jedoch nicht mehr objektiv, sondern wird mit Gelerntem und Bekanntem abgeglichen und bewertet.

- ➔ Das sensorische Gedächtnis, mit einer Speicherzeit von unter einer Sekunde, kann 10^9 bit an Informationen pro Sekunde aufnehmen. Anhand eines Filtersystems wird der Großteil dieser Informationen wieder vergessen. Der Rest wird verbalisiert oder nicht verbalisiert. Außerdem wird bereits gefiltert, ob die eingehende Information neu, gefährlich, unwichtig, etc. ist.
- ➔ Das primäre Gedächtnis nimmt 20 bit an verbalisierten Reizen pro Sekunde auf und speichert diese für einige Sekunden in chronologischer Reihenfolge. Die Speicherkapazität des primären Gedächtnisses liegt bei 7 bit. Auf diese Informationen kann rasch zugegriffen werden. Der Rest wird mit neuen Inhalten überschrieben.
- ➔ Durch Übung gelangen Informationen vom primären ins sekundäre Gedächtnis. Dieses hat eine große Speicherkapazität und eine Speicherzeit von Monaten bis Jahren. Der Zugriff auf das sekundäre Gedächtnis erfolgt langsam. Unverbalisierte Informationen können vom sensorischen direkt ins sekundäre Gedächtnis übertragen werden. Sie werden nicht mehr chronologisch, sondern nach ihrer Bedeutung geordnet. Informationen können vergessen oder durch neue Inputs überschrieben werden.

- ➔ Durch häufiges Üben gelangen Informationen ins tertiäre Gedächtnis. Auf dieses kann einerseits schnell zugegriffen werden, andererseits entspricht seine Speicherzeit der Lebensdauer eines Menschen. Die Kapazität ist groß. Informationen die hier landen, werden nicht mehr vergessen.

Erst Reize die nicht ausgefiltert, sondern als relevant erachtet werden, lösen eine Empfindung aus. Eine Empfindung ist das Bewusstwerden eines Sinneseindrucks. Durch Interpretation dieser entsteht Wahrnehmung. (Huppelsberg, 2009)

4.2. Zusammenfassung

Tabelle 2 fasst das Leistungsvermögen der oben angesprochenen Sinne sowie die menschliche Wahrnehmung mittels dieser zusammen. Die verwendeten Begrifflichkeiten wurden in Kapitel 4.1 definiert.

Reiz	Licht	Schall	Temperatur	Vibration (Druck)	Beschleunigung
Sinnessystem	Sehsinn	Hörsinn	Tastsinn – Thermorezeption	Tastsinn – Mechanorezeption	Gleichgewichtssinn
Sinnesorgan	Auge	Ohr	Haut	Haut	Innenohr
Sinneszelle („Sensor“)	Stäbchen (schwarz-weiß), Zapfen (Farbe)	Haarsinneszellen	Thermosensoren, Nozizeptoren	Meissner-Körper, Paccini-Körper	Maculaorgane, Bogengänge, Haarsinneszellen
Absolute Wahrnehmungsschwelle; Reizschwelle	Wellenlänge: 380 nm Beleuchtungsstärke: 0,001 lx	Freq.: 16 Hz Schalldruck (bei 3.000 Hz): 20 µPa Schallpegel: 0 dB Lautst.: 4 Phon	Haut: < 30°C & > 36°C Körpertemp.: </> 36-37°C	Frequenz: 3 Hz	Linearbeschleunigung: 3,75 mm/s ² Radialbeschleunigung: 1°/s ²
Obergrenze; Schmerzschwelle	Wellenlänge: 750 nm Beleuchtungsstärke: 100.000 lx	Freq.: 20.000 Hz Schalldruck (bei 3.000 Hz): 20 Pa Schallp.: 110 dB Lautst.: 130 Phon	Haut: < 15°C & > 45°C Körpertemp.: Tod bei < 28°C & > 44°C	Frequenz: 500 Hz	Linearbeschleunigung: 5 g (~50 m/s ²)
Relative Unterschiedsschwelle	1,6 %	Frequenz: 0,3% Lautstärke: 1 dB	Schnelle Änderung: 0,1-0,3°C, langsame Änderung: 1-3°C	3 %	1°/s ²
Wahrnehmbare Eindrücke	20-60 Lichteindrücke/s, 40-100 Bilder/s	20-30 Eindrücke/s	ca. 1°C/s	3-500 Eindrücke/s	0,005°/s; < 1 Eindruck/s
Absolute Wahrnehmungsschwelle (Beispiel)	Flamme einer Kerze auf 50 km Entfernung in einer dunklen, klaren Nacht	Ticken einer Uhr ohne Umgebungsgeräusche aus 6 m Entfernung	< 27°C oder > 31°C für einen unbedeckten Erwachsenen in Ruhe bei Luftfeuchtigkeit 50 % und Windgeschwindigkeit 0,1 m/s	Flügel einer Biene, der aus 1 cm Entfernung auf die Wange fällt	Körper der fast 4,5 Minuten braucht um aus dem Stillstand eine Geschwindigkeit von 1 m/s zu erreichen

Tabelle 2: Zusammenfassung der Sinneswahrnehmungen; Quelle: sämtliche Quellen aus dem vorhergehenden Kapitel.

5. Messungen & Datenaufbereitung

Durch Messung unterschiedlicher Faktoren, die den mobilen Menschen beeinflussen (können), soll herausgefunden werden ob die Präferenz eines Fahrgasts für ein Verkehrsmittel humanphysiologische Gründe haben kann. Würden in einem fiktiven Szenario eine Buslinie und eine Straßenbahn dieselben objektiven Kriterien, wie Takt, oder Entfernung der NutzerInnen zur Haltestelle erfüllen, würde dieser sich für das Verkehrsmittel entscheiden, das ihm komfortabler erscheint. Dieser Fahrkomfort galt in bisherigen Studien als subjektiv und nicht quantifizierbar. Es kann jedoch sein, dass der Komfort sich an Indikatoren festmachen lässt, die auf die physiologische Wahrnehmung eines Menschen wirken. Untersucht werden dabei Intensität und Veränderungen des Lichteinfalls, Lärm, Temperatur(schwankungen), sowie Beschleunigung im Sinne von Schwingungen bzw. Vibration. Erfasst werden dabei rein objektiv messbare Werte. Das heißt jene Größen, die tatsächlich auf dem entsprechenden Sinnesorgan des Menschen eintreffen. Wie stark bestimmte Einflussfaktoren vom Menschen psychologisch wahrgenommen werden, beziehungsweise wie diese Werte nach dem Eintreffen auf den menschlichen Sensoren weiterverarbeitet werden (verworfen, als relevant erachtet,... vgl. Kapitel 4.1.5), lässt sich nicht quantifizieren.

Wie und mit welchen Mitteln genau gemessen wurde, wird im Folgenden ausführlich dargestellt. Die ersten verwertbaren Probemessungen fanden Ende April 2015 statt. Weitere Messungen liefen von Juli 2015 bis März 2016. Je Fahrzeugüberkategorie (Bus oder Straßenbahn) wurden jeweils 20 Messfahrten in einem Ausmaß von über sieben Stunden durchgeführt. Da es sich um eine stichprobenartige Erhebung handelt wurden möglichst viele unterschiedliche Linien im Wiener Stadtgebiet befahren. Dabei wurde darauf geachtet, dass alle Fahrzeugunterkategorien (Gelenkbus, ULF, etc.) einbezogen wurden - ebenso wie die weiteren Faktoren Lage im Fahrzeug, Tageszeit, Wetter, etc. Außerdem wurde den teilnehmenden Personen im Zuge der Befragung (siehe Kapitel 8) die Möglichkeit gegeben Linien zu nennen, die sie aus eigener Erfahrung, bezüglich eines oder mehrerer äußerer Einflussfaktoren, besonders störend empfinden. Diese Vorschläge wurden in die Auswahl der befahrenen Linien aufgenommen. Die Linien 6 und 13A wurden mit je zwölf Nennungen am häufigsten angegeben. Die Linien 10A und 43, wurden je neun Mal und die Linie 40A sechs Mal genannt. Neben einigen Einfach- und Zweifachnennungen wurden die Linien 1 und 31 jeweils vier Mal angegeben und die Linie 62 drei Mal.

Konkret wurden die folgenden Messungen vorgenommen:

#	Linie	Verkehrsmittel	Messdauer [min, gerundet]
1	2	Hochflurstraßenbahn	24
2	1	Hochflurstraßenbahn	13
3	1	Hochflurstraßenbahn	22
4	65A	Bus 2-achsig	17
5	44	Niederflurstraßenbahn	16
6	13A	Gelenkbus	24
7	62	Niederflurstraßenbahn	23
8	15A	Gelenkbus	25
9	71	Niederflurstraßenbahn	25
10	69A	Bus 2-achsig	29
11	4A	Bus 2-achsig	16
12	O	Niederflurstraßenbahn	22
13	5	Niederflurstraßenbahn	19
14	12A	Bus 2-achsig	39
15	10	Niederflurstraßenbahn	21
16	48A	Gelenkbus	17
17	66A	Gelenkbus	27
18	59A	Bus 2-achsig	19
19	14A	Bus 2-achsig	22
20	18	Hochflurstraßenbahn	23
21	76A	Bus 2-achsig	24
22	6	Niederflurstraßenbahn	23
23	10A	Gelenkbus	21
24	11A	Gelenkbus	29
25	5	Niederflurstraßenbahn	28
26	52	Niederflurstraßenbahn	21
27	49	Niederflurstraßenbahn	24
28	25	Hochflurstraßenbahn	23
29	77A	Bus 2-achsig	22
30	31	Hochflurstraßenbahn	28
31	43	Hochflurstraßenbahn	23
32	40A	Bus 2-achsig	15
33	37A	Bus 2-achsig	22
34	5A	Bus 2-achsig	22
35	40	Hochflurstraßenbahn	14
36	5B	Bus 2-achsig	17
37	D	Hochflurstraßenbahn	23
38	9	Niederflurstraßenbahn	26
39	7A	Gelenkbus	24
40	59A	Bus 2-achsig	10

Tabelle 3: Messstatistik; Quelle: eigene Darstellung.

Insgesamt wurde so 7 Stunden und 20 Minuten je Verkehrsmittel gemessen - 4,5 Stunden davon in zweiachsigen Bussen, 2 Stunden und 45 Minuten in Gelenkbussen, 3 Stunden und 15 Minuten in Hochflur- und 4 Stunden in Niederflurstraßenbahnen. Der

überwiegende Teil der Messfahrten fand tagsüber statt. Die Witterungsbedingungen waren die meiste Zeit wechselhaft oder bedeckt, aber auch an sonnigen und regnerischen Tagen fanden Messungen statt. Über die Hälfte der Messungen fanden im hinteren Bereich des jeweiligen Fahrzeugs statt.

5.1. Messgeräte

Datenlogger führen in definierten Zeitabständen Messungen mittels angeschlossener oder integrierter Sensoren durch und speichern die Daten in einem internen Speicher. Durch Messsysteme können mehrere Sensoren angeschlossen werden. Die gespeicherten Daten können in Folge kontinuierlich oder manuell mittels Kabel oder Funk auf den PC zur weiteren Verarbeitung, Analyse oder Ablage übertragen werden. (Waller, 2010)

Die ausgewählten Messgeräte (siehe Kapitel 5.1.1 und 5.1.2) gemeinsam mit der Messnormierung (siehe Kapitel 5.1.3) garantieren keine absolut korrekten Messungen. Durch die normierte Anordnung der Messgeräte ist jedoch die Vergleichbarkeit der Messungen gewährleistet.

5.1.1. *Licht, Temperatur, Beschleunigung:*

Der Datenlogger, der die meisten Anforderungen zu einem angemessenen Preis erfüllte war der MSR145 der Schweizer Firma MSR. Die integrierten oder angeschlossenen Sensoren können grundsätzlich beliebig zusammengestellt werden. Da jedoch nicht alle Kombinationen aus Sensoren vereinbar sind, enthält das zur Messung verwendete Gerät Sensoren für Licht, Temperatur, Beschleunigung und Luftdruck. Lärm musste also separat gemessen werden. Im Folgenden werden die technischen Spezifikationen für die gewählten Sensoren des Datenloggers MSR145 angeführt.

Licht: Die Beleuchtungsstärke kann bis zu ein Mal pro Sekunde in einem Bereich von Null bis 65.000 lx gemessen werden.

Temperatur: Der Temperatursensor ist im Luftdrucksensor integriert und misst zwischen -20 und 85°C bis zu zehn Werte pro Sekunde.

Beschleunigung: Die Drei-Achsen-Beschleunigung kann bis zu 50 Mal pro Sekunde aufgezeichnet werden. Bei einer Genauigkeit von $\pm 0,15$ g kann der Sensor Beschleunigungen von -10 bis 10 g (~ 100 m/s²) messen.

(Luftdruck: Eine Datenerfassung kann bis zu zehn Mal pro Sekunde durchgeführt werden. Der Messbereich liegt zwischen Null und 2.500 mbar, bei einer Genauigkeit von $\pm 2,5$ mbar. Der Luftdrucksensor wurde als externer Sensor mit einer Kabellänge von 20 cm gewählt.)

5.1.2. Lärm:

Der Lärm wurde parallel zu den anderen Daten mit dem Schallpegel-Datenlogger MEDIATOR 2238 der dänischen Firma Brüel & Kjaer gemessen. Mit dem Gerät lassen sich viele verschiedene Werte messen, besonders relevant ist jedoch der A-bewertete energieäquivalente Dauerschallpegel. Der Messbereich wurde auf 30 bis 130 dB, sowie eine Messung pro Sekunde eingestellt.

5.1.3. Messnormierung:

Um ein normiertes Messverfahren zu gewährleisten, wurden die Messgeräte in einer präparierten Holzschachtel montiert. Diese wurde jeweils längs auf einen Fahrzeugsitz gestellt. Die y-Achse des Beschleunigungsmessers gab so die Werte für Beschleunigung und Bremsen aus. Die positive y-Achse wies in Fahrtrichtung. Die x-Achse maß die seitlichen Beschleunigungen (Querbeschleunigung) und die z-Achse Stöße oder Vibrationen in vertikaler Richtung. Das Schallpegelmessgerät, sowie Temperatur- und Lichtsensor wiesen in Fahrtrichtung. Um ein Verrutschen der Schachtel auf dem Sitz zu verhindern wurde diese einerseits mittels Holzplatte beschwert und andererseits mit

rutschfesten Füßchen auf der Unterseite versehen. Am Deckel der Schachtel wurden Wasserwaagen angebracht um die horizontale Lage in x-Richtung bei Fahrtantritt zu gewährleisten (siehe auch Kapitel 5.4.2).

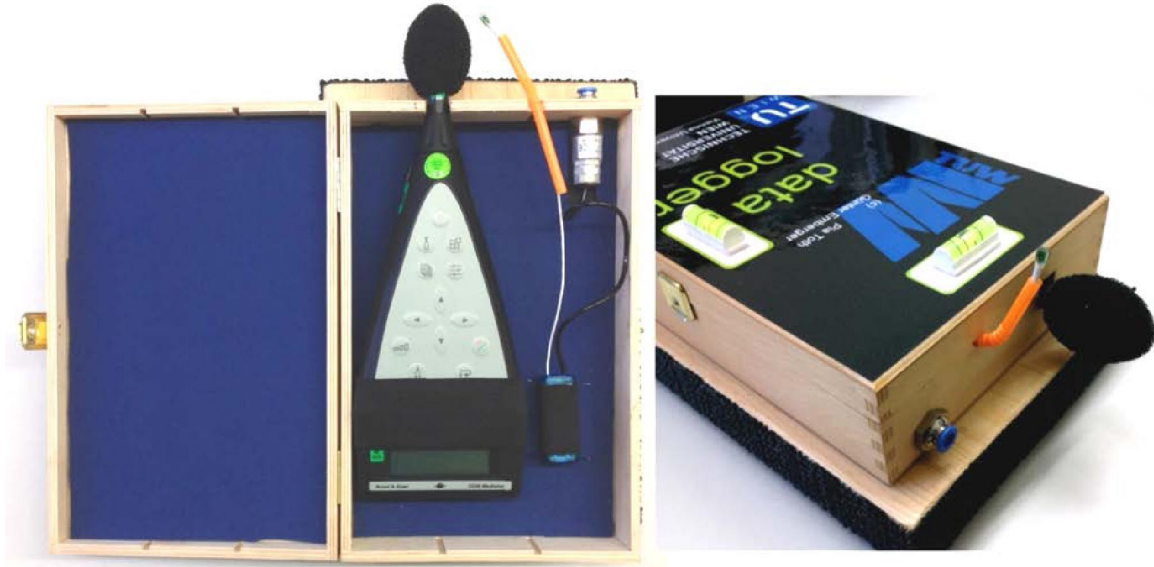


Abb. 4: Normierung der Messgeräte; Quelle: eigene Darstellung.

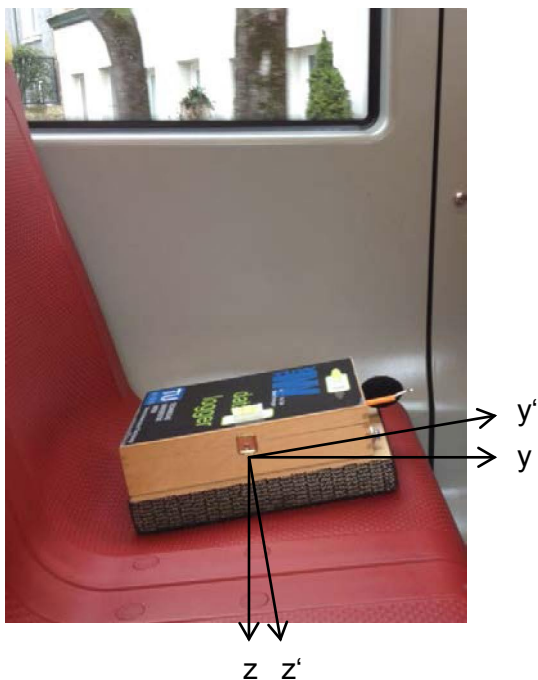


Abb. 5: Messanordnung auf einem Straßenbahnsitz; Quelle: eigene Darstellung.

Die eingezeichneten Achsen in Abb. 5 werden in Kapitel 5.4.2 näher erläutert. Die y-Achse des Beschleunigungsmessers gemeinsam mit dem Mikrophon des Lärmmessgeräts, dem Temperatursensor und der leichtempfindlichen Zelle des Luxmeters weisen in Fahrtrichtung.

5.2. Messprotokoll

Vor, sowie während jeder Messung wurden folgende Parameter in Form eines Messprotokolls festgehalten. Die Vorlage eines solchen Protokolls befindet sich im Anhang (siehe Kapitel 11.1).

- Datum
- Abfahrtsort, Ankunftszeit: Orte, an denen die tatsächliche, verwertbare Messung, ohne Vorbereitung und Nachlauf beginnt bzw. endet
- Abfahrtszeit, Ankunftszeit: Zeitpunkte, an denen die tatsächliche, verwertbare Messung, ohne Vorbereitung und Nachlauf beginnt bzw. endet
- Anfang und Ende der Zeitspanne, während der sich das Messgerät in Ruhelage befindet (siehe Kapitel 5.3)
- Linie und Verkehrsmittel: Das wichtigste Unterscheidungsmerkmal ist, ob im Bus oder in der Straßenbahn gemessen wird. Beim Bus wird zwischen zweiachsigen Bussen, sowie Gelenkbussen unterschieden – bei der Straßenbahn zwischen Hochflurfahrzeugen (älteres Modell) und Niederflurstraßenbahnen (ULF).
- Tageszeit (Tag, Nacht, Dämmerung): Ob bei Tag oder Nacht gemessen wird, beeinflusst maßgeblich den Lichteinfall.
- Position im Fahrzeug: Mittels Kreuz wird im Messprotokoll die ungefähre Position im Fahrzeug markiert. Zur Darstellung in tabellarischer Form (Excel) werden die Positionen im Fahrzeug eingeteilt in vorne, vorne bis mittig (bzw. in zweigliedrigen Fahrzeugen hinten im vorderen Zugteil), mittig bis hinten (bzw. vorne im hinteren Zugteil) und hinten. Vor allem seitliche Beschleunigungen unterscheiden sich je nach Position im Verkehrsmittel aufgrund von dessen Trägheit.
- Wetter, Außentemperatur, Klimatisierung/Beheizung: Die Außentemperatur wird auf Basis eines definierten Wetterdienstes (The Weather Channel via weather.com) bei der Abfahrt ermittelt und festgehalten. Beim Wetter wird

unterschieden zwischen sonnig, wechselhaft, bedeckt (inkl. Nacht und Nebel), Regen und Schneefall. Sonnenschein oder Wolken beeinflussen den Lichteinfall. Regen erhöht den Lärm. Des Weiteren wird festgehalten, ob im Fahrzeug deutlich wahrnehmbar klimatisiert oder geheizt wird. Dadurch sind die Temperaturschwankungen beim Öffnen der Türen stärker oder geringer.

- Sitzbeschaffenheit: Es wird zwischen gepolsterten oder ungepolsterten Sitzen unterschieden. In den öffentlichen Verkehrsmitteln in Wien handelt es sich bei Letzterem in Hochflurstraßenbahnen üblicherweise um Holzsitze, bei ULFs um Plastiksitze. Einige ULFs sind mit gepolsterten Sitzen ausgestattet. In Bussen ist eine Polsterung die Norm.

5.3. Messablauf

Jede Messung verlief nach der folgenden Methode:

Nach dem Einsteigen und Wählen eines geeigneten Sitzes wurde die Schachtel mit den Messgeräten platziert (y-Achse in Fahrtrichtung). Während der Fahrt zur ersten Station, wurden die Basisdaten (Wetter, Linie, etc.) im Messprotokoll festgehalten, sowie die Messgeräte eingeschaltet. Während des ersten Halts in einer Station wurden Anfang und Ende der Zeit festgehalten, während der sich die Messgeräte in absoluter Ruhelage befinden. Dadurch konnte später festgestellt werden ob der Beschleunigungsmesser nicht ganz horizontal platziert war, bzw. wie stark die Sitzfläche in y-Richtung geneigt war. Wird die Messung in einer Endstation begonnen, konnten alle bisher genannten Schritte vor Beginn der Fahrt getätigt werden.

Bei der nächsten Abfahrt begann die eigentliche Messung – die bis zu diesem Zeitpunkt aufgezeichneten Daten gingen nicht in die Auswertung ein.

Bei Ankunft in der letzten aufzunehmenden Haltestelle wurden Ankunftszeit, sowie –ort protokolliert. Die Daten die zwischen diesem Zeitpunkt und dem Ausschalten der Messgeräte aufgezeichnet wurden, wurden im Zuge der Datenaufbereitung verworfen.

5.4. Datenaufbereitung

Der eigentlichen Auswertung der Daten ging eine zweckmäßige Aufbereitung dieser voraus. Die Datenaufbereitung erfolgt mittels Microsoft Excel. Ebenso wie für die Messungen wurde für die Datenaufbereitung eine eigene Methode entwickelt.

Die Software des MSR Datenloggers gibt einerseits den genauen Zeitpunkt (mm:ss,s) der Datenaufnahme aus, andererseits die Werte für den Luftdruck, die Temperatur, drei Spalten für Schwingungen (x, y, z) und zuletzt eine Spalte für die Beleuchtungsintensität.

Die Software des Lärmmessgeräts gibt die Uhrzeit (hh:mm:ss) sowie den energieäquivalenten Dauerschallpegel, gemittelt über die Messdauer von einer Sekunde, aus.

Manuell hinzugefügt wurden jeweils Datum, Tageszeit, Linie, Art des Verkehrsmittels, Lage im Fahrzeug, Außentemperatur laut Wetterdienst, Charakterisierung des Wetters, Klimatisierung/Beheizung und Beschaffenheit des Sitzes.

Da die Messfrequenz für Beschleunigung und Licht/Temperatur unterschiedlich gewählt wurde, erfolgte die Datenaufbereitung insgesamt in vier separaten Tabellenblättern: Licht/Temperatur, Lärm, Beschleunigung und Korrektur der Beschleunigung (siehe 5.4.2.). Zeilen die keine Werte aufwiesen (jede zehnte Zeile bei Beschleunigung; zehn Zeilen zwischen Licht- und Temperaturdaten) wurden verworfen. Für jede Messfahrt wurde eine neue Exceldatei anhand eines Musters angelegt. Diese Dateien wurden unter dem Namen JJMMTT_Linie (z.B. 150326_2) gespeichert.

5.4.1. Licht/Temperatur & Lärm:

Im Tabellenblatt für Temperatur und Licht wurden die weiteren Kategorien Temperaturdifferenz, sowie Lichtdifferenz eingeführt, welche die Veränderung von einer Messung zur nächsten berechnen. Dabei wurde jeweils der vorangehende Wert vom nachfolgenden subtrahiert (z.B. $T_2 - T_1$) um korrekt darzustellen, ob es sich um eine Zu- oder Abnahme handelte. Für das Licht wurden zwei weitere Spalten erstellt. Einerseits wurde der Absolutwert der Beleuchtung berechnet, andererseits die Veränderung von

einer Sekunde zur nächsten in Prozent, da die relative Unterschiedsschwelle des Lichts von dessen Eingangsgröße abhängig ist.

5.4.2. Beschleunigung:

Da die Lage des Beschleunigungsmessers, beispielsweise durch die Neigung der Sitzfläche, variieren kann, mussten die Daten rechnerisch wieder in die horizontale Lage gekippt werden (vgl. Abb. 5). Dies ist möglich, da die z-Achse bei exakt horizontaler Lage des Messgerätes einen Wert von 1 g (= Erdbeschleunigung) ausgibt. Lag das Gerät schief, weicht dieser Wert ab. Die z-Achse bildete also die Ausgangslage für die Rückrechnung auf die tatsächlichen Werte der x- bzw. y-Achse. Da das Messgerät jedoch keine Vektoren ausgibt sondern nur eine Summe für die Beschleunigung in g, muss bekannt sein um welche Achse gekippt wurde. Im Sinne einer geneigten Sitzfläche handelt es sich dabei um die x-Achse. Um eine Drehung um die y-Achse zu vermeiden wurde die x-Achse mittels Wasserwaage in die horizontale Lage gebracht. Die Drehung des Koordinatensystems wurde mittels der folgenden Formel berechnet:

$$\cos\varphi = \frac{z'}{z} = \frac{z'}{1} \rightarrow z' = \cos\varphi$$

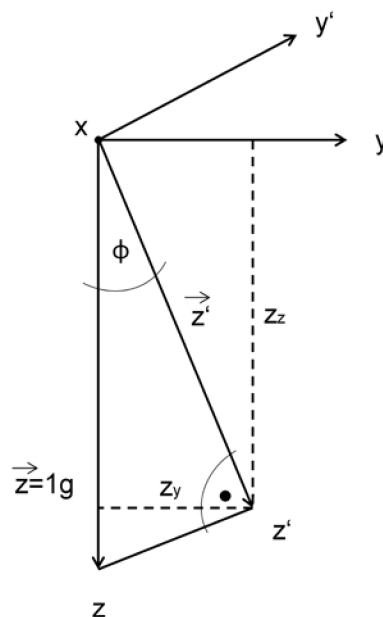


Abb. 6: Rotation von y und z um die x-Achse; Quelle: eigene Darstellung.

z ist dabei immer 1 g und für z' wurde der entsprechende gemessene Wert eingesetzt. Mittels φ konnte im Weiteren von y' auf y rückgerechnet werden:

$$y = \frac{y'}{\cos\varphi}$$

In Excel wurde dazu ein separates Tabellenblatt angelegt. Hier wurden jene Werte verwendet, die aufgezeichnet wurden, als sich das Fahrzeug in Ruhe befand (z.B. während des ersten Stopps in einer Haltestelle). Aus diesen Messwerten wurden, wie oben angeführt, der jeweilige Winkel errechnet, um die das Koordinatensystem um die x-Achse rotiert. Der Durchschnitt aus diesen Winkeln wird verwendet, um y- und z-Achse in die Lage zurückzurechnen, die sie gehabt hätten, wenn die Sitzfläche nicht geneigt wäre.

5.4.3. Zusammenfassung der Datenaufbereitung:

Die folgende Tabelle ist eine Legende für alle in Excel verwendeten Bezeichnungen und Werte. Diese angeführten Bezeichnungen wurden auch für den nächsten Schritt - die Datenauswertung in SPSS - übernommen.

Tabellenblatt	Parameter	Parameter Erläuterung	Einheit	Qualitativer Wert
Alle	Nr	Folgenummer	-	[1, 2, ... x]
	Datum		JJMMTT	-
	Tageszeit		-	1=Morgendämmerung 2=Tag 3=Abenddämmerung 4=Nacht
	Linie	Liniennummer des öffentlichen Verkehrsmittels	-	-
	VM	Verkehrsmittel	-	11=Bus 2-achsig 12=Gelenkbus 21=Hochflurstraßenbahn 22=Niederflurstraßenbahn
	Lage	Position im Verkehrsmittel	-	1=(vorderer Zugteil) vorne 2= vorderer Zugteil hinten bzw. vorne bis mittig 3=hinterer Zugteil vorne bzw. mittig bis hinten 4=(hinterer Zugteil) hinten

	Sitz	Beschaffenheit des Sitzes	-	1=hart (Holz, Plastik) 2=weich, gepolstert
	Temperatur	Außentemperatur lt. Wetterdienst	°C	-
	Wetter		-	1=Sonne 2=Wechselhaft, Bewölkt 3=Bedeckt, Nebel 4=Regen 5=Schneefall
	Klima	Deutlich wahrnehmbare Beheizung oder Klimatisierung	-	1=Beheizt 0=keine Heizung/Klima -1=Klimatisiert
Temp_Licht	Zeit_m	Minuten- und Sekundenanteil des Aufnahmezeitpunkts	mm:ss,s	-
	Zeit_h	Stundenanteil des Aufnahmezeitpunkts	hh	-
	T_Cel	Temperatur	°C	-
	Licht_lx	Beleuchtungsintensität	lx	-
	T_Diff	Änderung der Temperatur	°C	
	Licht_Diff	Änderung der Beleuchtungsintensität	lx	
	Licht_Diff_abs	Absolutwert der Änderung der Beleuchtungsintensität	lx	
	Licht_Diff_Pro	Änderung der Beleuchtungsintensität	%	
Lärm	Zeit	Aufnahmezeitpunkt	hh:mm:ss	-
	LAeq_dB	A-bewerteter energieäquivalenter Dauerschallpegel	dB	-
Beschleunigung	Zeit_m	Minuten- und Sekundenanteil des Aufnahmezeitpunkts	mm:ss,s	-
	Zeit_h	Stundenanteil des Aufnahmezeitpunkts	hh	-
	Ausgabe_ACC_x_g	Beschleunigung in x-Richtung	g	-
	Ausgabe_ACC_y_g	Beschleunigung in y-Richtung	g	-
	Ausgabe_ACC_z_g	Beschleunigung in z-Richtung	g	-
	ACC_y_g	Korrigierte Beschleunigung in y-Richtung	g	-
	ACC_z_g	Korrigierte Beschleunigung in z-Richtung	g	-

Tabelle 4: Legende über die erhobenen Parameter; Quelle: eigene Darstellung.

6. Datenauswertung zum Vergleich von Bus und Straßenbahn

Die in Excel aufbereiteten Daten wurden in weiterer Folge in IBM SPSS Statistics zur Datenauswertung exportiert. In SPSS wurden die einzelnen Messungen zu einer Datei zusammengefügt. Jedoch blieben sie nach ihren enthaltenen Parametern (Temperatur/Licht, Lärm, Beschleunigung) aufgeteilt auf drei Datensätze. Das Hinzufügen neuer Daten, sowie das Auswerten dieser konnte über zwei eigens erstellte SPSS-Syntax-Dateien vorgenommen werden.

Die Auswertung der Messdaten sollte Klarheit darüber schaffen, ob zwischen den betrachteten Verkehrsmitteln Unterschiede vorliegen. Ausgewertet wird dabei jeweils separat für die beiden Verkehrsmittel und die Messgrößen. Im Fokus standen dabei:

- Die graphische Darstellung aller gemessenen Werte mittels Histogrammen um potentielle Unterschiede graphisch ersichtlich zu machen
- Die Auswertung der statistischen Indikatoren Mittelwert, Standardabweichung Minimum und Maximum um Extremwerte und Durchschnitt vergleichen zu können
- Die Häufigkeit von Überschreitungen der definierten humanphysiologischen Komfortbereiche
- Die Betrachtung der einzelnen Messfahrten hinsichtlich deren Mittelwerten (Dauerbelastungen während einer einzelnen Messfahrt), Minimal- und Maximalwerten

In den folgenden Kapiteln werden die Ergebnisse der Auswertungen (möglichst) objektiv dargestellt. Bewertungen beziehungsweise Interpretationen werden in den Kapiteln 6.4 sowie 9 vorgenommen.

6.1. Darstellung der Messwerte mittels Histogrammen

In diesem Kapitel werden die aufgenommenen Daten getrennt nach Messindikator und Verkehrsmittel in Form von Histogrammen graphisch dargestellt. Potentielle Unterschiede zwischen Bus und Straßenbahn sollen so auf einen Blick ersichtlich gemacht werden. Des Weiteren werden die Daten auf ihre statistische Signifikanz sowie den Grad ihrer Normalverteilung hin überprüft.

„Histogramme dienen zur Anzeige der Verteilung einer einzelnen metrischen Variablen. Die Daten werden klassiert und mithilfe einer Häufigkeits- oder Prozentsatzstatistik ausgewertet.“ (IBM, o.J.)

Zu den folgenden Histogrammen ist allgemein zu sagen, dass die vertikalen Linien die Komfortgrenzen markieren. Werte außerhalb dieser überschreiten die physiologische Grenze (vgl. Abb. 3) und lösen beim Menschen Unbehagen aus. Die genauen Schwellenwerte sind Kapitel 4 zu entnehmen, beziehungsweise hier noch einmal spezifisch zusammengefasst.

- Die Beleuchtung sollte keine Werte schwächer als 120 lx aufweisen; Änderungen der Beleuchtung 1,6 %/s nicht überschreiten.
- Beim Lärm wird die Obergrenze durch den gesundheitsschädigenden Werte von 80 dB beim Dauerschallpegel und den deutlich komfortbeeinträchtigenden Wert von ebenfalls 80 dB für Spitzen angenommen.
- Temperatur wird als angenehm empfunden wenn sie zwischen 18 und 23°C liegt. Sie sollte sich nicht schneller als 1°C/s ändern.
- Bei den Schwingungen soll die Dauerbelastung 0,117 g nicht übersteigen; Spitzen sollen nicht mehr betragen als 0,357 g. (Quellen: siehe Kapitel 4.1)

Der optischen Beurteilung der Daten ist die Anzeige der Normalverteilungskurve dienlich. Anhand dieser können Erwartungswert und Varianz abgelesen werden.

- Erwartungswert, Lageparameter: *„Der Erwartungswert einer Zufallsvariablen, beschreibt denjenigen Wert, den man bei sehr häufiger Wiederholung von X im Mittel beobachten wird.“* (Hain, o.J.) Optisch ist dieser erkennbar als der höchste Punkt der Normalverteilungskurve.
- Varianz, Streuungsparameter: *„Die Varianz einer Zufallsvariablen definiert sich als die mittlere quadratische Abweichung vom Erwartungswert.“* (Hain, o.J.) Eine höhere Varianz wird sichtbar durch eine breitere, flachere Normalverteilungskurve.

Zur Beurteilung des Grades der Normalverteilung der vorliegenden Daten wurden die statistischen Indikatoren Kurtosis und Schiefe betrachtet.

- *„Kurtosis. Ein Maß dafür, wie sehr die Beobachtungen um einen zentralen Punkt gruppiert sind. Bei einer Normalverteilung ist der Wert der Kurtosis gleich 0. Bei positiver Kurtosis sind die Beobachtungen im Vergleich zu einer Normalverteilung enger um das Zentrum der Verteilung gruppiert [...] Bei negativer Kurtosis sind die Beobachtungen im Vergleich zu einer Normalverteilung weniger eng gruppiert und haben dickere Flanken [...]*
- *Schiefe. Ein Maß der Asymmetrie der Verteilung. Die Normalverteilung ist symmetrisch, ihre Schiefe hat den Wert 0. Eine Verteilung mit einer deutlichen positiven Schiefe läuft nach rechts lang aus (lange rechte Flanke). Eine Verteilung mit einer deutlichen negativen Schiefe läuft nach links lang aus [...]“ (IBM, o.J.)*

Außerdem wurden statistische Tests zum Vergleich der Mittelwerte der beiden Verkehrsmittel durchgeführt. Im Fall normalverteilter Daten handelt es sich dabei um den t-Test, für verteilungsfreie Daten kommt der Mann-Whitney-U-Test zum Einsatz. Mittels dieser Tests kann geprüft werden ob die Mittelwerte zufällig voneinander abweichen, oder ob ein systematischer Unterschied vorliegt. Dies wurde in SPSS einerseits mittels eines *t-Tests für unabhängige Stichproben*, andererseits mittels eines *Nicht parametrischen Tests für zwei unabhängige Stichproben - Mann-Whitney-U-Test (M-W-U)* durchgeführt. Ein signifikantes Ergebnis liegt bei einem Wert $< 0,5$ vor ($< 0,001$ hoch-signifikant). Damit trifft die Nullhypothese zu. Die Nullhypothese besagt, dass die Mittelwerte einer Datenmenge mit dem gleichen Mittelwert entspringen und sie sich daher nur zufällig unterscheiden. (Steyer, o.J.)

6.1.1. Licht:

Da die Lux-Skala von 0 bis 100.000 lx reicht und das eingesetzte Messgerät auf mehrere Nachkommastellen genau misst, kommt es bei der vorliegenden Anzahl an Messungen zu keiner Normalverteilung der Daten. Die Maximalwerte der Beleuchtung liegen bei beiden Verkehrsmitteln deutlich über 10.000 lx - die folgenden Histogramme (siehe Abb. 7) zeigen jedoch nur Werte bis 1.000 lx, da sich in diesem Bereich die meisten Messwerte befinden.

Bus:	Kurtosis = 792,49	Str.b.:	Kurtosis = 794,66
	Schiefe = 23,84		Schiefe = 25,94
→ M-W-U-Test: Signifikanz < 0,001			

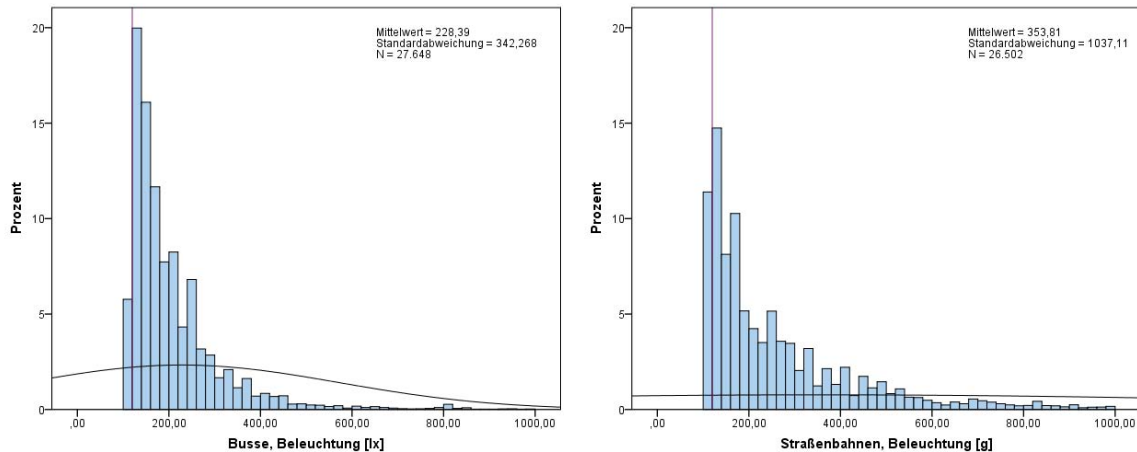


Abb. 7: Reduziertes Histogramm der Messwerte der Beleuchtungsintensität bis 1.000 lx - Vergleich Busse und Straßenbahnen; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.

Anhand der Histogramme lässt sich optisch ausmachen, dass sich bei den Straßenbahnen mehr Werte links der vertikalen Linie befinden. Das heißt, dass bei dem schienengebundenen Verkehrsmittel mehr Messwerte die Komfortgrenze von 120 lx unterschreiten. Bei den Bussen häufen sich jedoch die Messwerte in Nahbereich der Komfortgrenze (ca. zwischen 120 und 200 lx), während sie sich bei den Straßenbahnen zu einer höheren Beleuchtungsintensität hin verteilen.

6.1.2. Lärm:

Die vertikale Linie im Lärm-Histogramm markiert die Komfortobergrenze von 80 dB. Diese Zahl stellt auch einen sinnvollen Richtwert für kurze Lärmereignisse dar, die hinsichtlich des Komforts nicht mehr tolerierbar sind. Kurzfristige Lärmereignisse über diesem Wert beeinträchtigen zwar nicht die Gesundheit des menschlichen Gehörs (vgl. Kapitel 4.1.2), den Komfort jedoch erheblich. Der Dauerschallpegel je Fahrt wird in Kapitel 6.3 analysiert.

Bus:	Kurtosis = -0,25	Str.b.:	Kurtosis = -0,51
	Schiefe = 0,09		Schiefe = -0,22
→ t-Test: Signifikanz < 0,001			

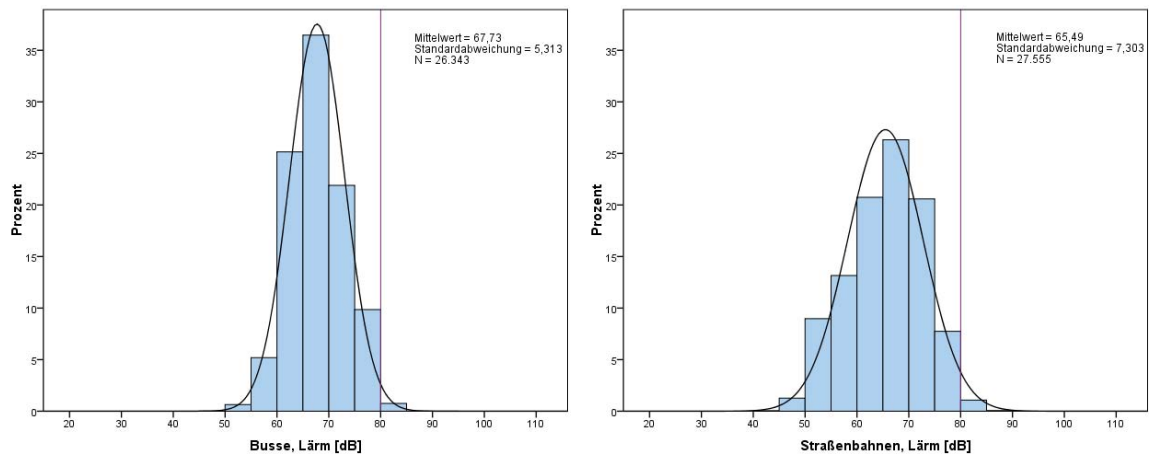


Abb. 8: Histogramm der Lärmmesswerte - Vergleich Busse und Straßenbahnen; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.

Die Messwerte der Busse lassen eine deutliche Spitze zwischen 65 und 70 dB erkennen. Die Spitze der Straßenbahn-Messwerte liegt im selben Bereich, ist aber weniger deutlich ausgeprägt. Der Erwartungswert liegt bei den Bussen um etwa 2 dB höher als bei den Straßenbahnen. Die Varianz ist wiederum bei den Straßenbahnen größer. Überschreitungen der definierten Komfortgrenze von 80 dB treten in Straßenbahnen minimal häufiger auf, als in Bussen.

6.1.3. Temperatur:

Die Komfortgrenzen der Temperatur (vertikale Linien) wurden anhand der Idealtemperatur für Wohnräume festgesetzt. Ob diese Temperaturspanne für Einzelpersonen, die eventuell Winterkleidung tragen oder gerade in Bewegung waren, nicht als zu warm empfunden wird kann nicht definitiv gesagt werden. Des Weiteren wird aus der Umfrage (siehe Kapitel 8.3.3) klar, dass Temperaturwahrnehmung sehr subjektiv ist.

Bus:	Kurtosis = -0,08	Str.b.:	Kurtosis = 0,87
	Schiefe = 0,54		Schiefe = 1,09
→ t-Test: Signifikanz < 0,001			

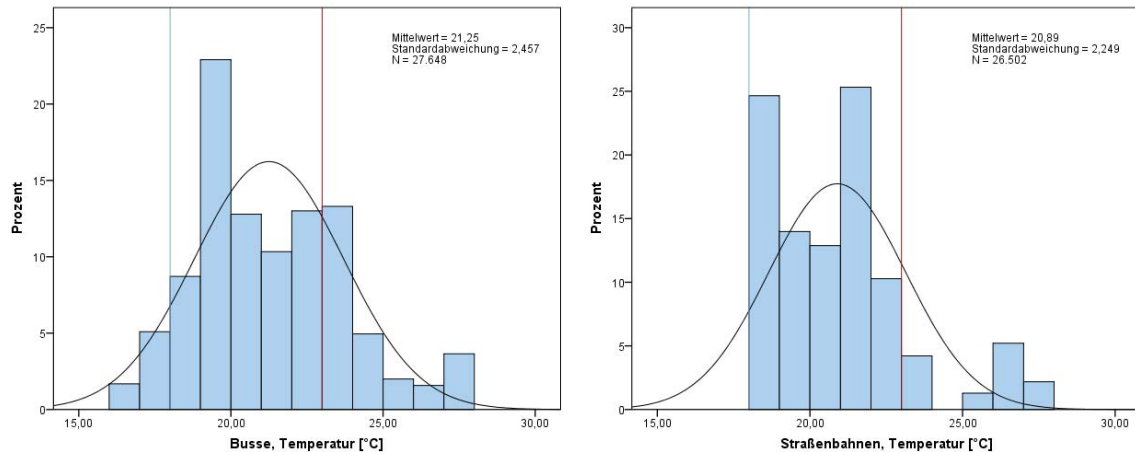


Abb. 9: Histogramm der Temperaturmesswerte - Vergleich Busse und Straßenbahnen; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.

Die Messwerte der Busse weisen eine deutliche Spitze bei 19°C auf, während die Straßenbahnen zwei Spitzen bei 18 und 21°C haben. Der Erwartungswert beider Verkehrsmittel liegt bei 21°C. Die Varianz ist bei den Bussen etwas größer – das heißt, dass mehr Werte außerhalb der definierten Komfortgrenzen zu erwarten sind. Die Komfortobergrenze wird in Bussen häufiger überschritten als in Straßenbahnen. In den schienengebundenen Fahrzeugen gibt es keine Unterschreitungen der unteren Komfortgrenze von 18°C, während das bei den Bussen schon der Fall ist.

Bei den Temperaturen wurde des Weiteren das Verhältnis der einmalig notierten Außentemperatur (siehe Kapitel 5.2) zu den gemessenen Werten untersucht. Eine große Temperaturdifferenz wird als unangenehm empfunden.

Die Temperaturspanne in der Messfahrten vorgenommen wurden liegt zwischen 2 (Februar 2016) und 27°C (August 2015) mit einer Durchschnittstemperatur von 10°C.

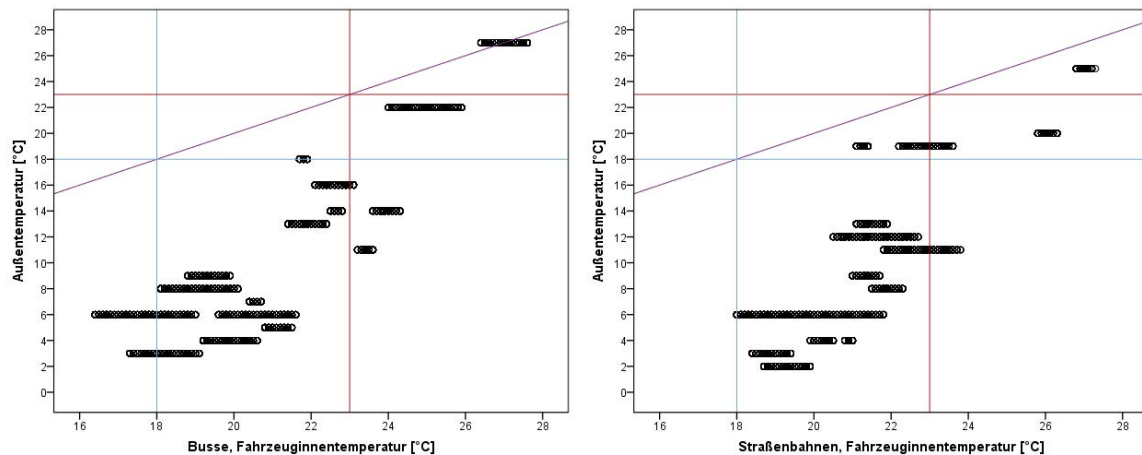


Abb. 10: Streudiagramme der Temperaturmesswerte (x-Achse) im Vergleich zur aufgenommenen Außentemperatur (y-Achse) - Vergleich Busse und Straßenbahnen; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.

Es zeigt sich, dass die Außentemperatur während nahezu allen Messfahrten niedriger war, als die Temperatur im Fahrzeuginnenraum. Die Ausnahme bildet die stark klimatisierte Fahrt mit der Buslinie 13A bei 27°C Außentemperatur.

Ideale Temperaturverhältnisse befinden sich im mittleren Rechteck – die Temperaturen im Inneren des Fahrzeugs befinden sich innerhalb der Komfortgrenzen und weichen nur wenig von den Außentemperaturen ab. Solche Werte finden sich öfter bei den Straßenbahnen. Je weiter sich die Werte von der diagonalen Linie entfernen, umso größer die Unterschiede zwischen Innen- und Außentemperatur. Die Temperaturdifferenz bei den Bussen beträgt im Durchschnitt 10,5°C, während sie bei den Straßenbahnen 11,3 beträgt. Es lässt sich der Trend erkennen, dass die Temperaturunterschiede zwischen Innen und Außen mit steigender Außentemperatur abnehmen.

6.1.4. Beschleunigung:

Hohe Balken in der Nähe der Mitte (vertikale Linie) sagen aus, dass viele Werte in einem Bereich liegen, in dem Vibrationen zwar eventuell wahrgenommen werden, aber im Normalfall keine Minderung des Komforts auslösen. Je breiter die Kurven, desto mehr Messwerte entfernen sich vom Idealzustand $a(x, y) = 0 \text{ g}$ und $a(z) = 1 \text{ g}$. Die Mittelwerte bei den Beschleunigungshistogrammen sind in diesem Schritt noch nicht

aussagekräftige, da sich beispielweise Schwingungen nach rechts und links rechnerisch gegenseitig aufheben. Um sinnvolle Ergebnisse zu erhalten müssen zuerst die Absolutwerte gebildet werden (siehe Kapitel 6.2).

x-Richtung (Querbeschleunigung):

Bus:	Kurtosis = 7,37	Str.b.:	Kurtosis = 5,62
	Schiefte = -0,08		Schiefte = -0,29
→ M-W-U-Test: Signifikanz < 0,001			

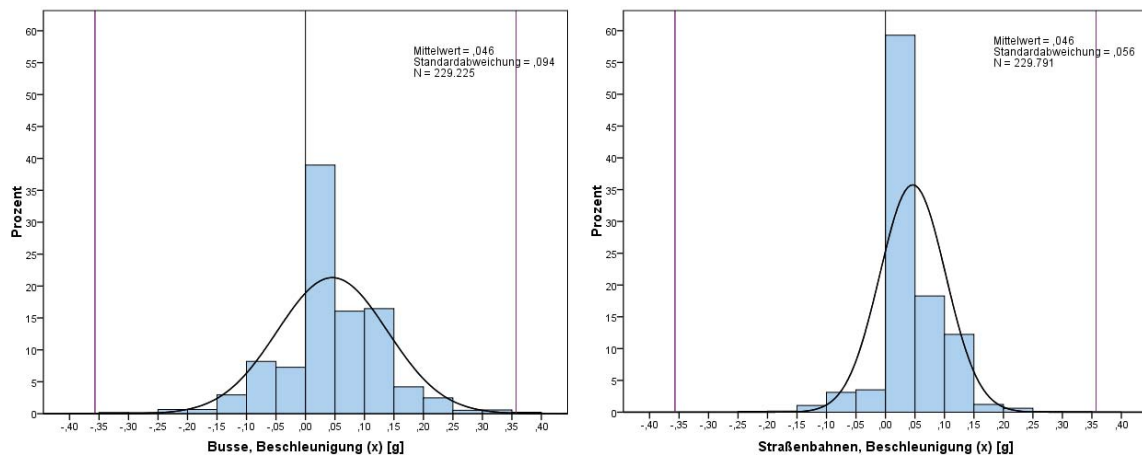


Abb. 11: Histogramm der Beschleunigungsmesswerte in x-Richtung - Vergleich Busse und Straßenbahnen; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.

Die Messwerte beider Verkehrsmittel weisen Spitzen knapp rechts von 0 g auf – diese Spitze ist jedoch bei den Straßenbahnen deutlicher ausgeprägt. Die deutlich höhere Varianz der Bus-Messwerte zeigt, dass sich bei diesem Verkehrsmittel mehr Messwerte den Komfortgrenzen rechts und links annähern und sich damit mehr Werte vom Idealzustand von 0 g entfernen. Der Erwartungswert liegt bei beiden betrachteten Verkehrsmitteln bei 0,05 g. Die Rechtsverschiebung beider Kurven zeigt, dass registrierte Beschleunigungen nach rechts häufiger sind als nach links.

y-Richtung (Beschleunigen/Bremsen):

Bus:	Kurtosis = 8,92	Str.b.:	Kurtosis = 0,91
	Schiefte = 0,25		Schiefte = -0,17
→ M-W-U-Test: Signifikanz < 0,001			

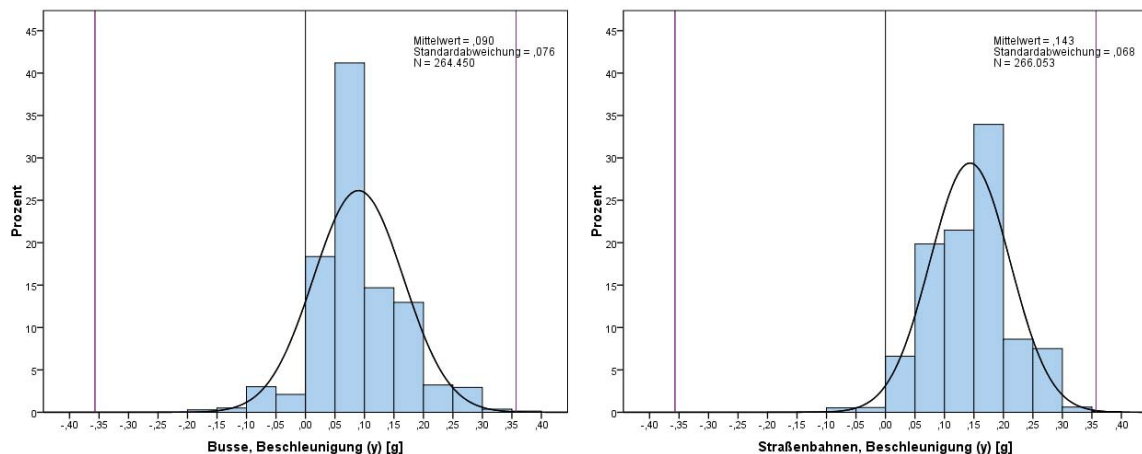


Abb. 12: Histogramm der Messwerte der Beschleunigungsmesswerte in y -Richtung - Vergleich Busse und Straßenbahnen; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.

Die Spitze der Straßenbahn-Messwerte liegt weiter rechts (näher der oberen Komfortgrenze) als bei den Bussen, ist jedoch etwas weniger deutlich ausgeprägt. Auch der Erwartungswert der Beschleunigungen in Straßenbahnen ist mit 0,15 g höher als in Bussen mit 0,1. Die Verschiebung nach rechts beider Kurven zeigt, dass mehr Beschleunigungen in Fahrtrichtung stattfinden als Bremsvorgänge.

Dazu ist anzumerken, dass Bremsen von Fahrgästen in der Regel immer als unangenehm wahrgenommen wird, während Beschleunigung auch positiv aufgefasst werden kann, wenn diese nicht zu stark und unerwartet passiert. Hervorzuheben ist also zusätzlich der Umstand, dass sich bei den Bussen mehr Messwerte links der vertikalen Linie befinden, also mehr Bremsvorgänge stattfinden, als bei den Straßenbahnen.

z-Richtung (hoch/tief):

Bus:	Kurtosis = 37,45	Str.b.:	Kurtosis = 16,56
	Schiefte = 1,01		Schiefte = 0,02
→ M-W-U-Test: Signifikanz < 0,001			

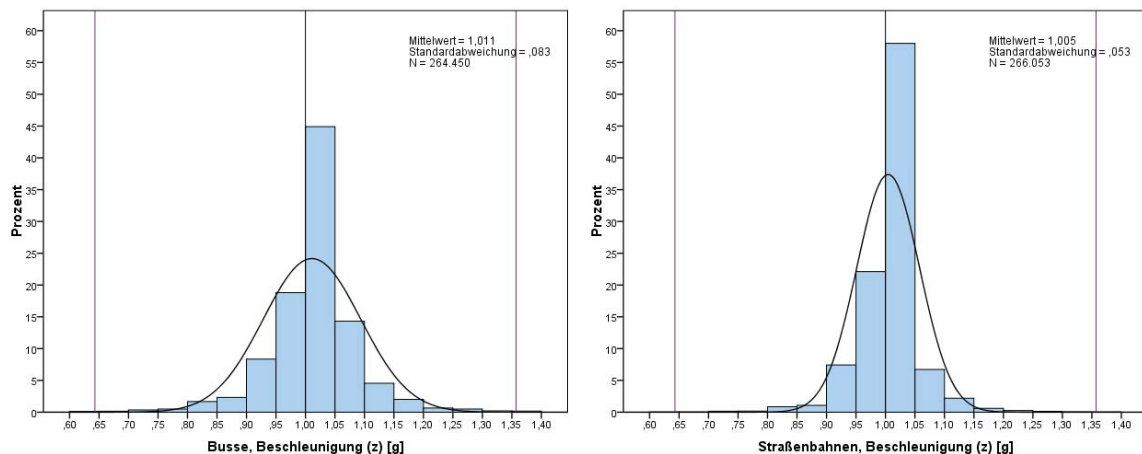


Abb. 13: Histogramm der Beschleunigungsmesswerte in z-Richtung - Vergleich Busse und Straßenbahnen; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.

Der Erwartungswert der Beschleunigungen beider Verkehrsmittel liegt in z-Richtung beim Idealwert von 1 g. Die Spitzen der Messwerte liegen jeweils knapp über diesem Wert, wobei die Spitze bei den Straßenbahnen deutlicher ausgeprägt ist als bei den Bussen. Die Varianz der Bus-Messwerte ist größer als bei den Straßenbahnen. Das heißt, dass sich bei den straßengebundenen Fahrzeugen mehr Messwerte den Komfortgrenzen rechts und links annähern als bei den Straßenbahnen.

6.2. Vergleich der Verkehrsmittel mittels statistischer Indikatoren

Anhand der statistischen Indikatoren Mittelwert, Standardabweichung, Minimum und Maximum wurden Durchschnitts- und Extremwerte der Verkehrsmittel miteinander verglichen.

- „Mittelwert. Ein Lagemaß (zentrale Tendenz). Die Summe der Ränge, geteilt durch die Zahl der Fälle.

- *Standardabweichung. Ein Maß für die Streuung um den Mittelwert. In einer Normalverteilung liegen 68 % der Fälle innerhalb von einer Standardabweichung des Mittelwerts und 95 % der Fälle innerhalb von zwei Standardabweichungen. [...]*
- *Minimum. Der kleinste Wert einer numerischen Variablen.*
- *Maximum. Der größte Wert einer numerischen Variablen.“ (IBM, o.J.)*

Bei Licht und Temperatur wurden einerseits die absoluten Werte verglichen, andererseits die Änderungen der Lichtstärke beziehungsweise Temperatur von einer Sekunde auf die nächste. Für die Mittelwerte der Änderung des Lichts und der Temperatur, sowie für die Schwingungen müssen Absolutwerte gebildet werden, damit sich die gemessenen Werte nicht gegenseitig aufheben. Würden beispielweise die Messwerte der Beschleunigung in x-Richtung -0,1 und 0,2 g betragen würde sich als Mittelwert 0,1 ergeben. Werden jedoch die Absolutwerte herangezogen betrüge der Mittelwert 0,15 g. Für die Beschleunigung in z-Richtung $a(z)$ gilt jedoch:

$$a(z) < 1: a(z) = 1 + (1 - a(z))$$

$$a(z) \geq 1: a(z) = a(z)$$

Die folgenden Tabellen zeigen die Anzahl der gemessenen Werte (n), den Mittelwert (Mittelw.), die Standardabweichung (Std.abw.), sowie Minimum (min) und Maximum (max) je Messindikator (Beleuchtungsstärke, Änderung der Beleuchtungsstärke, Dauerschallpegel (gemittelt über eine Sekunde), Temperatur, Änderung der Temperatur sowie Beschleunigung in drei Richtungen).

Bus	Licht [lx]	Δ Licht [%]	LAeq [dB]	T [°C]	$(\Delta T$ [°C])	a (x) [g]	a (y) [g]	a (z) [g]
n	27.648	27.633	26.343	27.648	27.633	229.225	264.450	264.450
Mittelw.	228,39	0,22	67,73	21,25	0,0042	0,08	0,10	1,05
Std.abw.	342,27	1,82	5,31	2,46	0,12	0,07	0,07	0,07
min	104,80	-121,30	47,10	16,40	-0,10	-1,44	-1,16	-0,32
max	13.168,17	106,90	90,60	27,60	0,10	2,11	2,75	5,01

Tabelle 5: Statistik der Messwerte in Bussen; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.

Straßen- bahn	Licht [lx]	ΔLicht [%]	LAeq [dB]	T [°C]	(ΔT [°C])	a (x) [g]	a (y) [g]	a (z) [g]
n	26.502	26.489	27.555	26.502	26.489	229.791	266.053	266.053
Mittelw.	353,81	0,46	65,49	20,89	0,0039	0,06	0,15	1,03
Std.abw.	1037,11	8,98	7,30	2,25	0,02	0,04	0,07	0,04
min	104,80	-373,32	41,70	18,00	-0,10	-0,78	-0,35	0,03
max	39.576,44	373,88	86,90	27,30	0,10	0,75	0,75	2,37

Tabelle 6: Statistik der Messwerte in Straßenbahnen; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.

Licht:

Der Mittelwert der Beleuchtung ist in der Straßenbahn mit 354 lx höher als in Bussen (228 lx). Er liegt jedoch bei beiden Verkehrsmitteln deutlich über der unteren Komfortgrenze von 120 lx. Die Standardabweichung ist beim schienengebundenen Verkehrsmittel drei Mal so hoch, wie bei den Bussen. Das zeigt, dass die Lichtverhältnisse in Straßenbahnen weniger konstant sind als in den Straßenfahrzeugen. Das Maximum in der Straßenbahn ist drei Mal so hoch, als in den betrachteten Bussen. Änderungen der Beleuchtung sind im Mittel in beiden Verkehrsmitteln gering ($< 0,5\%$) und liegen deutlich unter der Komfortgrenze von $1,6\%$.

Lärm:

Der Mittelwert des Lärms ist in Bussen um 2,2 und der Maximalwert um 3,7 dB höher als in Straßenbahnen. Außerdem liegt der Minimalwert in Straßenbahnen um 5,5 dB unter dem der Busse.

Temperatur:

Wie bereits deutlich in Abb. 9 erkennbar, liegt der Minimalwert der Temperatur in Straßenbahnen mit 18°C höher als in Bussen mit $16,4^{\circ}\text{C}$. Das heißt, dass die Temperaturen in der Straßenbahn nie die definierte Untergrenze des Komforts von 18°C unterschreiten, während das in den Bussen schon der Fall ist. Maximalwert und Mittelwert der Temperaturen unterschieden sich in den betrachteten Verkehrsmitteln nur wenig ($< 0,4^{\circ}\text{C}$). Die Mittelwerte liegen in einem komfortablen Bereich, die Maximalwerte jedoch jeweils fast 5°C über der Obergrenze des Komforts. Änderungen der Temperatur

sind in beiden Verkehrsmitteln sehr gering mit Mittelwerten kleiner als $0,005^{\circ}\text{C}$ und Minimal- und Maximalwerten von $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$. Weitere Auswertungen zu diesem Faktor wären daher nicht sinnvoll.

Beschleunigung:

Die Mittelwerte der Beschleunigung in alle drei Richtungen unterschieden sich unter den Verkehrsmitteln wenig.

x, z - In x- und z-Richtung ist der Mittelwert der Busse jeweils um $0,02\text{ g}$ höher als in Straßenbahnen (das entspricht in x-Richtung $0,25$ und in z-Richtung $0,02\%$) und auch die Standardabweichung ist um $0,03\text{ g}$ höher. Minimum und Maximum entfernen sich bei den Bussen jeweils deutlich weiter vom Idealzustand als bei den Straßenbahnen.

y - Bei gleicher Standardabweichung ist in y-Richtung (Beschleunigen/Bremsen) der Mittelwert der Busse um $0,05\text{ g}$ ($0,33\%$) geringer als in Straßenbahnen. Auch in y-Richtung sind Minimum und Maximum der Busse etwa drei Mal so hoch, als die der Straßenbahnen.

Abb. 14 fasst die in Tabelle 5 und Tabelle 6 dargestellten Mittelwerte in Form eines Radardiagramms zusammen. Außer für die Temperatur gilt: Je weiter außen sich ein Wert befindet umso mehr nähert er sich der Komfortgrenze an und ist damit schlechter zu beurteilen. Bei der Beleuchtung wurde zu diesem Zweck die Achse umgekehrt – die Werte werden nach außen hin geringer. Bei der Temperatur galt es sowohl Ober- als auch Untergrenze nicht zu über- beziehungsweise unterschreiten.

Für jeden Indikator werden die Mittelwerte je Verkehrsmittel auf der entsprechenden Achse eingetragen. Anschließend werden die Mittelwerte der unterschiedlichen Messfaktoren miteinander verbunden. So entsteht ein Polygon, dessen Fläche Auskunft darüber gibt, wie gut ein Verkehrsmittel in Summe zu beurteilen ist. Eine geringere Fläche bedeutet ein höheres Komfortniveau.

Das Diagramm zeigt deutlich, dass die Mittelwerte der Straßenbahn jeweils dem Zentrum näher gelegen sind, als die der Busse. Die Ausnahme dazu bildet die Beschleunigung in

y-Richtung (Fahrtrichtung). In Summe ergibt sich für die Straßenbahn eine geringere Fläche innerhalb der markierten Punkte, als für die Busse.

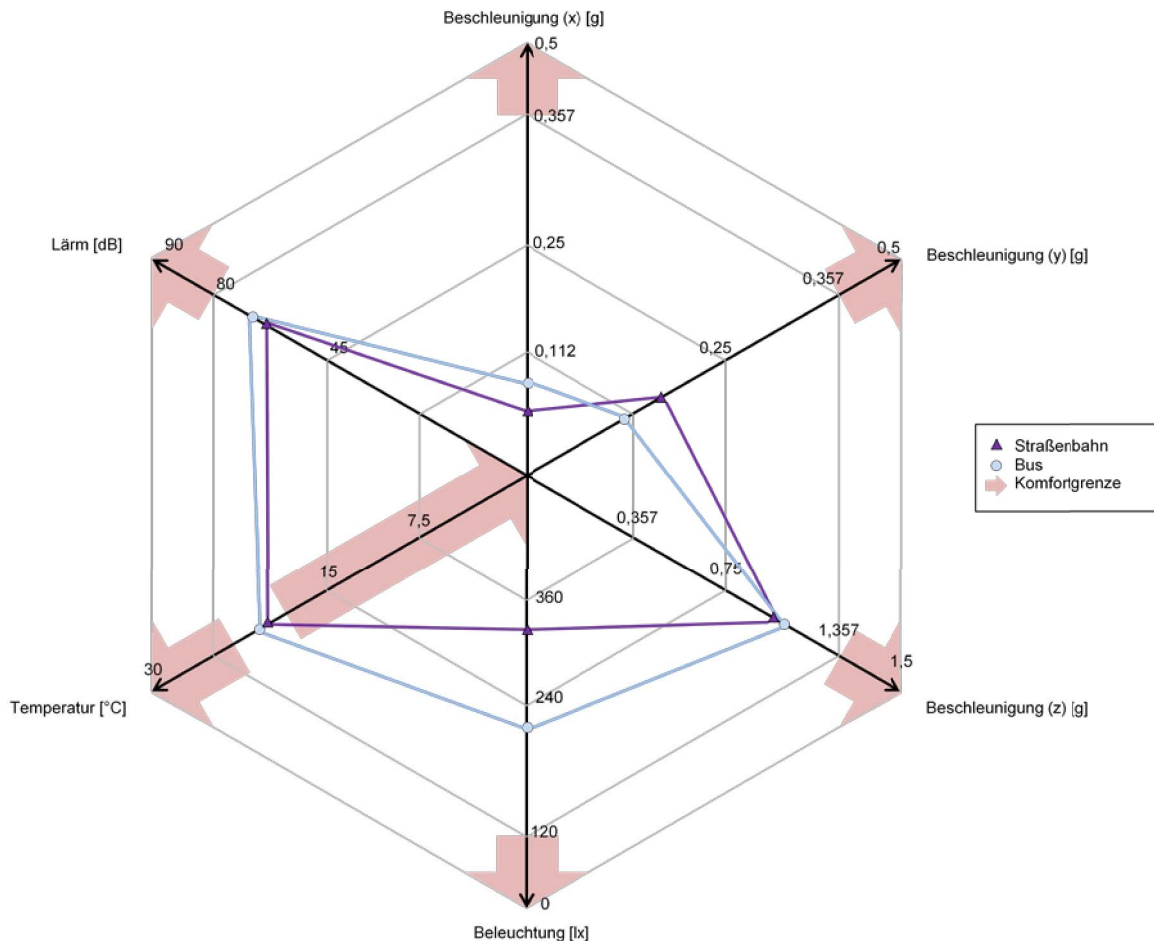


Abb. 14: Radardiagramm der Mittelwerte von Bussen und Straßenbahnen; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS, erstellt mittels Microsoft Power Point.

6.2.1. Exkurs – Vergleich der Mittelwerte:

In Tabelle 2 in Kapitel 4 wurde je Sinneswahrnehmung eine relative Unterschiedsschwelle angegeben. Diese sagt aus, wie stark ein Reiz zu- oder abnehmen muss, damit die Änderung vom Menschen wahrgenommen werden kann. Die entsprechenden Werte sind in Tabelle 7 in der letzten Zeile noch einmal zusammengefasst. Des Weiteren werden hier absolute und relative Differenz der Mittelwerte (siehe Tabelle 5 und Tabelle

6) der Verkehrsmittel zueinander angegeben. Die relative Differenz wurde jeweils anhand des höheren Werts gebildet. Zum Beispiel:

$$\Delta\phi_{Licht} [\%] = \frac{\phi_{Straßenbahn} - \phi_{Bus}}{\phi_{Straßenbahn}}$$

Anhand dieser Darstellung soll herausgefunden werden ob unterschiedliche Mittelwerte der beiden Verkehrsmittel vom Menschen überhaupt wahrgenommen werden. Die zu vergleichenden Werte wurden unterstrichen.

	Licht [lx]	LAeq [dB]	T [°C]	a (x) [g]	a (y) [g]	a (z) [g]
Mittelwert Bus	228,39 lx	67,73 dB	21,25°C	0,08 g	0,10 g	1,05 g
Mittelwert Straßenbahn	353,81 lx	65,49 dB	20,89°C	0,06 g	0,15 g	1,03 g
Differenz absolut	125,42 lx	<u>2,24</u>	<u>0,36°C</u>	0,02 g	0,05 g	0,02 g
Differenz relativ	<u>0,35 %</u>	0,03 %	0,02 %	<u>0,25 %</u>	<u>0,33 %</u>	<u>0,02 %</u>
Relative Unterschiedsschwelle	<u>1,6 %</u>	<u>1 dB</u>	<u>1-3°C</u>	<u>3 %</u>		

Tabelle 7: Differenz der Mittelwerte zwischen Bussen und Straßenbahnen; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.

Es zeigt sich, dass ausschließlich beim Lärm ein signifikanter Unterschied der Mittelwerte vorliegt. Bei Licht, Temperatur und Beschleunigung liegen die Mittelwerte der Verkehrsmittel so nahe beieinander, dass die Unterschiede von den menschlichen Sinnen nicht erfasst werden können. Minimal- und Maximalwerte spielen daher beim Vergleich der Verkehrsmittel eine wesentliche Rolle.

6.3. Überschreitungen des humanphysiologischen Komfortbereichs

Alle Verkehrsmittel wurden einzeln den humanphysiologischen Komfortbereichen gegenüber gestellt. Relevant dabei war wie oft Fälle auftraten, die als störend empfunden werden. Die Komfortbereiche sind Kapitel 4 zu entnehmen, beziehungsweise wurden in Kapitel 6.1 noch einmal zusammengefasst.

6.3.1. Spitzen:

Die folgende Tabelle stellt dar, in wie viel Prozent der Fälle bei den Messfahrten je Verkehrsmittel die entsprechenden Komfortgrenzen, der in der ersten Spalte angeführten Faktoren, überschritten wurden. Ein Fall ist dabei bei Licht, Lärm und Temperatur ein einsekündiges Ereignis, bei Beschleunigung ein Ereignis, das eine Zehntelsekunde dauert. Hohe Werte bedeuten einen hohen Anteil an Überschreitungen und damit ein geringeres Komfortniveau für den Fahrgast.

	Bus [%]	Straßenbahn [%]
Licht < 120 lx	5,77	11,40
Δ Licht > 1,6 %/s	0,96	0,77
Lärm > 80 dB	0,77	1,15
Temperatur < 18°C	6,77	0
Temperatur > 23°C	24,97	12,27
Beschleunigung x > 0,357 g	0,60	0,08
Beschleunigung y > 0,357 g	0,19	0,13
Beschleunigung z > 1,357 g	0,61	0,14

Tabelle 8: Anteil der Fälle in denen der definierte humanphysiologische Komfortbereich über- bzw. unterschritten wurde; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.

Licht:

In den Straßenbahnen unterschreiten 11 % aller einsekündigen Lichtereignisse die Komfortuntergrenze, während diese Situation in Bussen in knapp 6 % der Fälle auftritt. Des Weiteren treten in Straßenbahnen geringfügig häufiger Änderungen der Lichtverhältnisse von über 1,6 % pro Sekunde auf.

Lärm:

Lärmereignisse über 80 dB traten in Straßenbahnen bei 1,15 % der Fahrten auf und damit doppelt so oft wie in Bussen.

Temperatur:

Während es in Straßenbahnen nie zu Temperaturverhältnissen unter 18°C kam, war das in den Bussen in fast 7 % aller einsekündigen Temperaturereignisse der Fall. Temperaturen über 23°C treten in Bussen mit 25 % der Fälle doppelt so häufig auf, wie in Straßenbahnen.

Beschleunigung:

Überschreitungen der Komfortgrenze der Beschleunigungen traten in alle drei Richtungen - x, y und z – in beiden Verkehrsmitteln nur sehr selten auf (immer < 1 % der Fälle). In den Bussen sind die Überschreitungen jedoch jeweils häufiger als in Straßenbahnen - in x-Richtung (Querbeschleunigung) sogar fast acht Mal so häufig.

6.3.2. Betrachtung der einzelnen Messfahrten:

Die Analyse der einzelnen Messfahrten wird getrennt nach Verkehrsmitteln vorgenommen und gliedert sich in zwei wesentliche Bereiche: Einerseits die Auswertung der Dauerbelastung während jeder einzelnen Messfahrt und andererseits die Betrachtung der Minimal- und Maximalwerte je Fahrt.

Für die Analyse der Dauerbelastungen wurden die Fahrten einzeln, jede für sich betrachtet und festgestellt, ob die Komfortgrenze der Dauerbelastung überschritten wurde. Für die Dauerbelastung der Beleuchtung und der Temperatur gibt es keine spezifischen Komfortgrenzen. Hier werden die Mittelwerte je Messfahrt gebildet und mit den Komfortgrenzen für kurzfristige Ereignisse verglichen. Bei Lärm und Beschleunigung ändert sich die Wirkung auf den Menschen bei langfristiger Einwirkung wesentlich. Diese Dauerbelastungen werden beim Lärm durch den energieäquivalenten Dauerschallpegel (siehe Kapitel 4.1.2) und bei der Beschleunigung mittels Effektivwert (siehe Kapitel 4.1.4) ausgedrückt. Zu einer Überschreitung der Schmerzgrenze kommt es beim energieäquivalenten Dauerschallpegel ab 80 dB, beim Effektivwert der Schwingung ab 0,117 g bzw. für die z-Richtung ab 1,117 g. Für den Effektivwert der Schwingungen muss das Mittel der Absolutwerte gebildet werden. (vgl. Anfang Kapitel 6.2)

Anzumerken ist, dass die Dauerbelastung immer auch die Aufenthalte in Stationen oder an Lichtsignalanlagen beinhaltet. Die Dauer der Aufenthalte unterscheidet sich jedoch bei Bussen und Straßenbahnen innerhalb Wiens nicht wesentlich. Die Einflüsse, die vom Fahrzeug während eines Aufenthalts ausgehen, sind also in den unten dargestellten Dauerbelastungen enthalten.

Die folgenden zwei Tabellen stellen die Dauerbelastung während der einzelnen Messfahrten, getrennt nach Bussen und Straßenbahnen dar. Die farblich hervorgehobenen Werte überschreiten die definierte Komfortgrenze der Dauerbelastung.

Tabelle 11 zeigt zusätzlich die durchschnittliche Abweichung der einzelnen Messfahrten vom Mittelwert aller Messfahrten (= Standardabweichung der Dauerbelastung). Die entsprechenden Standardabweichungen wurden anschließend zu jeder Dauerbelastung addiert beziehungsweise subtrahiert um ersichtlich zu machen ob es dann zu zusätzlichen Überschreitungen der Dauerbelastung kommt. Das Auftreten solcher Fälle wurde in Tabelle 9 und in Tabelle 10 mit einem Stern (*) markiert.

#	Linie	VM	Messdauer [min, gerundet]	Ø Beleuchtung [lx]	LAeq [dB]	Ø Temperatur [°C]	Effektivwert		
							x [g]	y [g]	z [g]
							über gesamte Fahrdauer		
4	65A	11	17	483	69,8	25,9	0,108*	0,102*	1,050
6	13A	12	24	316	70,7	27,5	0,078	0,087	1,058
8	15A	12	25	346	64,5	20,1*	0,093	0,100	1,033
10	69A	11	29	310	72,2	24,3	0,137	0,091	1,081
11	4A	11	16	306	64,1	22,8*	0,114*	0,083	1,049
14	12A	11	39	563	76,5*	23,1	0,065	0,081	1,039
16	48A	12	17	129*	62,1	21,9*	0,099*	0,100	1,038
17	66A	12	27	507	68,7	19,6*	0,089	0,083	1,070
18	59A	11	19	169*	66,3	19,9*	0,066	0,094	1,041
19	14A	11	22	262*	67,1	23,6	0,063	0,086	1,034
21	76A	11	24	161*	72,1	22,4*	0,073	0,108*	1,074
23	10A	12	21	727	71,8	20,6	0,075	0,082	1,076
24	11A	12	29	129*	63,8	19,9*	0,079	0,117	1,044
29	77A	11	22	169*	64,6	18,2*	0,064	0,134	1,053
32	40A	11	15	327	71,6	19,0*	0,086	0,130	1,087
33	37A	11	22	369	66,7	21,6*	0,061	0,106*	1,039
34	5A	11	22	346	67,3	20,7*	0,070	0,081	1,049
36	5B	11	17	163*	72,3	19,1*	0,060	0,119	1,059
39	7A	12	24	137*	64,4	20,5	0,063	0,103*	1,035
40	59A	11	10	121*	67,0	21,5*	0,066	0,105*	1,035

Tabelle 9: Dauerbelastung je Messfahrt in Bussen (markiert sind Überschreitung der Komfortgrenzen); Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.

#	Linie	VM	Messdauer [min, gerundet]	Ø Beleuchtung [lx]	LAeq [dB]	Ø Temperatur [°C]	Effektivwert		
							x [g]	y [g]	z [g]
							über gesamte Fahrdauer		
1	2	21	24	885	66,4	23,6	0,083	0,136	1,022
2	1	21	13	724	62,6	23,8	0,074	0,150	1,022
3	1	21	22	1.048	66,7	26,2	0,090	0,218	1,026
5	44	22	16	402	66,2	27,3*	0,041	0,128	1,036
7	62	22	23	306*	64,1	20,5	0,040	0,127	1,032
9	71	22	25	161*	65,0	19,3*	0,043	0,089*	1,035
12	O	22	22	113	63,1	21,9*	0,114*	0,117	1,029
13	5	22	19	113	63,6	22,3*	0,045	0,131	1,028
15	10	22	21	322*	65,8	21,4*	0,052	0,131	1,040
20	18	21	23	330*	68,0	22,4*	0,077	0,178	1,032
22	6	22	23	145*	68,6	21,7*	0,047	0,103*	1,038
25	5	22	28	161*	64,2	19,3*	0,059	0,125	1,035
26	52	22	21	250*	66,1	18,7*	0,049	0,136	1,035
27	49	22	24	121*	66,2	19,2*	0,056	0,148	1,056
28	25	21	23	370*	65,5	21,8*	0,041	0,170	1,045
30	31	21	28	491	64,5	22,7*	0,041	0,186	1,027
31	43	21	23	228*	63,2	20,0*	0,041	0,164	1,023
35	40	21	14	180*	66,9	19,9*	0,056	0,149	1,019
37	D	21	23	290*	66,3	19,4*	0,036	0,169	1,025
38	9	22	26	145*	65,8	21,0*	0,058	0,141	1,042

Tabelle 10: Dauerbelastung je Messfahrt in Straßenbahnen (markiert sind Überschreitung der Komfortgrenzen); Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.

Standardabweichung der Dauerbelastung	Licht [lx]	LAeq [dB]	T [°C]	a (x) [g]	a (y) [g]	a (z) [g]
Bus	166,83	3,80	2,39	0,02	0,02	0,02
Straßenbahn	263,05	1,62	2,31	0,02	0,03	0,01

Tabelle 11: Standardabweichung der Dauerbelastung; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.

Im zweiten Schritt wurden Minimum und Maximum je Messfahrt tabellarisch dargestellt. Wie in den vorhergehenden Tabellen werden Überschreitungen der jeweiligen definierten Komfortgrenze farblich hervorgehoben. Für die Komfortgrenzen kommen wieder die bereits angewandten Werte für Spitzenbelastungen (siehe Kapitel 6.3.1), nicht die Werte für die Dauerbelastung, zum Einsatz.

Liegt das Lärmminimum einer Messfahrt nicht unter 65 dB wird diese mit einem Stern markiert. Wie in Kapitel 4.1.2 beschrieben erhöht Lärm bereits ab 65 dB das Risiko gesundheitlicher Beeinträchtigung. Falls es während einer Messfahrt nie zu Phasen

kommt in denen 65 dB unterschritten werden stellt dies eine zusätzliche Belastung für den Fahrgast dar.

Analog dazu werden Fahrten bei denen das Minimum über der oberen Komfortgrenze der Temperatur, beziehungsweise das Maximum unter der unteren Komfortgrenze liegt mit einem Stern gekennzeichnet, da diese Fahrten durchgehend als besonders unkomfortabel empfunden werden.

Bei der Beschleunigung werden jene Fahrten farblich markiert, bei denen das Minimum die Untergrenze des Komforts unterschreitet und zusätzlich das Maximum die Obergrenze überschreitet. (-0,357 g und 0,357 g bzw. 0,643 g und 1,357 für die z-Richtung) Fahrten bei denen nur ein Wert die Komfortgrenze überschreitet werden mit einem Stern markiert.

#	Linie	VM	Ø Beleuchtung [lx]	LAeq [dB]	Ø Temperatur [°C]	Effektivwert		
						x [g]	y [g]	z [g]
			über gesamte Fahrdauer					
4	65A	11	105/1.303	61,1/87,0	24,0*/25,9	-1,06/1,60	-0,25/0,75	0,00/2,43
6	13A	12	153/13.168	65,3*/81,4	26,4*/27,6	-1,19/1,13	-0,35/0,63	0,32/2,30
8	15A	12	161/386	51,4/81,4	18,1/20,1	-0,52/0,49	-0,31/0,38	0,55/1,42
10	69A	11	105/515	64,5/86,0	23,6*/24,3	-0,33/0,84	-0,39/0,61	0,30/1,82
11	4A	11	105/2.590	54,6/77,4	22,5/22,8	-0,40/0,59	-0,32/0,38	0,30/1,78
14	12A	11	161/611	47,1/82,8	22,1/23,1	-0,49/0,46	-0,25/0,47	0,39/1,85
16	48A	12	113/209	50,8/82,2	21,7/21,9	-0,43/0,49	-0,31/0,57	0,36/2,65
17	66A	12	121/869	57,0/81,9	18,8/19,6	-0,81/0,91	-0,38/0,50	0,23/2,11
18	59A	11	129/226	61,5/81,8	19,1/19,9	-0,59/0,49	-0,44/0,50	0,32/1,78
19	14A	11	105/370	57,7/80,4	23,2*/23,6	-0,44/2,11	-0,41*/0,35	0,33/1,92
21	76A	11	113/161	65,0*/82,3	21,4/22,4	-0,71/0,49	-0,38/0,57	0,03/2,14
23	10A	12	121/3.580	67,0/86,7	19,4/20,6	-0,68/1,03	-0,46/1,04	0,30/2,18
24	11A	12	105/338	53,7/76,3	19,2/19,9	-0,68/0,91	-0,38/0,60	0,20/2,01
29	77A	11	105/242	58,7/74,2	16,4/18,2	-0,37/0,62	-0,29/0,41	0,56/1,87
32	40A	11	121/483	60,9/90,6	17,8/19,0	-0,91/1,51	-1,16/2,75	-0,32/5,01
33	37A	11	121/483	61,4/81,2	19,6/21,6	-0,49/0,56	-0,28/0,31	0,45/1,68
34	5A	11	105/756	55,7/80,1	20,4/20,7	-0,78/0,91	-0,35/0,69	0,29/1,94
36	5B	11	113/169	66,8*/79,7	17,3/19,1	-0,33/0,65	-0,38/0,51	0,53/1,59
39	7A	12	121/161	59,4/76,0	19,8/20,5	-0,52/0,52	-0,41/0,41	0,20/2,17
40	59A	11	105/121	64,2/74,3	20,8/21,5	-0,56/0,40	-0,22/0,35	0,45/1,46

Tabelle 12: Minimum/Maximum je Messfahrt in Bussen (markiert sind Überschreitung der Komfortgrenzen); Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.

#	Linie	VM	Ø Beleuchtung [lx]	LAeq [dB]	Ø Temperatur [°C]	Effektivwert		
						x [g]	y [g]	z [g]
						über gesamte Fahrdauer		
1	2	21	193/5.728	44,6/83,0	22,2/23,6	-0,49/0,56	-0,09/0,41*	0,71/1,52*
2	1	21	266/1.279	44,6/80,2	22,2/23,8	-0,14/0,33	0,00/0,35	0,78/1,27
3	1	21	121/13.257	51,8/86,9	25,8*/26,3	-0,24/0,46*	-0,03/0,48*	0,76/1,29
5	44	22	314/39.576	45,5/81,4	26,8*/27,3	-0,33/0,52*	-0,19/0,41*	0,55/1,50
7	62	22	105/386	47,5/83,7	19,9/20,5	-0,40/0,62	-0,35/0,53*	0,52/1,59
9	71	22	113/177	49,9/83,5	18,8/19,3	-0,27/0,33	-0,16/0,31	0,52/1,52
12	O	22	113/113	56,5/80,7	21,1/21,9	-0,29/0,43*	-0,19/0,44*	0,59/1,37
13	5	22	113/113	48,0/82,7	21,5/22,3	-0,43/0,46	-0,09/0,38*	0,26/1,49
15	10	22	177/797	48,6/83,1	21,1/21,4	-0,56/0,37	-0,25/0,44*	0,46/1,49
20	18	21	129/684	56,8/85,2	21,8/22,4	-0,33/0,43*	-0,19/0,51*	0,52/1,54
22	6	22	105/169	46,3/86,9	21,0/21,7	-0,33/0,46*	-0,25/0,41*	0,56/1,41
25	5	22	121/370	51,4/83,0	19,1/19,3	-0,52/0,52	-0,16/0,50*	0,39/1,55
26	52	22	217/314	51,0/83,3	18,7/18,7	-0,78/0,52	-0,13/0,44*	0,58/1,61
27	49	22	113/169	52,2/82,5	18,4/19,2	-0,65/0,46	-0,35/0,63*	0,36/1,78
28	25	21	105/402	41,7/83,6	18,4/21,8	-0,24/0,33	-0,32/0,75*	0,03/2,37
30	31	21	113/628	41,8/83,1	20,5/22,7	-0,46/0,52	0,00/0,41*	0,49/1,40
31	43	21	121/748	46,2/85,0	18,2/20,0	-0,33/0,24	-0,19/0,44*	0,52*/1,27
35	40	21	121/242	61,2/81,2	18,7/19,9	-0,37/0,75	-0,09/0,38*	0,58*/1,33
37	D	21	153/338	57,2/84,0	18,4/19,4	-0,37/0,49	-0,10/0,35	0,75/1,33
38	9	22	121/282	51,0/79,5	20,8/21,0	-0,33/0,62	-0,16/0,51*	0,23/1,47

Tabelle 13: Minimum/Maximum je Messfahrt in Straßenbahnen (markiert sind Überschreitung der Komfortgrenzen); Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.

Licht:

Unterschreitungen der Komfortgrenze der Beleuchtung treten zweimal in Straßenbahnen auf, jedoch nie in Bussen. Beide Verkehrsmittel weisen außerdem einmal einen Mittelwert von 121 lx auf. Abzüglich der Standardabweichung kommt es bei den Straßenbahnen zu vielen Unterschreitungen der Komfortgrenze, bei den Bussen sind jedoch immer noch mehr als die Hälfte der Messungen im komfortablen Bereich.

Der niedrigste gemessene Wert unterschritt bei den Straßenbahnen während acht Fahrten die Komfortgrenze, bei den Bussen während elf.

Lärm:

Lärmmesswerte, die sich an die Schmerzgrenze der Dauerbelastung annähern, traten vermehrt in Bussen auf. Solche Werte von über 70 dB, gemittelt über eine gesamte Fahrt, traten während sieben Messfahrten in Bussen auf, in Straßenbahnen jedoch nie.

Durch Addition der Standardabweichung kommt es während einer Busfahrt zu einer Überschreitung der Schmerzgrenze der Dauerbelastung, in Straßenbahnen zu keiner.

Bei Betrachtung der Minimal- und Maximalwerte stellt sich ein interessantes Bild dar: Während allen, außer einer Straßenbahn-Messfahrt überschreitet das jeweilige Maximum die Komfortgrenze von 80 dB, das Minimum liegt jedoch nie über 65. In den Bussen werden 80 dB bei 14 von 20 Messfahrten überschritten und das Minimum liegt drei Mal über 65 dB. Straßenbahnen weisen also gleichzeitig ein höheres Maximum und ein geringeres Minimum auf, als Busse.

Temperatur:

Die Untergrenze der Temperatur wird während keiner Messfahrt unterschritten. Während der kältesten Straßenbahnfahrt betrug das Mittel 18,7 und während der kältesten Busfahrt 18,2°C. Während fünf Busfahrten, sowie drei Straßenbahnfahrten überschritt der Mittelwert die Obergrenze der Temperatur. Durch Subtraktion und Addition der Standardabweichung übertreten fast alle Messungen entweder die obere oder die untere Komfortgrenze. Bei den Straßenbahnen verbleibt nur eine Fahrt innerhalb des komfortablen Bereichs, bei den Bussen zwei.

Bei den Straßenbahnen überschreitet der Maximalwert die obere Komfortgrenze der Temperatur vier Mal, bei den Bussen gab es doppelt so viele Überschreitungen, wobei es sich bei einer Fahrt um eine Unterschreitung der unteren Grenze durch den Minimalwert handelt. Bei den Bussen gibt es vier Fahrten während denen nie eine komfortable Temperatur von unter 23°C erreicht wurde, bei den Straßenbahnen halb so viele.

Abb. 15 zeigt beispielhaft den Temperaturverlauf einer Messfahrt. Eingezeichnet wurden zusätzlich die obere und untere Komfortgrenze sowie die Außentemperatur.

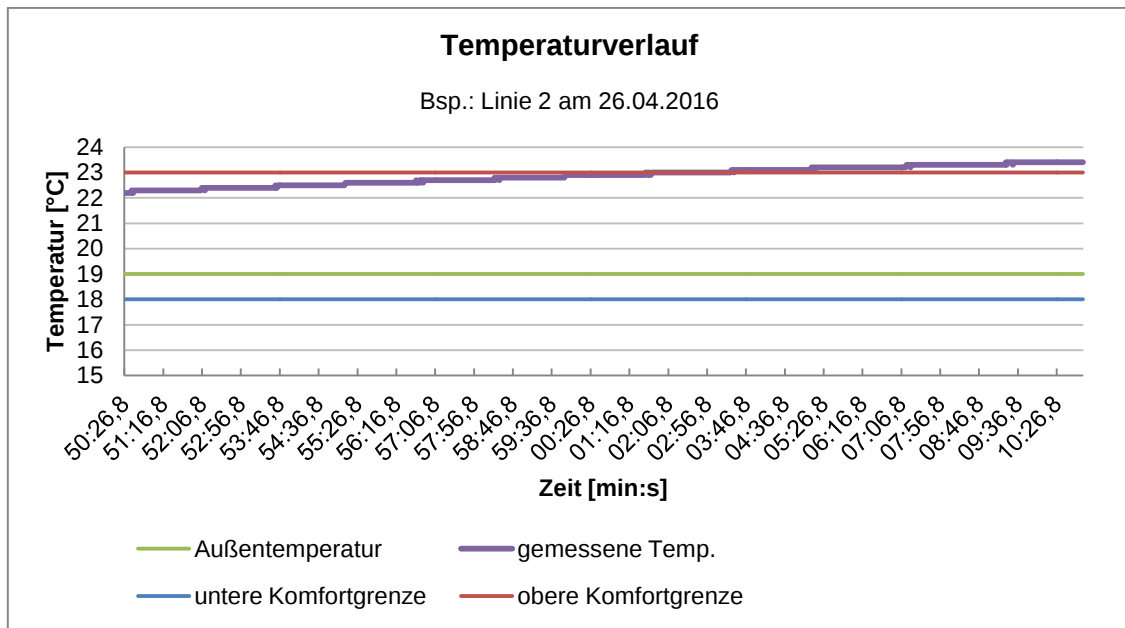


Abb. 15: Beispielhafte Darstellung des Temperaturverlaufs einer Messfahrt (Linie 2); Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datensammlung in Excel.

Beschleunigung:

x - Die einzige Überschreitung der Komfortgrenze der Dauerbelastung durch Querschleunigungen (x-Richtung) trat während einer Busfahrt (Linie 69A) auf. Bei Addition der Standardabweichung kommt es bei den Bussen zu drei weiteren Überschreitungen der Komfortgrenze von 0,117 g, bei den Straßenbahnen zu insgesamt einer. Bei den Bussen überschritten Minimum und Maximum die Komfortgrenze während jeder Fahrt - bei den Straßenbahnen wurde sie elf Mal in beide Richtungen überschritten und fünf Mal nur die Obergrenze.

y - Effektivwerte größer oder gleich 0,117 g traten während 18 Messfahrten in Straßenbahnen auf, und vier Mal in Bussen. Nach Addition der Standardabweichung überschreiten alle Straßenbahnfahrten die Komfortgrenze und fünf zusätzliche Busfahrten. Bezüglich der Minimal- und Maximalwerte stellt sich das Bild umgekehrt dar: Während 17 Busmessfahrten überschritten sowohl Minimum als auch Maximum die Komfortgrenzen, bei den Straßenbahnen wurden nie beide Grenzen während einer Messfahrt übertreten. Allerdings wurde das Maximum während 17 Straßenbahnfahrten und einer zusätzlichen Busfahrt überschritten.

z - Der Effektivwert der Beschleunigung in z-Richtung (hoch/tief) überschritt bei keiner der Messfahrten die definierte Komfortgrenze, auch nicht nach Addition der Standardabweichung. Minimum und Maximum aller Busmessfahrten überschritten beide Komfortgrenzen. Zwei Straßenbahnmessfahrten übertreten die Untergrenze, eine die Obergrenze und 14 sowohl Ober- als auch Untergrenze.

6.4. Zusammenfassung

Licht:

Beim Faktor Licht stellt sich der Bus als komfortabler heraus. Dies basiert darauf, dass es im Bus zu weniger Unterschreitungen der Komfortgrenze von 120 lx kommt (Abb. 7 und Tabelle 8). Dies gilt ebenso für die Dauerbelastung (Tabelle 9). Außerdem zeigt Tabelle 5 eine niedrigere Standardabweichung bei den Busmessewerten im Vergleich zu den Straßenbahnen (Tabelle 6).

Lärm:

Die unterschiedlichen Analysen liefern für den Faktor Lärm sehr diverse Ergebnisse. Die geringere Varianz der Lärmesswerte bei den Bussen (Abb. 8) spiegelt sich auch in den weiteren Analysen wieder. So sind zwar Erwartungswert (Abb. 8) sowie Minimum, Maximum und Mittelwert (Tabelle 6) der Straßenbahnen geringer als bei den Bussen, die straßengebundenen Fahrzeuge überschreiten jedoch seltener die Komfortgrenze. Dies gilt sowohl für die Spitzen (Tabelle 8), als auch für die Maximalwerte der einzelnen Fahrten (Tabelle 12). Das heißt, dass Straßenbahnen zwar häufiger die Komfortgrenze überschreiten, abgesehen davon jedoch komfortabler sind. Außerdem sind die Minimalwerte der einzelnen Fahrten bei den schienengebundenen Fahrzeugen geringer, also leiser, als bei den Bussen. Es kann in Summe nicht ausgemacht werden, welches bezüglich der Lärmverhältnisse das komfortablere Verkehrsmittel ist.

Temperatur:

Alle Analysen zeigen, dass es hinsichtlich der Temperaturverhältnisse einen Schienenbonus gibt. Sowohl bei der Dauerbelastung (Tabelle 10), bei Minimum und Maximum der einzelnen Fahrten (Tabelle 13), als auch bei den Spitzenwerten (Tabelle 8) überschreiten die Straßenbahnen seltener die Komfortgrenzen in beide Richtungen. Besonders deutlich wird dies dadurch, dass in Straßenbahnen nie die Komfortuntergrenze unterschritten wurde (Abb. 9).

Beschleunigung:

x, z - Jede der Auswertungen zeigt, dass Beschleunigungen in x- und z-Richtung in Straßenbahnen weniger störend sind als in Bussen. Vor allem die geringeren Minimum- und Maximumwerte (Tabelle 6) in den schienengebundenen Fahrzeugen stellen dies deutlich dar. Auch die geringere Varianz der Messdaten (Abb. 11 und Abb. 13) und die deutlich selteneren Überschreitungen der Komfortgrenze sowohl bei den Spitzen (Tabelle 8) als auch bei Minimum- und Maximumwerten der einzelnen Fahrten (Tabelle 13) stützen diese Vermutung.

y - In y-Richtung (Beschleunigen/Bremsen) stellt sich die Situation weniger eindeutig dar. Minimum und Maximum (Tabelle 6), sowie die geringere Überschreitungshäufigkeit der Komfortgrenzen bei den Spitzen (Tabelle 8) und die Tatsache, dass kein Minimum einer einzelnen Fahrt (Tabelle 13) die Komfortuntergrenze unterschreitet zeigen die Straßenbahn als das komfortablere Verkehrsmittel. Im Gegensatz dazu liegt jedoch der Erwartungswert der Busse näher Null (Abb. 12) und es kommt zu weniger Überschreitungen der Komfortgrenzen bei der Dauerbelastung (Tabelle 9). Bezüglich Beschleunigung in y-Richtung kann also nicht eindeutig gesagt werden welches das bequemere Verkehrsmittel ist.

Temperatur und Schwingungen in x- und z-Richtung sprechen für einen Schienenbonus, die Lichtverhältnisse dagegen. Lärm und Beschleunigungen in y-Richtung tragen nicht zu einer Bekräftigung oder Abschwächung der Hypothese des Schienenbonus bei.

6.5. Exkurs – Messdauer

Die Anzahl und Dauer der durchgeführten Messfahrten wurde versuchsweise je Verkehrsmittel auf 20 Messfahrten und etwa 7 Stunden beschränkt. Im folgenden Exkurs soll der Frage nachgegangen werden, ob weniger Messfahrten zum selben, oder einem ähnlichen Ergebnis geführt hätten. Dazu dienen die in Kapitel 6.3.2 bereits eruierten Dauerbelastungen. Diese Analyse wurde beispielhaft für die Lärmesswerte, sowie die Beschleunigungen in y-Richtung durchgeführt, da die Daten bei diesen Faktoren stetig normalverteilt sind (siehe Kapitel 6.1)

Tabelle 14 gibt für jede Zeile den Mittelwert für die vorhergegangenen Messungen aus. Fahrt Nummer 10 beispielsweise gibt den Mittelwert für die Fahrten 4, 6, 8 und 10 aus, also:

$$\bar{\varnothing}_{Busse-#10} = \frac{69,8 + 70,7 + 64,5 + 72,2}{4} = 69,30$$

Weitere Informationen (Linie, Verkehrsmittel) zu den einzelnen Messfahrten können Tabelle 9 und Tabelle 10 entnommen werden. Die Dauer einer Messfahrt beträgt im Durchschnitt etwas mehr als 20 Minuten.

#	Busse		#	Straßenbahnen	
	LAeq	Effektivwert y		LAeq	Effektivwert y
4	69,8	0,108	1	66,4	0,083
6	70,3	0,093	2	64,5	0,079
8	68,3	0,093	3	65,2	0,082
10	69,3	0,104	5	65,5	0,072
11	68,3	0,106	7	65,2	0,066
14	69,6	0,099	9	65,2	0,062
16	68,6	0,099	12	64,9	0,069
17	68,6	0,098	13	64,7	0,066
18	68,3	0,094	15	64,8	0,065
19	68,2	0,091	20	65,2	0,066
21	68,6	0,090	22	65,5	0,064
23	68,8	0,088	25	65,4	0,064
24	68,4	0,088	26	65,4	0,063
29	68,2	0,086	27	65,5	0,062
32	68,4	0,086	28	65,5	0,061
33	68,9	0,084	30	65,4	0,060
34	68,2	0,084	31	65,3	0,058
36	68,5	0,082	35	65,4	0,058
39	68,2	0,081	37	65,4	0,057
40	68,2	0,080	38	65,4	0,057

Tabelle 14: Vorläufige Mittelwerte; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in Excel.

Im nächsten Schritt wurde für jeden vorläufigen Mittelwert die Differenz zum endgültigen Mittelwert nach je 20 Messfahrten berechnet. Diese Differenz wird in den folgenden Abbildungen anhand von Liniendiagrammen dargestellt. Je näher sich die Linie an Null annähert umso aussagekräftiger ist der entsprechende vorläufige Mittelwert.

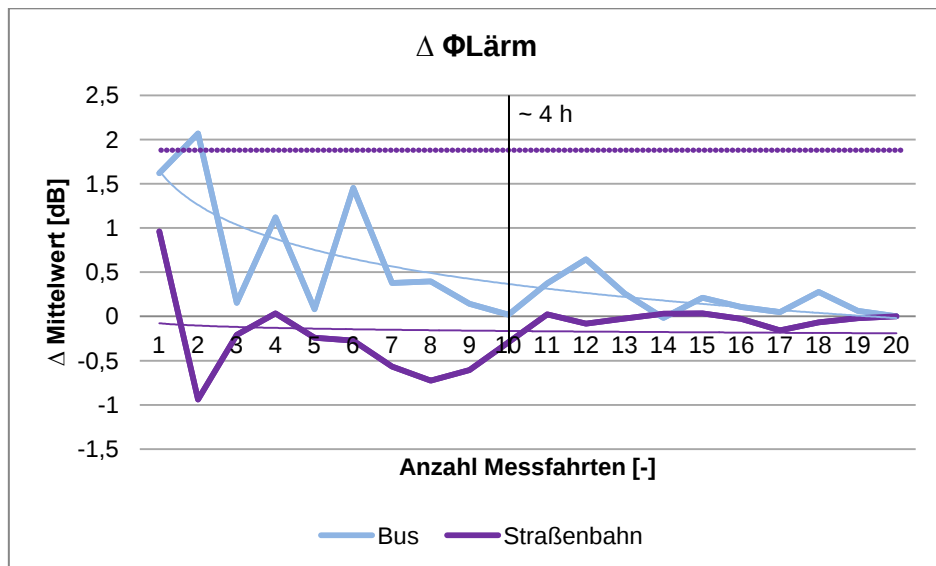


Abb. 16: Liniendiagramm der vorläufigen Lärmittelwerte; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in Excel.

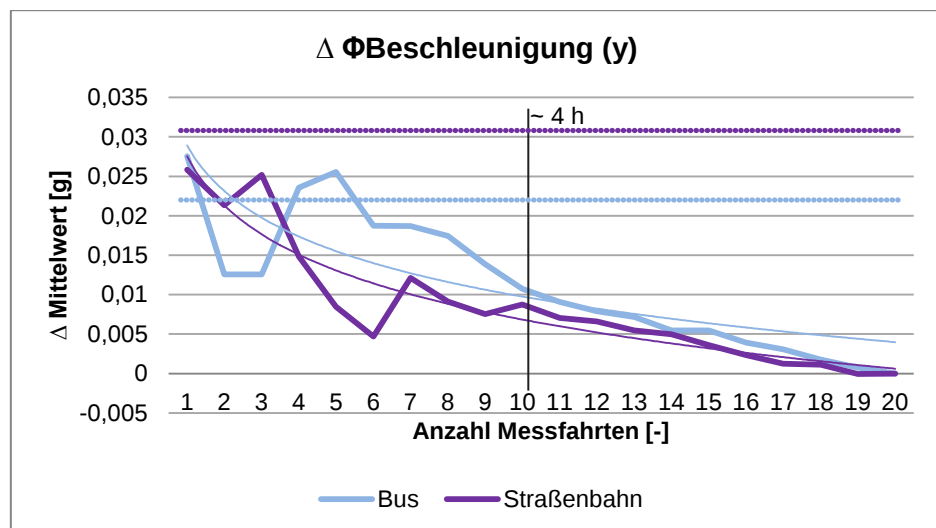


Abb. 17: Liniendiagramm der vorläufigen Beschleunigungsmittelwerte in y-Richtung; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in Excel.

Beim Lärm kommt es etwa ab der Hälfte der Messfahrten, was einer Messdauer von knappen vier Stunden entspricht, zu keinen großen Abweichungen (> 1 dB) mehr. Die Standardabweichung (Bus 3,8 dB; Straßenbahn 1,6 dB – gepunktete Linie) wird bei der tatsächlich durchgeführten Reihenfolge der Messfahrten nicht überschritten.

Auch bei den Beschleunigungen kommt es bei der Straßenbahn zu keiner Überschreitung der Standardabweichung (obere gepunktete Linie) - bei den Bussen (untere gepunktete Linie) nicht mehr nach der sechsten Messfahrt. Ab etwa der Hälfte der Messfahrten kommt es zu keinen Abweichungen mehr die größer sind als 0,01 g sind.

Die beispielhaften Analysen für Lärm und Beschleunigungen in y-Richtung ergeben jeweils, dass es nach einer Messdauer von etwa vier Stunden je Verkehrsmittel zu keinen signifikanten Änderungen der Mittelwerte mehr kommt. Mit einer Messdauer von vier Stunden können also aussagekräftige Ergebnisse über ein Verkehrsmittel erzielt werden.

7. Exkurs – Vergleich unter den Straßenbahnen

Das folgende Kapitel bietet ergänzende Informationen zu den eigentlich fokussierten Forschungsfragen. Es wurden keine gesonderten Datenerhebungen vorgenommen. Auch in der Befragung (siehe Kapitel 8) wurden die TeilnehmerInnen nicht nach ihrer spezifischen Meinung zu unterschiedlichen Schienenfahrzeugen gefragt. Neben Schiene mit Straße werden also in diesem Kapitel die unterschiedlichen Straßenbahntypen verglichen. Während der Erhebungsphase wurde zwischen Hochflurstraßenbahnen (alte Garnituren) und Niederflurstraßenbahnen (ULF, neue Garnituren) unterschieden (siehe Kapitel 5.2). Mittels der bereits in Kapitel 6.1 bis 6.3.2 angewandten Methoden soll herausgefunden werden ob relevante Unterschiede zwischen den Bautypen der Straßenbahnen in Wien bestehen. Im Zuge der Erhebungen wurde 3 Stunden und 12 Minuten (9 Fahrten) in Hochflur- und 4 Stunden und 8 Minuten (11 Fahrten) in Niederflurstraßenbahnen gemessen. Wie im Exkurs in Kapitel 6.5 dargestellt reicht diese Datenmenge für ein aussagekräftiges Ergebnis.

7.1. Darstellung der Messwerte mittels Histogrammen

Analog zur Vorgehensweise aus Kapitel 6.1 werden im Folgenden die unterschiedlichen Bauweisen der Straßenbahnen in Wien getrennt nach den Messfaktoren mittels Histogrammen optisch beurteilt. Die Art der Darstellung entspricht der aus Kapitel 6.1.

7.1.1. Licht:

Hochflur:	Kurtosis = 60,23	Niederflur:	Kurtosis = 565,05
	Schiefe = 5,24		Schiefe = 22,99
→ M-W-U-Test: Signifikanz < 0,001			

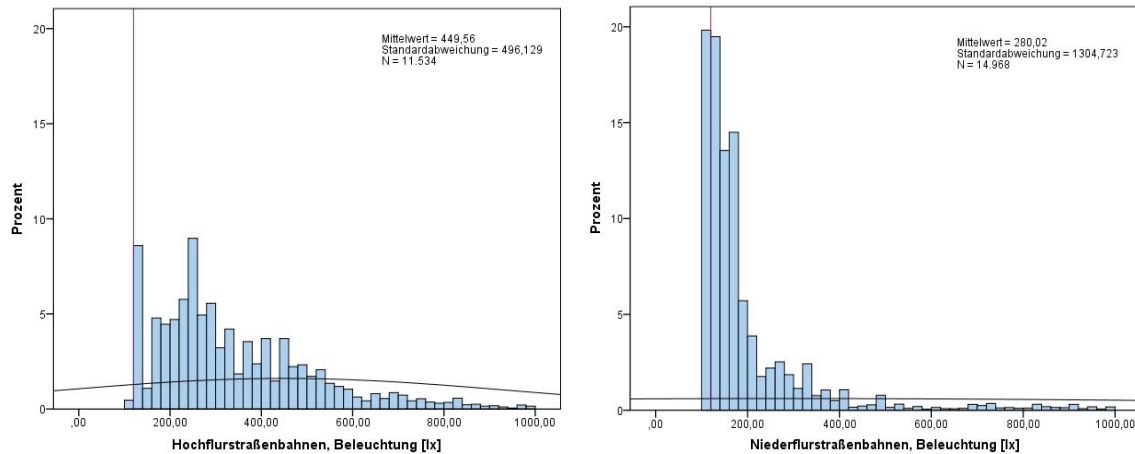


Abb. 18: Reduziertes Histogramm der Messwerte der Beleuchtungsintensität bis 1.000 lx - Vergleich der Straßenbahntypen untereinander; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.

Auch wenn die Beleuchtungsdaten nicht normalverteilt sind lässt sich doch deutlich erkennen, dass sich unterhalb der Komfortgrenze, beziehungsweise im Nahbereich dieser, wesentlich mehr Werte bei den Niederflurstraßenbahnen finden, als bei den Altbaumodellen. ULFs sind also weniger hell ausgeleuchtet als Hochflurstraßenbahnen.

7.1.2. Lärm:

Hochflur: Kurtosis = 0,08 Niederflur: Kurtosis = -0,82
 Schiefe = -0,16 Schiefe = -0,24
 → t-Test: Signifikanz < 0,001

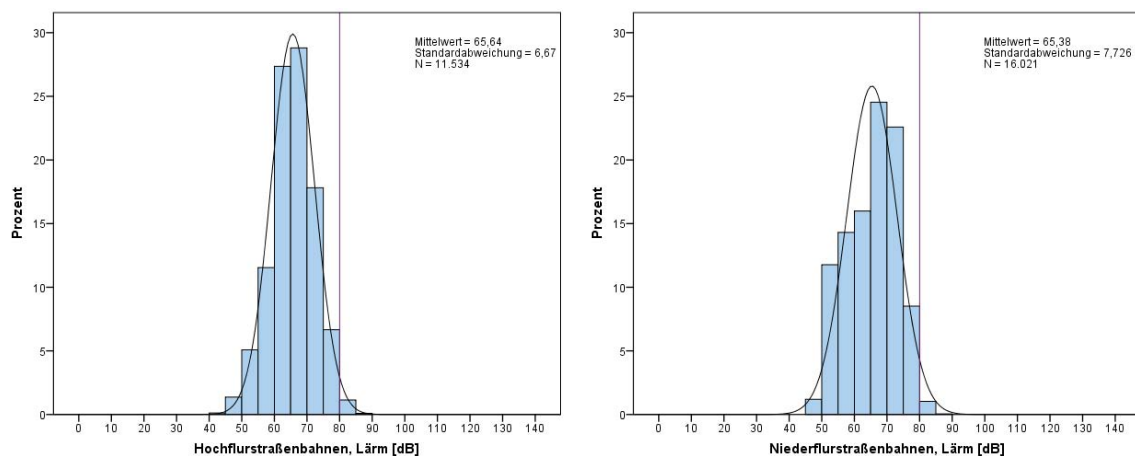


Abb. 19: Histogramm der Lärmesswerte - Vergleich der Straßenbahntypen untereinander; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.

Der Erwartungswert unter den Straßenbahnen ist ähnlich, während die Spitze bei den Hochflurstraßenbahnen deutlicher ausgeprägt und damit die Varianz bei den Niederflurstraßenbahnen höher ist. Hochflurstraßenbahnen sind aufgrund der geringeren Varianz als angenehmer zu beurteilen.

7.1.3. Temperatur:

Hochflur: Kurtosis = -0,51 Niederflur: Kurtosis = 3,12
 Schiefe = 0,58 Schiefe = 1,61

→ M-W-U-Test: Signifikanz < 0,001

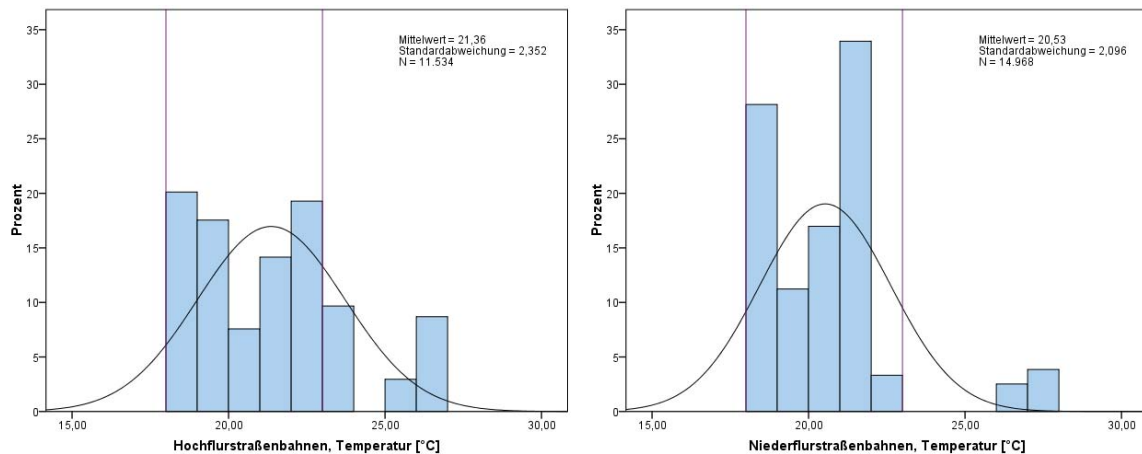


Abb. 20: Histogramm der Temperaturmesswerte - Vergleich der Straßenbahntypen untereinander;
 Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.

Keine der beiden Straßenbahnmodelle unterschreitet die untere Komfortgrenze der Temperatur. Bei den Hochflurstraßenbahnen sind mehr Überschreitungen der Obergrenze ersichtlich, als bei den ULFs. Außerdem sind die Spitzen innerhalb des Komfortbereichs bei den Niederflurstraßenbahnen deutlicher ausgeprägt. Diese Erkenntnisse, gemeinsam mit der geringeren Varianz der Messwerte bei Niederflurstraßenbahnen, lassen ebendiese bezüglich der Temperaturverhältnisse als komfortabler erkennen.

7.1.4. Beschleunigung:

x-Richtung (Querbeschleunigungen):

Hochflur: Kurtosis = 5,89 Niederflur: Kurtosis = 5,38
 Schiefe = -0,28 Schiefe = -0,22

→ M-W-U-Test: Signifikanz < 0,001

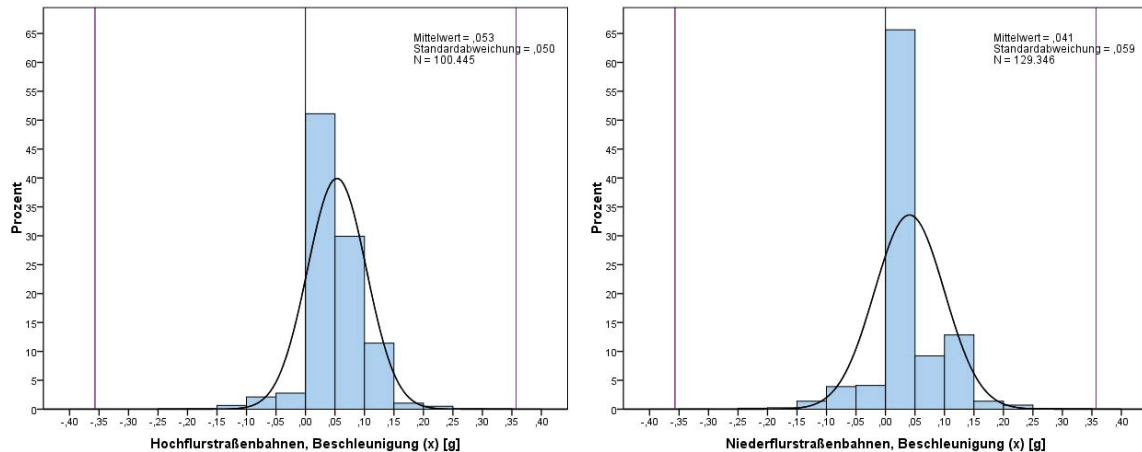


Abb. 21: Histogramm der Beschleunigungsmesswerte in x-Richtung - Vergleich der Straßenbahntypen untereinander; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.

Bei den Niederflurstraßenbahnen nähert sich der Erwartungswert der Beschleunigung in x-Richtung etwas mehr den idealen 0 g an, als bei den Hochflurmodellen, jedoch haben sie auch eine etwas höhere Varianz. Durch die deutlich ausgeprägte Spitze nahe dem Idealwert bei den neuen Modellen sind diese als etwas komfortabler zu beurteilen.

y-Richtung (Beschleunigen/Bremsen):

Hochflur: Kurtosis = 0,92 Niederflur: Kurtosis = 1,55
 Schiefe = -0,25 Schiefe = -0,09

→ t-Test: Signifikanz = 0,10

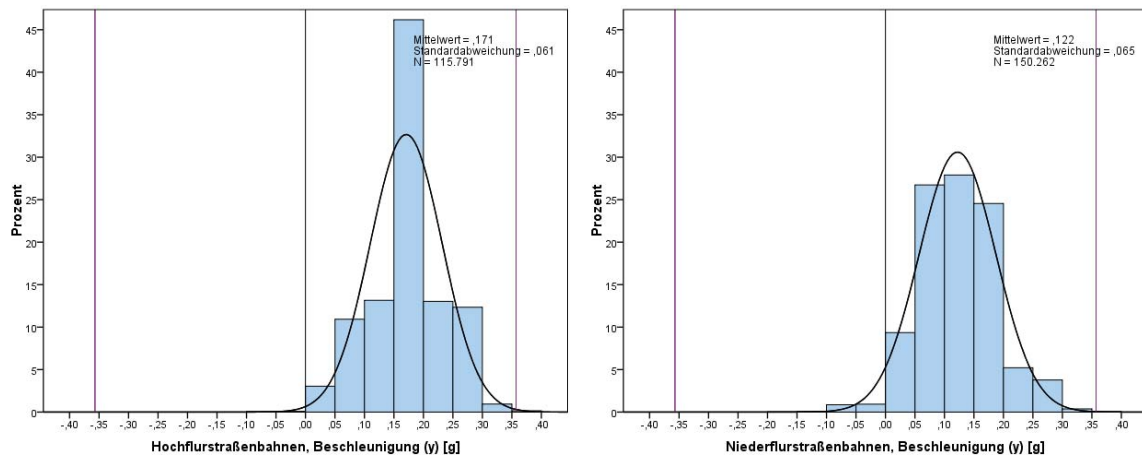


Abb. 22: Histogramm der Beschleunigungsmesswerte in y-Richtung - Vergleich der Straßenbahntypen untereinander; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.

Die Normalverteilungskurven beider Straßenbahntypen sind deutlich nach rechts verschoben, was eine sehr geringe Anzahl an messbaren Bremsvorgängen bedeutet. Der Erwartungswert, sowie die deutlich ausgeprägte Spitze der Hochflurstraßenbahnen liegt zwischen 0,15 und 0,2 g, während der Erwartungswert bei den Niederflurstraßenbahnen mit 0,1 bis 0,15 g geringer ist. Niederflur- sind also bezüglich Schwingungen in y-Richtung komfortabler als Hochflurstraßenbahnen.

z-Richtung (hoch/tief):

Hochflur:	Kurtosis = 37,15	Niederflur:	Kurtosis = 10,36
	Schiefe = 0,13		Schiefe = -0,05
→ M-W-U-Test: Signifikanz < 0,001			

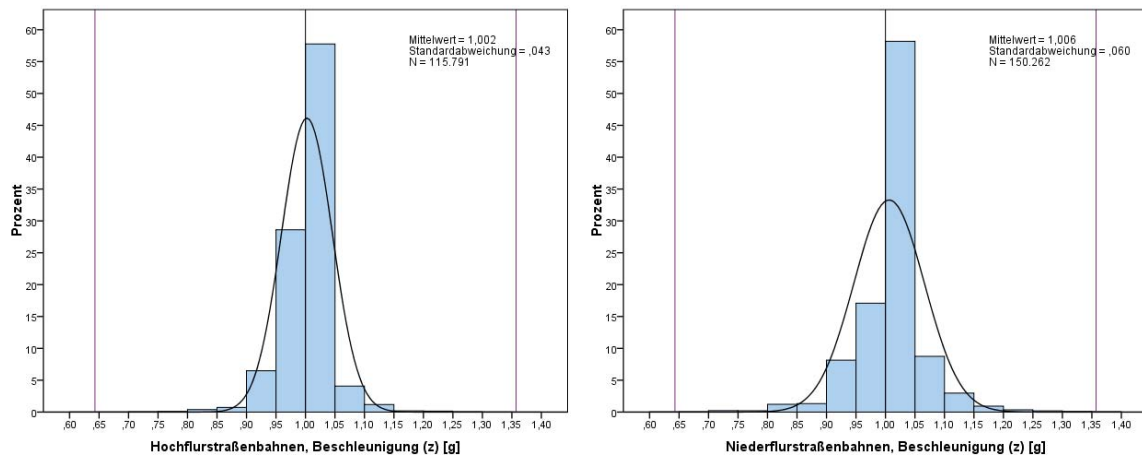


Abb. 23: Histogramm der Beschleunigungsmesswerte in z-Richtung - Vergleich der Straßenbahntypen untereinander; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.

Aufgrund der größeren Varianz bei den Niederflurstraßenbahnen, bei gleichem Erwartungswert sind diese als unbequemer einzustufen als Hochflurstraßenbahnen - Schienenunebenheiten werden hier deutlicher spürbar.

7.2. Vergleich der Straßenbahnen mittels statistischer Indikatoren

Wie in Kapitel 6.2 werden die wesentlichen Messfaktoren auch bei den Straßenbahnmodellen mittels der statistischen Indikatoren Mittelwert, Standardabweichung, sowie Minimum und Maximum verglichen.

Hochflurstraßenbahn	Licht [lx]	Δ Licht [%]	L _{Aeq} [dB]	T [°C]	a (x) [g]	a (y) [g]	a (z) [g]
n	11.534	11.528	11.534	11.534	100.445	115.791	115.791
Mittelw.	449,57	0,19	65,64	21,36	0,06	0,17	1,03
Std.abw.	496,13	1,27	6,67	2,35	0,04	0,06	0,03
min	104,80	-58,88	41,70	18,20	-0,46	-0,32	0,03
max	13.256,65	79,64	86,90	26,30	0,75	0,75	2,37

Tabelle 15: Statistik der Messwerte in Hochflurstraßenbahnen; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.

Nieder- straßenbahn	Licht [lx]	Δ Licht [%]	LAeq [dB]	T [°C]	a (x) [g]	a (y) [g]	a (z) [g]
n	14.968	14.961	16.0,21	14.968	129.346	150.262	150.262
Mittelw.	280,02	0,66	65,38	20,53	0,06	0,13	1,04
Std.abw.	1.304,72	11,90	7,73	2,10	0,05	0,06	0,05
min	104,80	-373,32	45,50	18,00	-0,78	-0,35	0,23
max	39.576,44	373,88	86,90	27,30	0,62	0,63	1,78

Tabelle 16: Statistik der Messwerte in Niederflurstraßenbahnen; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.

Licht:

Der Mittelwert der Beleuchtung ist in den Hochflurstraßenbahnen deutlich höher, als in den Niederflurstraßenbahnen. Der Minimalwert liegt bei beiden Modellen unter der Komfortgrenze. Die durchschnittliche Änderung der Beleuchtung ist in Niederflur- deutlich höher als in Hochflurstraßenbahnen, beide Werte liegen jedoch innerhalb der Komfortgrenze. Ebenso sind Minimum und Maximum der Änderung bei Niederflurstraßenbahnen deutlich größer als bei Hochflurstraßenbahnen. In Summe sind Hochflurstraßenbahnen bezüglich der Beleuchtungssituation als komfortabler zu beurteilen.

Lärm:

Bezüglich der Lärmverhältnisse lassen sich zwischen den Straßenbahntypen keine relevanten Unterschiede ausmachen. Aufgrund des niedrigeren Minimums und der geringeren Standardabweichung bei den Hochflurstraßenbahnen sind diese als etwas angenehmer zu bewerten, als ULFs.

Temperatur:

Ebenso sind die Unterschiede bezüglich der Temperaturverhältnisse zwischen den unterschiedlichen Straßenbahnmodellen gering. Beide Mittelwerte liegen innerhalb der definierten Komfortzone. Das Maximum liegt bei Niederflur- um 1°C höher als bei Hochflurstraßenbahnen, jedoch überschreiten beide Werte die obere Komfortgrenze.

Beschleunigung:

Die Beschleunigungsmittelwerte, sowie deren jeweilige Standardabweichung unterscheiden sich unter den Straßenbahnen nur wenig. Wesentlich ist, dass in y-Richtung der Mittelwert der Hochflurstraßenbahnen direkt auf der Komfortgrenze liegt, während die Grenze bei den ULFs knapp unterschritten wird. Die Hochflurstraßenbahnen weisen außerdem in alle drei Richtungen das höhere Maximum auf, ebenso wie das geringere Minimum in z-Richtung. Im Gegensatz dazu entfernt sich das Minimum in x-Richtung sich bei den Niederflurstraßenbahnen weiter vom Idealzustand, als bei den Hochflurstraßenbahnen. Anhand aller betrachteten Indikatoren ist jedoch anzunehmen, dass Niederflurstraßenbahnen bezüglich der Beschleunigung komfortabler sind.

Die Mittelwerte werden mittels Radardiagramm (siehe Abb. 24) zusammengefasst. Bei der Beleuchtung liegt die Markierung der Niederflurstraßenbahnen deutlich weiter außen, bei den Beschleunigungen in y-Richtung die der Hochflurstraßenbahnen. Minimale Unterschiede zeigen sich bei Lärm, Temperatur und Beschleunigung (z), wobei sich nur beim letztgenannten die ULFs mehr der Komfortgrenze annähern als die Hochflurstraßenbahnen. In Summe ist die Fläche der Hochflurstraßenbahnen etwas geringer.

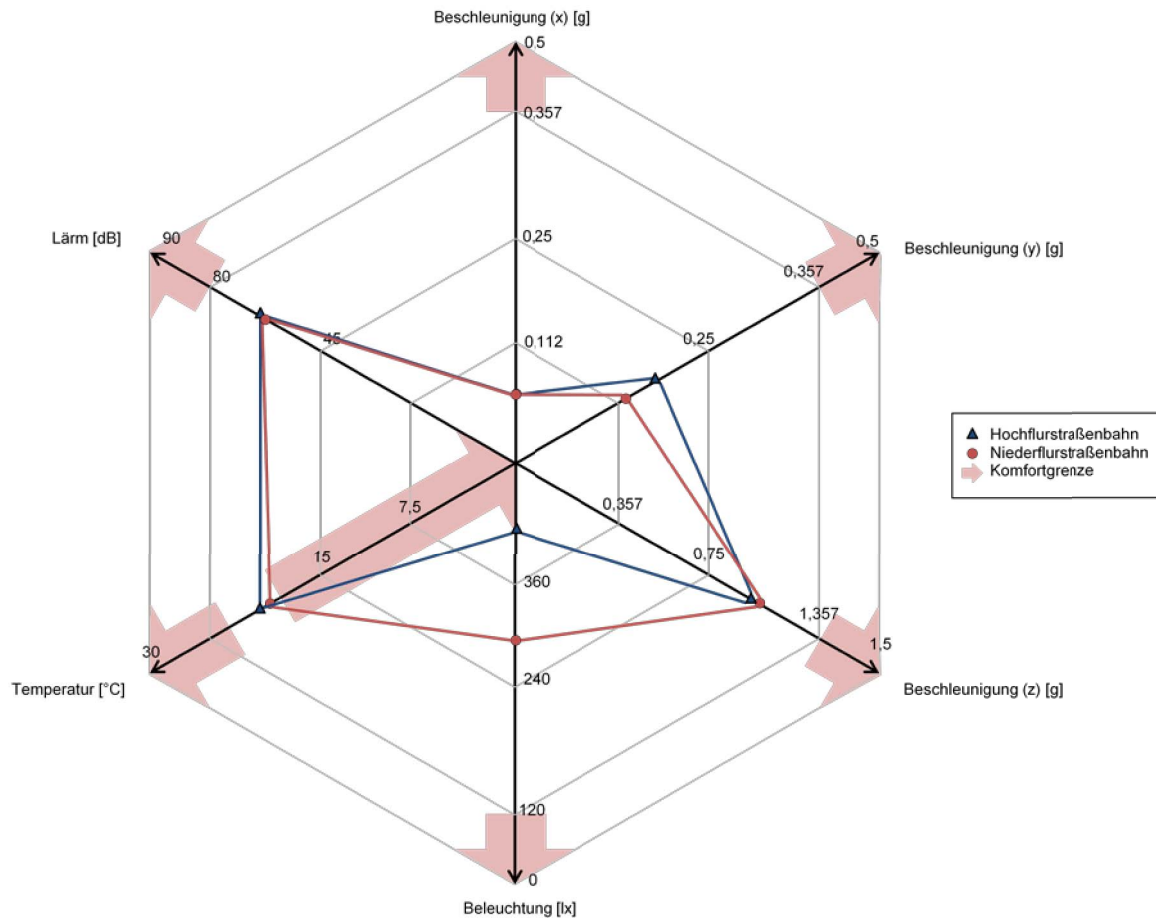


Abb. 24: Radardiagramm der Mittelwerte von Niederflur- und Hochflurstraßenbahnen; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS, erstellt mittels Microsoft Power Point.

7.3. Überschreitungen des humanphysiologischen Komfortbereichs

7.3.1. Spitzen:

Da bei der analogen Analyse für Bus und Straßenbahnen in Kapitel 6.3.1 keine Überschreitungen bei den schienengebundenen Fahrzeugen hinsichtlich der Komfortuntergrenze der Temperatur verzeichnet werden konnten wurden diese im Folgenden ausgespart.

	Hochflurstraßenb. [%]	Niederflurstraßenb. [%]
Licht < 120 lx	0,44	19,82
Δ Licht > 1,6 %/s	1,62	1,35
Lärm > 80dB	1,24	1,08
Temperatur > 23°C	19,92	6,38
Beschleunigung x > 0,357 g	0,06	0,09
Beschleunigung y > 0,357 g	0,12	0,14
Beschleunigung z > 0,357 g	0,10	0,18

Tabelle 17: Anteil der Fälle in denen der definierte humanphysiologische Komfortbereich über- bzw. unterschritten wird; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.

Licht:

Bei der Beleuchtungssituation zeigt sich zwischen den Straßenbahnen ein markanter Unterschied: Während bei den Hochflurstraßenbahnen unter 0,5 % der einsekündigen Lichtereignisse die Komfortgrenze überschreiten, sind es bei den Niederflurstraßenbahnen fast 20 %. Der Anteil der unangenehmen Lichtänderungen ist bei beiden Modellen gering.

Lärm:

Übertretungen der Komfortgrenze von 80 dB treten in beiden Straßenbahnmodellen in etwas mehr als 1 % der Fälle auf, in den Hochflurstraßenbahnen jedoch minimal häufiger. Im Gegensatz zu den vorhergegangenen Analysen stellen sich die ULFs hier als minimal komfortabler heraus.

Temperatur:

Temperaturen von 23°C werden in den Niederflurstraßenbahnen in etwa 6 % der Fälle überschritten – in Hochflurstraßenbahnen in fast 20 %.

Beschleunigung:

Der Anteil an Ereignissen bei denen die Komfortgrenze der Beschleunigung überschritten wird ist in beiden Straßenbahntypen sehr gering (je unter 0,2 %), jedoch in alle drei Richtungen bei den Niederflurstraßenbahnen geringfügig höher.

7.3.2. Dauerbelastung:

In Tabelle 18 wurden die Daten aus Tabelle 10 nach Straßenbahntyp umsortiert. Beim Lärm, sowie bei den Schwingungen in x- und z-Richtung konnten in Kapitel 6.3.2 keine Überschreitungen festgestellt werden, weshalb diese Faktoren in der folgenden Tabelle weggelassen wurden.

#	Linie	VM	Messdauer [min, gerundet]	Ø Beleuchtung [lx]	Ø Temperatur	Effektivwert
				über gesamte Fahrdauer		
1	2	21	24	885	23,6	0,136
2	1	21	13	724	23,8	0,150
3	1	21	22	1.048	26,2	0,218
20	18	21	23	330	22,4	0,178
28	25	21	23	370	21,8	0,170
30	31	21	28	491	22,7	0,186
31	43	21	23	228	20,0	0,164
35	40	21	14	180	19,9	0,149
37	D	21	23	290	19,4	0,169
5	44	22	16	402	27,3	0,128
7	62	22	23	306	20,5	0,127
9	71	22	25	161	19,3	0,089
12	O	22	22	113	21,9	0,117
13	5	22	19	113	22,3	0,131
15	10	22	21	322	21,4	0,131
22	6	22	23	145	21,7	0,103
25	5	22	28	161	19,3	0,125
26	52	22	21	250	18,7	0,136
27	49	22	24	121	19,2	0,148
38	9	22	26	145	21,0	0,141

Tabelle 18: Dauerbelastung von Lärm und Schwingungen je Messfahrt in Straßenbahnen, sowie deren Überschreitung der Komfortgrenzen; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.

Licht:

Überschreitungen der unteren Komfortgrenze von 120 lx treten zwei Mal in Niederflurstraßenbahnen auf – in Hochflurstraßenbahnen nie.

Temperatur:

Bei Betrachtung der einzelnen Messfahrten zeigt sich, dass Überschreitungen der Komfortobergrenze der Temperatur drei Mal bei Hochflur- und ein Mal bei Niederflurstraßenbahnen auftreten. ULFs sind daher als etwas komfortabler als Hochflurstraßenbahnen.

Beschleunigung:

Überschreitungen der Komfortgrenze der Schwingungen in y-Richtung (Beschleunigen/Bremsen) treten bei allen Straßenbahnen sehr häufig auf. Nur während zwei Messfahrten wurde die Grenze nicht überschritten - beide Male während der Fahrt mit einer Niederflurstraßenbahn, was diese gegenüber Hochflurstraßenbahnen als etwas komfortabler zeigt.

7.4. Zusammenfassung

Licht:

Anhand aller durchgeführten Analysen lässt sich die Hochflurstraßenbahn bezüglich der Lichtverhältnisse als komfortabler gegenüber dem ULF einstufen. Dies basiert auf einem höheren Mittelwert der absoluten Beleuchtung, sowie einem geringeren Mittelwert und Maximum, beziehungsweise einem höheren Minimum bei der Änderung der Beleuchtung. Außerdem wird die Komfortgrenze in den Hochflurstraßenbahnen deutlich seltener unterschritten.

Lärm:

Laut der Analysen mittels Histogrammen und statistischer Indikatoren sind Hochflurstraßenbahnen komfortabler. Ihre Messwerte zeigen eine geringere Varianz. Des Weiteren weisen Hochflur- ein geringeres Lärmminimum auf, als Niederflurstraßenbahnen. Im Gegensatz dazu weisen jedoch Hochflurstraßenbahnen eine minimal geringere Überschreitungshäufigkeit der Komfortgrenze auf als Niederflurstraßenbahnen. In Summe sind Hochflurstraßenbahnen bezüglich der Lärmverhältnisse als komfortabler zu beurteilen.

Temperatur:

Aus der Summe der Analysen zeigt sich, dass die ULFs bezüglich der Temperaturverhältnisse die komfortableren Straßenbahnen sind. Besonders deutlich wird dies bei der Überschreitungshäufigkeit der Komfortgrenze. Niederflur- überschreiten die Obergrenze ein Drittel so oft, wie Hochflurstraßenbahnen.

Beschleunigung:

Bezüglich der Beschleunigung sind ebenfalls Niederflurstraßenbahnen angenehmer. In x- und y-Richtung haben diese jeweils den geringeren Erwartungswert und das geringere Maximum als Hochflurstraßenbahnen. Außerdem liegt der Mittelwert der Beschleunigung in y-Richtung bei Hochflurstraßenbahnen auf der Komfortgrenze, während der Mittelwert der ULFs diese knapp unterschreitet. In z-Richtung (hoch/tief) weisen ebenfalls die Niederflurstraßenbahnen das niedrigere Maximum auf, die Hochflurstraßenbahnen jedoch eine geringere Varianz.

8. Fahrgastbefragung

In Fahrgastbefragungen, die bisher zum Thema Schienenbonus durchgeführt wurden, wurde versucht möglichst viele Aspekte abzufragen, die Einfluss auf den Komfort von öffentlichen Verkehrsmitteln haben könnten - von Wartezeiten, über sanfte Kurvenfahrt bis zu Sicherheitsaspekten. Daraufhin wurde versucht, diese subjektiven Eindrücke zu objektivieren.

Die folgende Befragung sollte dazu dienen, die zuvor objektiv gemessenen Größen nach subjektiven Kriterien zu gewichten. Erfragt wurde also, welchen Einfluss Licht(schwankungen), Lärm, Temperatur(schwankungen) sowie Beschleunigung auf den Fahrgast haben.

Die Befragung soll die folgenden Fragen beantworten:

- Welche Messgrößen haben einen subjektiv negativen Einfluss auf den Fahrgastkomfort?
- Welche konkreten Beeinträchtigungen haben je Messgröße den stärksten Einfluss?
- Welches Verkehrsmittel beeinflusst den subjektiven Fahrgastkomfort am stärksten (je Messgröße sowie gesamt)?
- Gibt es markante Unterschiede bei Viel- und SeltenfahrerInnen sowie bei männlichen und weiblichen Befragten?

Die Befragung wurde mit dem online-Umfrageprogramm surveymonkey erstellt und von 21.01.2016 bis 19.02.2016 zur Teilnahme freigegeben. In diesem Zeitraum nahmen an der Befragung 367 Personen teil. 23 davon wurden innerhalb der ersten zwei Fragen von der Umfrage disqualifiziert, da ihre Nutzungshäufigkeit der öffentlichen Verkehrsmittel geringer war, als vorausgesetzt wurde. Weitere 15 Personen beendeten die Umfrage nicht gänzlich – die beantworteten Fragen wurden jedoch in die Auswertung mit einbezogen, wodurch sich von Frage zu Frage leicht variierende TeilnehmerInnenzahlen (n) ergeben. Unter den Beantwortungen befanden sich über 200 Frauen und 125

Männer. Das Alter der Befragten bewegt sich zwischen 18 und 77 Jahren, mit einem Durchschnittsalter von 30.

Bei einer Bevölkerungszahl von über 1,8 Millionen Menschen (N) in Wien und einem Stichprobenumfang von 367 Personen (n) lässt sich mittels der untenstehenden Formel der zu erwartende statistische Fehler berechnen.

$$\Delta\theta = \sqrt{\frac{z^2 * \theta * (1 - \theta) * (N - n)}{n * (N - 1)}}$$

Bei einem Konfidenzintervall von 95 % (z) und einem Anteil des öffentlichen Verkehrs von 39 % (θ) im Modal Split für Wien ergibt sich ein Stichprobenfehler von 5 %. (Pfaffenbichler, 2016)

8.1. Ablauf der Befragung

Im Verlauf der Befragung wurde zuerst die Nutzungshäufigkeit von Straßenbahn und Bus in Wien erfragt. Von der Befragung ausgeschlossen wurden Personen, die beide Verkehrsmittel in Wien nie oder nur sehr selten benutzen, da deren Einschätzung das Ergebnis möglicherweise verfälscht hätte.

Der wesentliche Teil der Befragung bezog sich darauf ob die Faktoren Licht, Lärm, Temperatur und Beschleunigung bei der Fahrt mit den öffentlichen Verkehrsmitteln generell als störend empfunden werden (*Ja (sehr); Ja, etwas/ manchmal; Nur sehr wenig; Nein*). Bei Faktoren, die - unabhängig wie sehr - als störend empfunden wurden, folgten zwei Anschlussfragen: Einerseits sollte für verschiedene konkrete Beeinträchtigungen (z.B. *Überheizung des Fahrzeugs im Winter*) angegebenen werden, wie sehr der entsprechende Aspekt stört (*stört sehr; stört manchmal/etwas; stört nur sehr wenig; stört nicht*). Andererseits sollte beurteilt werden, ob der jeweilige Faktor im Bus oder in der Straßenbahn mehr stört. Eine Vorlage des Fragebogens befindet sich im Anhang (siehe Kapitel 11.2).

8.2. Auswertung der Befragung

Die Auswertung der Umfrage erfolgte im Statistikprogramm IBM SPSS Statistics. Häufigkeiten werden jeweils gesamt, sowie aufgeteilt nach Geschlecht und Nutzungshäufigkeit der öffentlichen Verkehrsmittel betrachtet. Für letzteres wurden die NutzerInnengruppen *VielfahrerInnen* und *SeltenfahrerInnen* definiert:

VielfahrerInnen...Alle die mindestens eines der beiden betrachteten Verkehrsmittel (*fast*) *täglich* oder *mehrmals pro Woche* nutzen.

SeltenfahrerInnen...Alle, die keine VielfahrerInnen sind.

Bei der Frage nach den konkreten Ursachen für die Beeinträchtigung durch einen Faktor wurde eine Gewichtung durchgeführt. Die Antwortmöglichkeit *stört sehr* wurde mit 4 gewichtet, *stört manchmal/etwas* mit 3, *stört nur sehr wenig* mit 2 und *stört nicht* mit 1. Aus der Summe der gewichteten Antwortmöglichkeiten kann abgelesen werden, welche Indikatoren den Fahrgastkomfort am stärksten negativ beeinträchtigen.

Die Fragen nach der genauen Ursache einer Beeinträchtigung sowie zur Einschätzung der Störung durch die beiden Verkehrsmittel wurde jeweils nur den Personen gestellt die angaben, dass der entsprechende Indikator (*sehr, manchmal/etwas oder nur sehr wenig*) stört.

8.3. Ergebnisse der Befragung

Den Befragten wurde am Ende der Umfrage die Möglichkeit geboten allgemeine Anmerkungen zum Thema Fahrgastkomfort zu machen. Wie bereits in Kapitel 1.2 erläutert, hat eine Vielzahl von Faktoren Einfluss auf den mobilen Menschen. Der quantitative Teil der Umfrage beschäftigte sich zwar rein mit Fragen zur Sinneswahrnehmung, im qualitativen Teil wurde jedoch viele Anmerkungen bezüglich der Rahmenbedingungen und der Gesamtsituation der öffentlichen Verkehrsmittel in Wien gemacht. Dies zeigt deutlich, dass eine Quantifizierung des Fahrkomforts (in diesem Fall die Messung humanphysiologischer Einflussfaktoren) allein kein vollständig aussagekräftiges Ergebnis hervorbringen kann. Viele unterschiedliche Aspekte beeinflussen das

Komfortgefühl eines Fahrgasts, welche in der vorliegenden Arbeit in Form von qualitativen Fragestellungen berücksichtigt wurden:

Der Punkt der am häufigsten genannt wurde, ist der Platzmangel beziehungsweise die zu hohe Anzahl an Fahrgästen in den Fahrzeugen. Dies wurde jedoch zumeist nicht auf ein Verkehrsmittel spezifiziert. Ebenso wurde häufig das Verhalten anderer Fahrgäste als Störfaktor genannt. Aus der Summe der Beantwortungen lässt sich allerdings ableiten, dass dies in der Regel Gespräche unter Fahrgästen bzw. Telefonate, oder den Konsum von geruchsintensiven Speisen betrifft. Was also allgemein als „Verhalten anderer Fahrgäste“ bezeichnet wird, sind objektiv betrachtet häufig auditive oder olfaktorische Einflussfaktoren. Ein weiterer mehrfach genannter Aspekt ist der Komfort der Sitze, wobei besonders die Plastiksitze in den Niederflurstraßenbahnen wenig Anklang finden. Unter Umständen ließe sich dieser Aspekt den Schwingungen zuordnen (siehe Kapitel 9.4).

Qualitative Anmerkungen konnten von den Befragten auch zu den einzeln abgefragten Messfaktoren gegeben werden. Diese befinden sich exzerpiert am Anfang der entsprechenden Kapiteln 8.3.1 bis 8.3.4.

8.3.1. Licht:

Allgemein ist zu sagen, dass von den Befragten in den offenen Anmerkungen für beide Verkehrsmittel angegeben wurde, dass diese zu dunkel beziehungsweise zu hell sein können. Ein interessanter Punkt, der angegeben wurde ist die teils unangenehm wahrgenommene Lichtfarbe. Diese lässt sich zwar mittels Luxmeter nicht erfassen, beeinflusst allerdings die wahrgenommene Helligkeit (siehe Kapitel 4.1.1).

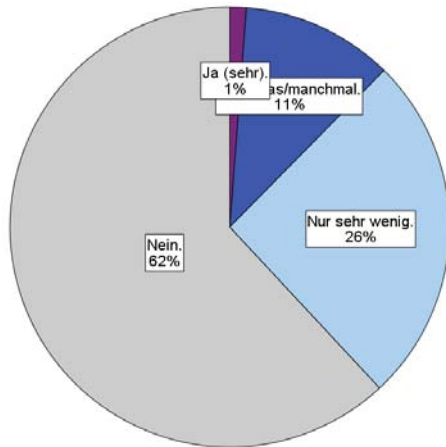


Abb. 25: Kreisdiagramm zur Frage *Fühlen Sie sich bei der Fahrt in Bus oder Straßenbahn durch die Lichtverhältnisse gestört?*, n=331

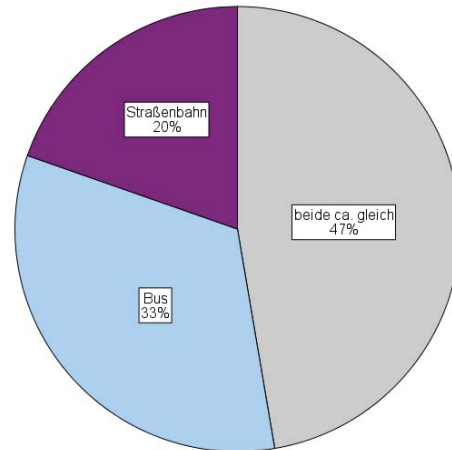


Abb. 26: Inhaltlich reduziertes Kreisdiagramm zur Frage *In welchem Verkehrsmittel empfinden Sie die Lichtverhältnisse als störender?*, n=112

Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Umfrageauswertung in SPSS.

Von 331 gültigen Antworten gaben 62 % der Befragten an, dass die Lichtverhältnisse kein störender Faktor seien. Nur 1 % (vier Personen) empfanden Licht als (sehr) störend. 11 % antworteten mit *Ja, etwas/manchmal* und für 26 % der Befragten waren die Lichtverhältnisse ein Faktor, der nur sehr wenig stört. (siehe Abb. 25)

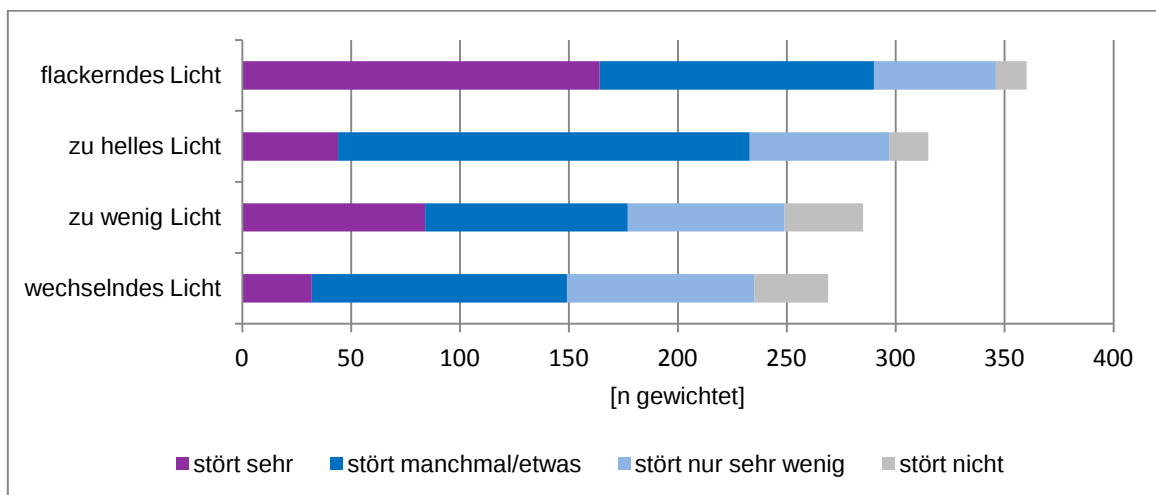


Abb. 27: Balkendiagramm der gewichteten Anzahl an Befragten über die konkreten Ursachen für Störung durch Lichtverhältnisse; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Umfrageauswertung in Excel.

Wechselnde Lichtverhältnisse, zum Beispiel bei wiederholten Tunneldurchfahrten, war für die befragte Personengruppe die am wenigsten störende Ursache, mit acht Antworten für *stört sehr*. Flackerndes Licht ist die Ursache, die am meisten stört, mit doppelt so vielen Antworten für *stört sehr* oder *stört manchmal/etwas*, im Vergleich zu *stört nicht* oder *stört nur sehr wenig*. Zu helles Licht ist die Ursache, die am zweit meisten stört. Bei Frauen ist das flackernde Licht der am meisten störende Faktor – unter den befragten Männern zu helles Licht.

Abb. 26 zeigt, dass die Lichtverhältnisse in Bussen von 33 % der Befragten als unangenehmer wahrgenommen werden als in Straßenbahnen. Umgekehrt finden 20 % die Straßenbahn bezüglich dieses Faktors unbequemer. 47 % der Personen gaben allerdings an, dass sie die Lichtverhältnisse in beiden Verkehrsmitteln als ähnlich empfinden.

8.3.2. Lärm:

In der offenen Frage wurde häufig angegeben, dass der Lärm in Niederflur- wesentlichen störender sei, als in Hochflurstraßenbahnen (siehe auch Kapitel 7). Als zweiter Punkt lässt sich aus mehreren Beantwortungen ableiten, dass die Art des Lärms eine wesentliche Rolle spielt. Genannt wurden hier insbesondere der Signalton der sich schließenden Türe und das Quietschen des Fahrzeugs auf den Straßenbahngleisen. Wie bereits in Kapiteln 4.1.2 beschrieben lässt sich der Informationsgrad des Lärms zwar nicht objektiv erfassen, wurde jedoch im Zuge der qualitativen Fragestellung häufig genannt. Im Fokus stehen dabei Gespräche unter anderen Fahrgästen, bzw. Telefonate.

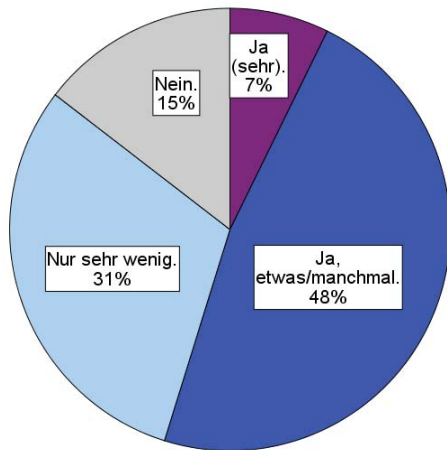


Abb. 28: Kreisdiagramm zur Frage *Fühlen Sie sich bei der Fahrt in Bus oder Straßenbahn durch Lärm gestört?*, n=343

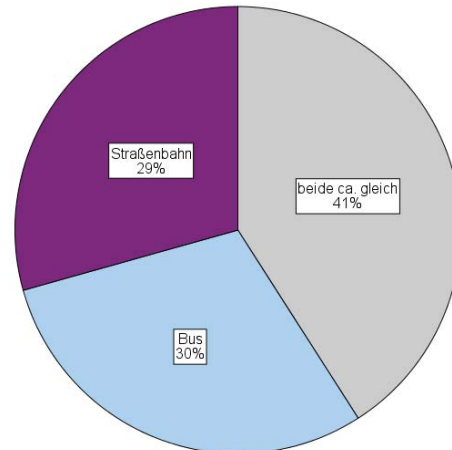


Abb. 29: Inhaltlich reduziertes Kreisdiagramm zur Frage *In welchem Verkehrsmittel empfinden Sie Lärm als störender?*, n=259

Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Umfrageauswertung in SPSS.

Fast die Hälfte der befragten Personen gab an, dass Lärm manchmal oder etwas stört. Für 7 % der Befragten war Lärm ein sehr störender Faktor, während er doppelt so viele gar nicht negativ beeinträchtigte. Auf VielfahrerInnen scheint Lärm einen größeren Einfluss zu haben, als auf SeltenfahrerInnen, da bei der zweitgenannten Gruppe die Antworten zwischen *stört* und *stört nicht* relativ ausgewogen sind. Unter den VielfahrerInnen störte Lärm mehr Personen sehr, manchmal oder etwas, als nie oder wenig.

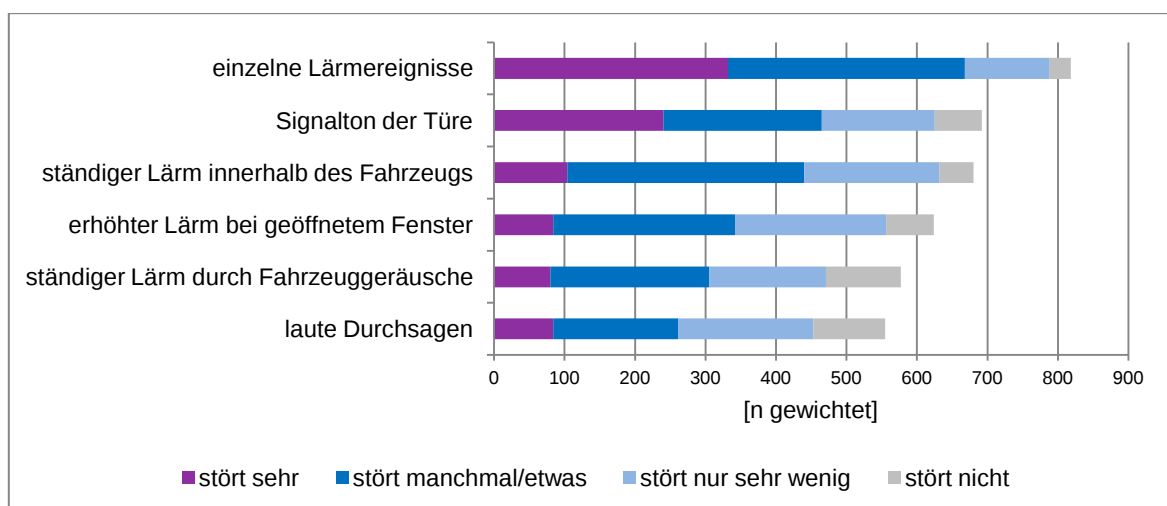


Abb. 30: Balkendiagramm der gewichteten Anzahl an Befragten über die konkreten Ursachen für Störung durch Lärm; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Umfrageauswertung in Excel.

Die Ursachen „zu laute Durchsagen“ und „ständiger Lärmpegel durch Fahrzeuggeräusche“ störten am wenigsten der Befragten. Es fühlten sich jeweils in Etwa doppelt so viele Personen nicht oder nur sehr wenig gestört, als sehr, manchmal oder etwas. Unter den Männern wird der ständige Lärmpegel durch Fahrzeuggeräusche allerdings als der Faktor eingestuft der am dritt meisten stört, während Frauen dieser Aspekt am wenigsten unter den Antwortmöglichkeiten stört. Beim erhöhten Lärmpegel durch geöffnete Fenster während der Fahrt, beim ständigen Lärmpegel innerhalb des Fahrzeugs durch Gespräche sowie beim Signalton der sich schließenden Türe waren die Antworten zwischen störend und nicht störend relativ ausgeglichen. Die Lärmquelle die am meisten störte, sind einzelne (sehr laute) Lärmereignisse. 195 Personen fühlen sich sehr, manchmal oder etwas davon gestört, während sich dadurch 60 Personen nur sehr wenig und 30 nicht gestört fühlen.

Die gewichteten Summen der einzelnen Ursachen korrelieren mit den Antworten der qualitativen Fragestellung. Gewichtet sind die drei Faktoren, die am meisten stören einzelne Lärmereignisse, wie etwa das Quietschen der Bremsen gefolgt vom Signalton der sich schließenden Türe und dem ständigen Lärmpegel im Fahrzeug bedingt durch Gespräche.

Nur eine Person mehr empfindet den Lärm im Bus als störender im Vergleich zur Straßenbahn. (siehe Abb. 29) 41 % Befragte finden Lärm in beiden Verkehrsmitteln gleich unangenehm.

8.3.3. Temperatur:

Bei den Antworten zur qualitativen Fragestellung zeigt sich, wie bereits in Kapitel 4.1.3 angesprochen, dass verschiedene Personen Temperaturen sehr unterschiedlich wahrnehmen. Personen, die empfindlich auf Kälte reagieren, fühlen sich oft durch Klimaanlage, kalte Sitze oder Zugluft beim Öffnen der Türen (im Winter) gestört. Hitzeempfindliche Fahrgäste haben sehr unterschiedliche Anmerkungen, die sowohl nicht klimatisierte Fahrzeuge bzw. mangelnde Zugluft im Sommer, oder aber überheizte Fahrzeuge im Winter betreffen.

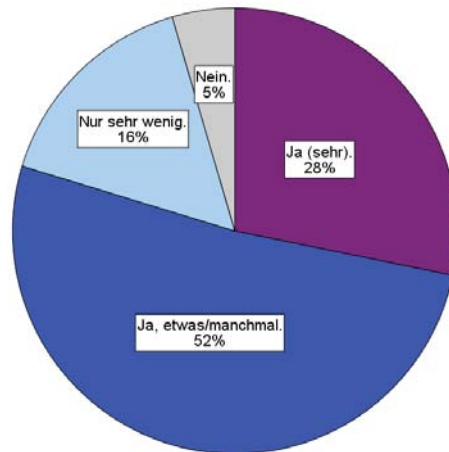


Abb. 31: Kreisdiagramm zur Frage *Fühlen Sie sich bei der Fahrt in Bus oder Straßenbahn in irgendeiner Form durch die Temperatur gestört?*, n=330

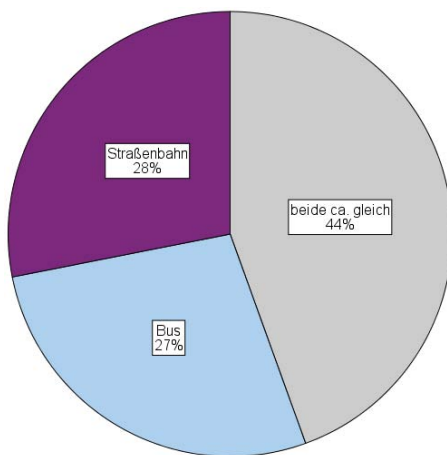


Abb. 32: Inhaltlich reduziertes Kreisdiagramm zur Frage *In welchem Verkehrsmittel empfinden Sie die Temperaturverhältnisse im Sommer als störender?*, n=299

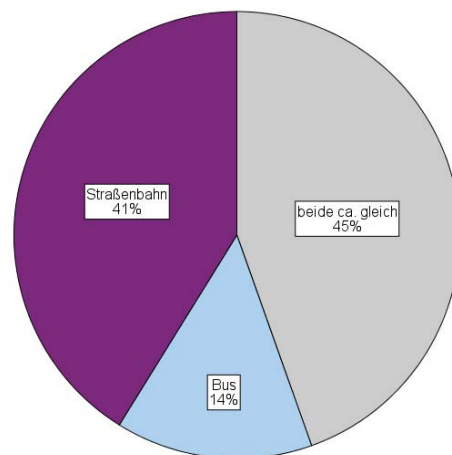


Abb. 33: Inhaltlich reduziertes Kreisdiagramm zur Frage *In welchem Verkehrsmittel empfinden Sie die Temperaturverhältnisse im Winter als störender?*, n=294

Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Umfrageauswertung in SPSS.

Die Temperaturverhältnisse beeinträchtigen Personen in öffentlichen Verkehrsmitteln mehr als Licht und Lärm. 5 % der befragten Personen fühlten sich gar nicht von der Temperatur beeinträchtigt, während 28 % angaben, dass unangenehme Temperaturverhältnisse sehr störend seien. Über die Hälfte der 330 gültigen Antworten war *Ja, manchmal/etwas*. (siehe Abb. 31) Die Fragen nach den Ursachen für die Störung durch die Temperaturverhältnisse wurden getrennt für sommerliche und winterliche Verhältnisse gestellt.

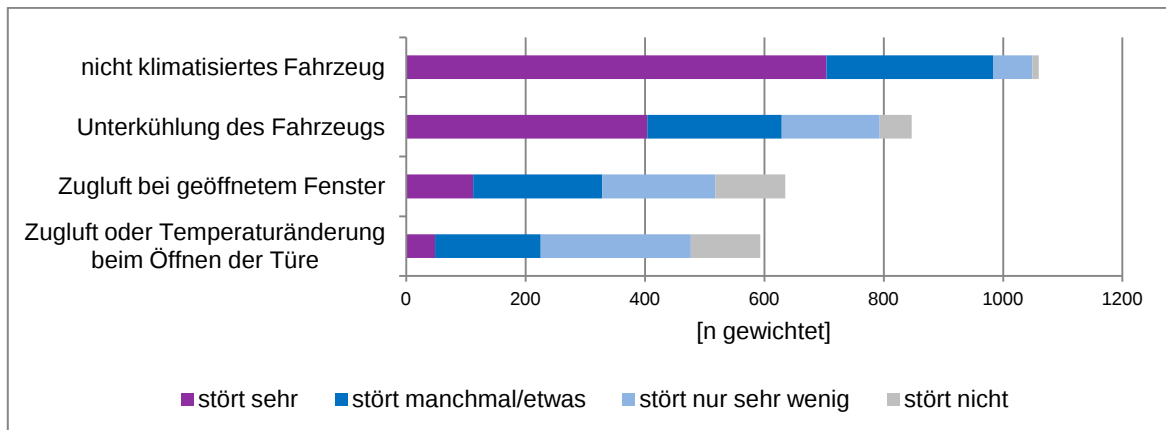


Abb. 34: Balkendiagramm der gewichteten Anzahl an Befragten über die konkreten Ursachen für Störung durch Temperaturverhältnisse im Sommer; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Umfrageauswertung in Excel.

Zugluft oder Temperaturänderungen im Sommer beim Öffnen der Türe oder bei geöffnetem Fenster während der Fahrt störten die Befragten am wenigsten. Der am deutlichsten störende Faktor war mangelnde Klimatisierung im Fahrzeug. 176 Personen störte dieser Faktor sehr, 93 manchmal oder etwas und insgesamt 44 Personen nie oder nur sehr wenig. Der Faktor der am zweit meisten störte war die Unterkühlung durch starke Klimatisierung des Fahrzeugs.

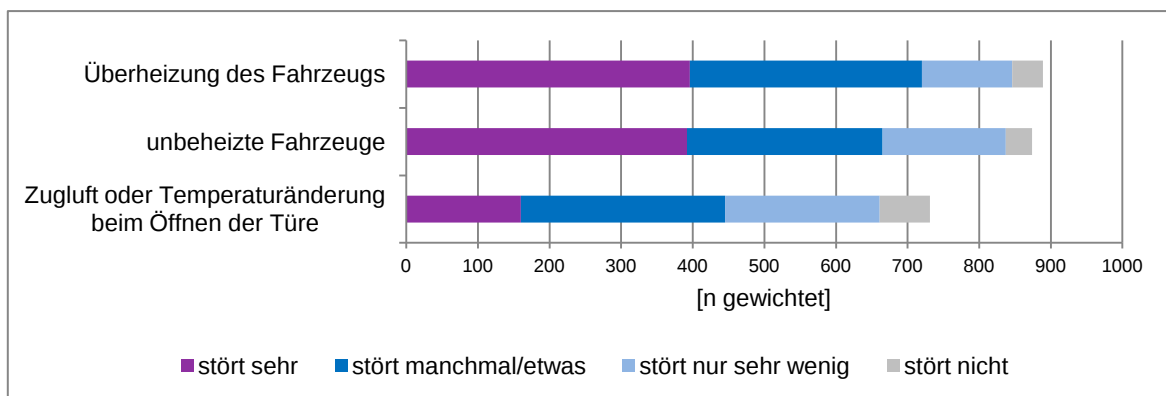


Abb. 35: Balkendiagramm der gewichteten Anzahl an Befragten über die konkreten Ursachen für Störung durch Temperaturverhältnisse im Winter; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Umfrageauswertung in Excel.

Auch im Winter störten die Befragten am wenigsten Temperaturschwankungen durch Öffnen der Türen in Stationen. Die Ursache, die am meisten störte, war die Überheizung von Fahrzeugen. 207 Personen fühlten sich dadurch sehr, manchmal oder etwas gestört,

während nur 106 der Befragten sich nicht oder nur wenig davon beeinträchtigt fühlten. Knapp dahinter folgten unbeheizte Fahrzeuge.

In der Auswertung der Umfragedaten spiegeln sich die stark divergierenden Antworten der qualitativen Frage wieder. Sowohl Unterkühlung, als auch Überheizung, keine Beheizung und keine Klimaanlage stören jeweils (teilweise deutlich) mehr Personen als nicht oder wenig.

Bei sommerlichen Verhältnissen fanden nur zwei Personen mehr die Straßenbahn bezüglich der Temperatur unangenehmer als den Bus. (siehe Abb. 32) Im Detail betrachtet bevorzugen sowohl Frauen als auch SeltenfahrerInnen den Bus, während Männer und VielfahrerInnen die Straßenbahn bezüglich der Temperaturverhältnisse im Sommer komfortabler finden. Im Winter dagegen wird die Straßenbahn von 41 % der befragten Personen als unangenehmer eingestuft während 14 % Busse hinsichtlich der Temperatur unattraktiver finden. (siehe Abb. 33) Für beide betrachteten Jahreszeiten gaben jeweils etwa 45 % der Personen an, dass sie die Temperaturverhältnisse in beiden Verkehrsmitteln etwa gleich empfinden.

8.3.4. Beschleunigung:

Eine wesentliche Erkenntnis, die innerhalb der qualitativen Fragestellung gewonnen werden konnte war, dass die Fahrweise der LenkerInnen des entsprechenden öffentlichen Verkehrsmittels einen wesentlichen Einfluss auf den wahrgenommenen Fahrkomfort hat. Genannt wurden häufige Wechsel zwischen Bremsen und Beschleunigen, zu schnelle Kurvenfahrten und eine mangelnde Reduzierung der Fahrgeschwindigkeit bei holprigen Straßenabschnitten. Besonders störend scheint jedoch abruptes Bremsen zu sein. Wie in Kapitel 6.1.4 bereits erwähnt ist Bremsen ein Vorgang der in der Norm immer als unangenehm empfunden wird, während Beschleunigung in Fahrtrichtung auch positiv wahrgenommen werden kann.

Des Weiteren wird mehrfach angegeben, dass Vibrationen und Beschleunigungen in Niederflurstraßenbahnen stärker spürbar sind, als in den älteren Garnituren (siehe auch Kapitel 7). Außerdem wurde das Verrutschen auf Holz-/Plastiksitzen genannt, was bei gepolsterten Sesseln nicht der Fall sei.

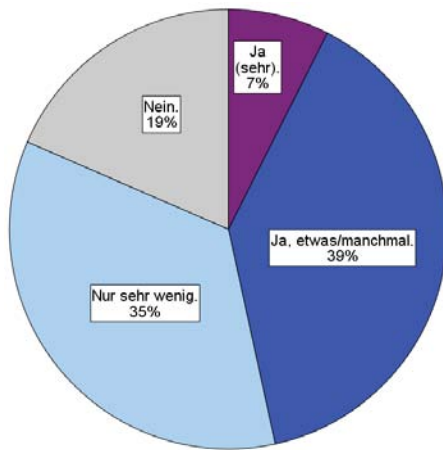


Abb. 36: Kreisdiagramm zur Frage *Fühlen Sie sich bei der Fahrt in Bus oder Straßenbahn durch Erschütterungen oder Beschleunigungen gestört?*, n=335

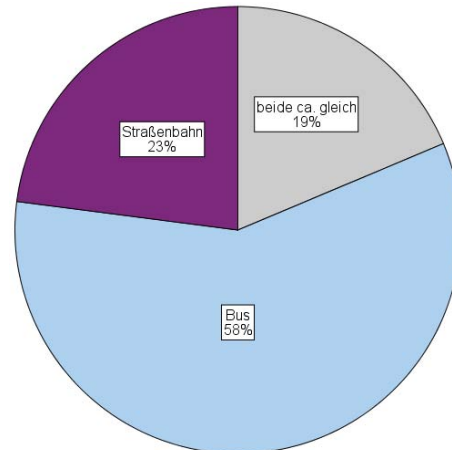


Abb. 37: Inhaltlich reduziertes Kreisdiagramm zur Frage *In welchem Verkehrsmittel empfinden Sie die Erschütterungen als störender?*, n=257

Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Umfrageauswertung in SPSS.

7 % der befragten Personen fanden Beschleunigungen oder Vibrationen bei der Fahrt mit Bus oder Straßenbahn sehr störend – 39 % manchmal oder etwas. Dagegen fühlten sich 35 % der Befragten nur sehr wenig durch diesen Faktor gestört und 19 % gar nicht. (siehe Abb. 36) Während sich unter den VielfahrerInnen mehr Personen von Beschleunigungen und Vibrationen gestört fühlten als nicht oder nur wenig, verhält sich dieses Bild unter den SeltenfahrerInnen umgekehrt.

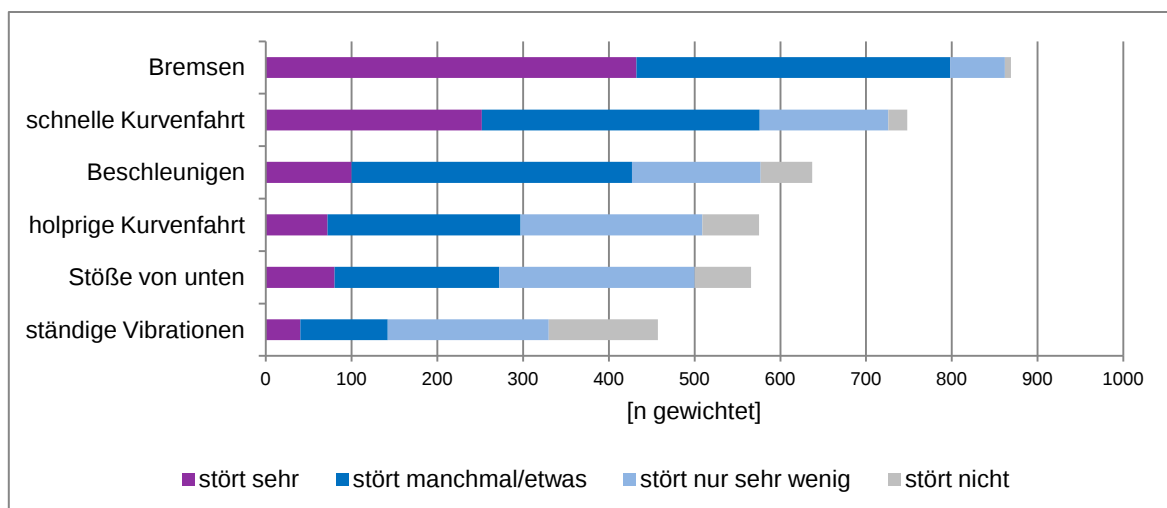


Abb. 38: Balkendiagramm der gewichteten Anzahl an Befragten über die konkreten Ursachen für Störung durch Beschleunigung und Vibrationen; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Umfrageauswertung in Excel.

Die einzelnen Ursachen für Beschleunigung können den drei Achsen zugeordnet werden. So entspricht eine Kurvenfahrt einer Beschleunigung in x-Richtung. Beschleunigungs- und Bremsvorgänge sind der y-Richtung zuzuordnen und Stöße von unten, Vibrationen sowie holprige Kurvenfahrten der z-Achse.

Ständige Vibrationen, straßen- oder schienenbedingte Stöße von unten und holprige Kurvenfahrten, die alle Beschleunigungen in z-Richtung darstellen, störten jeweils deutlich mehr Befragte nicht oder nur sehr wenig, als sehr, manchmal oder etwas. Zu schnelle Kurvenfahrten (x-Richtung) störten 171 Personen sehr, manchmal oder etwas, während 97 sich durch diesen Faktor nicht oder sehr wenig gestört fühlten. Noch deutlicher stellt sich diese Situation beim starken Bremsen (y-Richtung) dar. Während sich 39 Personen nicht oder nur sehr wenig gestört fühlten, beeinträchtigt dieser Aspekt 230 Personen sehr, manchmal oder etwas in negativer Weise.

Dieses Bild korreliert deutlich mit den Kommentaren der qualitativen Fragestellung, in der häufig die Fahrweise der LenkerInnen - besonders starkes Bremsen und schnelle Kurvenfahrten - beklagt wurde.

Der Vergleich zwischen Bus und Straßenbahn bezüglich Beschleunigung und Vibrationen fällt deutlich zugunsten der Straßenbahn aus. 58 % der Personen fanden den Bus störender und 23 % die Straßenbahn. Im Gegensatz zu den Faktoren Licht, Lärm und Temperatur stellt die Antwortmöglichkeit *beide ca. gleich* nicht die Mehrheit dar – 19 % der befragten Personen wählten diese Option.

8.4. Zusammenfassung

Licht:

Die Lichtverhältnisse haben unter den gemessenen Faktoren den geringsten Einfluss auf den Fahrgastkomfort. Am meisten störte flackerndes Licht, am zweit meisten zu helles Licht. 63 % der Personen, die sich zwischen Bus und Straßenbahn entschieden, fanden die Lichtverhältnisse im Bus störender.

Lärm:

Mehr als die Hälfte der TeilnehmerInnen fühlten sich durch Lärm stark, manchmal oder etwas belästigt. Den deutlich größten Einfluss hatten dabei einzelne Lärmereignisse, wie zum Beispiel Quietschen der Bremsen gefolgt vom Signalton der sich schließenden Türe und dem ständigen Geräuschpegel innerhalb des Fahrzeugs bedingt durch Gespräche. Lärm wurde in Bus und Straßenbahn gleich störend wahrgenommen.

Temperatur:

Den deutlich größten negativsten Einfluss haben die Temperaturverhältnisse. Über ein Viertel der Befragten empfanden diesen Aspekt als sehr störend und über die Hälfte als manchmal/etwas störend. Im Sommer ist dabei keine Klimatisierung im Fahrzeug der Faktor, der am meisten störte, gefolgt von zu intensiver Klimatisierung. Die Beeinträchtigung durch die Temperaturverhältnisse wurde dabei im Sommer in Bus und Straßenbahn gleich wahrgenommen. Im Winter wurden die Temperaturverhältnisse in der Straßenbahn von fast drei Viertel der Befragten störender wahrgenommen als im Bus. Die wesentlichen Ursachen waren dabei die Überheizung des Fahrzeugs, sowie unbeheizte Fahrzeuge.

Beschleunigung:

Beschleunigung störte mehr als die Hälfte der Befragten nicht oder nur wenig. Am meisten störten zu starkes Bremsen und zu schnelle Kurvenfahrten, welche oft auf die Fahrweise der LenkerInnen zurückgehen. 72 % der Antworten besagen, dass Beschleunigungen und Vibrationen im Bus unangenehmer sind, als in der Straßenbahn.

9. Conclusio

9.1. Zusammenfassung aller Analysen

Tabelle 19 fasst die Ergebnisse aus allen Analysen tabellarisch zusammen. Im Sinne eines Vergleichs zwischen den Verkehrsmitteln wurde je gemessenem Indikator und Analysemethode ein „Gewinner“ genannt, gefolgt von einer Begründung für diese Wahl. Wurden in den vorhergehenden Kapiteln 6 und 8 vor allem die Ergebnisse der Messungen bzw. der Befragung dargestellt, wird an dieser Stelle auch eine Bewertung dieser vorgenommen. Um das Ergebnis deutlich sichtbar zu machen wurden Kategorien in denen der Bus komfortabler ist blau hinterlegt, jene in denen sich die Straßenbahn als bequemer herausstellt violett.

Analyse-methode	Histogramme	statistische Indikatoren	Überschreitungs-häufigkeit	Einzelne Messfahrten	Befragung
Licht	Bus: weniger Unterschreitungen der Komfortgrenze von 120 lx	Bus: geringere Standardabweichung	Bus: weniger Überschreitungen der absoluten sowie der Komfortgrenze der Änderung	Bus: weniger Unterschreitungen bei Dauerbelastung	Straßenbahn
Lärm	Straßenbahn: geringerer Erwartungswert Bus: geringere Varianz, weniger Überschreitungen der Komfortgrenze von 80dB	Straßenbahn: geringerer Mittelwert, geringeres Min/Max	Bus: weniger Überschreitungen	Straßenbahn: weniger Überschreitungen von 70 dB bei Dauerbelastung, Minimum je Fahrt nie > 65 dB Bus: Maximum seltener > 80 dB	Keine Präferenz
Temp.	Straßenbahn: keine Unterschreitungen der Untergrenze, weniger Überschreitungen der Obergrenze	Straßenbahn: Minimum unterschreitet Untergrenze nicht	Straßenbahn: keine Überschreitungen der Untergrenze, weniger Überschreitungen der Obergrenze	Straßenbahn: Min/Max je Fahrt sowie Mittelwert der Dauerbelastung überschreiten Komfortgrenzen seltene	Bus

Beschleunigung	x	Straßenbahn: geringere Varianz bei gleichem Erwartungswert	Straßenbahn: geringeres Min/Max	Straßenbahn: weniger Überschreitungen	Straßenbahn: keine Überschreitungen bei Dauerbelastung, weniger Überschreitungen von Min/Max je Fahrt	Straßenbahn (Gewichtung $y > x > z$)
	y	Bus: Erwartungswert näher Null	Straßenbahn: geringeres Min/Max	Straßenbahn: weniger Überschreitungen	Bus: weniger Überschreitungen bei Dauerbelastung Straßenbahn: Minimum je Fahrt unterschreitet Untergrenze nie	
	z	Straßenbahn: geringere Varianz bei gleichem Erwartungswert	Straßenbahn: geringeres Min/Max	Straßenbahn: weniger Überschreitungen	Straßenbahn: weniger Überschreitungen von Min/Max je Fahrt	

Tabelle 19: Zusammenfassung der Analysen zum Vergleich des Fahrkomforts und Bussen und Straßenbahnen; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Analysen in Kapitel 6.1 und 8.3.

Licht:

Die Lichtverhältnisse schneiden zwar objektiv betrachtet in Bussen besser ab als in Straßenbahnen, werden jedoch in den schienenengebundenen Fahrzeugen von Fahrgästen als weniger störend bewertet. Der Hauptgrund für diese Diskrepanz ist, dass für die objektive Komfortgrenze der Beleuchtungsintensität lediglich eine Untergrenze definiert wurde. Ein wesentlicher Störfaktor für Menschen in öffentlichen Verkehrsmitteln ist allerdings zu helles Licht. Ebenfalls wurden flackerndes Licht, sowie eine unangenehme Lichtfarbe als störender bewertet als zu dunkle Situationen. Abschließend lässt sich zur Beleuchtungssituation sagen, dass aus humanphysiologischer Sicht fundierte Informationen bezüglich der Wahrnehmung unterschiedlicher Lichtfarben und einer Komfortobergrenze fehlen. Allerdings muss auch gesagt werden, dass die Beleuchtung nur für sehr wenige Fahrgäste eine belastende Störung des Komforts darstellt. Für künftige Untersuchungen zum Thema Fahrgastkomfort sollte daher der Faktor Licht nur eine untergeordnete Rolle spielen.

Lärm:

Für die Lärmsituation stellt sich sowohl anhand der objektiven, sowie der subjektiven Analyse ein sehr differenziertes Bild dar. Im Bus wird die Komfortgrenze weniger häufig überschritten während in Straßenbahnen Minimum, Maximum und Mittelwert geringer sind. Mittels der Analysen anhand von Histogrammen sowie der einzelnen Messfahrten ergibt sich keine Präferenz für ein Verkehrsmittel. Analog dazu sind sich auch die befragten Fahrgäste mit einem 50:50-Ergebnis uneins, welches das komfortablere Verkehrsmittel bezüglich der Lärmverhältnisse ist. Einzelne Lärmereignisse werden von den Befragten als störender beurteilt als Dauerbelastungen. Da Überschreitungen der Komfortgrenze häufiger in Straßenbahnen auftreten als in Bussen ist das straßengebundene Fahrzeug bezüglich der Lärmverhältnisse als das komfortablere einzustufen.

Temperatur:

Bei den Temperaturverhältnisse stellt sich die Situation umgekehrt dar, wie bei den Lichtverhältnissen. Ergeben die objektiven Messungen eine deutliche Präferenz für die Straßenbahn, entscheiden sich die Fahrgäste dennoch für den Bus. Diese Diskrepanz könnte an schlecht gewählten Komfortgrenzen festgemacht werden. Dies würde jedoch bedeuten, dass Personen in öffentlichen Verkehrsmitteln ein gänzlich anderes Temperaturbedürfnis haben als in Wohnräumen. Gründe dafür könnten (winterliche) Bekleidung oder vorangegangene körperliche Betätigung sein. Jedenfalls bestärkt die Befragung die Annahme, dass Temperaturwahrnehmung sehr unterschiedlich ausfällt. Komfortgrenzen der Temperaturwahrnehmung können daher niemals objektiv festgelegt werden. Das auffälligste Ergebnis bezüglich der Temperaturverhältnisse ist die deutlich schlechtere Beurteilung der Straßenbahn (41 %) im Winter, wobei die Ursachen *Überheizung des Fahrzeugs* und *unbeheiztes Fahrzeug* dabei ähnlich störend beurteilt wurden. Dies zeigt noch einmal deutlich, wie subjektiv Temperaturwahrnehmung ist. Objektiv kam es jedenfalls in den schienengebundenen Fahrzeugen zu deutlich weniger Über- und Unterschreitungen der festgelegten Komfortgrenzen.

Beschleunigung:

Bezüglich der Beschleunigungen in öffentlichen Verkehrsmitteln wurde die Straßenbahn von den befragten Fahrgästen als weniger störend bewertet. Beschleunigungen in z-Richtung stören Fahrgäste laut der Befragung weniger als Schwingungen in x- und y-Richtung.

x, z - Alle Analysen der objektiven Messungen ergeben einen Schienenbonus für die x und z-Richtung.

y - In y-Richtung ergeben die unterschiedlichen Analysen der Messungen kein eindeutiges Ergebnis. Vor allem beim Effektivwert der Beschleunigungen in y-Richtung (also die Dauerbelastung durch Beschleunigen/Bremsen) wird die Komfortgrenze in Straßenbahnen deutlich öfter als in Bussen überschritten. Bei den Spitzen überschreiten jedoch die straßengebundenen Fahrzeuge häufiger die Komfortgrenzen. Der Erwartungswert der Busse liegt näher Null als der der Straßenbahnen, während die Schienenfahrzeuge wiederum ein geringeres Minimum und Maximum aufweisen.

Aus diesen Analysen kann für die y-Richtung angenommen werden, dass die Maximalwerte der Beschleunigungen in Bussen höher sind, die Dauerbelastung jedoch in Straßenbahnen. Da von den Fahrgästen dennoch die Straßenbahn deutlich besser bewertet wurde haben kurze Spitzen einen größeren Einfluss auf den Komfort als eine höhere Dauerbelastung. Diese Annahme korreliert auch mit den Ergebnissen zur Lärmsituation in der einzelne Lärmereignisse störender beurteilt wurden, als die Dauerbelastung durch Lärm. Das heißt, dass auch in y-Richtung ein Schienenbonus existiert.

Des Weiteren zeigt Abb. 12, dass messbare Beschleunigungen in Fahrtrichtung häufiger stattfinden, als Bremsvorgänge. Durch die Umfrage wiederum wird deutlich, dass sich Fahrgäste durch negative Beschleunigungen stärker gestört fühlen als durch positive.

9.2. Kommentare zu den aufgestellten Hypothesen

Im Folgenden werden die in Kapitel 1.2 aufgestellten Hypothesen noch einmal dargestellt und kommentiert:

Hypothese A - Schienengebundene Fahrzeuge werden von Fahrgästen als komfortabler wahrgenommen als Straßenfahrzeuge des öffentlichen Verkehrs. Kurz: Es existiert ein interner Schienenbonus.

Da sich Hypothese A mit der subjektiven Wahrnehmung der Verkehrsmittel durch Fahrgäste beschäftigt kann nur die Befragung (siehe Kapitel 8) eine Antwort liefern. Wie bereits dargestellt beschäftigen sich die Messungen (siehe Kapitel 6) zwar mit humanphysiologischen Sinneseindrücken, subjektive Wahrnehmung kann dadurch jedoch nicht quantifiziert werden.

Zwei von vier gemessenen Faktoren, nämlich Licht und Beschleunigung, bekräftigen den internen Schienenbonus. Dabei ist jedoch noch einmal anzumerken, dass die Beleuchtungssituation ein Faktor ist, der von 62 % der befragten Personen als nicht störend wahrgenommen wird. Beschleunigung in öffentlichen Verkehrsmitteln wird fast von der Hälfte aller Befragten als sehr, manchmal oder etwas störend wahrgenommen, wobei 58 % die Straßenbahn bezüglich der Beschleunigung komfortabler finden als den Bus. Der Faktor Lärm kann die Hypothese des Schienenbonus weder bekräftigen noch abschwächen, da eine Hälfte der Befragten sich für die Schiene entschied, während die andere Hälfte die Straße wählte. Die Temperaturverhältnisse werden nur von fünf Prozent der TeilnehmerInnen als vernachlässigbar erachtet, wobei unter sommerlichen Verhältnissen 28 % der befragten Personen den Bus komfortabler finden als die Straßenbahn. Im Winter entscheiden sich 41 % der Befragten für den Bus.

Hypothese A kann also durch die Beschleunigung eindeutig bekräftigt werden, während die Temperaturverhältnisse die Annahme abschwächen.

Hypothese B - Die objektive Messung von Faktoren, die Einfluss auf die menschliche Sinnesphysiologie haben, bekräftigt die Existenz des internen Schienenbonus.

Die konkreter formulierte Hypothese B lässt sich anhand des Hauptteils dieser Arbeit beantworten – mittels der Auswertungen ebendieser Messungen (siehe Kapitel 6). Gewichtet nach den subjektiven Werten aus Kapitel 8, werden hier die objektiven Messwerte beurteilt.

- 1) Ausschließlich anhand der Beschleunigung kann eine eindeutige Aussage getroffen werden, da nur hier objektive und subjektive Ergebnisse korrelieren. Der Indikator Beschleunigung bekräftigt den internen Schienenbonus deutlich.
- 2) Die objektiven Temperaturmessungen bekräftigen zwar den Schienenbonus eindeutig, allerdings widersprechen die Ergebnisse aus der Befragung dieser Bekräftigung.
- 3) Die Auswertung der Lärmmessungen liefern ebenso wie die Umfrage keine Ergebnisse, die die Hypothese bekräftigen oder abschwächen könnten.
- 4) Die objektiven Ergebnisse zu den Lichtverhältnissen schwächen den Schienenbonus deutlich ab. Der Output aus der Befragung verleiht den Messergebnissen dieses Faktors allerdings eine niedrige Priorität.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Faktor Temperatur die Hypothese schwach und der Faktor Beschleunigung sie deutlich bekräftigen, während die Beleuchtungssituation sie sehr leicht abschwächt.

9.3. Fazit

Für die aggregierten Ergebnisse aus Messung und Befragung gemeinsam lässt sich sagen, dass die Lichtverhältnisse in keinem der beiden untersuchten Verkehrsmittel einen wesentlichen Einfluss auf den Fahrgastkomfort haben.

Die objektiv erfassten Lärmmesswerte lassen ebenso wie die Ergebnisse der Befragung keinen eindeutigen Favoriten unter den Verkehrsmitteln erkennen. Da kurzfristige Lärmereignisse jedoch subjektiv als besonders störend wahrgenommen wurden, wird der Übertretungshäufigkeit der Komfortgrenze durch Lärmspitzen eine höhere Priorität

beigemessen. Zu solchen Überschreitungen kam es etwas häufiger in Straßenbahnen, als in Bussen.

Die objektive Messung der Temperaturverhältnisse bekräftigt den internen Schienenbonus, wohingegen sich die befragten Fahrgäste bezüglich dieses Faktors in Bussen wohler fühlen als in Straßenbahnen. Besonders deutlich wird das unter winterlichen Verhältnissen.

Beschleunigungen bekräftigen sowohl anhand der objektiven Messungen, als auch durch die subjektive Meinung der Fahrgäste den Schienenbonus. Besonders deutlich erkennbar ist dies in x- und z-Richtung.

9.4. Forschungsausblick

Das behandelte Themengebiet bietet Anknüpfungspunkte für weiterführende Forschungsarbeit.

Dazu sei zuerst angemerkt, dass es sich bei den aufgenommenen Daten um stichprobenartige Erhebungen handelt. Wie in Kapitel 6.5 nachgewiesen, reicht die Datenmenge zwar für ein aussagekräftiges Ergebnis, Kontrollmessungen in Bussen und Straßenbahnen wären jedoch vernünftig.

Des Weiteren lässt sich der Vergleich anhand von Messungen humanphysiologischer Grundlagen auf weitere Verkehrsmittel übertragen. Allen voran eröffnet der Vergleich des motorisierten Individualverkehrs mit dem öffentlichen Verkehr ein spannendes Forschungsfeld. Eine Hypothese könnte lauten:

Der höhere Fahrkomfort den der motorisierte Individualverkehr im Vergleich zum öffentlichen Nahverkehr bietet erschwert den Umstieg vom Pkw auf Straßenbahnen und Busse.

Ebenfalls interessant wäre der Vergleich zwischen Fernverkehrszügen - entweder unterschiedlicher Typen untereinander, oder im Vergleich zu Fernreisebussen. Direkt anknüpfend an die vorliegende Arbeit wären Messungen in U-Bahnen in Wien sinnvoll, sowie der Fokus auf den Vergleich zwischen Hochflur- und Niederflurstraßenbahnen. Für

letzteres wären stichprobenartige Vergleiche der unterschiedlichen Straßenbahntypen auf derselben Strecke interessant.

Zuletzt bietet der Vergleich zwischen herkömmlichen Motoren, elektrischen Antrieb beziehungsweise Hybriden einerseits beim motorisierten Individualverkehr, andererseits bei Bussen ein aktuelles und spannendes Forschungsthema.

Hinsichtlich der Fahrgastbefragung (siehe Kapitel 8) wäre es sinnvoll diese erneut und zu verschiedenen Jahreszeiten durchzuführen, um ein potentiell verfälschtes Ergebnis aufgrund der aktuellen Stimmungslage bezüglich der Witterung ausschließen zu können und um eine höhere Stichprobenanzahl zu erreichen. Bei einer weiteren Befragung soll die Frage nach einer Reihung der Störung durch die Faktoren Licht, Lärm, Temperatur und Beschleunigung eingearbeitet werden. Dies ermöglicht eine Gewichtung der gemessenen Faktoren nach subjektiven Kriterien, was zu einem deutlicheren Ergebnis für oder gegen einen Schienenbonus führt.

Konkret hinsichtlich der einzelnen Messindikatoren ist zu überlegen ob die Lichtverhältnisse von so geringem subjektiven Interesse sind (siehe Kapitel 8.3.1), dass sie in weiteren Messungen nicht mehr einbezogen werden. Da beim Faktor Lärm kein Unterschied zwischen den Verkehrsmitteln ausgemacht werden konnte, sind hier weitere Messungen notwendig. Bezüglich der Temperatur soll eine Möglichkeit gefunden werden die aktuelle Außentemperatur während der gesamten Messfahrt aufzunehmen, um den Fahrgastkomfort bezüglich der Temperaturverhältnisse auch am Temperaturunterschied zwischen Innen und Außen festmachen zu können.

Mittels der vorliegenden Daten könnte eine Auswertung der Beschleunigungsmesswerte hinsichtlich der unterschiedlichen Sitzbeschaffenheit (hart/weich) durchgeführt werden, da dieser Aspekt mehrmals von befragten Personen angeführt wurde.

Zuletzt wäre es ein interessantes Forschungsfeld die Messungen auf die Beschleunigung zu fokussieren und diese in Kontext mit der Fahrweise der LenkerInnen zu setzen. Auch dieser Aspekt wurde von den befragten Fahrgästen mehrmals angegeben. Besonders relevant sich dabei Bremsvorgänge, für die die FahrerInnen Großteils verantwortlich sind und gleichzeitig einen besonders störenden Faktor darstellen.

10. Quellen

10.1. Literatur

- Axhausen, K. W. (2001). Searching for the Rail Bonus. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 353-369.
- Beck, E.-G. (2003). Lichtsinn. *Biokurs*. Retrieved 28.08., 2014, from <http://www.zum.de/Faecher/Materialien/beck/12/bs12-33.htm>
- Beckmann, D. (o.J.). Untersuchungsergebnisse zum Pupillenreflex *BAuA-Projekt F 2310*: Institut für Angewandte Optik und Elektronik.
- Ben-Akiva, M. (2002). Comparing ridership attraction of rail and bus. *Transport Policy* 9 (2002), 107-116.
- Bouchain, J. (2008). *Stadtbahnqualitäten*. HafenCity Universität Hamburg.
- Brüel&Kjær, S. V. M. A. S. (2009). Denmark Patent No.
- Bukovnik, M. (2011a). Verkehrslärm (Vol. Universität für Bodenkultur, Wien). 856.313 Verkehr und Umwelt.
- Bukovnik, M. (2011b). Verkehrslärm Erschütterungen (Vol. Universität für Bodenkultur, Wien). 856.313: Verkehr und Umwelt.
- Bunschoten, T. (2012). *To tram or not to tram*. Delft University of Technology.
- Bunschoten, T. (2013). *Tram or bus; does the tram bonus exist?* Paper presented at the European Transport Conference 2013.
- Drewing, K. (o.J.). Hautsinne. In K. R. Gegenfurtner (Ed.): Universität Giessen.
- Gforces.net. (2010). Human Tolerance Of Vertical Axis G Force. Retrieved 10.10., 2014, from <http://www.gforces.net/insight-human-tolerance-vertical-axis.html>
- GreenBusinessLight. (2014). Lux, Lumens & Watts... Retrieved 25.09., 2014, from <http://www.greenbusinesslight.com/page/119/Lux-lumens-and-watts>
- Groß, J. (2011). Immer in Bewegung. *dasgehirn.info*. Retrieved 27.08., 2014, from <http://dasgehirn.info/wahrnehmen/sehen/immer-in-bewegung-3/>
- Hain, J. (Producer). (o.J.). Verteilungsanalyse. *Lehrstuhl für Mathematik VIII - Statistik*. Retrieved from http://www.uni-wuerzburg.de/fileadmin/10040800/user_upload/hain/SPSS/Verteilungsanalyse.pdf
- Heier, M. (2008). Wann Kälte für den Menschen zu kalt ist. *Die Welt, Wissen, Gesundheit*. Retrieved 19.08., 2014, from <http://www.welt.de/gesundheit/article2689629/Wann-Kaelte-fuer-den-Menschen-zu-kalt-ist.html>
- Huppelsberg, J. (2009). *Kurzlehrbuch Physiologie* (Vol. 3. Auflage): Thieme.
- IBM, D. o. L. (o.J.). Hilfe-Core-System IBM SPSS Statistics Handbuch (Vol. 22). Frankreich.
- iportale, G. (o.J.). Hell-Dunkel-Adaptation. *Medizin Lexikon*. Retrieved 01.09., 2014, from <http://www.medizin-lexikon.de/Hell-Dunkel-Anpassung>
- Kasch, R. (2002). Schienenbonus: Es bleiben Titel. *Der Nahverkehr* 3/2002, 39-43.

- Kolbinger, A. (2014). Das Schallpegelmessgerät zur Bestimmung von Druckpegeln. *wallstreet:online AG*.
- Macoun, T. (2009). Stellungnahme zu den Unterlagen der Umweltverträglichkeitserklärung (Einreichprojekt 2008) der ASFINAG für den Streckenabschnitt
- Knoten Linz/ Hummelhof (A7) – Ast. Donau Nord, A26 Linzer Autobahn TU WIEN, Institut für Verkehrswissenschaften, Forschungsbereich Verkehrsplanung und Verkehrstechnik.
- Malaka, R. (2009). *Medieninformatik: Eine Einführung* Retrieved from <https://books.google.at/books?id=RSKuDzQb8A0C&pg=PA174&lpg=PA174&dq=film+bilder+pro+sekunde&source=bl&ots=G6lBYxHQto&sig=MIFG4OWnl0XVVyh-QrbwiOYGSe8&hl=de&sa=X&ved=0ahUKEwi4spqkzOjLAhUj8XIKHeCTDNA4FBDoAQgwMAM#v=onepage&q=film%20bilder%20pro%20sekunde&f=false>
- milieuziektes.nl, U. v. (o.J.). Schall – Infraschall. Retrieved 26.08., 2014, from <http://www.milieuziektes.nl/ELF/Schall-%20Infraschall%20-%20Vibrationen.htm>
- Paulin, E. (2002). Logarithmen, Normzahlen, Dezibel, Neper, Phon, - natürlich verwandt! *. rechenschieber.org*.
- Pfaffenbichler, P. (2016). Stichprobenfehler. In T. S. Bezirksgruppen (Ed.).
- Reinberger, S. (2012). Voll auf die Ohren. *dasgehirn.info*. Retrieved 27.08., 2014, from <http://dasgehirn.info/wahrnehmen/ hoeren/voll-auf-die-ohren-8392/>
- Schandry, R. (1989). *Lehrbuch Psychophysiologie* (Vol. 2. Auflage): Psychologie Verlags Union München-Weinheim
- Scherer, M. (2011). *The image of bus and tram: first results*. Paper presented at the 11th Swiss Transport Research Conference.
- Schlimm, A. (2011). *Ordnung des Verkehr* (Vol. Band 26). Bielefeld: transcript Verlag, Bielefeld.
- Schmidt, R. F. (2006). *Neuro- und Sinnesphysiologie* (Vol. 5. Auflage): Springer.
- Schulte, P. (2009). *Facharbeit der Kollegstufe*. (Facharbeit). Retrieved from http://www.schuelerkonferenz.edu.tum.de/fileadmin/w00brm/www/Facharbeiten_2009/schulte_patrick_cc.pdf
- Schulz, M. (2003). Quantifizierung des Schienenbonus. *Der nahverkehr* 6/2003, 26-29.
- Simm, M. (2011). Sehen - (k)ein selbstverständliches Wunder. *dasgehirn.info*. Retrieved 27.08., 2014, from <http://dasgehirn.info/wahrnehmen/sehen/sehen-2013-k-ein-selbstverstaendliches-wunder/>
- Speckmann, E.-J. (2013). *Physiologie* (Vol. 6. Auflage): Urban&Fischer.
- srf.ch, U. v. (o.J.). Wissenschaftliche Arbeit zur Kinetose. Retrieved 25.08., 2014
- Steyer, R. (o.J.). Signifikanztests zur Prüfung von Unterschieden in der zentralen Tendenz - Teil 1. Retrieved 29.04.2016, 2016, from <http://www.metheval.uni-jena.de/index.php>
- Stöhr, G. (2002). Thermometrie - Technik. *Freunde alter Wetterinstrumente*. Retrieved 21.10., 2014, from <http://www.freunde-alter-wetterinstrumente.de/23thetec.htm>
- Van Der Steen, M. (2013). Measuring Illuminance Correctly. *OliNo*. Retrieved 20.10., 2014, from <http://www.olino.org/us/articles/2009/12/07/measuring-illuminance-correctly>

- Waller, C. (2010). Long life for art. *Long life for art*. Retrieved 24.09., 03.11., 2014, from http://www.cwaller.de/fr_didaktik.htm
- Winkler, D. (2016). Raumtemperatur. Retrieved 22.03., 2016, from <http://www.raumtemperatur-info.de/optimale-raumtemperatur/>

10.2. Abbildungen

Abb. 1: Data Logger; Quelle: eigene Darstellung.	12
Abb. 2: Überblick über die menschliche Wahrnehmung und die entsprechenden Sinne; Quelle: eigene Darstellung auf Basis von Wikipedia.	17
Abb. 3: Behaglichkeitssonne; Quelle: eigene Darstellung auf Basis von (Schlimm, 2011).	19
Abb. 4: Normierung der Messgeräte; Quelle: eigene Darstellung.	37
Abb. 5: Messanordnung auf einem Straßenbahnsitz; Quelle: eigene Darstellung.	37
Abb. 6: Rotation von y und z um die x-Achse; Quelle: eigene Darstellung.	41
Abb. 7: Reduziertes Histogramm der Messwerte der Beleuchtungsintensität bis 1.000 lx - Vergleich Busse und Straßenbahnen; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.	47
Abb. 8: Histogramm der Lärmmesswerte - Vergleich Busse und Straßenbahnen; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.	48
Abb. 9: Histogramm der Temperaturmesswerte - Vergleich Busse und Straßenbahnen; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.	49
Abb. 10: Streudiagramme der Temperaturmesswerte (x-Achse) im Vergleich zur aufgenommenen Außentemperatur (y-Achse) - Vergleich Busse und Straßenbahnen; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.	50
Abb. 11: Histogramm der Beschleunigungsmesswerte in x-Richtung - Vergleich Busse und Straßenbahnen; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.	51
Abb. 12: Histogramm der Messwerte der Beschleunigungsmesswerte in y -Richtung - Vergleich Busse und Straßenbahnen; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.	52
Abb. 13: Histogramm der Beschleunigungsmesswerte in z-Richtung - Vergleich Busse und Straßenbahnen; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.	53
Abb. 14: Radardiagramm der Mittelwerte von Bussen und Straßenbahnen; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS, erstellt mittels Microsoft Power Point.	57
Abb. 15: Beispielhafte Darstellung des Temperaturverlaufs einer Messfahrt (Linie 2); Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datensammlung in Excel.	66
Abb. 16: Liniendiagramm der vorläufigen Lärmittelwerte; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in Excel.	70
Abb. 17: Liniendiagramm der vorläufigen Beschleunigungsmittelwerte in y-Richtung; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in Excel.	70
Abb. 18: Reduziertes Histogramm der Messwerte der Beleuchtungsintensität bis 1.000 lx - Vergleich der Straßenbahntypen untereinander; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.	73

Abb. 19: Histogramm der Lärmmesswerte - Vergleich der Straßenbahntypen untereinander; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.....	73
Abb. 20: Histogramm der Temperaturmesswerte - Vergleich der Straßenbahntypen untereinander; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.....	74
Abb. 21: Histogramm der Beschleunigungsmesswerte in x-Richtung - Vergleich der Straßenbahntypen untereinander; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.....	75
Abb. 22: Histogramm der Beschleunigungsmesswerte in y-Richtung - Vergleich der Straßenbahntypen untereinander; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.....	76
Abb. 23: Histogramm der Beschleunigungsmesswerte in z-Richtung - Vergleich der Straßenbahntypen untereinander; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.....	77
Abb. 24: Radardiagramm der Mittelwerte von Niederflur- und Hochflurstraßenbahnen; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS, erstellt mittels Microsoft Power Point.	80
Abb. 25: Kreisdiagramm zur Frage <i>Fühlen Sie sich bei der Fahrt in Bus oder Straßenbahn durch die Lichtverhältnisse gestört?</i> , n=331	89
Abb. 26: Inhaltlich reduziertes Kreisdiagramm zur Frage <i>In welchem Verkehrsmittel empfinden Sie die Lichtverhältnisse als störender?</i> , n=112	89
Abb. 27: Balkendiagramm der gewichteten Anzahl an Befragten über die konkreten Ursachen für Störung durch Lichtverhältnisse; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Umfrageauswertung in Excel.	89
Abb. 28: Kreisdiagramm zur Frage <i>Fühlen Sie sich bei der Fahrt in Bus oder Straßenbahn durch Lärm gestört?</i> , n=343	91
Abb. 29: Inhaltlich reduziertes Kreisdiagramm zur Frage <i>In welchem Verkehrsmittel empfinden Sie Lärm als störender?</i> , n=259	91
Abb. 30: Balkendiagramm der gewichteten Anzahl an Befragten über die konkreten Ursachen für Störung durch Lärm; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Umfrageauswertung in Excel.	91
Abb. 31: Kreisdiagramm zur Frage <i>Fühlen Sie sich bei der Fahrt in Bus oder Straßenbahn in irgend-einer Form durch die Temperatur gestört?</i> , n=330.....	93
Abb. 32: Inhaltlich reduziertes Kreisdiagramm zur Frage <i>In welchem Verkehrsmittel empfinden Sie die die Temperaturverhältnisse im Sommer als störender?</i> , n=299.....	93
Abb. 33: Inhaltlich reduziertes Kreisdiagramm zur Frage <i>In welchem Verkehrsmittel empfinden Sie die die Temperaturverhältnisse im Winter als störender?</i> , n=294	93
Abb. 34: Balkendiagramm der gewichteten Anzahl an Befragten über die konkreten Ursachen für Störung durch Temperaturverhältnisse im Sommer; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Umfrageauswertung in Excel.....	94
Abb. 35: Balkendiagramm der gewichteten Anzahl an Befragten über die konkreten Ursachen für Störung durch Temperaturverhältnisse im Winter; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Umfrage-auswertung in Excel.	94
Abb. 36: Kreisdiagramm zur Frage <i>Fühlen Sie sich bei der Fahrt in Bus oder Straßenbahn durch Erschütterungen oder Beschleunigungen gestört?</i> , n=335	96

Abb. 37: Inhaltlich reduziertes Kreisdiagramm zur Frage <i>In welchem Verkehrsmittel empfinden Sie die Erschütterungen als störender?</i> , n=257	96
Abb. 38: Balkendiagramm der gewichteten Anzahl an Befragten über die konkreten Ursachen für Störung durch Beschleunigung und Vibrationen; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Umfrageauswertung in Excel.	96

10.3. Tabellen

Tabelle 1: Beispiel einer Beschreibung von Atmosphäre und Fahrgastkomfort in der Literatur; Quelle: (Bunschoten, 2013).	9
Tabelle 2: Zusammenfassung der Sinneswahrnehmungen; Quelle: sämtliche Quellen aus dem vorhergehenden Kapitel.	32
Tabelle 3: Messstatistik; Quelle: eigene Darstellung.	34
Tabelle 4: Legende über die erhobenen Parameter; Quelle: eigene Darstellung.	43
Tabelle 5: Statistik der Messwerte in Bussen; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.	54
Tabelle 6: Statistik der Messwerte in Straßenbahnen; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.	55
Tabelle 7: Differenz der Mittelwerte zwischen Bussen und Straßenbahnen; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.	58
Tabelle 8: Anteil der Fälle in denen der definierte humanphysiologische Komfortbereich über- bzw. unterschritten wurde; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.	59
Tabelle 9: Dauerbelastung je Messfahrt in Bussen (markiert sind Überschreitung der Komfortgrenzen); Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.	61
Tabelle 10: Dauerbelastung je Messfahrt in Straßenbahnen (markiert sind Überschreitung der Komfortgrenzen); Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.	62
Tabelle 11: Standardabweichung der Dauerbelastung; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.	62
Tabelle 12: Minimum/Maximum je Messfahrt in Bussen (markiert sind Überschreitung der Komfortgrenzen); Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.	63
Tabelle 13: Minimum/Maximum je Messfahrt in Straßenbahnen (markiert sind Überschreitung der Komfortgrenzen); Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.	64
Tabelle 14: Vorläufige Mittelwerte; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in Excel.	69
Tabelle 15: Statistik der Messwerte in Hochflurstraßenbahnen; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.	77
Tabelle 16: Statistik der Messwerte in Niederflurstraßenbahnen; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.	78
Tabelle 17: Anteil der Fälle in denen der definierte humanphysiologische Komfortbereich über- bzw. unterschritten wird; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.	81

Tabelle 18: Dauerbelastung von Lärm und Schwingungen je Messfahrt in Straßenbahnen, sowie deren Überschreitung der Komfortgrenzen; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Datenanalyse in SPSS.	82
Tabelle 19: Zusammenfassung der Analysen zum Vergleich des Fahrkomforts und Bussen und Straßenbahnen; Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Analysen in Kapitel 6.1 und 8.3.....	100

11. Anhang

11.1. Messprotokoll

Siehe Seite 115

11.2. Fragebogen

Siehe Seite 116ff

Einleitung

Die folgende Umfrage ist Teil meiner Diplomarbeit an der TU Wien.

Die Fragen beziehen sich auf den Fahrkomfort in öffentlichen Bussen und Straßenbahnen in Wien.

Die Umfrage verläuft anonym und dauert weniger als 5 Minuten.

Ich bedanke mich vielmals für Ihre Bereitschaft zur Teilnahme!

Mit freundlichen Grüßen,

Pia Toth, BA

Wie oft nutzen Sie Straßenbahnen in Wien?

- ☐ (fast) täglich
- ☐ mehrmals pro Woche
- ☐ einmal pro Woche
- ☐ weniger als einmal pro Woche
- ☐ (fast) nie (~ 1-2 Mal im letzten Jahr)

Wie oft nutzen Sie öffentliche Busse in Wien?

- ☐ (fast) täglich
- ☐ mehrmals pro Woche
- ☐ einmal pro Woche
- ☐ weniger als einmal pro Woche
- ☐ (fast) nie (~ 1-2 Mal im letzten Jahr)

Wie oft nutzen Sie öffentliche Busse in Wien?

- ☐ (fast) täglich
- ☐ mehrmals pro Woche
- ☐ einmal pro Woche
- ☐ weniger als einmal pro Woche
- ☐ (fast) nie (~ 1-2 Mal im letzten Jahr)

Lärm

Fühlen Sie sich bei der Fahrt in Bus oder Straßenbahn in irgendeiner Form durch Lärm gestört?

Bitte gehen Sie bei dieser, sowie den folgenden Fragen nicht davon aus, was Sie bereit sind zu tolerieren, sondern von einem wünschenswerten Idealzustand. („Es könnte auch ganz leise sein.“)

- ☐ Ja (sehr).
- ☐ Ja, etwas/manchmal.
- ☐ Nur sehr wenig.
- ☐ Nein.
- ☐ Ich weiß es nicht.

Lärm

Welche Ursachen für Lärm stören Sie am meisten?

Unabhängig vom Informationsgrad des Lärms - „nervige Telefonate“ etc. zählen zum anhaltenden Lärmpegel.

	stört sehr	stört manchmal/etwas	stört nur sehr wenig	stört nicht	Ich weiß es nicht.
der ständige Lärmpegel bedingt durch Fahrzeuggeräusche (z.B. Motor, Kontakt Rad zu Straße/Schiene,...)	☐	☐	☐	☐	☐
der erhöhte Lärmpegel bei geöffneten Fenstern (inkl. Verkehrslärm außerhalb des Fahrzeugs)	☐	☐	☐	☐	☐
der ständige Lärmpegel innerhalb des Fahrzeugs bedingt durch „Gemurmel“, Gespräche,...	☐	☐	☐	☐	☐
einzelne (sehr laute) Lärmereignisse (Schreien, kurzes Piepen bei Betätigung des Türöffners, Quietschen beim Bremsen,...)	☐	☐	☐	☐	☐
der Signalton, der sich schließenden Türen	☐	☐	☐	☐	☐
zu laute Durchsagen im Fahrzeug	☐	☐	☐	☐	☐

In welchem Verkehrsmittel empfinden Sie Lärm als störender?

Beispiel: XY findet es im Bus meistens lauter, das Quietschen der Bremsen in der Straßenbahn mutet jedoch schier unerträglich an,
damit wäre Lärm in der Straßenbahn störender.

☐ Bus ☐ Straßenbahn ☐ beide ca. gleich ☐ Ich weiß es nicht.

Anmerkung:

Erschütterungen & Beschleunigungen

Fühlen Sie sich bei der Fahrt in Bus oder Straßenbahn durch Erschütterungen (z.B. Rumpeln, Vibrationen,...) oder Beschleunigungen (z.B. starkes Bremsen, schnelle Kurvenfahrt,...) gestört?

Durch Vibrationen oder Erschütterungen entstehender Lärm spielen bei dieser Frage keine Rolle!

- ☐ Ja (sehr).
☐ Ja, etwas/manchmal.
☐ Nur sehr wenig.
☐ Nein.
☐ Ich weiß es nicht.

Erschütterungen & Beschleunigungen

Welche Ursache für Erschütterungen oder Beschleunigungen stört Sie am meisten?

	stört sehr	stört manchmal/etwas	stört nur sehr wenig	stört nicht	Ich weiß es nicht.
starkes Beschleunigen	☐	☐	☐	☐	☐
(starkes) Bremsen	☐	☐	☐	☐	☐
(zu schnelle) Kurvenfahrt	☐	☐	☐	☐	☐
holprige Kurvenfahrt, z.B. bedingt durch Weichen	☐	☐	☐	☐	☐
straßen- oder schienenbedingte Stöße von unten	☐	☐	☐	☐	☐
ständige (leichte) Vibrationen	☐	☐	☐	☐	☐

In welchem Verkehrsmittel empfinden Sie Erschütterungen als störender?

☐ Bus ☐ Straßenbahn ☐ beide ca. gleich ☐ Ich weiß es nicht.

Anmerkung:

Licht

Fühlen Sie sich bei der Fahrt in Bus oder Straßenbahn durch die Lichtverhältnisse (z.B. zu dunkel, flackerndes Licht,...) gestört?

- ☐ Ja (sehr).
- ☐ Ja, etwas/manchmal.
- ☐ Nur sehr wenig.
- ☐ Nein.
- ☐ Ich weiß es nicht.

Licht

Welche Ursachen für unangenehme Lichtverhältnissen stören Sie am meisten?

	stört sehr	stört manchmal/etwas	stört nur sehr wenig	stört nicht	Ich weiß es nicht.
zu wenig Licht (z.B. beim Lesen)	☐	☐	☐	☐	☐
ständig wechselnde Lichtverhältnisse (inkl. Tunneldurchfahrten)	☐	☐	☐	☐	☐
zu helles Licht (bes. grelle oder unangenehme künstliche Beleuchtung)	☐	☐	☐	☐	☐
flackerndes Licht	☐	☐	☐	☐	☐

In welchem Verkehrsmittel empfinden Sie die Lichtverhältnisse als störender?

☐ Bus ☐ Straßenbahn ☐ beide ca. gleich ☐ Ich weiß es nicht.

Anmerkung:

Temperatur

Fühlen Sie sich bei der Fahrt in Bus oder Straßenbahn in irgendeiner Form durch die Temperatur (z.B. Überheizung, keine Heizung,...) gestört?

Bitte denken Sie dabei sowohl an extreme sommerliche, wie winterliche Verhältnisse.

- ☐ Ja (sehr).
- ☐ Ja, etwas/manchmal.
- ☐ Nur sehr wenig.
- ☐ Nein.
- ☐ Ich weiß es nicht.

Temperatur - Sommer

Welche Ursachen für unangenehme Temperaturverhältnisse stören Sie
im Sommer am meisten?

	stört sehr	stört manchmal/etwas	stört nur sehr wenig	stört nicht	Ich weiß es nicht.
Unterkühlung des Fahrzeugs	☐	☐	☐	☐	☐
nicht klimatisierte Fahrzeuge	☐	☐	☐	☐	☐
Zugluft oder Veränderung der Temperatur beim Öffnen der Türen in der Haltestelle	☐	☐	☐	☐	☐
Zugluft bei geöffneten Fenstern während der Fahrt	☐	☐	☐	☐	☐

In welchem Verkehrsmittel empfinden Sie die Temperaturverhältnisse
im Sommer als störender?

☐ Bus ☐ Straßenbahn ☐ beide ca. gleich ☐ Ich weiß es nicht.

eventuelle Anmerkungen bitte auf der nächsten Seite eingeben

Temperatur - Winter

Welche Ursachen für unangenehme Temperaturverhältnisse stören Sie
im Winter am meisten?

	stört sehr	stört manchmal/etwas	stört nur sehr wenig	stört nicht	Ich weiß es nicht.
Überheizung des Fahrzeugs (inkl. Sitzheizung,...)	☐	☐	☐	☐	☐
unbeheizte Fahrzeuge (inkl. kalte Holzsitze,...)	☐	☐	☐	☐	☐
Zugluft oder Veränderung der Temperatur beim Öffnen der Türen in der Haltestelle	☐	☐	☐	☐	☐

In welchem Verkehrsmittel empfinden Sie die Temperaturverhältnisse
im Winter als störender?

☐ Bus ☐ Straßenbahn ☐ beide ca. gleich ☐ Ich weiß es nicht.

Anmerkung:

Statistik

Geburtsjahr (JJJJ):

Geschlecht:

☐

männlich

☐

weiblich

☐

k.A.

Fallen Ihnen konkrete Linien in Wien ein, auf denen einer oder mehrere der angesprochenen Parameter besonders störend sind?

Wenn ja bitte um Angabe: Linie - besonders störende/r Parameter

Haben Sie sonstige Anmerkungen zum Thema *Fahrgastkomfort*?

Gesucht sind Personen die häufiger die öffentlichen Verkehrsmittel in Wien nutzen.

Ich bedanke mich trotzdem vielmals für Ihre Bereitschaft.

Ende

Vielen Dank für Ihre Teilnahme an der Befragung!