



TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Fakultät für Maschinenwesen

Lehrstuhl für Ergonomie

Bewertung des aktuellen Vorgehens bei Diskomfortuntersuchungen im Sitzen

Annika Dorothee Johanna Uhlerr

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Maschinenwesen
der Technischen Universität München
zu Erlangung des akademischen Grades eines
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Markus Lienkamp

Prüfer der Dissertation: 1. Prof. Dr. Klaus Bengler
2. Prof. Peter Vink, Ph.D.

Die Dissertation wurde am 19.03.2019 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 11.11.2019 angenommen.

Nichts ist so fest, wie es scheint.

Danksagung

Hier möchte ich mich bei den Personen bedanken, die mich durch ihre jeweils eigene Art bei meiner Promotion unterstützt, motiviert und so zum Gelingen beigetragen haben.

An erster Stelle möchte ich meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Klaus Bengler bedanken, der mir diese Promotion ermöglicht und mich in meiner wissenschaftlichen Arbeit immer unterstützt und gefördert hat. Herrn Prof. Peter Vink danke ich sehr für sein großes Interesse an meiner Forschung und für die Übernahme der Aufgabe als Zweitprüfer meiner Dissertation.

Allen Kolleginnen und Kollegen des Lehrstuhls für Ergonomie möchte ich für die sehr gute und motivierende Arbeitsatmosphäre danken. Ich danke Dr. Fabian Günzkofer, der seit meiner Diplomarbeit ein hilfreicher Diskussionspartner war. Ingrid Bubb möchte ich ganz besonders danken für ihre großartige Unterstützung bei der Versuchsdurchführung und noch so viel mehr. Außerdem danke ich ausdrücklich Carmen Aringer-Walch und Dr. Thomas Weißgerber für die offenen Ohren, die sehr guten Gespräche und den Spaß. Darüber hinaus bedanke ich mich ganz herzlich bei Heribert Hart und Michael Arzberger, der Werkstatt des Lehrstuhls, die für den Versuchsaufbau und in anderen Situationen unverzichtbar waren.

Zu guter Letzt danke ich von Herzen meinen Eltern für die andauernde, große Unterstützung und meinen Freundinnen Franziska, Antje, Nina und Miriam für ihre Zeit, ihre Geduld und ihre helfenden Worte in allen Lebenslagen, ohne euch wäre das nicht möglich gewesen.

Danke.

Kurzfassung

Komfort- und Diskomfortbewertungen im Sitzen sind seit langer Zeit Forschungsthemen der Ergonomie. Die vorliegende Arbeit bewertet das aktuelle Vorgehen bei Komfort- und Diskomfortuntersuchungen am Beispiel von Fahrzeugsitzen. Als Erstes wird der aktuelle Stand der Wissenschaft dargestellt und kritisch diskutiert. Die relevante Literatur wird begutachtet und zeigt, dass es bei den verwendeten Komfort- und Diskomfortmodellen sowie den experimentellen Studien keine Standards gibt. Die veröffentlichten Ergebnisse sind deshalb schwer vergleichbar. Dies ist besonders im deutschsprachigen Raum der Fall, da hier aufgrund der nicht vorhandenen Definition des Begriffs „Diskomfort“ nicht garantiert werden kann, dass alle Versuchspersonen dasselbe darunter verstehen. Als Zweites werden schon veröffentlichte Komfort- und Diskomfortuntersuchungen mittels einer Metaanalyse genauer beleuchtet. Hierbei zeigt sich, dass Veröffentlichungen häufig keine konkreten Zahlenwerte umfassen und in der Regel nur signifikante Ergebnisse beschreiben. Darüber hinaus werden die Effektstärken verschiedener Versuchsparameter auf den Komfort oder Diskomfort auf Fahrzeugsitzen ermittelt und verglichen. Grundsätzlich ist erkennbar, dass der Effekt von Versuchsparametern auf Gesamtbewertungen größer ist als auf die Bewertung einzelner Körperteile. Außerdem hat der Versuchsparameter Sitzdauer den größten Effekt auf die Gesamtdiskomfortbewertung. Als Drittes ergibt die statistische Auswertung der von der Autorin durchgeführten Diskomfortuntersuchung, dass die Versuchspersonen Diskomfort nicht absolut, sondern relativ innerhalb der einzelnen Versuchstermine bewerten. Die aktuelle Vorgehensweise bei der subjektiven Bewertung von Komfort und Diskomfort auf Fahrzeugsitzen ist nicht geeignet, um zu untersuchen, was sie untersuchen soll. Versuchspersonen bewerten verschiedene Sitze und Fahrzeugpackages nicht signifikant unterschiedlich. Dies könnte an zu geringen Unterschieden zwischen getesteten Sitzen liegen, an den fehlenden Standards oder an Variationen der Begriffsinterpretation durch die Versuchspersonen. Auf Basis der Ergebnisse der Literaturrecherche, der Metaanalyse und der Versuchsauswertung wird empfohlen, die Methode der subjektiven Bewertung des Sitzens noch einmal grundlegend zu erforschen. Es müssen valide Modelle entwickelt und die Konzepte international definiert werden.

Abstract

Evaluations of the sitting comfort and discomfort have long been research topics in ergonomics. This thesis evaluates the current procedure of assessing comfort and discomfort, using the discomfort on vehicle seats as an example. First, the current state of comfort and discomfort assessments is presented and critically discussed. The relevant literature is reviewed and shows there are neither standards for applied comfort and discomfort models nor experimental designs. The published results of comfort and discomfort experiments are therefore difficult to compare. This is especially true in German-speaking countries, where the lack of consensus over a definition of the term “discomfort” means it cannot be guaranteed that all test subjects evaluate the same perception. Next, a meta-analysis examines already published studies on comfort and discomfort in vehicles. This analysis comes to the conclusion that publications often do not include concrete numerical values and usually only present significant results. Effect sizes of various test parameters for the comfort or discomfort on vehicle seats are also determined and compared. The effect of test parameters on overall evaluations is generally larger than on individual body parts, while the test parameter of ‘sitting duration’ has the strongest effect on the overall discomfort rating. Lastly, the statistical evaluation of the discomfort study carried out by the author shows that the test subjects cannot evaluate discomfort absolutely, but only relatively within the test dates. This finding suggests that the current approach to the subjective evaluation of the comfort and discomfort on vehicle seats is not suitable for investigating what it should. Test subjects reported no difference between different seats and vehicle packages. This could be due to insufficient differences between tested seats, the lack of standards or variations in test subjects’ interpretation of the terms “comfort” and “discomfort”. Based on the results of this thesis’ literature review, its meta-analysis and its experiment analysis, the author recommends re-evaluating and redefining key concepts in subjective sitting assessment research. Valid models of the subjective perception of sitting must be developed and the concepts defined internationally.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	<i>Motivation und Ziel der Arbeit.....</i>	2
2	Methodischer Ansatz	4
3	Stand der Wissenschaft.....	6
3.1	<i>Allgemein.....</i>	6
3.1.1	Wissenschaftliche Modelle	6
3.1.2	Experimentelle Messmethoden	7
3.1.2.1	Subjektive Messmethoden.....	8
3.1.2.2	Objektive Messmethoden.....	9
3.2	<i>Komfort und Diskomfort.....</i>	9
3.2.1	Komfort- und Diskomfortmodelle	10
3.2.2	Bewertungsmethoden von Komfort und Diskomfort.....	17
3.2.3	Experimentelle Untersuchung von Komfort und Diskomfort.....	22
3.3	<i>Diskussion des aktuellen Stands der Wissenschaft.....</i>	25
4	Metaanalyse publizierter Ergebnisse	29
4.1	<i>Grundlagen und Vorgehen einer Metaanalyse</i>	30
4.2	<i>Daten</i>	31
4.3	<i>Auswertung.....</i>	35
4.4	<i>Ergebnis.....</i>	36
4.5	<i>Diskussion der Metaanalyse.....</i>	38
5	Experimentelle Diskomfortuntersuchung auf Fahrzeugsitzen	43
5.1	<i>Hypothesen.....</i>	43
5.2	<i>Versuchsbeschreibung.....</i>	45
5.2.1	Anforderungen an den Versuch	45

Inhaltsverzeichnis

5.2.2	Versuchsaufbau	48
5.2.3	Versuchsablauf	54
5.2.4	Versuchspersonen	55
5.3	<i>Daten</i>	56
5.4	<i>Auswertung und Ergebnisse</i>	56
5.4.1	Deskriptive Analyse der Daten	58
5.4.1.1	Ergebnis der deskriptiven Analyse	58
5.4.2	Mehrfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung	70
5.4.2.1	Ergebnisse der mehrfaktoriellen Varianzanalyse	71
5.4.3	Modellierung des Einflusses der Versuchsparameter	72
5.4.3.1	Ergebnisse der Regressionsanalysen	74
5.4.4	Subjektive Bewertung der Diskomfortbewertung	80
5.4.4.1	Ergebnisse der subjektiven Bewertung	81
5.5	<i>Diskussion</i>	83
5.5.1	Einschränkungen	87
6	Abschließende Diskussion	89
7	Zusammenfassung und Ausblick	96
	Literaturverzeichnis	99
	Anhang 1	110
	Anhang 2	112
	Anhang 3	115
	Anhang 4	134
	Anhang 5	135
	Anhang 6	140
	Abbildungsverzeichnis	145
	Tabellenverzeichnis	147

Abkürzungsverzeichnis

ANOVA	Analysis of Variances (Varianzanalyse)
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMI	Body-Mass-Index
F05	Weiblich, fünftes Perzentil Körperhöher
IQA	Interquartilabstand
LCV	Light Commercial Vehicle
Lkw	Lastkraftwagen
M50	Männlich, fünfzigstes Perzentil Körperhöhe
M95	Männlich, fünfundneunzigstes Perzentil Körperhöhe
MD	Median
MW	Mittelwert
Pkw	Personenkraftwagen
SD	Standardabweichung
SUV	Sport Utility Vehicle
UDASim	Umfassende Diskomfortbewertung für Autoinsassen durch Simulation
VP	Versuchsperson

1 Einleitung

Während des Essens, auf dem Arbeitsweg, in der Freizeit und häufig während der Arbeit, sitzen Menschen fortwährend. Dieser anhaltende Trend einer sitzenden Lebensweise ist unter anderem auf die Industrialisierung und die damit verbundenen Änderungen bei Beförderung, Kommunikation, Arbeitsplätzen sowie bei der Freizeitgestaltung zurückzuführen (Owen, Healy, Matthews & Dunstan, 2010).

Bis zu 9,6 Stunden am Tag sitzen Menschen in Berufen mit überwiegender Bürotätigkeit laut einer aktuellen Studie der Techniker Krankenkasse von 2013 (Techniker Krankenkasse, 2013). Dieses Dauersitzen ist einer der Hauptgründe für Rückenprobleme in den Industrienationen (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2011). Menschen wollen sitzen und das möglichst komfortabel, auch wenn die negativen Auswirkungen auf den Körper bekannt sind (Healy et al., 2008).

Insbesondere bei Personenkraftwagen (Pkw) ist es unumgänglich, dass die Fahrzeughersteller Komfortansprüche der Kunden bedienen (Kolic, 2008). Nach dem Einstieg ist der Sitz einer der ersten Eindrücke, die eine Person von einem Fahrzeug bekommt. Während der Fahrt ist der Sitz die Hauptkontaktfläche zwischen Mensch und Fahrzeug, weshalb dieser in Kombination mit dem Design des Innenraums, als sogenannter Fahrerarbeitsplatz, ausschlaggebend für die Kaufentscheidung ist (Bubb, Bengler, Grünen & Vollrath, 2015, S. 350).

Aufgrund des aktuellen Trends zum hochautomatisierten bzw. autonomen Fahren werden das Erlebnis, die Wahrnehmung und der damit verbundene Komfort des Sitzens im Fahrzeug in Zukunft noch weiter an Bedeutung gewinnen. Zum einen werden sich die Fahrenden mehr auf den Innenraum und die Interaktion damit konzentrieren, da sie weniger oder sogar überhaupt nicht mehr mit der Fahraufgabe beschäftigt sind. Zum anderen werden sich in diesen Szenarien die Sitzposition und die Körperhaltung während der Fahrt ändern, da mit der steigenden Automatisierung in der Fahrzeugentwicklung die Bandbreite und die Häufigkeit von fahrfremden Nebentätigkeiten größer werden (Kyriakidis, Happee & Winter, 2015). Neben den damit verbundenen zunehmenden Freiheiten bei der Fahrzeuginnenraumgestaltung, wird dies zu einer Erhöhung der Komplexität des Fahrzeugkomforts führen, da der Sitzkomfort in Fahrzeugen bisher

hauptsächlich in einer Körperhaltung betrachtet wurde, die durch die Fahraufgabe vorgegeben ist (Lorenz, 2011; Mergl, 2006).

Aber was genau ist komfortables Sitzen? Und wodurch wird dieses beeinflusst?

Solche und weitere Fragen werden von der Ergonomie schon lange gestellt und untersucht, um Sitze bewerten und optimieren zu können. Für die Erfassung von positiven und negativen Empfindungen sowie deren Korrelation zu objektiven Messgrößen haben sich die Konzepte von Komfort und Diskomfort in den wissenschaftlichen Betrachtungen durchgesetzt.

Der aktuelle Stand der Wissenschaft (siehe Kapitel 3, S. 6 ff.) zeigt ein weites Anwendungsfeld der Komfort- und Diskomfortuntersuchungen im Sitzen. Es finden sich in der veröffentlichten Literatur viele verschiedene Komfort- und Diskomfortmodelle sowie Erhebungsmethoden zur experimentellen Untersuchung des Komforts und/oder Diskomforts. Bei näherer Betrachtung stellen sich jedoch einige Fragen bezüglich der zugrundeliegenden Modelle und der verwendeten Messmethoden.

1.1 Motivation und Ziel der Arbeit

Die anhaltend hohe Zahl an wissenschaftlichen Veröffentlichungen weist darauf hin, dass nach wie vor Interesse an diesem Themenfeld und auch Forschungsbedarf besteht. Schon ein erster Blick auf die Veröffentlichungen zeigt, dass die Begriffe Komfort und Diskomfort ganz selbstverständlich verwendet werden, unabhängig davon, ob es das Wort in der Landessprache der publizierenden Institution gibt oder nicht. Eine Diskussion bezüglich des Begriffsverständnisses von Probanden ist nur sehr geringfügig ausgeprägt. Zhang, Helander und Drury (1996) gaben den Probanden die Begriffe „Komfort“ und „Diskomfort“ vor und sammelten damit verbundene Aussagen für ihre Clusteranalyse. Da es sich hierbei um eine Studie einer amerikanischen Universität handelt, ist eine Verwendung des im Amerikanischen üblichen Begriffs „discomfort“ verständlich. Jedoch setzte sich Krist (1994) nicht damit auseinander, dass das Wort „Diskomfort“, mit Ausnahme des Fachbereichs der Ergonomie, nicht in der deutschen Sprache vorkommt. Und für Hartung (2006) war das Hauptproblem, dass die Probanden ein Komfort- oder Diskomfortmodell anwenden könnten, das nicht mit seiner Vorstellung übereinstimmt. Es fehlt bisher die Sicherheit, dass der Begriff „Diskomfort“ von allen Versuchspersonen

Einleitung

innerhalb einer Studie sowie bei unterschiedlichen Untersuchungen in verschiedenen Nationen, gleich verstanden wird. Somit können veröffentlichte Ergebnisse nur bedingt miteinander verglichen werden.

Selbst wenn die Begriffe „Komfort“ und „Diskomfort“ international gleich verstanden werden würden, entsteht ein weiteres Problem durch die Verwendung unterschiedlicher subjektiver Bewertungsmethoden. Studien zu vergleichen, die zwar alle Komfort oder Diskomfort untersuchen, aber sehr unterschiedliche Skalen und Fragebögen anwenden, erscheint nicht zielführend. Es ist daher nur mit großen Einschränkungen möglich, Analysen unterschiedlicher (Dis)Komfortstudien durchzuführen und auszuwerten.

Bei weiterer Betrachtung der veröffentlichten Literatur zeigt sich, dass es keine standardisierten Methoden hinsichtlich Sitzdauer, Messwiederholungen und bewerteter Körperregionen gibt. Dies führt zu Unsicherheiten bei den Personen, die die Versuche planen und verwertbare Ergebnisse erzielen sollen. Nur durch angewendete Standards bei der Versuchsdurchführung kann die Vergleichbarkeit von Studien und eine damit verbundene Erweiterung der wissenschaftlichen Erkenntnisse sichergestellt werden.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, den aktuellen wissenschaftlichen Stand bei der Bewertung des Komforts und Diskomforts im Sitzen am Beispiel von Fahrzeugsitzen zu analysieren und kritisch zu hinterfragen, ausgehend von schon publizierten Komfort- und Diskomfortmodellen, über die Bewertungen des aktuellen experimentellen Vorgehens bis hin zu der konkreten Analyse der Einflussparameter auf die subjektive Bewertung durch die Versuchspersonen. Es werden dabei die Möglichkeiten und Limitationen von experimentellen Komfort- und Diskomfortstudien aufgezeigt sowie ein Vorschlag für das weitere Vorgehen im Bereich der (Dis)Komfortforschung gemacht. Dadurch sollen die Forschungsergebnisse dieses Bereichs einheitlicher erhoben und somit besser vergleichbar werden. Dies ist essentiell um diesen Forschungsbereich weiter auszubauen und so zuverlässigere Erkenntnisse zu generieren.

2 Methodischer Ansatz

Basierend auf der Motivation und dem Ziel der vorliegenden Arbeit, ergeben sich die folgenden Forschungsfragen, die im Rahmen dieser Dissertation beantwortet werden:

1. Ist die aktuelle Herangehensweise bei (Dis)Komfortuntersuchungen auf Fahrzeugsitzen zielführend?
 - 1.1. Sind die in der Literatur publizierten Studien vergleichbar?
 - 1.2. Können Versuchspersonen (Dis)Komfort bewerten?
2. Welche Faktoren beeinflussen die (Dis)Komfortbewertung?
 - 2.1. Welchen Effekt haben das Geschlecht und die Physiologie auf die Bewertung?
 - 2.2. Wie beeinflusst der Versuchsaufbau die (Dis)Komfortbewertung?
 - 2.3. Welchen Effekt hat die Sitzdauer auf den (Dis)Komfort?
3. Untersuchen (Dis)Komfortstudien das, was sie untersuchen sollen?
 - 3.1. Stimmt die (Dis)Komfortbewertung der Versuchspersonen mit den Annahmen bei der Versuchsplanung überein?

Um diese Fragen zu beantworten, wird zunächst der aktuelle Stand der Wissenschaft beschrieben (Kapitel 3). Anhand einer ausführlichen Betrachtung der aktuellen Literatur im Bereich Sitz(dis)komfort, wird die Vergleichbarkeit der durchgeführten und veröffentlichten Studien beleuchtet.

Für eine erste quantitative Bewertung relevanter Einflussfaktoren und deren Effektgröße auf die subjektive Bewertung des (Dis)Komforts wird anschließend eine Metaanalyse bereits veröffentlichter (Dis)Komfortuntersuchungen auf Fahrzeugsitzen durchgeführt (Kapitel 4, S. 29 ff.). Mit einer Metaanalyse werden die Ergebnisse verschiedener Studien, welche ähnliche oder bestenfalls identische Forschungsfragen untersuchen, kombiniert und interpretiert. Experimentell erhobene Ergebnisse sind immer beeinflusst durch den Versuch, in dessen Rahmen sie erhoben wurden. So wird in Probandenstudien immer nur eine begrenzte Anzahl an Personen betrachtet und nie die Gesamtpopulation. Neben verschiedenen Versuchspersonen können auch andere Versuchsparameter (z. B. Versuchsdauer) und verwendete Messmethoden einen Effekt auf die Studienergebnisse haben. Um sich daher der „wahren“ Effektgröße eines Einflussparameters zu nähern,

können verschiedene publizierte Ergebnisse einer ähnlichen wissenschaftlichen Fragestellung mittels einer Metaanalyse kombiniert werden (Field, 2003).

Die systematische Auswertung der, von der Autorin in einer großangelegten Diskomfortuntersuchung auf Fahrzeugsitzen, erhobenen Diskomfortdaten, ist der größte Anteil an der Analyse und Diskussion des aktuellen Stands der Technik bei der Bewertung von Komfort und Diskomfort auf Fahrzeugsitzen (Kapitel 5, S. 43 ff.). Der umfangreiche Datensatz, der durch die großangelegte Diskomfortstudie auf Automobilsitzen des BMBF-Projekts „UDASim - Umfassende Diskomfortbewertung für Autoinsassen durch Simulation“ (Ulherr & Bengler, 2014) generiert wurde, wird verwendet, um weitere Einflussgrößen auf Sitzdiskomfort zu untersuchen, insbesondere den Einfluss des Probandenkollektivs und die Unterscheidbarkeit von verschiedenen Versuchskonfigurationen. Dafür wurden Hypothesen formuliert, welche überprüft werden. Um einen tieferen Einblick in die Zusammenhänge zwischen verschiedenen Versuchsparametern und der Diskomfortbewertung von Versuchspersonen zu bekommen, wird mittels einer Regressionsanalyse ein Modell der Diskomfortbewertung mit den Eingangsparametern verwendete Sitze, verwendete Fahrzeugkonfiguration, Größe der Versuchsperson, Body-Mass-Index der Versuchsperson und Bewertungszeitpunkt aufgestellt. Eine Regressionsanalyse kann neben der Bestimmung signifikanter Einflüsse auch aufzeigen, wie groß der Einfluss einzelner Versuchsparameter ist. In diesem Fall wird die Regressionsanalyse verwendet, um zu klären, welcher Versuchsparameter welchen Anteil zur Varianz der Diskomfortbewertungen beiträgt (Varianzaufklärung der Versuchsparameter).

Die Ergebnisse der einzelnen Abschnitte werden jeweils in den Kapiteln einzeln diskutiert. Die Ergebnisse werden dann in einer abschließenden Diskussion (Kapitel 6, S. 89 ff.) in einen Zusammenhang gebracht, diskutiert und die Forschungsfragen final beantwortet. Im letzten Kapitel wird eine Zusammenfassung der erarbeiteten Erkenntnisse der vorliegenden Dissertation und Empfehlungen für das weitere wissenschaftliche Vorgehen im Bereich der subjektiven Bewertung des Sitzens gegeben (Kapitel 7, S. 96 ff.).

3 Stand der Wissenschaft

Dieses Kapitel zeigt den aktuellen Stand der Wissenschaft auf. Zunächst werden die Themen Modellierung und experimentelle Bewertungsmethoden allgemein erörtert. Dies wird anschließend durch eine detaillierte Betrachtung der aktuellen Komfort- und Diskomfortmodelle sowie des aktuellen Stands der Technik hinsichtlich der Bewertungsmethoden und der experimentellen Untersuchung von Komfort und Diskomfort im Sitzen abgerundet. Teile dieses Kapitels wurden in Ulherr und Bengler (2017) sowie Ulherr und Bengler (2018) veröffentlicht.

3.1 Allgemein

Bevor detailliert auf den aktuellen Stand der Wissenschaft hinsichtlich Komfort und Diskomfort eingegangen wird, werden einige Grundlagen zu wissenschaftlichen Modellen und experimentelle Messmethoden kurz beschrieben und erläutert.

3.1.1 Wissenschaftliche Modelle

The first step in tackling a scientific problem often is to come up with a suitable model (Frigg, 2010, S. 251).

Wissenschaftliche Modelle sollen komplexe reale Systeme oder Phänomene anhand hypothetischer, konstruierter Systeme erklären. Je nach Anforderung an das Modell werden dafür in manchen Fällen Aspekte vereinfacht oder weggelassen, um die Komplexität zu reduzieren. (Godfrey-Smith, 2006; Weisberg, 2003) So kann mittels einer Modelleisenbahn die Komplexität des Schienenverkehrs (z. B. Schienenbelegungen oder Fahrplanabläufe) im kleineren Maßstab nachgestellt und verständlicher gemacht werden.

Bei Modellen muss unterschieden werden zwischen solchen, die Sachverhalte qualitativ erklären können, und jenen, die für quantitative Vorhersagen bestimmt sind. Erklärende Modelle sind in der Regel einfachere Modelle, die wichtige Zusammenhänge verständlicher und deutlicher darstellen. Modelle zur Vorhersage sind deutlich komplexer, da mehr Einflussgrößen und Zusammenhänge in einem Modell dargestellt werden müssen. (Weisberg, 2003)

Bei der Modellerstellung muss daher zunächst geklärt werden, ob das Modell zur Erklärung oder zur Vorhersage von Phänomenen dienen soll. Das zu entwickelnde Modell muss dementsprechend so einfach wie möglich, aber auch hinreichend detailliert sein, sodass der geplante Zweck des Modells, Erklärung oder Vorhersage realer Zusammenhänge, so gut wie möglich erfüllt wird. Je besser die Erklärungen oder Vorhersagen eines Modells mit der Realität übereinstimmen, desto höher ist die Güte des entwickelten Modells.

Grundsätzlich kann bei der Entwicklung von Modellen induktiv oder deduktiv vorgegangen werden (Wegener, 1982). Die Deduktion bedeutet, dass erst eine allgemeine Theorie aufgestellt wird und diese anschließend durch empirische Messung belegt wird. Die Induktion wiederum beschreibt die Entwicklung eines allgemeinen Modells basierend auf erhobenen Daten.

Eine Möglichkeit zur Modellierung von Vorhersagen, basierend auf erhobenen Datensätzen mit mehreren unabhängigen Variablen, ist die multiple Regressionsanalyse. Zur Vorhersage von Ergebnisvariablen durch Eingangsvariablen (Prädiktoren) wird eine lineare Gleichung (vgl. Formel (1)) aufgestellt, bestehend aus der Ergebnisvariablen (Y_i), den Prädiktoren (X_i), den Regressionskoeffizienten (b_i) und einem Fehlerterm (ε_i). (Bühner & Ziegler, 2017, 677 ff.)

$$Y_i = (b_0 + b_1X_1 + \dots + b_iX_i) + \varepsilon_i \quad (1)$$

Bei der Regressionsanalyse beschreibt die multiple Korrelation R die Güte des Modells und der multiple Determinationskoeffizient (R^2) zeigt, wieviel Varianz in den Ergebnisdaten durch das Modell erklärt werden kann. Da mehrere Prädiktoren in das Modell eingehen, muss der Determinationskoeffizient korrigiert werden (*korr.* R^2), um einer Verzerrung durch die Stichprobeneigenheiten entgegen zu wirken. (Bühner & Ziegler, 2017, 699 ff.)

3.1.2 Experimentelle Messmethoden

Für den Erkenntnisgewinn in empirischen Wissenschaften, zu diesen zählt die Ergonomie, ist die Anwendung empirischer Methoden ausschlaggebend. Durch die systematische

Sammlung, Aufbereitung und Auswertung von Daten können Sachverhalte beschrieben, erklärt und vorhergesagt werden (Döring & Bortz, 2016). Die so erhobenen Daten können unter anderem zur Entwicklung und Evaluation von wissenschaftlichen Modellen verwendet werden. Dabei ist es wichtig zu beachten, dass nur die Daten erhoben werden, die zur Beantwortung der Fragestellung, also des Ziels der wissenschaftlichen Untersuchung, benötigt werden. Bei der Erhebung sind die etablierten wissenschaftlichen Methoden zu berücksichtigen und einzuhalten. Im Rahmen von wissenschaftlichen Experimenten werden die relevanten Daten gemessen und aufgezeichnet. Je nach Art der zu erhebenden Daten kommen dabei subjektive, für subjektive Bewertungen durch eine Versuchsperson, oder objektive Messmethoden, zum Messen von physikalischen Messgrößen, zum Einsatz. Messinstrumente müssen dabei die Gütekriterien von wissenschaftlichen Methoden (Objektivität, Reliabilität und Validität) erfüllen. Zudem müssen experimentelle Untersuchungen sachgerecht und sorgfältig durchgeführt werden, um eine hohe Datenqualität gewährleisten zu können (Döring & Bortz, 2016).

3.1.2.1 Subjektive Messmethoden

By their very nature, sensations are private, and accessible only to the person who has them (Mather, 2009, S. 18).

Insbesondere im Bereich der Ergonomie und der Arbeitswissenschaft sind subjektive Messmethoden essentiell, da die Mensch-Maschine-Interaktion, bzw. die Interaktion von Mensch und Produkt (z. B. Fahrzeugsitz), bewertet und verbessert werden soll. Versuchspersonen können unter anderem durch Skalen, Fragebögen sowie Interviews ihre Meinungen, Erfahrungen oder Wahrnehmungen bezüglich definierter Fragestellungen mitteilen. Diese subjektiven Daten fließen dann in die Bewertung und Entwicklung der Mensch-Maschine-Interaktion ein.

Subjektive Messmethoden zeichnen sich insbesondere durch die Intersubjektivität aus, was die Übereinstimmung von Bewertungen derselben Sache durch verschiedene Personen beschreibt. Dabei ist zu beachten: Je größer der Unterschied der Bewertungen ist, desto geringer ist die Reliabilität der Messmethode. Insbesondere für die Beurteilung von subjektiven Empfindungen, welche nicht objektiv „überprüft“ werden können, sind

zuverlässige Messmethoden notwendig. Die Verwendung von klar formulierten Beschreibungen, deren Bedeutung von allen Bewertenden geteilt wird, ist eine Grundvoraussetzung für zuverlässige und valide Messwerkzeuge zur Erhebung von subjektiven Wahrnehmungen. (Annett, 2002)

Die Bewertung der Mensch-Maschine-Interaktion kann dem Bereich der Psychophysik zugeordnet werden. Psychophysik erforscht den Zusammenhang zwischen der Intensität der Wahrnehmung eines Reizes und dessen physikalischer Intensität (Borg, 1990). Um solche Zusammenhänge zu bestimmen, sind Messmethoden mit Skalierung wichtig. Laut Borg (1990, S. 55) hilft eine Skalierung subjektiver Empfindungen zum einen die Welt grundsätzlich besser zu verstehen, aber auch um Störgrößen in der Umwelt besser registrieren zu können.

3.1.2.2 Objektive Messmethoden

Objektive Messmethoden werden verwendet, um physikalische Größen und Maße zu bestimmen. Darunter fallen unter anderem Waagen zur Bestimmung von Massen, Druckmessmatten zur Ermittlung von Druckverteilungen oder Thermometer. Objektive Messsysteme werden kalibriert, einmalig oder regelmäßig, und können so sicherstellen, dass die Messung immer korrekt ist, unabhängig von der Person, die die Messung gemäß einem definierten Vorgehen ausführt.

3.2 Komfort und Diskomfort

Die Konzepte und Modelle von Komfort/Diskomfort während des Sitzens stellen nach wie vor den Forschungsstandard dar. Eine Suche in der Literaturdatenbank Scopus (www.scopus.com, Stand 30.01.2019) nach „Discomfort AND Sitting“ ergibt 770 Dokumente (470 seit 2008) und nach „Comfort AND Sitting“ 915 Dokumente (541 seit 2008). Die Anzahl an wissenschaftlichen Veröffentlichungen hat in den letzten Jahrzehnten kontinuierlich zugenommen, zu sehen in Abbildung 3-1.

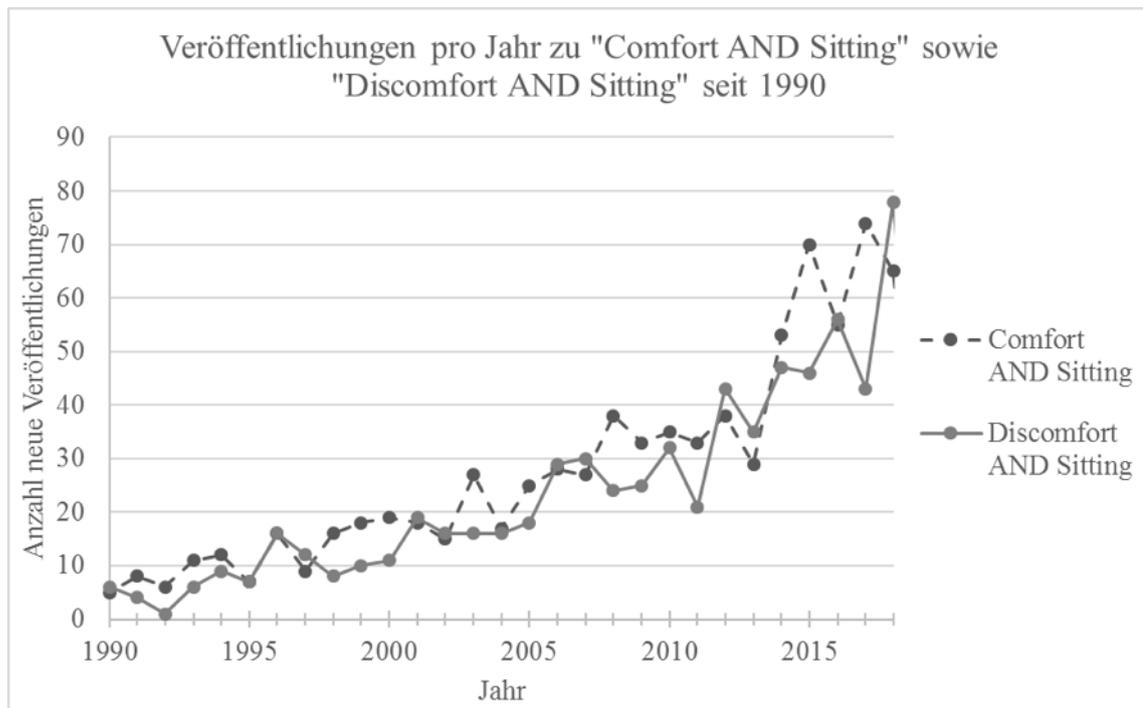


Abbildung 3-1: Zahl der wissenschaftlichen Veröffentlichungen pro Jahr ab 1990 auf Scopus (www.scopus.com, Stand 31.01.2019)

Neben medizinischen Betrachtungen von u. a. Druckgeschwüren ist bei den aktuellsten Veröffentlichungen die Thematik des Sitzkomforts in Automobil und Flugzeug zu finden.

Nach der Beschreibung von Modellen und experimentellen Messmethoden im Allgemeinen wird in den folgenden Abschnitten dieses Kapitels detaillierter auf Komfort und Diskomfort eingegangen. Zunächst werden die bisher veröffentlichten Komfort- und Diskomfortmodelle im Bereich des Sitzens beschrieben. Anschließend wird die subjektive (Dis)Komfortbewertung betrachtet und die aktuellen experimentellen Vorgehensweisen analysiert.

Die Analyse der veröffentlichten Literatur beschränkt sich auf Publikationen und Erkenntnisse aus dem Bereich der Ergonomie und dabei im Speziellen auf den Komfort und Diskomfort während des Sitzens.

3.2.1 Komfort- und Diskomfortmodelle

„Komfort“ und „komfortabel“ sind bekannte Begriffe im alltäglichen Sprachgebrauch. So findet sich eine eindeutige Definition für Komfort als „auf technisch ausgereiften

Einrichtungen beruhende Bequemlichkeiten, Annehmlichkeiten; einen bestimmten Luxus bietende Ausstattung“ (Duden, 2019). Der Begriff „Diskomfort“ findet sich im deutschen Sprachraum ausschließlich im wissenschaftlichen Kontext der Ergonomie und Arbeitswissenschaft. Im Englischen ist „discomfort“ ein durchaus im Alltag verwendeter Begriff, der leichte Schmerzen, Sorgen oder etwas, das Unbehagen auslöst, beschreibt (Oxford Dictionaries, 2019).

Hertzberg (1958) sowie Shackel, Chidsey und Shipley (1969) betrachteten Komfort und Diskomfort als Gegensätze und präsentierten die ersten Modelle diesbezüglich. Wachsler und Learner (1960) publizierten die erste Studie zur Untersuchung von Einflussparametern auf den Sitzkomfort. Schon damals betonten sie, dass die größte Schwierigkeit bei der Messung und Bewertung das Fehlen einer akkuraten Definition von „Komfort“ ist (Wachsler & Learner, 1960, S. 315).

Zhang et al. (1996) haben auf Basis einer Klassifikationsanalyse Beschreibungen der Empfindungen in Verbindung mit Komfort und Diskomfort während des Sitzens gesammelt und in zwei Hauptgruppen eingeordnet. Diese beiden Gruppen wurden mit den Begriffen Komfort und Diskomfort beschrieben. Basierend darauf wurde von ihnen ein hypothetisches Modell, zu sehen in Abbildung 3-2, entwickelt, welches besagt, dass Komfort und Diskomfort als zwei unabhängige Größen definiert sind, deren Achsen senkrecht zueinander stehen und gleichzeitig auftreten können. Komfort wurden die Empfindungen mit Aspekten des Gefallens (u. a. Entspannung und Wohlbefinden) und Diskomfort die Aspekte des Erleidens (u. a. Schmerzen, Taubheitsgefühle) zugeordnet.

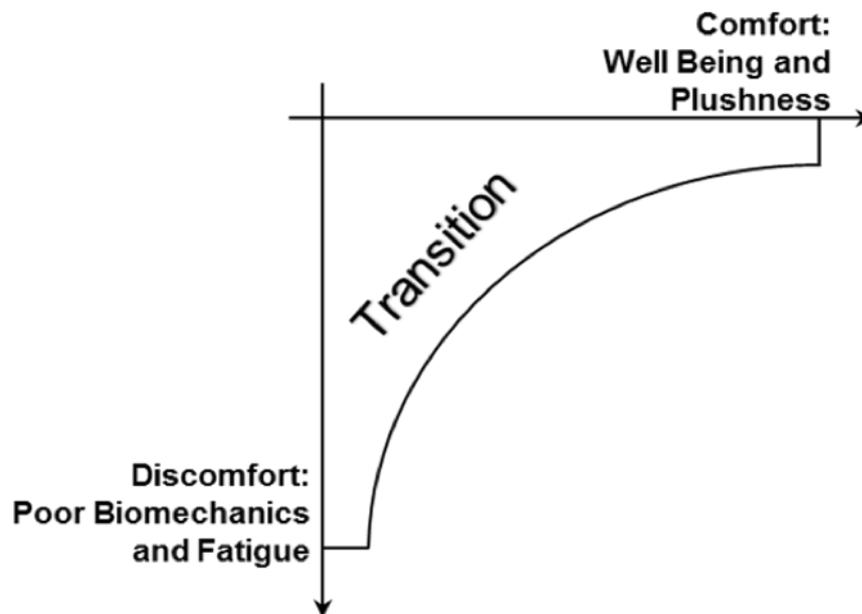


Abbildung 3-2: Komfort/Diskomfortmodell nach Zhang et al. (1996, S. 388), eigene Darstellung

Helander und Zhang (1997) bestätigten durch einen weiteren Versuch ihr entwickeltes Modell (Zhang et al., 1996) und unterstrichen zusätzlich die Abhängigkeit des Komforts von Design und Ästhetik, im Gegensatz zu Diskomfort. Sie betonen auch den dominanten Effekt des Diskomforts, der den Komfort in den Hintergrund rücken lässt, je stärker der Diskomfort wird. Knoll (2007) bestätigte in seiner Dissertation den Einfluss von Designkriterien auf Komfort. Auch wenn die Reduktion bzw. Elimination von Diskomfort keinen komfortablen Sitz bedingt, ist die Abwesenheit von Diskomfort eine wichtige Voraussetzung um Komfort zu erreichen (Marx, Amann & Verver, 2005). Die Wahl der Begriffe „Komfort“ und „Diskomfort“ von Zhang et al. (1996) lässt sich dadurch erklären, dass es sich um eine Studie handelt, die an der State University of New York in Buffalo (USA) durchgeführt und für die Entwicklung der Fragebögen ein englisches Wörterbuch herangezogen wurde (Zhang et al., 1996, S. 379). Neben dem entwickelten Komfort/Diskomfortmodell, ist anzumerken, dass Zhang et al. (1996) keine Erklärung oder Definition des Begriffs Diskomfort liefern und Diskomfort ganz selbstverständlich verwenden.

Mit Bezug auf Zhang et al. (1996) stellten Looze, Kuijt-Evers und Dieën (2003) ihr theoretisches Diskomfortmodell wie in Abbildung 3-3 vor. Die Einflussfaktoren auf Komfort und Diskomfort werden hierbei in die Bereiche Mensch, Sitz und Kontext

untergliedert. Das Modell unterstützt die Aussage von Zhang et al. (1996) sowie Helander und Zhang (1997), dass Komfort und Diskomfort unabhängig voneinander sind und Diskomfort dominanter ist als Komfort, verdeutlicht durch den Pfeil von Diskomfort zu Komfort. Laut Looze et al. (2003) muss Diskomfort stärker mit objektiven Messgrößen korrelieren, da deren Einflüsse auf den Diskomfort direkter sind als auf den Komfort. Bei Komfort spielen Faktoren wie Emotionen und Erwartungen eine Rolle. Der Diskomfort auf der anderen Seite entspricht physiologischen Reaktionen (Responses) auf Beanspruchungen, welche bei verschiedenen Menschen bei gleicher äußerer Belastung (External exposure) aufgrund von individuellen physischen Fähigkeiten (Internal dose) unterschiedlich sind. Dies entspricht grundsätzlich dem im Bereich der Ergonomie üblichen Belastungs-Beanspruchungskonzept (Bubb et al., 2015, S. 18).

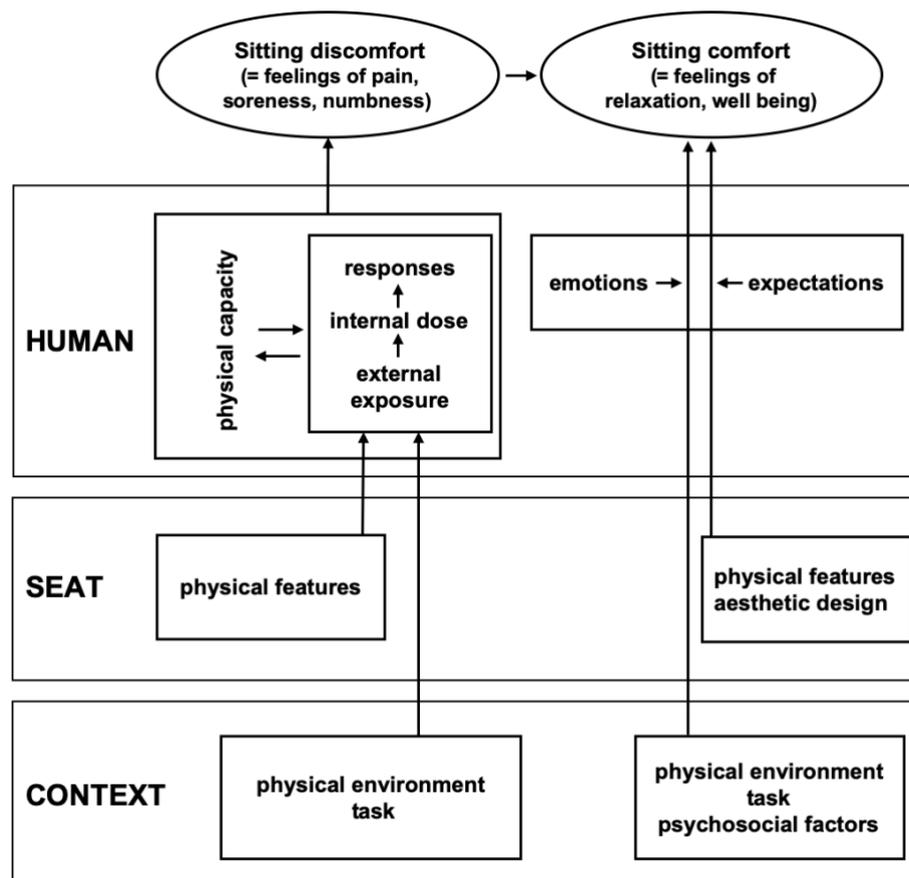


Abbildung 3-3: Theoretisches Komfort/Diskomfortmodell von Looze et al. (2003, S. 988), eigene Darstellung

Moes (2005) stellt ein eigenes Diskomfortmodell basierend auf wissenschaftlichen Veröffentlichungen vor, da seiner Meinung nach das Modell von Looze et al. (2003)

funktionale und kausale Korrelationen nicht einschließt, zu sehen in Abbildung 3-4. Das Modell von Moes (2005) beschreibt einen linearen Prozess, welcher dadurch gestartet und beeinflusst wird, dass eine bestimmte Person einen bestimmten Sitz (Seat) zu einem bestimmten Zweck (Purpose) in einer bestimmten Weise nutzt (Usage). Diese Interaktion (I) mit dem Sitz führt zu körperlichen Reaktionen (E), die, sofern sie wahrgenommen werden (P), zum Beispiel als Schmerzen interpretiert werden können. Anschließend erfolgt durch die Person eine Bewertung des Wahrgenommenen (A) und sollte diese Bewertung negativ ausfallen, führt es zu Diskomfort (D).

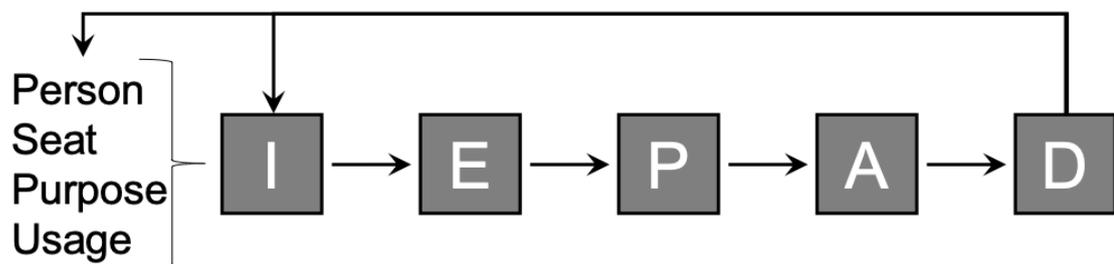


Abbildung 3-4: Ein Teil des Modells von Moes (2005), adaptiert von Vink und Hallbeck (2012, S. 274) (I: Interaction, E: Internal Body Effects, P: Perception, A: Appreciation, D: Discomfort), eigene Darstellung

Laut Moes (2005) existiert Diskomfort nur, wenn die Person Schmerz oder Leid wahrnimmt und dies positiv oder negativ beurteilt. Dabei spiegelt diese subjektive Bewertung der Wahrnehmung zum einen den Grund des Sitzens (z. B. Entspannung oder Arbeiten), die Haltungen, die wahrnehmbaren körperlichen Effekte und die Erwartungen wider. Abschließend erklärt Moes (2005), dass Grundlagenforschung im Bereich der Bewertung von wahrgenommenen Stimuli sowie zu Diskomfortskalen notwendig ist, bevor die Gesamtzusammenhänge verstanden und anwendbar werden.

Vink und Hallbeck (2012) kombinierten und ergänzten die vorherigen Modelle und entwickelten daraus ihr theoretisches Komfort/Diskomfortmodell, zu sehen in Abbildung 3-5.

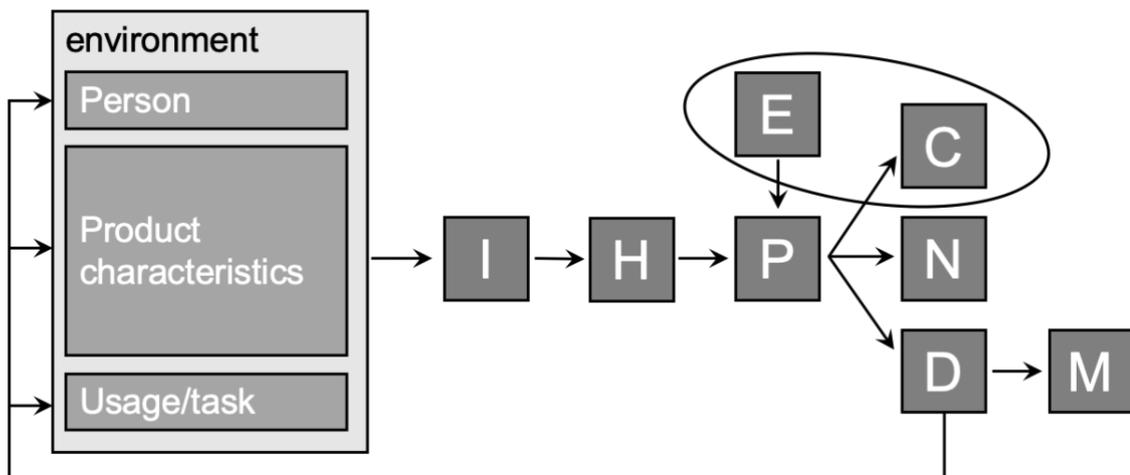


Abbildung 3-5: *Komfort/Diskomfortmodell von Vink und Hallbeck (2012, S. 275) (I: Interaction, H: Internal Human Body Effects, P: Perception, E: Expectations, C: Comfort, N: Nothing, D: Discomfort, M: Musculoskeletal Complaints), eigene Darstellung*

Das Modell beschreibt, dass die Interaktion mit der Umwelt (I), definiert als die Verbindung von Person, Aufgabe und Produkteigenschaft, zu Effekten im menschlichen Körper (H) führt. Diese Effekte beeinflussen zusammen mit persönlichen Erwartungen (E) die wahrgenommenen Eindrücke (P) und werden von der Person entweder als Komfort (C), als ‚Nichts‘ (N) oder als Diskomfort (D) interpretiert. Überwiegt der Diskomfort, wird der Mensch etwas an seiner Umwelt ändern wollen. Laut Vink und Hallbeck (2012) ist der Komfort mit den persönlichen Erwartungen der sitzenden Person verbunden. Dies unterstreicht die Aussage von Helander und Zhang (1997) sowie Knoll (2007), dass nur Diskomfort objektiviert werden kann und unabhängig von persönlichen Vorlieben und Vorstellungen ist. Diese Unabhängigkeit von ästhetischen Präferenzen sollte es ermöglichen, dass verschiedene Personen vergleichbare Diskomfortbewertungen geben und dass so eine Methode zur Vorhersage von Diskomfort entwickelt werden kann.

Das publizierte Komfortmodell von Naddeo, Cappetti, Vallone und Califano (2014) bezieht sich auf das Modell von Vink und Hallbeck (2012) und ergänzt dieses unter anderem mit der Beeinflussung der (Dis)Komfortwahrnehmung durch verwendete Messinstrumente und Apparaturen, wie Versuchsaufbauten (repräsentiert durch HMD [Head Mounted Display]), Sensoren oder Fragebögen, zu sehen in Abbildung 3-6.

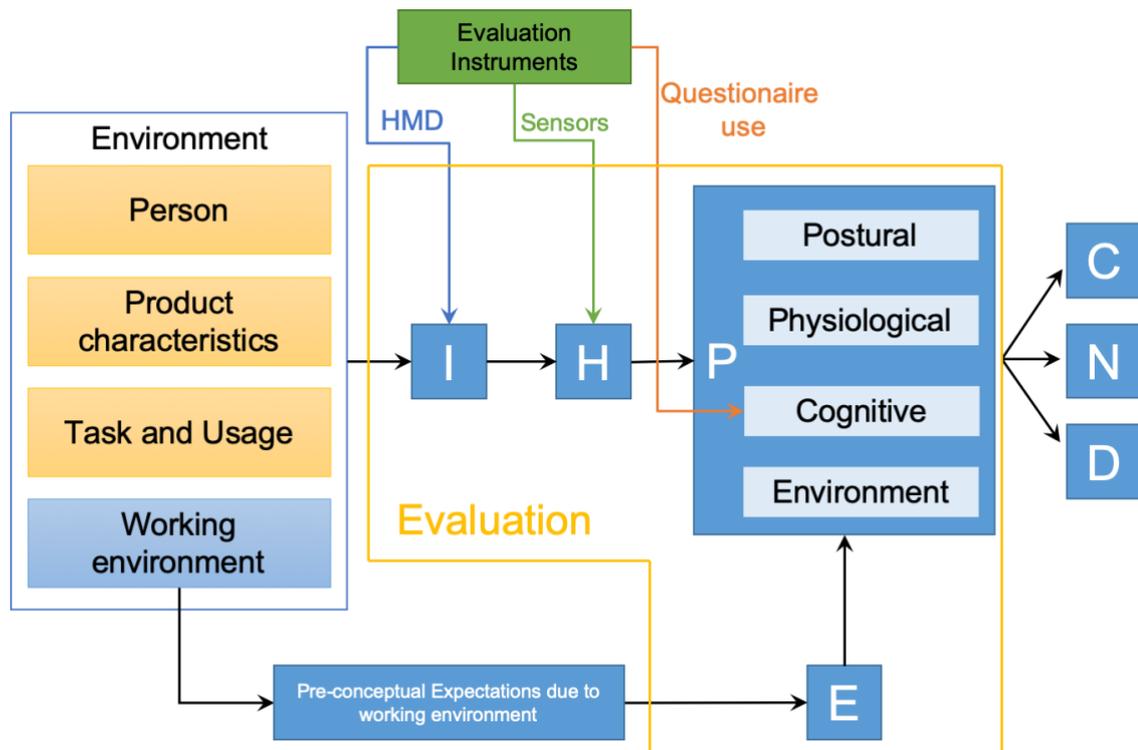


Abbildung 3-6: Von Naddeo et al. (2014) vorgeschlagenes Komfortwahrnehmungsmodell, eigene Darstellung

Zudem stellen Naddeo et al. (2014) eine generelle Struktur zur Bewertung von subjektivem Komfort in der Mensch-Maschine-Interaktion in Form einer Bewertungsmatrix vor. Der subjektive Komfort setzt sich darin aus den Aspekten physiologischer Komfort, emotionaler/kognitiver Komfort, Organisations- bzw. Umweltkomfort und Haltungskomfort zusammen. Diese Aspekte des Komforts werden in fünf Kategorien bewertet, die den subjektiven Komfort deutlich beeinflussen: Mensch (persönliche Eigenschaften), Arbeit (Aufgaben- und Arbeitseigenschaften), Arbeitsumfeld, Befriedigungsniveau und Messinstrumente/-werkzeug. Jede dieser Kategorien ist wiederum in Unterkategorien mit weiteren Unterfaktoren unterteilt, welche dann als Primärelement oder Steuergröße in die Komfortbestimmung eingehen (Naddeo et al., 2014). Die Struktur wurde von Naddeo et al. (2014) auf das Beispiel des Sitzkomforts angewendet und so fehlende Kenntnisse bzw. offene Fragen im Bereich der Sitzkomfortbewertung aufgezeigt. Dies sind laut Naddeo et al. (2014) unter anderem Untersuchungen hinsichtlich des Einflusses von Aufmerksamkeit, Sicherheitsempfinden, Kraftaufwand oder Blutdruck auf den subjektiven Komfort.

Das neuste, publizierte Komfort- und Diskomfortmodell von Hiemstra-van Mastrigt, Groenesteijn, Vink und Kuijt-Evers (2016), zu sehen in Abbildung 3-7, stellt die in der Literatur zu findenden Korrelationen zwischen objektiven Parameter und deren Einfluss auf den Komfort bzw. Diskomfort von Passagieren dar. Es nutzt das Modell von Looze et al. (2003) (siehe Abbildung 3-3, S. 13) als Grundlage.

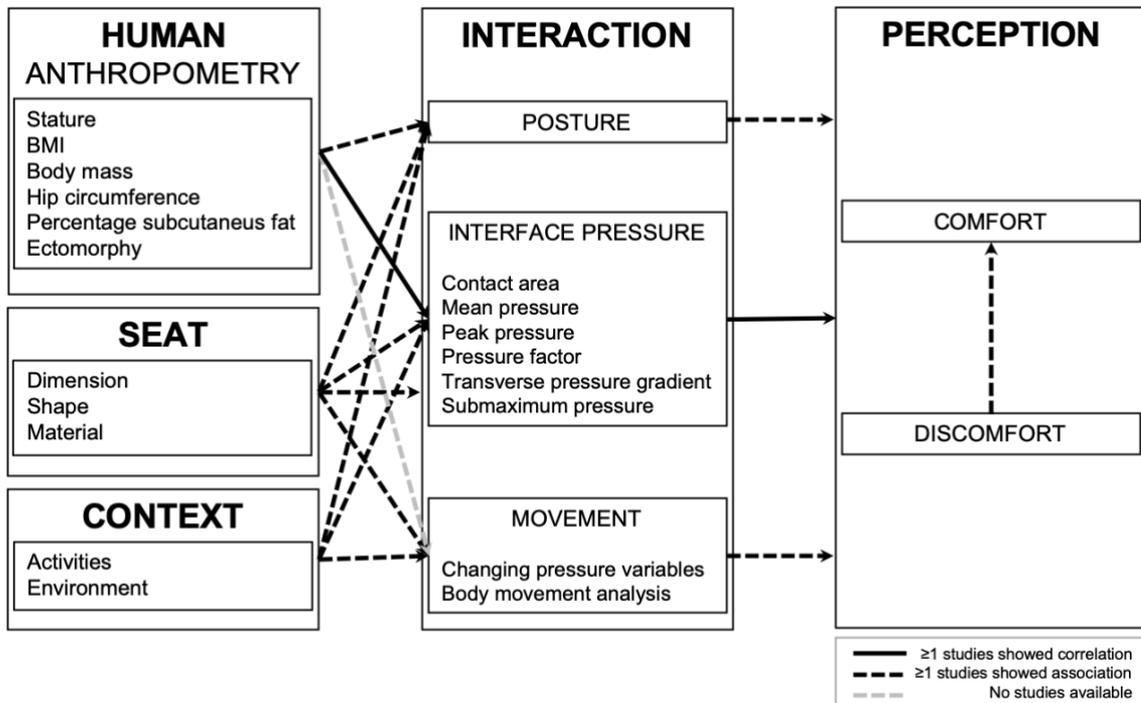


Abbildung 3-7: Komfort- und Diskomfortmodell von Hiemstra-van Mastrigt et al. (2016, S. 19), eigene Darstellung

Hiemstra-van Mastrigt et al. (2016) zeigen auf, dass in der Literatur nur nachgewiesene Zusammenhänge zwischen der Anthropometrie und den Sitzdruckparametern sowie zwischen den Sitzdruckparametern und dem Komfort bzw. Diskomfort zu finden sind. Dabei betonen sie, dass die Ergebnisse unterschiedlicher Studien schwer vergleichbar sind, aufgrund der variierenden Versuchsdesigns. Daher ist die tatsächliche Stärke der signifikanten Zusammenhänge laut Hiemstra-van Mastrigt et al. (2016) unklar.

3.2.2 Bewertungsmethoden von Komfort und Diskomfort

Grundsätzlich muss bei der Bewertung von Diskomfort zwischen subjektiven und objektiven Methoden unterschieden werden. Subjektive Bewertungsmethoden zeichnen sich dadurch aus, dass Versuchspersonen den empfundenen Diskomfort mittels

Fragebögen, Skalen oder Interviews kommunizieren. Objektive Messmethoden wiederum nutzen physikalische Messgrößen für die Diskomfortbewertung. Für die Entwicklung und Validierung solcher objektiven Bewertungsmethoden werden mittels Probandenversuchen Korrelationen zwischen subjektiven Diskomfortwerten und physikalischen (objektiven) Messwerten bestimmt.

Shen und Parsons (1997) haben unterschiedliche Bewertungsskalen für Diskomfort, ausgelöst durch Druckaufbringung im Sitzen, hinsichtlich Reliabilität und Validität überprüft und zusätzlich von den Versuchspersonen bewerten lassen. Insgesamt wurden sechs Diskomfortskalen untersucht. Dazu haben 12 Probanden bei wiederholten Messungen in zwei Sitzungen mit einer Woche zeitlichem Versatz vier Druckstimuli auf den mittleren Oberschenkel im Sitzen bewertet. Die Ergebnisse der Bewertungen der einzelnen Skalen sind in Tabelle 3-1 zu sehen.

Stand der Wissenschaft

Tabelle 3-1: Diskomfortskalen mit Bewertungen von Shen und Parsons (1997)

Skala	Bewertung durch Shen und Parsons (1997)
8 Punkte Diskomfort Skala	Ausreichende Reliabilität Große Variation Schlechte Validität Konsistenz schlecht Sensitivität schlecht Von Probanden am schlechtesten bewertet
21-Punkte Verhältnisskala	Ausreichende Reliabilität Schlecht bzgl. Intensität Gut bzgl. Diskomfort Ausreichende Validität Intersubjekt Unterschied groß Schlecht bewertet von Probanden
CR-10 Skala von Borg	Ausreichende Reliabilität Korrelation ausreichend Variation groß Ausreichende Validität Intersubjekt Unterschied groß Bereichsverschiebung groß Schlecht bewertet von Probanden
Corlett Diskomfort Skala (BPD) Modifizierte Intensitäts- und Diskomfort-Skala (modifizierte BPD)	Ausreichende Reliabilität: Schlechte Korrelation Variation eher gering Eher geringe Unterschiede zw. den Tests BPD: gute Validität Modifizierte BPD: schlechte Validität Von den Probanden bevorzugt Leicht und einfach anzuwenden
Kategorienunterteilungsskala (CP50) (category partitioning scale)	Reliabilität sehr gut Korrelation am höchsten Variation gering Geringe Unterschiede zw. Tests Validität ist exzellent Absolutheit der Bewertung Linearität und Konsistenz gut Von den Probanden bevorzugt Genau Leicht anzuwenden

Die CP50-Skala hat dabei in allen Punkten (Reliabilität, Validität und Probandenbewertung) am besten abgeschnitten.

Die CP50-Skala wurde von Heller (1982) für die Bewertung von Geräuscheigenschaften entwickelt. Das Verfahren nennt Heller (1982) bewusst Kategorienunterteilung und nicht Kategorien-Rating, da es ihm dabei genau nicht darum geht, den subjektiven Eindruck abzufragen, sondern die Versuchsperson soll die Dimension (z. B. Lautstärke) metrisch behandeln und so als objektives Messwerkzeug fungieren. Die Bewertung verschieden lauter Töne mit der Kategorienunterteilungsskala (Heller, 1985, S. 479) [auf Englisch „category partitioning scale“] nutzt Heller (1985) für die Hörfeldaudiometrie, genauer für die „Analyse des individuellen Hörfeldes und zur Diagnose einer Hörbehinderung“ (Heller, 1985, S. 478).

Göbel, Heller, Nowak und Westphal (1988) entwickelten das Verfahren der Kategorienunterteilung weiter und verwendeten die Kategorienunterteilungsskala [CP scale (Ellermeier, Westphal & Heidenfelder, 1991, S. 162)] für die Bewertung von Schmerzen, ausgelöst durch Druckstimuli auf Finger. Ellermeier et al. (1991) belegten, dass die CP50-Skala in diesem Fall als „absolute“ Skala angesehen werden kann und nicht transformiert werden muss. Dabei merkten Ellermeier et al. (1991, S. 160) jedoch an, dass die Skala nur dann zur absoluten Bewertung verwendet werden kann, wenn der Reiz einem „alltäglichen“ Konzept (z. B. Schmerz, Lautstärke von Geräuschen) entspricht. Ein solches Konzept liegt vor, wenn der Mensch den Reiz grundsätzlich kennt und dafür ein internes Bezugssystem vorliegt, welches sich in der Kategorienbeschreibung widerspiegelt. Fehlt eine hinreichende Verbindung zu einem internen Bezugssystem, so bewerten Versuchspersonen relativ im Kontext der Versuchsdurchführung (Ellermeier et al., 1991, S. 160). Für ihre Veröffentlichung haben Ellermeier et al. (1991) die Skala auf Englisch übersetzt, aus *Schmerz* wurde *Pain*. Diese englische Version wiederum wurde von Shen und Parsons (1997) für die Validitäts- und Reliabilitätsuntersuchung von Skalen für die subjektive Bewertung des Schmerzes (engl. *Pain* oder *Discomfort*) durch Druckaufbringung im Sitzen verwendet, worin sie wiederum am besten abschnitt. Bei dieser Veröffentlichung ist zu beachten, dass die Autoren (Shen & Parsons) von einer englischen Universität sind und dort der Begriff „Discomfort“ im normalen Sprachgebrauch verwendet wird (vgl. Kapitel 3.2.1, S. 10).

Aufgrund der besten Bewertung bei Shen und Parsons (1997) wurde die CP50-Skala in Verbindung mit einer Body Map (Hartung, 2006) (auf Basis von Corlett & Bishop, 1976) für mehrere Arbeiten am Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München genutzt (Hartung, 2006; Lorenz, 2011; Mergl, 2006; Zenk, 2009). Dabei wurde im Deutschen der Begriff „discomfort“ eins zu eins in „Diskomfort“ übersetzt und die Skala zu einer Diskomfortskala. Um zu verhindern, dass es zu einem sogenannten Ceiling-Effekt kommt, der das „Zusammendrängen“ der Bewertungen in der obersten Kategorie beschreibt (Bortz & Döring, 2006, S. 182), ist die Skala nach oben offen. So sind gegebenenfalls immer höhere Extremwerte möglich, auch wenn schon ein vorheriger Zustand mit 50 bewertet wurde.

In der Literatur finden sich neben dieser Skala zur Bewertung von Komfort oder Diskomfort unter anderem semantische Differentialskalen mit jeweils fünf Punkten (Naddeo, Cappetti, Califano & Vallone, 2015), eine 6-Punkte Skala (Smith, Mansfield, Gyi, Pagett & Bateman, 2015), 7-Punkte Skalen (Na, Lim, Choi & Chung, 2005), eine 9-Punkte Skala (Shen & Galer, 1993), die „Visual Analog Scale“ (Grondin, Triano, Tran & Soave, 2013) auch in Kombination mit einer modifizierten CR-10 Skala (Kyung, Nussbaum & Babski-Reeves, 2008) und die „Local Perceived Discomfort“-Skala mit einer 10-Punkte Skala für Komfort (Hiemstra-van Mastrigt, Kamp, Veen, Vink & Bosch, 2015). Auch Fragebögen mit einer Kombination aus Skalen und offenen Fragen werden verwendet (Krist, 1994).

Die oben erwähnten Veröffentlichungen hatten alle das Ziel, Zusammenhänge zwischen den erhobenen subjektiven Komfort- oder Diskomfortwerten und physikalischen Messwerten zu finden. Solche Ansätze haben das Ziel objektive, rein auf physikalischen Messungen beruhende, Bewertungsmethoden für Sitz(dis)komfort zu entwickeln. Objektive Messmethoden würden die Bestimmung des Komforts und Diskomforts während des Sitzens vereinfachen, da keine subjektiven Daten mehr in zeit- und ressourcenaufwändigen Versuchen erhoben werden müssten, die immer eine gewisse Ungenauigkeit aufweisen und abhängig sind von der jeweiligen Tagesform der Versuchspersonen.

Looze et al. (2003) analysierten 21 verschiedene Studien aus Publikationen, welche sich mit dem Zusammenhang von Komfort und Diskomfort mit objektiven Messgrößen

beschäftigten. Die objektiven Daten dieser Studien waren Haltung und Bewegung, Elektromyographie (EMG) für Muskelaktivität, Druckverteilung, Belastung der Wirbelsäule oder Schwellung der Füße. Looze et al. (2003) folgerten aus ihrer Analyse, dass ausschließlich die Sitzdruckverteilung signifikant mit Diskomfort und Komfort korreliert.

In der Literatur finden sich viele verschiedene Ansätze zur Objektivierung des Sitz(dis)komforts. So haben Mergl (2006) und Hartung (2006) einen Zusammenhang zwischen Diskomfort und Sitzdruckverteilung untersucht und teilweise bestätigt. Na et al. (2005) konnten signifikante Effekte der Sitzdauer und Interaktionseffekte von Statur und Lordosenstütze auf den Diskomfort bestimmen. Hiemstra-van Mastrigt et al. (2015) untersuchten den Einfluss von Aktivität während des Sitzens auf den Diskomfort und fanden Effekte der Zeit aber nicht der Aktivität. Grondin et al. (2013) untersuchten einen Einfluss der Haltung des unteren Rückens auf die Komfortbewertung, wobei sie keinen Zusammenhang finden konnten. Einen Zusammenhang zwischen Körperhaltung und Diskomfort konnte Krist (1994) nachweisen. Kee und Lee (2012) untersuchten anhand einer Literaturrecherche den Zusammenhang zwischen Diskomfort und Haltungsverlastungen (u. a. Verweildauer und Gelenkmomente). Dabei bestimmten sie einen linearen Zusammenhang zwischen Diskomfort, Verweildauer und maximaler Haltekraft sowie eine Korrelation zwischen dem Diskomfort einzelner Körperbereiche und den entsprechenden Gelenkmomenten (Kee & Lee, 2012). Des Weiteren wird Muskelaktivität als relevanter Faktor für Diskomfort angesehen, da Muskelanspannung zu Ermüdung führt (Estermann, 1999), was laut Zhang et al. (1996) ein Parameter für Diskomfort ist.

3.2.3 Experimentelle Untersuchung von Komfort und Diskomfort

Neben den unterschiedlichen subjektiven und objektiven Bewertungsmethoden bei wissenschaftlichen Untersuchungen finden sich in den Veröffentlichungen weitere Unterschiede bezüglich der Versuchsplanung und -durchführung.

Diskomfort hängt von der Zeitspanne ab, in der in der zu bewertenden Situation gesessen wird, dies zeigt schon Estermann (1999) (siehe Abbildung 3-8). Bei der Beschreibung

dieses Effekts sollte der Begriff „Sitzdauer“ verwendet werden, da eine Zeitabhängigkeit zu ungenau ist. „Abhängig von der Zeit“ könnte auch der Einfluss der Uhrzeit oder der gesamten Versuchsdauer auf die subjektive Bewertung bedeuten. Im Folgenden wird der Begriff Sitzdauer verwendet für die Zeit, welche die Versuchsperson in der zu bewertenden Situation vor der getätigten Bewertung verbracht hat. Auch Reed, Saito, Kakishima, Lee und Schneider (1991) betonten, dass sich die Diskomfortbewertung am Anfang der zu bewertenden Konfiguration deutlich von der nach drei Stunden Sitzdauer unterscheidet. Dennoch variieren die in der Literatur zu findenden Sitzdauern für die experimentelle Bewertung des Komforts/Diskomforts zwischen zehn Sekunden (Ebe & Griffin, 2001) und zwei Stunden (Mergl, 2006), wobei vereinzelt wiederholte Messungen während des Sitzens durchgeführt werden (Estermann, 1999; Grondin et al., 2013; Reed et al., 1991).

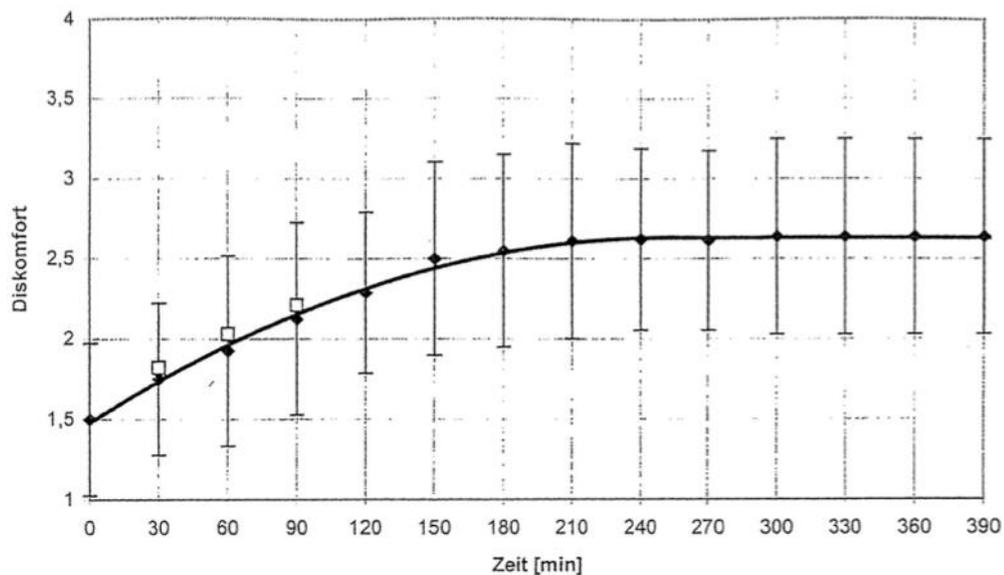


Abbildung 3-8: Entwicklung des Diskomforts des Rückens über die Sitzdauer (Estermann, 1999, S. 91)

Welche subjektiven Daten bei der Sitzbewertung erhoben wurden, ist ebenfalls uneinheitlich. Die Versuchspersonen bewerten in den Studien entweder den Komfort oder den Diskomfort, teilweise wird beides bewertet. Dabei wurde entweder der Gesamt(dis)komfort (Ebe & Griffin, 2001) und/oder spezifische Werte für einzelne Körperregionen abgefragt. Die Anzahl der zu bewertenden Körperregionen variiert wiederum zwischen sechs (Na et al., 2005) und 36 (El Falou et al., 2003).

Die durchgeführten Aktivitäten während des Sitzens, also die Nebenaufgaben zur eigentlichen Sitzbewertung, variieren stark in der Literatur. Wenn es sich bei der Untersuchung um die Bewertung von Fahrzeugsitzen handelt, dann finden sich als Nebenaufgaben Filme schauen (Daruis, Deros, Nor & Hosseini Fouladi, 2012), Filme von simuliertem Fahren schauen (Coelho & Dahlman, 2012), digitale Fahrspiele als Fahrsimulationen (Burke, Storer, Lansing & Flanders, 1996), Fahrsimulationen (Cardoso, McKinnon et al., 2018; Durkin, Harvey, Hughson & Callaghan, 2006), Realfahrten (Cardoso, Fulton et al., 2018; Lim, Chung, Jung & Na, 2000), Reaktionstests (El Falou et al., 2003) oder auch keine Angaben zur Nebenaufgabe während der Bewertung des Sitzkomforts (Kolic & Taboun, 2004).

Auch bei der Zusammensetzung des Versuchspersonenkollektivs und der Anzahl an Versuchspersonen gibt es in der Literatur keine einheitliche Herangehensweise. So haben Ahmed und Babski-Reeves (2009) ihre Untersuchung mit acht Versuchspersonen (vier männliche und vier weibliche Studierende, $21 \pm 1,07$ Jahre alt) durchgeführt und Kyung und Nussbaum (2009) rekrutierten insgesamt 38 Versuchspersonen, die zwischen 20 und 35 Jahre alt oder älter als 60 Jahre waren.

Bei der Zusammensetzung des Versuchspersonenkollektivs finden sich verschiedene Varianten in der Literatur. Es finden sich Kollektive, die sich nur aus männlichen Probanden zusammensetzen (Daruis et al., 2012; El Falou et al., 2003; Grabisch, Duchêne, Lino & Perny, 2002; Lim et al., 2000) oder aus weiblichen und männlichen Versuchspersonen (Ahmed & Babski-Reeves, 2009; Cardoso, McKinnon et al., 2018; Le, Rose, Knapik & Marras, 2014; Porter, Gyi & Tait, 2003; Smith, Mansfield & Gyi, 2015). Rein weibliche Stichproben sind in der Literatur nicht zu finden. Teilweise wird die Auswahl der Versuchspersonen weiter durch Vorgaben von Körpermaßen eingeschränkt, diese Vorgaben können geschlechtsspezifisch sein (Coelho & Dahlman, 2012; Gyi & Porter, 1999; Hartung, 2006) oder auch geschlechtsunabhängig (Hiemstra-van Mastriigt et al., 2015; Mergl, 2006).

Hinsichtlich des Geschlechts, der Anthropometrie und des Alters von Versuchspersonen finden sich unter anderem Aussagen, dass junge, schlanke, männliche Probanden mehr als andere Probanden in ihrer subjektiven Bewertung der Polstereigenschaften eines Fahrersitzes übereinstimmen (Hatta, Ueno & Nagashima, 1987 zitiert von Yamazaki,

1992). Auch Hartung (2006) setzte sich mit dem Einfluss des Geschlechts auseinander. An seiner Untersuchung nahmen insgesamt 48 Versuchspersonen teil (24 weiblich und 24 männlich), deren Körpergewicht und Körperhöhe zwischen dem 40. und 60. Perzentil liegen mussten (Hartung, 2006, S. 51). Seine Analyse der Diskomfortwerte (ANOVA mit Post-hoc-Test nach Scheffé) ergab einen signifikanten Unterschied zwischen der Bewertung von männlichen und weiblichen Probanden. Jedoch könnte die zwischen den männlichen und weiblichen Versuchspersonen sehr unterschiedliche, aber innerhalb der Geschlechtergruppen relativ einheitliche Anthropometrie ausschlaggebend für den signifikanten Unterschied der Diskomfortbewertung sein, da die Faktoren Körpergewicht und Körperhöhe einen sehr ähnlichen Effekt auf die Diskomfortbewertung zeigten wie das Geschlecht (Hartung, 2006, S. 60–61).

3.3 Diskussion des aktuellen Stands der Wissenschaft

Bei der Betrachtung der bisher veröffentlichten Komfort- und Diskomfortmodelle fällt auf, dass diese meist nur auf Literaturrecherchen basieren (Looze et al., 2003; Moes, 2005; Naddeo et al., 2014; Vink & Hallbeck, 2012). Zudem scheint es, trotz der langjährigen Anstrengungen von Zhang et al. im Jahr 1996 bis Naddeo et al. im Jahr 2014 ein umfassendes Komfort/Diskomfortmodell zu beschreiben, kein abschließendes und zufriedenstellendes Ergebnis zu geben.

Naddeo et al. (2014) kritisieren neben dem Fehlen von ganzheitlichen Betrachtungen der Komfortwahrnehmung, dass es keine Bestrebungen hinsichtlich der Normierung oder Standardisierung der Komfortbewertung von Produkten und Arbeitsplätzen gibt. Eine solche Normierung wäre in Anbetracht der großen Varianz bei der Gestaltung und dem Ablauf von Studien zu Komfort und Diskomfort während des Sitzens notwendig. Weder bei der Sitzdauer, den Aktivitäten während des Sitzens, den abgefragten Werten noch bei den dafür verwendeten Skalen gibt es Standards. Und es werden teilweise Skalen verwendet, die für andere Einsätze entwickelt wurden, als Komfort oder Diskomfort zu bewerten.

Category ratings are the way value judgments are expressed in everyday life (Parducci, 1982, S. 89).

Diese Aussage von Parducci (1982) wird von den Entwicklern der CP50-Skala deutlich unterstrichen. Begriffe zur Beschreibung der Kategorien müssen sich in der Alltagssprache wiederfinden, damit die Versuchsperson weiß, was sie unter der Kategorie zu verstehen hat (Ellermeier et al., 1991). Solche eindeutigen Skalenattribute können, wie es Zhang et al. (1996) gemacht haben, durch eine direkte Befragung von Versuchspersonen nach Wahrnehmungsbeschreibungen erhoben werden. Diesem Ansatz liegt die Annahme zugrunde, dass es eine enge Verbindung zwischen dem präsentierten Reiz und der verbalen Beschreibung der Versuchsperson gibt (Bech & Zacharov, 2006). Des Weiteren ist das Verfahren der Kategorienunterteilung laut Heller (1982, S. 7) nicht für reflektierende, also interpretierende Bewertungen nutzbar, sondern soll zur objektiven Bewertung der Welt verwendet werden. Heller (1985) nutzte die Skala für die Bewertung Lautheit eines Geräusches und Göbel et al. (1988) bzw. Ellermeier et al. (1991) zur Schmerzbewertung. Versuchspersonen sind Beschreibungen wie „nichts gehört, sehr leise, leise, mittel, [...]“ (Heller, 1985, S. 479) oder „kein Schmerzreiz, sehr schwacher Schmerzreiz, schwacher Schmerzreiz, [...]“ (Göbel et al., 1988, S. 206) geläufig. Auch Borg (1990) beschreibt in seiner Arbeit, dass die Aussagekraft der Maßeinheiten eine Voraussetzung für eine subjektiven Bewertung ist, also die Einheit für die Versuchspersonen von Bedeutung sein muss. „Diskomfort“ jedoch ist deutschsprachigen Versuchspersonen wahrscheinlich nicht geläufig, da der Begriff im Alltag nicht verwendet wird und englischen Ursprungs ist. Es kann daher angenommen werden, dass Diskomfort und dessen Abstufungen potentiell von jeder Person anders interpretiert und somit anders bewertet werden.

Dass subjektive Bewertungen zwischen einzelnen Personen Unterschiede aufweisen, ist bekannt (Marks, 1982). Wichtig ist nur, dass dieser Unterschied der Bewertung, also die Intersubjektivität in einem akzeptablen Rahmen liegt (Annett, 2002, S. 968). Es fehlen in der Literatur Untersuchungen zu zu erwartenden und akzeptablen Varianzen zwischen den Versuchspersonen bei der subjektiven Bewertung von (Dis)Komfort während des Sitzens.

Bei der Bewertung von Komfort und Diskomfort während des Sitzens gibt es viele Ansätze, die in der wissenschaftlichen Community verfolgt werden (vgl. Kapitel 3.2, S. 9). Gemein haben die publizierten Vorgehensweisen, dass sie immer die Begriffe „Komfort“ und/oder „Diskomfort“ verwenden. Neben der Uneinigkeit bei der Verwendung von Komfort oder Diskomfort sowie der fehlenden umfassenden Modellbildung von Komfort und Diskomfort, ist auch der Diskurs hinsichtlich des Begriffsverständnisses von Probanden nur sehr gering ausgeprägt. Die meisten Veröffentlichungen sind in Englisch und verwenden die Begriffe Komfort oder Diskomfort ganz selbstverständlich. Zhang et al. (1996) nutzten bei ihrer Clusteranalyse die Begriffe „Comfort“ und „Discomfort“. Da es sich um eine Untersuchung an einer amerikanischen Universität handelt, ist die Verwendung dieser beiden Begriffe nachvollziehbar. Viele weitere Veröffentlichungen beziehen sich auf Zhang et al. (1996) und geben keine weiteren Erklärungen hinsichtlich der in der Versuchssprache verwendeten Begriffe oder der Erläuterungen für die Versuchspersonen. So schreiben die Autoren einer Studie aus Rumänien bei der Methodik, dass die Versuchspersonen aufgefordert wurden, einen schriftlichen Überblick über die Elemente zu geben, die für sie verantwortlich für Diskomfort in Pkws sind (Constantin, Nagi & Mazilescu, 2014, S. 1121). Und in einer Publikation einer italienischen Universität steht zur Methodik, dass den Versuchspersonen die Möglichkeit einer Komfortbewertung gegeben wurde (Naddeo, Cappetti & D'Oria, 2015, S. 28). Auch im Holländischen ist der Begriff „Discomfort“ nicht eindeutig und wird übersetzt in „ongemak“ oder „ongemakkelijkheid“ (Van Dale Uitgevers, 2019).

Die Begriffe Komfort und Diskomfort werden aber auch in deutschsprachigen Veröffentlichungen ganz selbstverständlich verwendet, obwohl es für Diskomfort keine adäquate Definition in der deutschen Sprache gibt. So setzt sich Krist (1994) nicht mit der Problematik auseinander, dass „Diskomfort“ in der deutschen Sprache außerhalb des Forschungsbereichs der Ergonomie nicht vorkommt. Hartung (2006) sah eine mögliche, große Schwierigkeit darin, dass die Probanden ein von seiner Vorstellung abweichendes Komfort/Diskomfortmodell anwenden könnten.

Dass der Begriff Diskomfort von allen Versuchspersonen innerhalb einer Studie sowie bei unterschiedlichen Untersuchungen in verschiedenen Nationen in gleicher Weise

unterschiedlich verstanden werden kann, ist ein weiterer Grund dafür, dass ein Vergleich veröffentlichter Ergebnisse nur bedingt möglich ist und immer eine eventuelle Sprachbarriere berücksichtigt werden sollte.

In anderen wissenschaftlichen Bereichen, wie der Psychoakustik, wird der Mangel an Vokabeln zur Beschreibung der Wahrnehmung thematisiert und erforscht. Um bei verschiedenen Menschen ein übereinstimmendes Verständnis für Töne und deren Eigenschaften zu generieren, wurde zum Beispiel ein Tonlexikon mit dazugehörigen Tonbeispielen entwickelt. (Carron, Rotureau, Dubois, Misdariis & Susini, 2017) Solche direkten Erhebungen von Attributen werden in der Forschungsgemeinschaft auch kritisch betrachtet und indirekte Methoden entwickelt, die ohne fest definierte Begrifflichkeiten funktionieren (Choisel & Wickelmaier, 2006). Hervorzuheben ist jedoch, dass es keine Methoden gibt, bei welchen den Versuchspersonen Begriffe vorgegeben werden, die sie nicht in ihrem normalen Sprachgebrauch nutzen.

Des Weiteren tendieren Menschen dazu unangenehme Situationen zu vermeiden oder zu verändern. Wissenschaftliche Untersuchungen haben unter anderem gezeigt, dass Versuchspersonen zu Strategiewechseln und riskanterem Verhalten neigen, wenn die von ihnen zu bearbeitende Aufgabe ermüdend ist (Shingledecker & Holding, 1974). Hoher Diskomfort kann daher von Menschen als Signal für eine nötige Veränderung der äußeren Umstände interpretiert werden, um den Diskomfort zu senken und die unangenehmen Empfindungen zu reduzieren. Versuchspersonen könnten bei Experimenten mit vermeintlich hohem Diskomfort unbewusst über physiologische Mechanismen, wie zum Beispiel der Veränderung der Sitzposition, ihren empfundenen Diskomfort modifizieren und so andere Bewertungen abgeben, als durch die Versuchsleitung angenommen wurde. Die Versuchsbedingungen könnten daher von Versuchspersonen unbewusst und unbeabsichtigt verändert werden, was sich durch die Aufzeichnung von physikalischen Messgrößen, wie beispielsweise der Druckverteilung, über den gesamten Versuch zeigt. (Dis)Komfortwerte werden jedoch nicht kontinuierlich aufgezeichnet, sondern immer nur zu bestimmten Zeitpunkten, teilweise auch nur einmal. Diese Momentaufnahmen mit denen der physikalischen Messung zur gleichen Zeit in Verbindung zu bringen, ist kritisch zu sehen. Die Effekte solcher Bedingungsänderungen zwischen Messzeitpunkten durch die Versuchsperson auf die Momentaufnahmen, sind bisher nicht bekannt.

4 Metaanalyse publizierter Ergebnisse

Teile dieses Kapitels wurden schon in der Publikation von Ulherr und Bengler (2019) veröffentlicht.

In der Literatur finden sich teilweise unterschiedliche Herangehensweisen für die Beantwortung gleicher bzw. mindestens sehr ähnlicher Forschungsfragen. So unterscheiden sich, wie in Kapitel 3.2 (S. 9 ff.) für Komfort und Diskomfort beschrieben, publizierte Untersuchungen unter anderem hinsichtlich der verwendeten Skalen (Kapitel 3.2.2), aber auch bezüglich Versuchsaufbau, -ablauf und Probandenzahlen (Kapitel 3.2.3).

Um diese verschiedenen publizierten Studien, die ähnliche Forschungsfragen untersuchen, zusammenzufassen und somit die höhere Anzahl an Analyseergebnissen für tiefer gehende Interpretationen nutzen zu können, wird eine Metaanalyse durchgeführt.

I use it to refer to the statistical analysis of a large collection of analysis results from individual studies for the purpose of integrating the findings (Glass, 1976, S. 3).

Mit diesem Satz führte Gene V. Glass 1976 als Erster den Begriff Metaanalyse ein.

Grundsätzlich sind experimentell erhobene Daten immer auch beeinflusst durch den Versuch, in dessen Rahmen sie erhoben wurden. So werden in Probandenstudien unter anderem immer nur eine begrenzte Anzahl an Personen und nie die Gesamtpopulation betrachtet. Neben den zu untersuchenden unabhängigen Variablen können auch die anderen Versuchsparameter, der Versuchskontext oder die verwendeten Messmethoden die abhängigen Variablen im Versuch beeinflussen. Um sich daher der „wahren“ Effektgröße des betrachteten Einflussparameters zu nähern, werden die verschiedenen publizierten Ergebnisse einer ähnlichen wissenschaftlichen Fragestellung mittels einer Metaanalyse kombiniert (Field, 2003). Eine Metaanalyse kann auch dafür genutzt werden, herauszuarbeiten, ob eine geplante Studie überhaupt durchgeführt werden muss, und wenn, wie sie durchgeführt werden sollte (Borenstein, Hedges, Higgins & Rothstein, 2009).

4.1 Grundlagen und Vorgehen einer Metaanalyse

Eine Suche bei Scopus (www.scopus.com; Stand 31.01.2019) nach Veröffentlichungen mit dem Begriff „Meta-Analysis“ im Titel ergibt 95.041 Treffer zwischen 1970 und 2018. Wobei in den letzten 20 Jahren ein exponentieller Anstieg zu verzeichnen ist, wie in Abbildung 4-1 zu sehen ist.

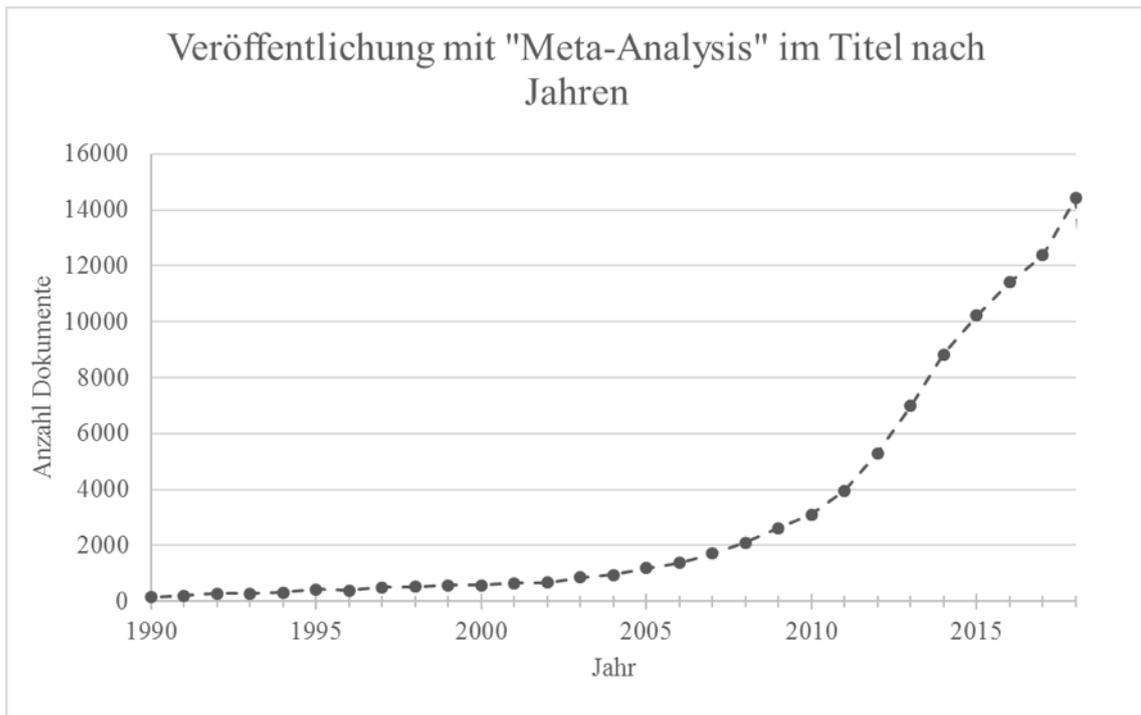


Abbildung 4-1: Verlauf der Anzahl an Veröffentlichungen bei Scopus mit dem Begriff "Meta-Analysis" im Titel zwischen 1990 und 2018 (www.scopus.com, Stand: 31.01.2019)

Experimente sind grundsätzlich dafür gedacht, anhand einer kleineren Anzahl an Personen Aussagen für die Grundgesamtheit einer bestimmten Personengruppe treffen zu können. Statistik hilft dabei zu bestimmen, ob Studienergebnisse signifikant für die getestete Personengruppe sind oder nur zufällig für diese Stichprobe zutreffen. In der Regel werden Versuchsparameter (unabhängige Variablen) variiert und die gemessenen Größen (abhängige Variablen) daraufhin durch die Berechnung eines p-Werts untersucht, ob sie sich signifikant unterscheiden. Dabei wird üblicherweise ein Wert von 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit, also die Wahrscheinlichkeit, dass ein Effekt gefunden wird, obwohl eigentlich keiner vorliegt (Typ I-Fehler), als Signifikanzgrenze angesehen ($\alpha < 0,05$). Die Berechnung des p-Werts bezieht die Stichprobengröße mit ein, und zwar so, dass bei großen Stichproben schon kleine Unterschiede signifikant sein können. Die

Wahrscheinlichkeit des Typ II-Fehlers [berechnet sich $\beta = 1 - \text{Power}$], also dass ein vorhandener Effekt unerkannt bleibt, sollte bei maximal 20 % liegen ($\beta < 0,2$) (Field, 2018, S. 82).

Es sollte zum Standard in der wissenschaftlichen Arbeit gehören, dass neben dem Signifikanzniveau α und der Stichprobengröße n , die Effektstärke und die Teststärke $1 - \beta$ (Power genannt) berechnet und dokumentiert werden. Diese vier Größen sind miteinander verbunden. Das heißt, dass bei großen Stichproben und/oder sehr hohen Teststärken schon sehr kleine, quasi bedeutungslose Effekte, signifikant sein können. Andererseits können eine kleine Stichprobengröße bzw. eine geringe Teststärke dazu führen, dass der Effekt statistisch nicht signifikant ist, obwohl er eigentlich sehr groß ist. (Döring & Bortz, 2016, S. 808)

Eine vollständige Interpretation von Studienergebnissen und deren Bedeutung kann daher nur in Zusammenhang mit Effektstärken durchgeführt werden. Das Ziel einer Metaanalyse ist die Abschätzung der „wahren“ Effektgröße der Gesamtpopulation durch die Kombination von Effektstärken verschiedener Studien, die die gleichen Hypothesen untersuchen (Field, 2018). Daher muss als Erstes eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt werden, um Veröffentlichungen mit ähnlichen, oder bestenfalls identischen Fragestellungen zu sammeln. Gefundene Literatur wird anschließend hinsichtlich Effektstärken gesichtet. Falls diese nicht direkt gegeben sind, aber Informationen, die eine Berechnung ermöglichen, wird die Effektstärke berechnet.

Die zusammengetragenen Effektstärken werden kombiniert (z. B. Mittelwertbildung) um ein besseres Verständnis über den wahren Effekt zu erhalten. Sollten genug Publikationen mit Effektstärken gefunden werden, können weitere Untersuchungsmethoden angewendet werden (random-effect oder fixed-effect Methoden). Diese zusätzlichen statistischen Untersuchungen benötigen jedoch mindestens 15 Studienergebnisse, um verlässliche Aussagen zu erzeugen. (Field, 2003)

4.2 Daten

Im Rahmen dieser Metaanalyse sollen Effekte von Versuchsparametern auf den Sitzkomfort bzw. Sitzdiskomfort betrachtet werden. Da ein Effekt des Sitzes und des

Metaanalyse publizierter Ergebnisse

Versuchsaufbaus angenommen werden muss, wurde die Auswahl der Studien auf diejenigen mit Fahrzeugsitzen als Untersuchungsgegenstand beschränkt. Experimente, die den Komfort von Bürostühlen, Rollstühlen, Flugzeugsitzen usw. untersuchen, wurden ausgeschlossen.

Eine ausgiebige Literaturrecherche ergab insgesamt 23 relevante Veröffentlichungen, die den Sitzkomfort oder Sitzdiskomfort von Straßenfahrzeugen untersuchen. Die Tabelle aller gefundenen, relevanten Veröffentlichungen findet sich in Anhang 1 (S. 110).

Zehn der analysierten Veröffentlichungen geben Zahlenwerte an, die zur Berechnung einer Effektstärke genutzt werden können, und wurden in die vorliegende Metaanalyse einbezogen, aufgelistet in Tabelle 4-1.

Tabelle 4-1: Die für die Metaanalyse verwendeten Veröffentlichungen

Nr.	Autoren.	Anmerkung
1	Kolich, 2003	Dasselbe Experiment wie Nr. 9
2	Kyung & Nussbaum, 2008	
3	Mergl, 2006	
4	Cardoso, McKinnon et al., 2018	Lkw-Sitze
5	Mansfield, Sammonds & Nguyen, 2015	
6	Smith, Mansfield & Gyi, 2015	Gleicher Versuch wie Nr. 7 mit mehr Versuchspersonen
7	Smith, Mansfield, Gyi et al., 2015	Gleicher Versuch wie Nr. 6
8	Lim et al., 2000	
9	Kolich & Taboun, 2004	Dasselbe Experiment wie Nr. 1
10	El Falou et al., 2003	

Die analysierten Publikationen in der durchgeführten Metaanalyse unterscheiden sich hinsichtlich der gewählten Versuchspersonen, dem Versuchsaufbau und der Versuchsdurchführung, wie in Tabelle 4-2 zu sehen ist. So nahmen an den Experimenten zwischen 10 und 27 Versuchspersonen teil, diese waren entweder ausschließlich männlich oder das Versuchspersonenkollektiv bestand aus Männern und Frauen. Auch die Nebenaufgabe und Sitzdauer während der Versuche variieren zwischen den Veröffentlichungen, wobei bei zwei Veröffentlichungen keine Angaben zu Nebenaufgabe und der Sitzdauer zu finden sind. Für die Versuche in den

Metaanalyse publizierter Ergebnisse

Veröffentlichungen wurden, bis auf Veröffentlichung Nr. 4, Pkw-Sitze verwendet. Diese wurden entweder im Originalzustand im entsprechenden Fahrzeug bewertet oder in Versuchsaufbauten in Laboren, in sogenannten Mock-ups, die den Geometrien realer Fahrzeuge entsprechen. Teilweise wurden Sitze modifiziert, um spezifische Sitzparameter, wie beispielsweise die Höhe der Lordosenstütze, ändern zu können.

Tabelle 4-2: Informationen über Versuchspersonen, -konfigurationen, Versuchsaufbau und Nebenaufgabe der für die Metaanalyse herangezogenen Veröffentlichungen

Nr.	Versuchspersonen	Versuchsplan (Konfiguration und Ablauf)	Versuchsaufbau	Nebenaufgabe	Sitzdauer
1	12 (6 Männer, 6 Frauen)	5 Konfigurationen: fünf gute bis schlechte Sitze (J.D. Power), gleiches Fahrzeugsegment, in Basisversion (Stoffbezug, manuelle Höhen- und Längsverstellung); keine systematische Variation; 1 Monat Abstand zwischen den Versuchen	Fahrzeugsitze im entsprechenden Fahrzeug;	Keine Angabe	Keine Angabe
2	27 (12 Männer, 15 Frauen)	6 Konfigurationen: Zwei Fahrzeuge je Fahrzeugklasse (SUV und Limousine, bewertet mit Komfort hoch und niedrig [J.D. Power]) 4 Fahrzeugsitze insgesamt; hoch bewertete Fahrzeuge im Labor und Realfahrt; niedrig bewertete Fahrzeuge nur im Labor	Realfahrten: Fahrzeugsitze im entsprechenden Fahrzeug; Labor: Sitze in Mock-up eingebaut (geometrische Maße der entsprechenden Fahrzeugklasse)	Realfahrt (Vorgegebener Kurs Anliegerstraßen) und Fahrsimulation	20 Minuten (5 Minuten Anpassung / 15 Minuten Fahrt)
3	10 (5 Männer, 5 Frauen) mit Oberschenkel- länge von ca. 500 mm	3 Konfigurationen: Modifikationen des Sitzes für minimale (Originalzustand), ideale (4 kPa Schaumteil an der vorderen Kante des Sitzes) und maximale (8 kPa Schaumteil an der Vorderkante des Sitzes) Unterstützung des vorderen Oberschenkels; 3 Personen starteten mit "ideal", drei	3er BMW mit Ledersitz (nicht explizit der Untersuchungsgegenstand); im entsprechenden Fahrzeug;	Realfahrt	180 Minuten

Metaanalyse publizierter Ergebnisse

Nr.	Versuchspersonen	Versuchsplan (Konfiguration und Ablauf)	Versuchsaufbau	Nebenaufgabe	Sitzdauer
		mit "minimal" und vier mit "maximal"			
4	20 (10 Männer, 10 Frauen)	2 Konfigurationen (2 Termine): Standard Lkw-Sitz; neuentwickelter Lkw-Sitz (Force 3)	Mock-up mit Fahrsimulation (Geometrische Maße eines Fernverkehr- Lkw)	Fahrsimulation	120 Minuten
5	1. Studie: 10 Männer (ein Ausfall) 2. Studie: 12 (6 Männer, 6 Frauen; ein Ausfall)	1. Studie: 2 Konfigurationen (2 Termine): Schaum A 30 Minuten ohne und dann 30 Minuten mit Vibration, Schaum A 30 Minuten mit und dann 30 Minuten ohne Vibration; 2. Studie: 3 Konfigurationen (3 Termine): Schaum A ohne Vibration, Schaum A mit Vibration, Schaum B mit Vibration:	Mock-up mit Fahrzeuggeometrie wie Serienfahrzeug (Mittelklasse), Mittelklasse Pkw Sitz auf Vibrationsplattform; Sitz ohne Bezug, um Schaum wechseln zu können	Fahrsimulation	1. Studie: 60 Minuten 2. Studie: 40 Minuten
6	20 (10 Männer, 10 Frauen)	2 Konfigurationen: Sitzhöhe 1 (Standard): 375 mm; Sitzhöhe 2 (Erhöht): 400 – 800 mm; Federkraft Gaspedal 20 N	Zwei Mock-ups (Geometrien eines "LCV" - small Light Commercial Vehicle);	Fahrsimulation	50 Minuten
7	12 (6 Männer, 6 Frauen)	Hauptstudie: 2 Konfigurationen: Sitzhöhe 1 (Standard): 375 mm; Sitzhöhe 2 (erhöht): 400 – 800 mm; Federkraft Gaspedal 20 N 2. Studie: Erhöhte Sitzposition, Federkraft des Gaspedals 40 N; Vergleich mit Hauptstudienresultat	Zwei Mock-ups (Geometrien eines "LCV" - small Light Commercial Vehicle);	Fahrsimulation	Hauptstudie: 60 Minuten 2. Studie: 50 Minuten
8	15 Männer	3 Konfigurationen: Identischer Sitz mit Lordosenstütze in drei verschiedenen Höhen	Sitz in Mittelklasse Pkw, modifiziert für Höheneinstellung der Lordosenstütze	Realfahrt	10 Minuten

Metaanalyse publizierter Ergebnisse

Nr.	Versuchs- personen	Versuchsplan (Konfiguration und Ablauf)	Versuchsaufbau	Nebenaufgabe	Sitzdauer
9	12 (6 Männer, 6 Frauen)	5 Konfigurationen: fünf gute bis schlechte Sitze (J.D. Power), gleiches Fahrzeugsegment, in Basisversion (Stoffbezug, manuelle Höhen- und Längsverstellung); keine systematische Variation; 1 Monat zwischen den Versuchen	Fahrzeugsitze im entsprechenden Fahrzeug;	Keine Angabe	30 Minuten insgesamt pro Sitz, keine genaue Angabe zur Sitzdauer
10	11 Männer	4 Konfigurationen: High-Class und Low Budget Sitz, je mit und ohne Vibration	Mock-up	2 Tasks: Reaktion auf auditiven Reiz; Folgeaufgabe mit Maus auf Bildschirm	150 Minuten

4.3 Auswertung

Die ausgewählten Veröffentlichungen (Tabelle 4-1, S. 32) umfassen numerische Werte, die für eine Metaanalyse verwendet werden können. Es wurden aus den Veröffentlichungen die Effektstärken anhand der gegebenen Werte berechnet bzw. umgerechnet. Für die Metaanalyse wurde als einheitliches Maß der Effektstärke Cohen's d (Field & Gillett, 2010) gewählt. Sind in einer Veröffentlichung Mittelwert (M_i), Standardabweichung (s_i) und Stichprobengröße (n_i) für zwei verschiedene Gruppen bzw. Versuchskonfigurationen (A und B) gegeben, so berechnet sich Cohen's d gemäß der Formel:

$$d = \frac{M_A - M_B}{\sqrt{\frac{(n_A - 1)s_A^2 + (n_B - 1)s_B^2}{n_A + n_B - 2}}}. \quad (2)$$

Um zwei Gruppen bzw. Versuchskonfigurationen (A und B) statistisch zu vergleichen, wird, neben den Mittelwerten und Standardabweichungen, in der Regel ein T-Test gerechnet. Cohen's d des T-Tests wird mit dem T-Wert und den Stichprobengrößen (n_i) berechnet gemäß der Formel:

$$d = t \times \sqrt{\frac{1}{n_A} + \frac{1}{n_B}}. \quad (3)$$

Manche der Veröffentlichungen nutzen eine Varianzanalyse (ANOVA) als statistischen Test. Eta Quadrat (η^2) ist die abgeschätzte Effektstärke einer ANOVA (Tabachnick & Fidell, 2009), die sich anhand folgender Formel berechnet:

$$\eta^2 = \frac{SS_{Effekt}}{SS_{Total}}, \quad SS_i = \text{Quadratsumme}. \quad (4)$$

Oder alternativ durch:

$$\eta^2 = \frac{[F(k-1)]}{[F(k-1) + (N-k)]}. \quad (5)$$

Um η^2 in Cohen's d umzurechnen, wird folgende Formel verwendet:

$$d = 2 \times \sqrt{\frac{\eta^2}{1 - \eta^2}}. \quad (6)$$

4.4 Ergebnis

Tabelle 4-3 zeigt die absoluten Werte der berechneten Effektstärken der zehn analysierten Veröffentlichungen (vgl. Tabelle 4-1, S. 32). Falls mehr als eine Effektstärke je unabhängiger Variable berechnet werden konnte, wurde die größte Effektstärke für die Tabelle ausgewählt und in Klammern die Konfiguration, bzw. die betrachteten Unterschiede, angegeben. Zusätzlich zu den numerischen Werten der Effektstärke wurde die Klassifikation des Effekts nach Ferguson (2009) hinzugefügt. Die Werte der Effektgrößenmaße sind bei Ferguson (2009) höher angesetzt als bei Cohen (1992), da dessen Normwerte mittlerweile kritisch gesehen und als zu niedrig erachtet werden (Döring & Bortz, 2016, S. 820).

Metaanalyse publizierter Ergebnisse

Tabelle 4-3: Berechnete Effektstärken (Cohen's d) der Veröffentlichungen mit entsprechender Klassifikation nach Ferguson (2009). In Klammern sind die Konfigurationen bzw. die betrachteten Unterschiede angegeben.

Nr.	Abhängige Variable	Unabhängige Variable	Effektstärke (Cohen's d)	Klassifikation
1	Komfort	Unterschiedliche Sitze	1,79	Mäßig
	Lendenwirbelsäule			
	Komfort Rücken		1,50	Mäßig
	seitlich			
1	Komfort	Unterschiedliche Sitze	1,48	Mäßig
	Oberschenkel			
	Komfort Sitzkissen		1,58	Mäßig
2	Gesamtbewertung	Fahrzeugklasse (Limousine, SUV)	0,24	Kein Effekt
	Komfort		0,22	Kein Effekt
	Diskomfort		0,27	Kein Effekt
3	Diskomfort (Gesamt)	Unterstützung des vorderen Oberschenkels	2,52 (min/ideal)	Mäßig
	Diskomfort unterer Rücken		1,61 (min/max)	Mäßig
4	Diskomfort rechter Gesäßmuskel	Zeit (Δ 120 Minuten)	0,65	Minimal
	Diskomfort rechtes oberes Bein	Unterschiedliche Sitze	0,51	Minimal
5	Diskomfort (Gesamt)	Zeit (Δ 60 Minuten)	2,48 (Studie 1)	Mäßig
		Vibration	0,81 (Studie 1)	Minimal
		Sitzschaum	0,33 (Studie 2)	Kein Effekt
6	Diskomfort linke Schulter	Zeit (Δ 50 Minuten)	0,74 (Erhöht)	Minimal
	Diskomfort rechte Schulter		0,86 (Standard)	Minimal
	Diskomfort oberer Rücken		0,81 (Standard)	Minimal
	Diskomfort mittlerer Rücken		0,99 (Standard)	Minimal
	Diskomfort unterer Rücken		0,80 (Standard)	Minimal
	Diskomfort Gesäß		1,15 (Standard)	Mäßig
	Diskomfort rechter Oberschenkel		0,60 (Standard)	Minimal

Metaanalyse publizierter Ergebnisse

Nr.	Abhängige Variable	Unabhängige Variable	Effektstärke (Cohen's d)	Klassifikation
	Diskomfort rechter Fußknöchel	Zeit (Δ 50 Minuten)	0,66 (Erhöht)	Minimal
	Diskomfort rechte Schulter	Sitzhöhe	0,55	Minimal
	Diskomfort unterer Rücken		0,50	Minimal
7	Diskomfort Nacken	Zeit (Δ 60 Minuten)	0,97 (Erhöht)	Minimal
	Diskomfort linke Schulter		0,74 (Standard)	Minimal
	Diskomfort rechte Schulter		0,71 (Erhöht)	Minimal
	Diskomfort oberer Rücken		1,00 (Standard)	Minimal
	Diskomfort mittlerer Rücken		0,75 (Standard)	Minimal
	Diskomfort Gesäß		0,68 (Standard)	Minimal
	Diskomfort rechter Fußknöchel		1,14 (Erhöht)	Minimal
	Diskomfort rechter Fußknöchel	Sitzhöhe	1,15	Mäßig
	Diskomfort rechter Fußknöchel	Federkraft des Gaspedals bei erhöhter Sitzposition	1,67	Mäßig
8	Komfort (Gesamt)	Unterstützung Lendenlordose	0,63	Minimal
		Körpergröße	0,15	Kein Effekt
9	Overall Comfort Index	Unterschiedliche Sitze	4,66	Stark
10	Diskomfort (Gesamt)	Zeit (Δ 150 Minuten)	6,24	Stark

4.5 Diskussion der Metaanalyse

Es ist bisher nicht wissenschaftlich geklärt, ob gleiche Versuchsparameter den gleichen Effekt auf das subjektive Empfinden während des Sitzens haben, wenn Personen in verschiedenen Sitzen (zum Beispiel Flugzeugsitz, Bürostuhl oder Fahrzeugsitz) sitzen. Um den Einfluss dieser Parameter auf das subjektive Empfinden so klein wie möglich zu halten, wurde daher entschieden ausschließlich Experimente in die Metaanalyse aufzunehmen, die den Komfort oder Diskomfort von Fahrzeugsitzen untersuchen.

Die Literaturrecherche der Metaanalyse und die Auswertung der gefundenen Publikationen zeigen, dass viele Sitzkomfort- und Sitzdiskomfortstudien durchgeführt und publiziert werden. Jedoch fehlen häufig konkrete Zahlenwerte oder wichtige Informationen, wie Effektgrößen bzw. Werte, um diese zu berechnen. Insgesamt konnten nur zehn Veröffentlichungen in die Metaanalyse einbezogen werden, weshalb diese nicht weiter statistisch untersucht werden können, um die gefundenen Effekte und Einflussgrößen noch besser zu verstehen. Laut Field (2003) werden für weiterführende Untersuchungen mindestens 15 vergleichbare Studienergebnisse benötigt, siehe Kapitel 4.1 (S. 30 ff.).

Die durchgeführte Betrachtung der Veröffentlichungen zeigt zudem den schon bekannten Effekt, dass in der Regel nur signifikante Ergebnisse publiziert werden. Auch numerische Werte, wie Mittelwert oder Standardabweichungen, werden, wenn überhaupt, nur für die signifikanten Ergebnisse in der Veröffentlichung beschrieben. Durch diesen Effekt, den sogenannten „Publication Bias“, werden Literaturanalysen potentiell verfälscht, da diese nur auf signifikante und erfolgreiche Studienergebnisse zurückgreifen können (Thornton, 2000). Bei der Interpretation der Erkenntnisse aus einer Metaanalyse muss daher berücksichtigt werden, dass diese tendenziell verfälscht sind, da viele nicht signifikante Ergebnisse bzw. Ergebnisse, die nicht das Gewünschte ergaben, nicht publiziert werden.

Trotz dieser gewichtigen Einschränkungen liefert die durchgeführte Metaanalyse wesentliche Erkenntnisse. Insbesondere die Effektstärken, berechnet aus den Ergebnissen von Kolich (2003) und Kolich und Taboun (2004) (Nr. 1 und 9 aus Tabelle 4-1, S. 32) sowie Smith, Mansfield und Gyi (2015) und Smith, Mansfield und Gyi et al. (2015) (Nr. 6 und 7 aus Tabelle 4-1, S. 32), sollten näher betrachtet und verglichen werden. Bei diesen Publikationen handelt es sich um Auswertungen von Daten, die entweder bei demselben Versuch oder in Experimenten mit sehr ähnlichen Versuchsdesigns erhoben wurden.

Nummer 1 und 9 haben einen identischen Versuchsaufbau, -ablauf und auch das Versuchspersonenkollektiv scheint dasselbe zu sein. Dies legt nahe, dass hier derselbe Versuch auf zwei unterschiedliche Arten ausgewertet wurde. Kolich (2003) publizierte Ergebnisse des Effekts von unterschiedlichen Sitzen auf den Komfort in vier Bereichen des Körpers und des Sitzes (Lendenwirbelsäule, seitlicher Rücken, Oberschenkel,

Sitzkissen seitlich). Kolich und Taboun (2004) beschreiben den Einfluss der unterschiedlichen Sitze auf einen Overall Comfort Index, was als Gesamtkomfort angesehen werden kann. Die unterschiedlichen Sitze haben einen signifikanten Einfluss auf den Komfort von Körperbereichen mit einer Effektstärke zwischen $d = 1,48$ und $d = 1,79$. Dies entspricht einem mäßigen Effekt (Ferguson, 2009). Die Effektstärke der unterschiedlichen Sitze auf den Gesamtkomfort (Overall Comfort Index) beträgt wiederum $d = 4,66$, was laut Ferguson (2009) einem starken Effekt entspricht. Dieser Unterschied der Effektstärke der Sitze auf die Komfortwerte kann zum einen bedeuten, dass bei Komfortuntersuchungen nur der Gesamtkomfort abgefragt werden muss, da dort der stärkere Effekt zu sehen ist. Die geringere Effektstärke bei der Bewertung von Körperbereichen kann zum anderen darauf hinweisen, dass es den Versuchspersonen schwerer fällt, einzelne Körperbereiche zu bewerten als den Gesamtkomfort.

Smith, Mansfield und Gyi (2015) und Smith, Mansfield und Gyi et al. (2015) (Nr. 6 und 7) verwendeten den gleichen Versuchsaufbau, die gleiche Skala und ließen die gleichen 13 Körperbereiche bewerten. Die durchgeführten Experimente der beiden Veröffentlichungen unterscheiden sich ausschließlich hinsichtlich des Versuchspersonenkollektivs (Anzahl und Zusammensetzung) und der Sitzdauer. Alle Effekte der Versuchsparameter auf den Diskomfort in diesen beiden Publikationen können übergreifend als minimal angesehen werden, mit einzelnen Werten gerade über der Grenze des Bereichs eines mäßigen Effektes (vgl. Tabelle 4-3, S. 37). Ein Grund hierfür könnte wieder sein, dass sich Versuchspersonen bei der Bewertung von einzelnen Körperbereichen im Vergleich zu Gesamtbewertungen schwerer tun (vgl. vorheriger Abschnitt). Insbesondere die unterschiedlichen Effektstärken der Zeit auf den Diskomfort des Gesäßes bei den beiden sehr ähnlichen Experimenten sind hervorzuheben. Nummer 6 hat für den Effekt der Zeit auf den Diskomfort des Gesäßes eine Stärke von $d = 1,15$ und Nummer 7 von $d = 0,68$. Smith, Mansfield und Gyi et al. (2015) (Nr. 7) hatten eine um 20 % längere Sitzdauer (60 Minuten) aber 40 % weniger Versuchspersonen (sechs Frauen und sechs Männer) als Smith, Mansfield und Gyi (2015) mit 50 Minuten Sitzdauer sowie zehn Frauen und zehn Männer. Dieser Unterschied beim Effekt der Zeit kann an der unterschiedlichen Sitzdauer liegen, aber auch daran, dass eine Mindestanzahl an

Versuchspersonen benötigt wird, um einen zumindest mäßigen Effekt der Zeit nachzuweisen.

Der minimale Effekt der Sitzdauer bis zur Bewertung ($d = 0,65$) auf den rechten Gesäßmuskel bei Cardoso und Fulton et al. (2018) (Nr. 4 in Tabelle 4-3, S. 37) trotz einer langen Sitzdauer von 120 Minuten und 20 Versuchspersonen unterstützt die Annahme, dass für die Versuchspersonen eine Bewertung von einzelnen Körperbereichen deutlich schwerer ist als eine Gesamtbewertung. Die berechneten Effektstärken der Sitzdauer bis zur Bewertung auf den Diskomfort in verschiedenen Körperbereichen (Nr. 4, Nr. 6 und Nr. 7) sind durchwegs im Bereich des minimalen Effekts nach Ferguson (2009), wobei einmal knapp die Grenze zum mäßigen Effekt überschritten wird.

Die größten Effekte der Zeit auf den Gesamtdiskomfort finden sich bei Mansfield et al. (2015) (Nr. 5) und bei El Falou et al. (2003) (Nr. 10). Diese beiden mäßigen ($d = 2,48$ bei Nr. 5) bis starken ($d = 6,24$ bei Nr. 10) Effekte der Zeit (vgl. Tabelle 4-3) treten jedoch nur in Verbindung mit Vibrationen während des Sitzens auf. Mansfield et al. (2015) haben in ihrer zweiten Studie eine Versuchskonfiguration ohne Vibration, die Effektstärke (Cohen's d) der Zeit bei dieser Konfiguration beträgt nur noch $d = 0,51$ (minimaler Effekt). Dies deutet darauf hin, dass der Effekt der Zeit durch Vibration verstärkt wird. Die Effektstärke der Vibration bei Mansfield et al. (2015) (Nr. 5) beträgt dabei $d = 0,81$, was auch einem minimalen Effekt entspricht, genau wie der Effekt der Zeit bei der Konfiguration ohne Vibration.

Zudem ist hervorzuheben, dass bei Lim et al. (2000) (Nr. 8) der Effekt der Körpergröße auf den Komfort nur eine Effektstärke von $d = 0,15$ hat und dies laut Ferguson (2009) unterhalb der empfohlenen Mindesteffektstärke liegt. Jedoch nahmen bei dieser Studie nur 15 männliche Versuchspersonen teil, die durchschnittlich 24 Jahre alt, 1719 mm groß und 66,5 kg schwer waren (Lim et al., 2000, S. 308). Nähere Angaben zu den anthropometrischen Maßen (z. B. Standardabweichung) gibt es nicht, weshalb die Interpretation des Effekts der Körperhöhe schwierig ist.

Die Ergebnisse der Metaanalyse geben keinen Hinweis darauf, ob Versuche zu Komfort oder Diskomfort in Fahrzeugen grundsätzlich besser in Mock-ups oder realen Fahrzeugen durchgeführt werden sollten. Ein Vergleich der berechneten Effektstärken von

Metaanalyse publizierter Ergebnisse

Experimenten in Laborsettings oder realen Fahrzeugen in der Metaanalyse zeigt keine Tendenzen bezüglich des Einflusses des Versuchsaufbaus, was Forschungsfrage 2.2 (S. 4) „Wie beeinflusst der Versuchsaufbau die (Dis)Komfortbewertung?“ beantwortet. Der Versuchsaufbau ist daher kein Faktor, der die (Dis)Komfortbewertung beeinflusst (Forschungsfrage 2, S. 4).

5 Experimentelle Diskomfortuntersuchung auf Fahrzeugsitzen

Es gibt keine Fahrzeuge, die nur für einzelne Personengruppen, wie zum Beispiel große Männer entwickelt und an diese verkauft werden. Männer und Frauen mit unterschiedlichen Anthropometrien sollen gleichermaßen gut in den gleichen Fahrzeugen sitzen. Daher ist eine wichtige Anforderung in der Entwicklung, dass die Fahrzeuge für Männer und Frauen gleich gut nutzbar sind. Da die Sitze die Hauptkontaktfläche von Personen im Fahrzeug sind, müssen diese bei der Fahrzeugentwicklung besonders berücksichtigt werden. Ergonomische Richtlinien sehen vor, dass Produkte für alle Personen von der Frau des 5. Perzentils bis zum Mann des 95. Perzentils des relevanten Körpermaßes (z. B. Beinlänge für die Positionierung der Pedale im Fahrzeug) ausgelegt werden.

Im Rahmen der Auslegung von Produkten werden Probandenstudien mit den relevanten Anthropometrien durchgeführt, ebenso bei Sitzkomfortuntersuchungen. Aber sind solche Untersuchungen, die beide Geschlechter in einer Studie betrachten, zielführend? Und sind Probanden generell in der Lage den Diskomfort von Sitzen zu bewerten? Dazu werden die Daten einer großen Diskomfortuntersuchung hinsichtlich verschiedener Hypothesen untersucht.

5.1 Hypothesen

Da sich Männer und Frauen in ihrer Anthropometrie und ihrer Physiologie unterscheiden, ist eine Hypothese dieser Arbeit, dass Männer und Frauen den Diskomfort identischer Sitze in derselben Konfiguration unterschiedlich bewerten. Dies wurde schon in anderen Arbeiten nachgewiesen (Gyi & Porter, 1999; Hartung, 2006), im Rahmen dieser Untersuchung soll jedoch neben dem Geschlecht auch explizit der Einfluss des Körperhöhenperzentils betrachtet werden.

Um diese Unterschiede zu beleuchten, werden folgende vier Hypothesen überprüft.

Die erste Hypothese basiert darauf, dass ein Sportwagen weniger Platz für die sitzende Person bereitstellt und große Männer daher eine Sitzposition mit höherem Diskomfort einnehmen müssen als kleine Frauen.

Experimentelle Diskomfortuntersuchung auf Fahrzeugsitzen

H1 Männer des 95. Körperhöhenperzentils bewerten Sportwagen mit einem höheren Diskomfort als Frauen des 5. Körperhöhenperzentils.

Bei der zweiten Hypothese wird angenommen, dass die sehr kleine Frau bei der Sitzposition im SUV eventuell zu viel Platz und damit Erreichbarkeitsprobleme haben könnte. Der sehr große Mann wiederum hat in diesem Fahrzeugpackage deutlich mehr Platz, was seinen Körpermaßen entspricht, und sollte dementsprechend weniger Diskomfort empfinden.

H2 Bei der Konfiguration eines SUVs sollte das Ergebnis genau andersherum sein, dass Frauen des 5. Körperhöhenperzentils mehr Diskomfort empfinden als Männer des 95. Körperhöhenperzentils.

Fahrzeugsitze werden für spezielle Fahrzeugpackages entwickelt, da sich die Körperhaltungen deutlich unterscheiden. In einem SUV ist der Oberkörper aufrecht und auch die restliche Körperhaltung entspricht eher dem Sitzen auf einem Stuhl. Im Gegensatz dazu bedingt ein Sportwagen eine liegende Körperhaltung, welche durch die höhere Positionierung der Fersen charakterisiert ist. Deshalb muss der Sitz im Sportwagen anders geformt sein als im SUV, um die entsprechende Körperhaltung zu unterstützen. Diese Annahmen werden mittels der dritten Hypothese überprüft.

H3 Der von Probanden empfundene Diskomfort auf Sitzen der Fahrzeugklasse SUV in der Konfiguration eines Sportwagens ist höher als der empfundene Diskomfort auf denselben Sitzen in der Konfiguration des SUVs.

Die vorhergehenden Hypothesen sollen zeigen, ob das aktuelle Vorgehen bei der Durchführung von Diskomfortstudien dazu geeignet ist, Unterschiede zwischen Fahrzeugsitzen und Fahrzeugpackages festzustellen. Dies ist insbesondere deswegen interessant, da in der Realität genau solche Unterschiede zwischen Sitzen untersucht werden, also von Sitzen, die in ihrem Entwicklungsstadium weit fortgeschritten sind und meist nur geringfügige Unterschiede aufweisen.

Schon publizierte Studien (Estermann, 1999; Reed et al., 1991; Ulherr & Bengler, 2016) belegen den Effekt der Sitzdauer eindeutig und so sollte sich dies im Rahmen dieser Studie bestätigen.

H4 Der Zeitpunkt der Bewertung und damit verbunden die Sitzdauer hat einen Einfluss auf die Bewertung des Gesamtdiskomforts.

Die Sitzdauer ist als wichtige Einflussgröße auf die Diskomfortbewertung bekannt. Aber haben auch andere Parameter des Versuchsdesigns einen signifikanten Einfluss auf die Diskomfortbewertung der Versuchspersonen? Und wie groß sind die Effekte der Sitzdauer und der anderen Versuchsparameter auf die subjektive Bewertung? Anhand einer Regressionsanalyse wird dargelegt, wie viel die Sitzdauer zu Diskomfortbewertung beiträgt und inwiefern die verschiedenen Sitze und Fahrzeugkonfigurationen die Variation der Diskomfortbewertungen von Versuchspersonen erklären.

5.2 Versuchsbeschreibung

Das Versuchsdesign wurde im Rahmen des Projekts **UDASim – Umfassende Diskomfortbewertung für Autoinsassen durch Simulation** entwickelt und auf der Konferenz „8th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2017)“ (Ulherr, Zeller & Bengler, 2018) sowie im Schlussbericht des Projekts UDASim veröffentlicht (Ulherr & Bengler, 2016).¹ Es werden nur die für die Dissertation relevanten Angaben wiederholt.

5.2.1 Anforderungen an den Versuch

Für die Versuchsplanung war ausschlaggebend, dass Daten erhoben werden sollten, die auf variierenden Diskomfortparametern basieren. Daher mussten unterschiedliche Sitzdruckverteilungen, Gelenkwinkel, Gelenkmomente und Muskelaktivitäten generiert werden. Neben drei Sitzen, die sich in Konstruktion und Material unterscheiden, wurde dies durch verschiedene Haltungen basierend auf drei Fahrzeugpackages erzielt. Für das Projektziel des Forschungsprojekts UDASim war notwendig, dass die Versuche möglichst reale Fahrzeugkonfigurationen untersuchen. Daher ist der generierte Datensatz sehr gut geeignet, um die realen Anforderungen an die Diskomfortbewertung von Fahrzeugsitzen zu überprüfen. Die Versuchskonfigurationen bilden reale

¹ Grundlage des Versuchsdesigns und der Veröffentlichung ist die Arbeit von Zeller (2015).

Experimentelle Diskomfortuntersuchung auf Fahrzeugsitzen

Fahrzeugkonfigurationen ab und die Diskomfortuntersuchung sollte, wenn sie ihren Anforderungen gerecht wird, diese Unterschiede abbilden können.

Die verschiedenen Fahrzeugklassen, die auf dem Fahrzeugmarkt zu finden sind, unterscheiden sich insbesondere durch den Abstand zwischen der Bodenebene des Fahrzeugs bzw. dem Fersenaufstandspunkt (AHP – Accelerator Heel Point) (SAE J1100), und dem Sitzreferenzpunkt (SgRP – Seating Reference Point) (Bubb et al., 2015). Der SgRP ist in der SAE J1100 definiert als ein vom Hersteller festgelegter Referenzpunkt, worauf der H-Punkt ((Hüft-)Drehpunkt zwischen Torso und unteren Extremitäten) einer definierten Person zu liegen kommt (SAE J826; SAE J1100). Der Abstand von AHP und SgRP wird als H30-Maß bezeichnet und führt zu unterschiedlichen Sitzhaltungen, welche den Fahrzeugcharakter ausschlaggebend beeinflussen (Bubb et al., 2015).

Für das Projekt wurde angestrebt, die Versuchskonfigurationen entsprechend eines Sportwagens, einer Limousine und eines SUVs festzulegen. Reale Werte für das H30-Maß und die in den Versuchskonfigurationen umgesetzten Werte sind in Tabelle 5-1 aufgelistet.

Tabelle 5-1: H30-Maße aus der Literatur (Macey, 2009) und die H30-Maße für die Versuchskonfigurationen

	Sportwagen	Limousine	SUV
H30-Maß bei Macey (2009) [mm]	135 - 180	200 - 250	300 - 350
H30-Maß Versuch [mm]	170	220	320

Für die Versuche haben drei Automobilfirmen (BMW Group, Daimler AG und Ford) je einen Sitz zur Verfügung gestellt, zu sehen in Anhang 2 (S. 112). Dabei handelt es sich um einen BMW Komfortsitz mit Lederbezug, der in Limousinen verbaut wird. Der Fahrzeugsitz von Daimler entspricht einem einfachen Sitzmodell mit wenigen Verstellmöglichkeiten und einem Stoffbezug, der als Sportwagensitz betrachtet wird. Ford stellte einen Sitz zur Verfügung, der in einem SUV zur Anwendung kommt und einen Lederbezug hat. Kombiniert mit den drei Fahrzeugpackages Sportwagen, Limousine und SUV ergaben sich neun Versuchskonfigurationen (drei Sitze in drei Packages), die jede Versuchsperson durchlaufen musste, zu sehen in Tabelle 5-2.

Experimentelle Diskomfortuntersuchung auf Fahrzeugsitzen

Tabelle 5-2: Realisierte Konfigurationen im Rahmen des Versuchs

Konfiguration (Sitz-Package)	Sitz (Nr.)	Package (Nr.)
1 (1-1)	Ford (1)	Sportwagen (1)
2 (1-2)	Ford (1)	Limousine (2)
3 (1-3)	Ford (1)	SUV (3)
4 (2-1)	Daimler (2)	Sportwagen (1)
5 (2-2)	Daimler (2)	Limousine (2)
6 (2-3)	Daimler (2)	SUV (3)
7 (3-1)	BMW (3)	Sportwagen (1)
8 (3-2)	BMW (3)	Limousine (2)
9 (3-3)	BMW (3)	SUV (3)

Eine weitere Anforderung war, dass es sich bei der Haltung um eine statische Haltung handeln musste. Dies bedeutete, dass die Person möglichst keine Veränderung an Sitz-, Bein- oder Handposition durchführen sollte. Um eine realistische Fußposition einzunehmen, musste das Gaspedal mit dem rechten Fuß durchgehend betätigt werden und der linke Fuß sollte auf einer Ablage positioniert werden. Die Hände sollten während der gesamten Versuchsdauer den Lenkradkranz mittig rechts und links umfassen.

Eine Untersuchung von Ulherr und Bengler (2016, S. 20–24)¹ ergab über eine Sitzdauer von insgesamt 50 Minuten einen kontinuierlichen Anstieg des Diskomforts und bei Estermann (1999) ergab sich erst ab 210 Minuten eine Stagnation der Diskomfortwerte (vgl. Abbildung 3-8, S. 23). Da in der geplanten Studie jede Versuchsperson neun Konfigurationen durchläuft, wurde die Sitzdauer je Konfiguration auf 45 Minuten festgelegt. Dadurch sollte eine realistische Fahrdauer wiedergegeben werden, ohne einen zu hohen Aufwand für die Probanden zu erfordern und damit Abbrüche zu provozieren. Es ist außerdem anzunehmen, dass sich eine zu lange Versuchsdauer negativ auf das Wohlbefinden und damit auf die subjektive Bewertung auswirken kann, unabhängig von der Versuchskonfiguration (Darus et al., 2012, S. 4997).

¹ Basierend auf der Studienarbeit von Kuhn (2014).

Das Probandenkollektiv des Versuchs sollte zum einen männliche und weibliche Versuchspersonen umfassen. Zum anderen sollten je ein Teil der Versuchspersonen sehr kleine Frauen und sehr große Männer repräsentieren. Zusammen mit weiteren Anforderungen aus dem Projekt UDASim (vgl. Ulherr et al., 2018) wurden drei Probandengruppen definiert: „Frau des 5. Perzentils Körperhöhe“ (Probandengruppe F05), „Mann des 50. Perzentils Körperhöhe“ (Probandengruppe M50) und „Mann des 95. Perzentils Körperhöhe“ (Probandengruppe M95). Die teilnehmenden Probanden mussten, je nach Probandengruppe, eine der folgenden Voraussetzungen erfüllen:

Weiblich mit einer Körpergröße von 1,52 m – 1,56 m für die Probandengruppe F05

Männlich mit einer Körpergröße von 1,76 m – 1,80 m für die Probandengruppe M50

Männlich mit einer Körpergröße von 1,85 m – 1,89 m für die Probandengruppe M95

Die Korpulenz der Versuchspersonen war nur bei extremen Ausprägungen ein Ausschlusskriterium.

Da sich die Versuchspersonen während des Versuchs den Sitz so einstellen sollten, dass sie fahren könnten, war eine weitere Anforderung an die Versuchspersonen der Besitz eines Führerscheins der Klasse B.

5.2.2 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau wurde als ein einziger Versuchsstand, wie in Abbildung 5-1 zu sehen, realisiert, welcher durch den Austausch der Sitze und mittels Verstellmechanismen an die neun unterschiedlichen Konfigurationen des Versuchs angepasst werden konnte.

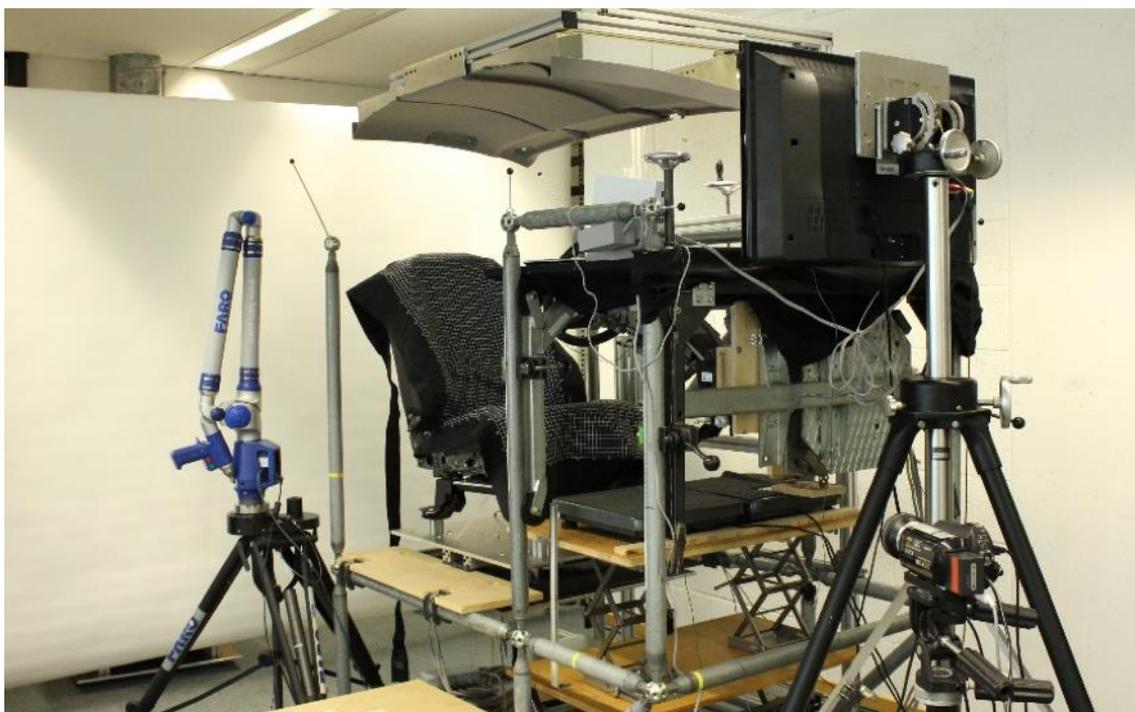


Abbildung 5-1: Der verwendete Versuchsstand am Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München

Der Versuchsstand hatte ein festes Dach, welches dazu diente, ein realistischeres Fahrzeuggefühl zu vermitteln. Die Einstellungen der Konfigurationen am Versuchsstand wurden unabhängig von den anthropometrischen Gruppen getroffen. Wie in realen Fahrzeugen waren die Sitze für alle Versuchspersonen bei den einzelnen Konfigurationen an derselben Stelle montiert und wurden durch individuelle Verstellungen von den Versuchspersonen an ihre Bedürfnisse angepasst.

Vor dem Mock-up wurde ein Monitor auf einer Halterung platziert, auf diesem wurde den Versuchspersonen die Einführungspräsentation (siehe Anhang 3, S. 115 ff.) und die Nebenaufgabe präsentiert.

Die SUV-Konfiguration hatte die tiefste Bodeneinstellung bzw. das größte H30-Maß (vgl. Tabelle 5-1, S. 46) und kann daher als Nullpunkt in z-Richtung angesehen werden. Alle weiteren Maße für die einzelnen Konfigurationen nach Sitzen aufgeteilt finden sich in Tabelle 5-3.

Experimentelle Diskomfortuntersuchung auf Fahrzeugsitzen

Tabelle 5-3: Übersicht über die Einstellungen des Versuchsstands für die einzelnen Versuchskonfigurationen nach Package und Sitz je Hersteller

Sportwagen (1)	Ford (1)	Daimler (2)	BMW (3)
Pedale in z-Richtung [mm]	+150	+150	+150
Abstand Dach Boden in z-Richtung [mm]	+1125	+1125	+1125
Boden in z-Richtung [mm]	+150	+150	+150
Sitzposition in x-Richtung [mm]	-60	-80	-80

Limousine (2)	Ford (1)	Daimler (2)	BMW (3)
Pedale in z-Richtung [mm]	+100	+100	+100
Abstand Dach Boden in z-Richtung [mm]	+1175	+1175	+1175
Boden in z-Richtung [mm]	+100	+100	+100
Sitzposition in x-Richtung [mm]	-60	-80	-80

SUV (3)	Ford (1)	Daimler (2)	BMW (3)
Boden und Pedale in z-Richtung [mm]	0	0	0
Abstand Dach Boden in z-Richtung [mm]	+1275	+1275	+1275
Boden in z-Richtung [mm]	0	0	0
Sitzposition in x-Richtung [mm]	0	-20	-20

Abbildung 5-2 zeigt die Verstellrichtungen der Einstellmechanismen am Versuchsaufbau, um die unterschiedlichen Maße der Konfigurationen zu realisieren.

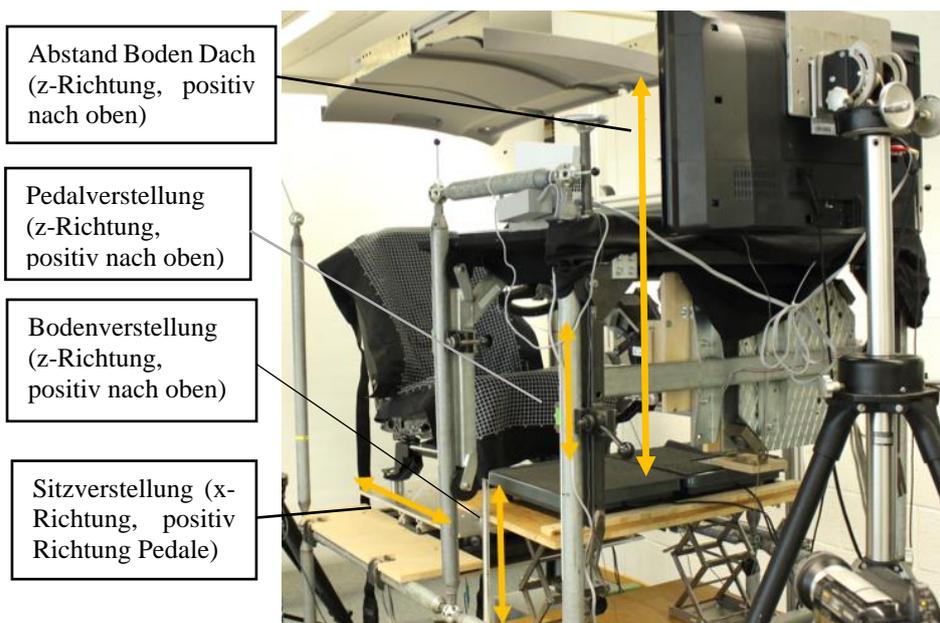


Abbildung 5-2: Verstellrichtungen des Sitzes, des Bodens und der Pedale am Versuchsaufbau

Experimentelle Diskomfortuntersuchung auf Fahrzeugsitzen

Auch die Lenksäule war für alle Konfigurationen an derselben Stelle befestigt und das Lenkrad konnte von den Versuchspersonen mittels der üblichen Verstellmechanismen, Schwenken nach oben/unten und Verschiebung entlang der Lenksäulenmittelachse, individuell angepasst werden, zu sehen in Abbildung 5-3.

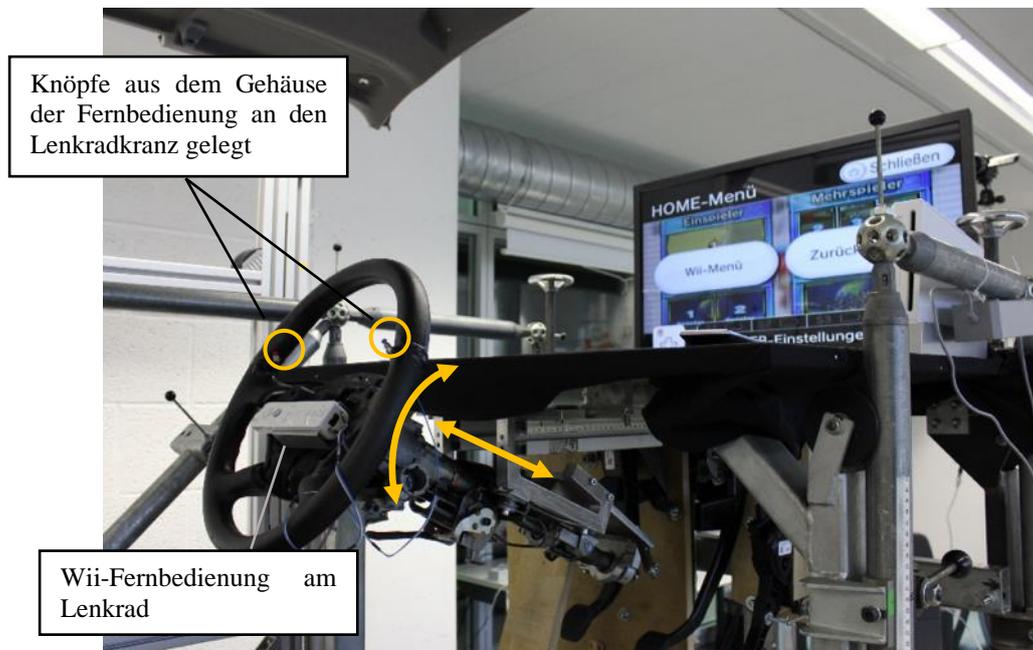


Abbildung 5-3: *Einstellmöglichkeiten des Lenkrads mit installiertem Wii-Controller und Monitor für das Spiel Mario Kart*

Die Versuchsdauer pro Konfiguration wurde, wie schon beschrieben, auf 45 Minuten rein statisches Sitzen festgelegt. Eine vorhergehende Untersuchung hat keinen Einfluss der Nebenaufgabe auf die Diskomfortbewertung nachgewiesen (Ulherr, Hasselmann, Kuhn & Bengler, 2015)¹. Daher wurde entschieden, die Versuchspersonen durch das Spielen des Spiels Mario Kart auf der Wii-Konsole von Nintendo zu beschäftigen, da ansonsten die Möglichkeit bestanden hätte, dass sich die Versuchsperson entweder zu sehr auf den Sitz konzentriert oder sich durch Umherblicken oder Haltungsänderungen unkontrolliert selbst beschäftigt hätte.

Die Fernbedienung der Wii nutzt, neben Knöpfen, einen integrierten Beschleunigungssensor als Steuerelement. Dadurch können Lenkbewegungen des Spielenden an die Konsole und so in das Spiel übertragen werden. Es wurde eine

¹ Basierend auf der Studienarbeit von Hasselmann (2014).

Experimentelle Diskomfortuntersuchung auf Fahrzeugsitzen

Befestigungsmöglichkeit für die Fernbedienung am Lenkrad angebracht und zwei Knöpfe aus dem Gehäuse an den Lenkradkranz verlegt, wie in Abbildung 5-3 zu sehen. Im Spiel Mario Kart werden Rennen gegen andere Figuren gefahren. Das Spiel gewährleistete, dass die Versuchspersonen beschäftigt waren und sich nicht langweilten. Durch die Steuerung über das Lenkrad wurde sichergestellt, dass die Probanden die Fahrhaltung die ganze Zeit beibehielten und die Hände nicht ablegten.

Die CP50-Skala hat bei Shen und Parsons (1997) am besten abgeschnitten und wurde in vergangenen Dissertationen am Lehrstuhl für Ergonomie (u. a. Hartung, 2006; Lorenz, 2011; Mergl, 2006; Zenk, 2009) zur Diskomfortbewertung von Fahrzeugsitzen eingesetzt. Aufgrund der bis dato sehr positiven Bewertung und erfolgreichen Anwendung wird angenommen, dass die CP50-Skala die zuverlässigsten Ergebnisse bei der subjektiven, quantitativen Bewertung von Fahrzeugsitzen generiert.

Die CP50-Skala ist eine aufgeteilte Kategorienskala (Category Partitioning Scale). Diese ist in sechs Kategorien unterteilt („kein Diskomfort“, „sehr geringer Diskomfort“, „geringer Diskomfort“, „mittlerer Diskomfort“, „starker Diskomfort“ und „sehr starker Diskomfort“). Die einzelnen Kategorien haben abermals jeweils 10 Aufteilungen, ausgenommen der Kategorie „kein Diskomfort“. Als Anleitung für die Probanden wurde die folgende Formulierung gewählt und in der Einführungspräsentation (siehe Anhang 3, S.115 ff.) an die Versuchsperson weitergegeben:

Wählen Sie in der CP50-Skala zuerst eine Kategorie aus. Diese sind „kein Diskomfort“, „sehr geringer Diskomfort“, „geringer Diskomfort“, „mittlerer Diskomfort“, „starker Diskomfort“ oder „sehr starker Diskomfort“. Anschließend geben Sie durch den Zahlenwert die Tendenz innerhalb der Kategorie an.

Ein Empfinden von geringem Diskomfort mit Tendenz zu mittlerem Diskomfort wäre folglich ungefähr eine 18.

Für diesen Versuch wurde die CP50-Skala wie bei Hartung (2006) in Kombination mit einer Body Map angewendet. Hartung (2006) hat die von ihm verwendete Body Map auf Basis von Corlett und Bishop (1976) entwickelt. Für den vorliegenden Versuch wurde die Body Map von Corlett und Bishop (1976) mithilfe der Interpretationen von Hartung

Experimentelle Diskomfortuntersuchung auf Fahrzeugsitzen

(2006) und Cameron (1996) angepasst (Ulherr et al., 2018)¹. Abbildung 5-4 zeigt die angepasste Body Map in Kombination mit der CP50-Skala.

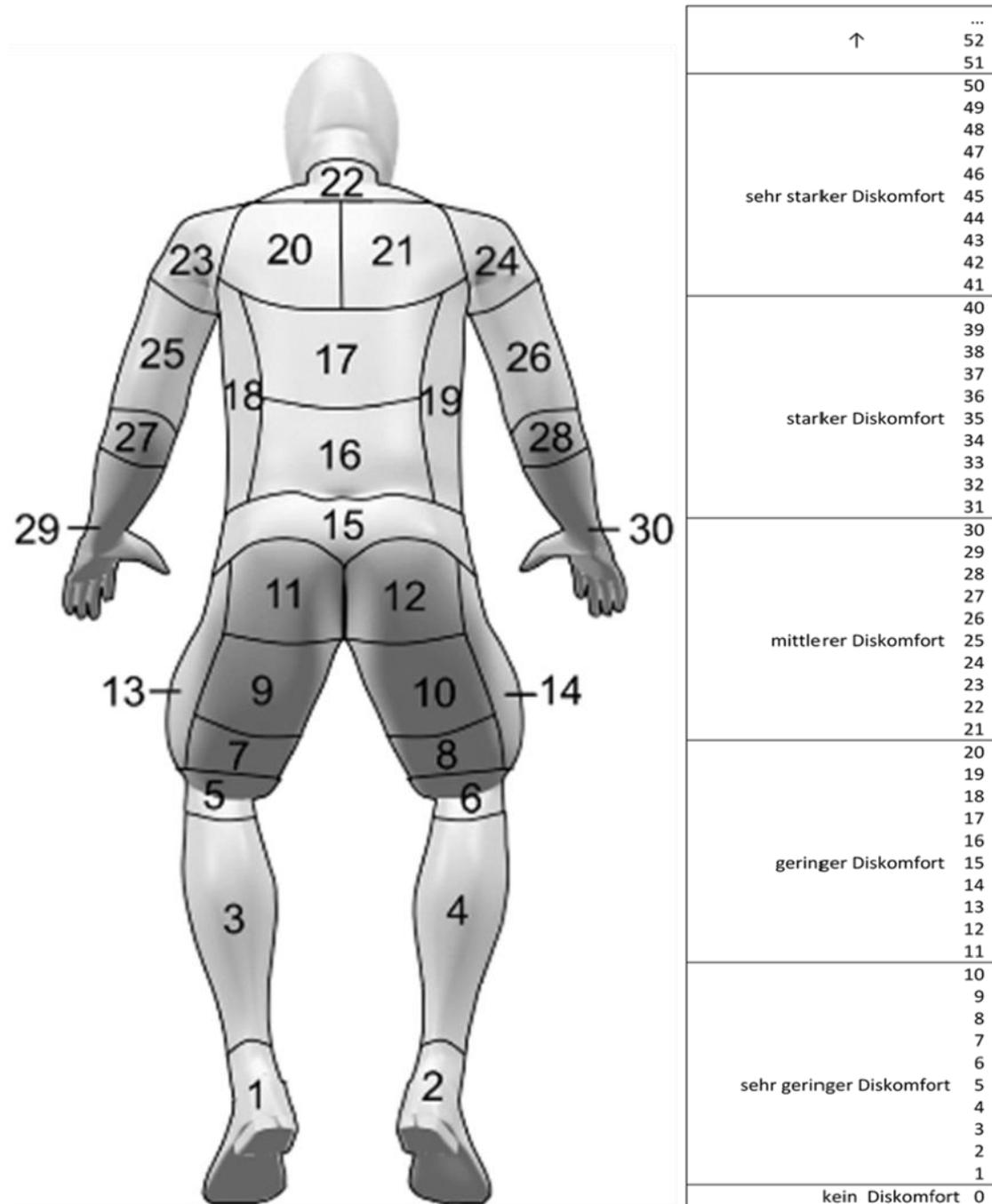


Abbildung 5-4: Verwendete Body Map und CP50-Skala basierend auf Hartung (2006) angepasst für den durchgeführten Versuch (Ulherr et al., 2018)

¹ Basierend auf der Studienarbeit von Zeller (2015).

5.2.3 Versuchsablauf

Grundsätzlich mussten die Versuchspersonen an drei Terminen mit mindestens einer Woche Abstand teilnehmen. Je Versuchstermin wurden drei Versuchskonfigurationen durchlaufen. Um einem Reihenfolgeeffekt entgegenzuwirken, wurde die Reihenfolge der neun Versuchskonfigurationen je Versuchsperson randomisiert (siehe Anhang 4, S. 134).

Die Testpersonen wurden vor dem ersten Termin gebeten, bei den Versuchen „normale“ Kleidung (einfache Jeans und ein dünnes Oberteil) zu tragen. Der erste Termin startete damit, dass die Körpergröße und das Körpergewicht gemessen wurden. Anschließend nahm die Versuchsperson auf dem Versuchsstand (vgl. Abbildung 5-1, Seite 49) Platz und bekamen eine Präsentation mit den für den Versuch notwendigen Erklärungen und Anweisungen gezeigt (siehe Anhang 3, S. 115 ff.). An definierten Punkten innerhalb der Präsentation füllte die Versuchsperson eine Einverständniserklärung sowie einen Fragebogen zu ihren demografischen Daten (Alter, Geschlecht, Beruf) aus, stellte sich den Sitz und das Lenkrad für eine komfortable Fahrhaltung ein und machte sich mit dem Videospiel vertraut. Nachdem die Sitzdruckmessmatte (für die Dissertation nicht relevant) positioniert wurde, setzte sich die Versuchsperson wieder hin, nahm die Fahrhaltung ein und betätigte das Gaspedal (ca. 2/3 des Pedalwegs, akustisches Signal bei zu viel oder zu wenig Druck). Damit startete der Versuch. Die Versuchsleitung führte sofort die ersten Messungen der objektiven Daten für das Projekt UDASim durch und anschließend bewertete die Versuchsperson den aktuellen Diskomfort der 30 Körperbereiche und den Gesamtdiskomfort, die Werte wurden von der Versuchsleitung in einen dafür vorgesehenen Bogen eingetragen. Die Aufzeichnungen der Diskomfortwerte sind die des ersten Messzeitpunkts (0 Minuten).

Bis die zweite Messung (der Ablauf entspricht der ersten Messung) nach 15 Minuten stattfand, spielte die Versuchsperson Mario Kart. Diese Abfolge wiederholte sich noch zweimal, bis die vierte und letzte Datenaufzeichnung nach insgesamt 45 Minuten pro Konfiguration durchgeführt wurde. Anschließend hatte die Versuchsperson eine Pause von 15 Minuten, für welche sie die Anweisung bekam sich zu bewegen und nicht wieder zu sitzen. Währenddessen wurde der Versuchsstand von der Versuchsleitung an die nächste Konfiguration angepasst.

Experimentelle Diskomfortuntersuchung auf Fahrzeugsitzen

Die zweite und dritte Konfiguration je Versuchstermin liefen wie die erste ab, sie starteten damit, dass sich die Versuchsperson den Sitz und das Lenkrad einstellte, und endete damit, dass die Versuchsleitung den Versuchstand an die nächste Konfiguration dieses oder des folgenden Termins einer anderen Versuchsperson anpasste.

Der zweite Versuchstermin startete immer damit, dass die Versuchsperson wieder einen Fragebogen zu ihrem aktuellen persönlichen Empfinden ausfüllte. Danach war der Ablauf von den drei Konfigurationen für diesen Termin genau wie im Termin davor. Die Reihenfolgen der Versuchskonfigurationen je Versuchstermin sind in Anhang 4 (S. 134) aufgeführt.

Der Ablauf des dritten Termins stimmte hauptsächlich mit dem zweiten Termin überein, mit Ausnahme des Fragebogens am Ende. Da dies der letzte Termin und damit der Abschluss des Versuchs für die Versuchsperson war, wurden Fragen zu der Bewertung des Diskomforts während des Versuchs gestellt, um die Erfahrungen mit der Skala und der Bewertung von Diskomfort abzufragen.

Alle Fragebögen sind in Anhang 5 (S. 135 ff.) zu finden.

5.2.4 Versuchspersonen

An der Studie nahmen insgesamt 40 Versuchspersonen teil. Tabelle 5-4 zeigt die Anzahl sowie die Mittelwerte und Standardabweichungen des Alters, der Körpergröße und des Körpergewichts sortiert nach den Probandengruppen aus Kapitel 5.2.1 (S. 45).

Tabelle 5-4: Versuchspersonen sortiert nach Probandengruppen

Gruppe	Geschlecht	Anzahl	Alter	Körpergröße	Körpergewicht
F05	Weiblich	13	Ø 23,4 Jahre (SD: 2,5 Jahre)	Ø 154 cm (SD: 1,54 cm)	Ø 57,5 kg (SD: 7,68 kg)
M50	Männlich	14	Ø 23,6 Jahre (SD: 3,65 Jahre)	Ø 178 cm (SD: 1,28 cm)	Ø 81,2 kg (SD: 7,14 kg)
M95	Männlich	13	Ø 25,6 Jahre (SD: 4,75 Jahre)	Ø 187 cm (SD: 1,39 cm)	Ø 82,9 kg (SD: 8,13 kg)

5.3 Daten

Die Resultate der durchgeführten Studie sind nicht mit anderen Studien auf dem Gebiet des Sitzkomforts vergleichbar. In der Regel haben Studien den Zweck, spezifische Forschungsfragen zu beantworten. Im Gegensatz dazu hatte das vorgestellte Experiment das Ziel, Daten zur Entwicklung und Evaluation eines künstlichen neuronalen Netzes zur Vorhersage von Sitzdiskomfort im Rahmen des Projekts UDASim zu sammeln. Ziel des Versuchsdesigns war es, die Diskomfortparameter, unter anderem Sitzdruck, Muskelaktivität und Körperhaltung, mit verschiedenen Sitzen, Personen und Fahrzeugpackages zu variieren. Dabei wurden die Versuchskonfigurationen so gewählt, dass diese möglichst nahe an realen Fahrzeuggeometrien waren. Der Versuchsaufbau und -ablauf soll vergleichbar sein mit den Gegebenheiten in anderen Sitzforschungen und zudem Ähnlichkeiten haben zum Sitzentwicklungsprozess in der Industrie.

Nach 360 Stunden Experimenten nahmen die Verantwortlichen 1440 Rohdatensätze auf.

$$40 \text{ Probanden} \times 9 \frac{\text{Konfigurationen}}{\text{Proband}} \times 4 \frac{\text{Messungen}}{\text{Konfiguration}} = 1440 \text{ Messungen.} \quad (7)$$

Jede Versuchsperson gab pro Messung 31 Diskomfortwerte ab. 30 Diskomfortwerte für die 30 Körperbereiche und einen Gesamtdiskomfortwert. Insgesamt wurden so 44640 einzelne Diskomfortwerte während der Studie aufgezeichnet.

$$1440 \text{ Messungen} \times 31 \frac{\text{Diskomfortwerte}}{\text{Messung}} = 44640 \text{ Diskomfortwerte.} \quad (8)$$

Des Weiteren werden die, von den 40 Versuchspersonen ausgefüllten Abschlussfragebögen (vgl. Kapitel 5.2.3, S. 54 ff.) ausgewertet.

5.4 Auswertung und Ergebnisse

Die Diskomfortdaten wurden mit IBM SPSS Statistics 24 ausgewertet. Es werden nur die Gesamtdiskomfortwerte betrachtet, da diese, wie in der Metaanalyse (Kapitel 4, S. 29 ff.) gezeigt wurde, stärker als die Diskomfortwerte einzelner Körperbereiche von Versuchsparametern und anderen unabhängigen Variablen beeinflusst werden und daher

besser geeignet sind, um diese Effekte der Versuchsparameter zu analysieren und darzustellen.

Die verwendete CP50-Skala wird bei allen Analysen, entsprechend dem Anspruch an eine Kategorienunterteilungsskala, als absolute Skala angesehen. Ellermeier et al. (1991) haben die Absolutheit der CP50-Skala bei der Bewertung von Schmerz nachgewiesen (vgl. Kapitel 3.2.2, S. 17ff.).

Bevor tiefer gehende Analysen der Daten, und damit einhergehend der Effekte auf Diskomfortbewertungen während des Sitzens auf Fahrzeugsitzen, durchgeführt werden, wird der Datensatz zunächst deskriptiv analysiert. Diese Vorgehensweise hilft dabei, erste Erkenntnisse über den Datensatz zu generieren und falls notwendig Daten auszuschließen, die Ergebnisse verfälschen würden (Becker, Herrmann, Sandor, Schäfer & Wellisch, 2016).

Zum Test der Hypothesen aus Kapitel 5.1 wird eine mehrfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) durchgeführt und zur genauen Aufklärung des Einflusses der verschiedenen Versuchsparameter auf die Diskomfortbewertung eine multiple lineare Regressionsanalyse vorgenommen.

Neben den Effekten der gezielt variierten Versuchsparameter werden der Einfluss der verschiedenen Versuchstermine und der Einfluss der Reihenfolge der Konfigurationen je Termin in einer zweiten multiplen linearen Regressionsanalyse betrachtet. Diese zweite Regressionsanalyse basiert auf den Erkenntnissen aus Kapitel 3 (S. 6 ff.), dass die CP50-Skala aufgrund der fehlenden alltäglichen Vertrautheit mit dem Begriff „Diskomfort“ von den Versuchspersonen vermutlich nicht absolut verwendet wird. Dies würde sich darin äußern, dass die verwendeten Fahrzeugsitze und Fahrzeugpackages keinen statistisch nachweisbaren Anteil an der Varianzaufklärung des Diskomforts haben. Stattdessen würde sich ein signifikanter Einfluss des Versuchstermins und der Reihenfolge der Konfigurationen je Termin ergeben.

Abschließend werden die Abschlussfragebögen ausgewertet und die subjektiven Bewertungen der Diskomfortbewertung durch die CP50-Skala und die Body Map beschrieben. Die Auswertung der Abschlussfragebögen wurde mit Excel 2016 durchgeführt.

5.4.1 Deskriptive Analyse der Daten

Bevor die Hypothesen überprüft und der Einfluss der Versuchsparameter dargestellt werden, wird der Datensatz mittels Box-Plot Diagrammen explorativ untersucht, um eine erste Analyse des Datensatzes zu erhalten. Box-Plot-Diagramme geben die Verteilung der betrachteten Daten wieder. Abbildung 5-5 zeigt die Elemente eines Box-Plots. Der Balken in der Box zeigt den Median der Verteilung an. Die Box entspricht dem Interquartilabstand (IQA = Quartil 3 – Quartil 1), innerhalb welchem sich 50 % der berücksichtigten Datenpunkte befinden. Die Whisker zeigen den Abstand zwischen dem minimalen und dem maximalen Wert der Daten. Wenn der betrachtete Datensatz Werte enthält, die 1,5 IQA unterhalb des Quartil 1 (Q1) oder oberhalb des Quartil 3 (Q3) liegen ($x < Q1 - 1,5 \times IQA$ oder $x > Q3 + 1,5 \times IQA$) so werden diese als Ausreißer mittels eines Extrapunkts im Diagramm dargestellt und werden nicht bei der Verteilungsdarstellung berücksichtigt. Die mit einem Sternchen markierten, „extremen“ Ausreißer liegen 3 IQA außerhalb ($x < Q1 - 3 \times IQA$ oder $x > Q3 + 3 \times IQA$). (Field, 2018)

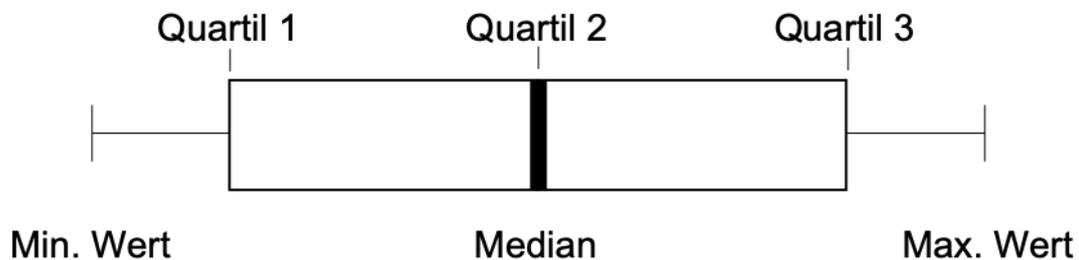


Abbildung 5-5: Elemente eines Box-Plot Diagramms, eigene Darstellung

5.4.1.1 Ergebnis der deskriptiven Analyse

Abbildung 5-6 bis Abbildung 5-14 zeigen die Box-Plots der neun Versuchskonfigurationen über alle Messzeitpunkte aufgeteilt in die drei Probandengruppen gemäß Kapitel 5.2.4 (S. 55). Die Ausreißer der Verteilungen sind mit der entsprechenden Nummer der Versuchsperson gekennzeichnet. Alle Abbildungen zeigen, dass mit der Zeit der Median und die Streuung der Gesamtdiskomfortwerte bei allen drei Probandengruppen steigen.

Experimentelle Diskomfortuntersuchung auf Fahrzeugsitzen

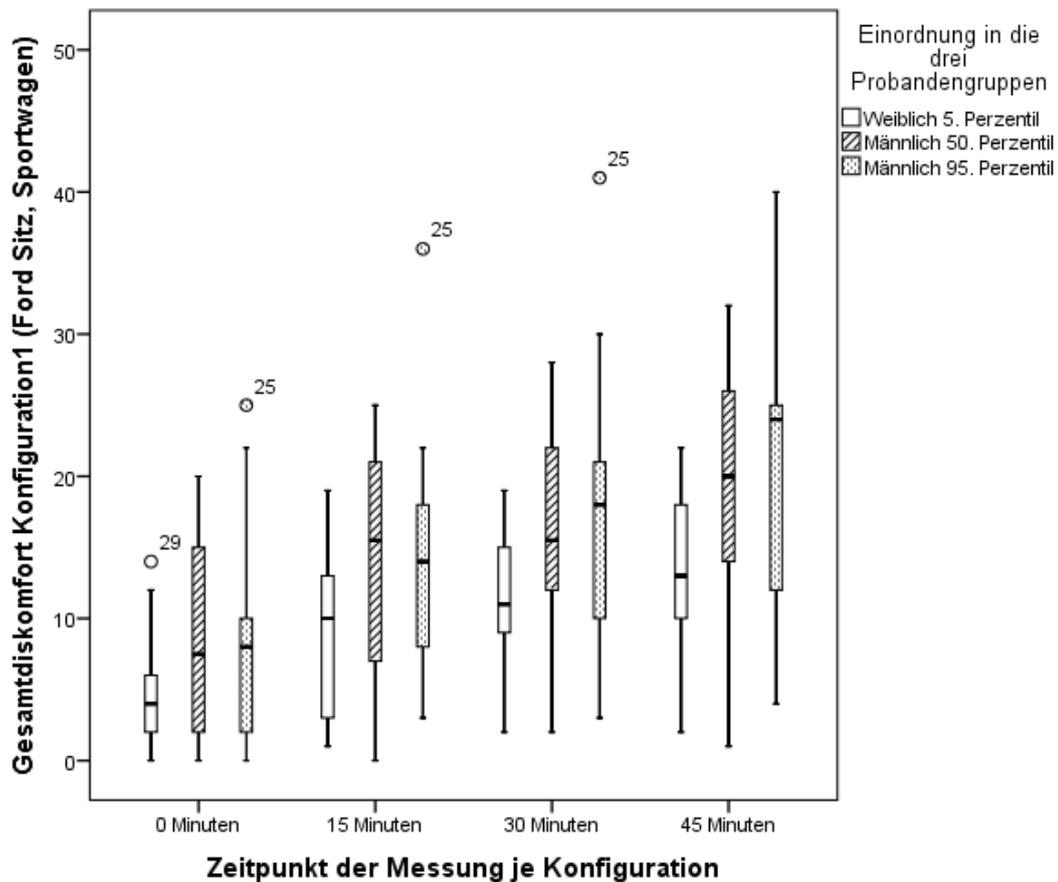


Abbildung 5-6 Box-Plot des Gesamtdiskomforts der ersten Versuchskonfiguration (Ford Sitz in Sportwagen-Package) über alle Messzeitpunkte aufgeteilt in die drei Probandengruppen

Abbildung 5-6 zeigt die Verteilung der Diskomfortwerte für die erste Konfiguration (Ford Sitz mit Sportwagen-Package). Dabei liegen die Werte der Probandengruppe F05 zu jedem Zeitpunkt unterhalb der Werte der anderen beiden Probandengruppen. Die Verteilungen der Gesamtdiskomfortwerte sind bei allen Probandengruppen zu jedem Zeitpunkt schief. Versuchsperson 29 liegt nur zum ersten Messzeitpunkt knapp außerhalb der Verteilung der Probandengruppe F05. Versuchsperson 25 liegt bei den ersten drei Messzeitpunkten deutlich außerhalb der Verteilung der Probandengruppe M95.

Experimentelle Diskomfortuntersuchung auf Fahrzeugsitzen

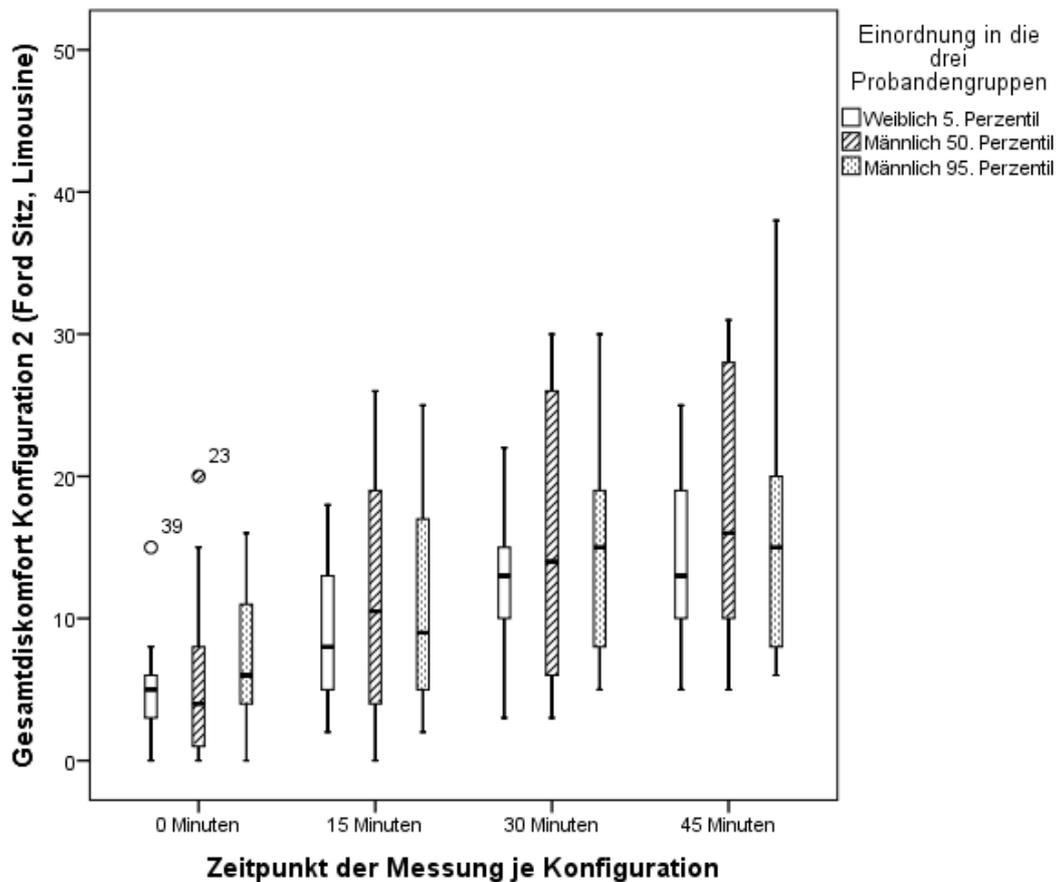


Abbildung 5-7: Box-Plot des Gesamtdiskomforts der zweiten Versuchskonfiguration (Ford Sitz in Limousinen-Package) über alle Messzeitpunkte aufgeteilt in die drei Probandengruppen

Abbildung 5-7 zeigt die Verteilung der Diskomfortwerte für die zweite Konfiguration (Ford Sitz mit Limousinen-Package). Bei dieser Konfiguration zeigt sich an jedem Messzeitpunkt eine andere Reihenfolge der Mediane der Verteilungen. Deswegen ist es bei dieser Konfiguration nicht direkt ersichtlich, welche Probandengruppe mehr oder weniger Diskomfort empfindet als die anderen. Die Streuung der Gesamtdiskomfortwerte ist bei der Gruppe M95 am größten. Der Interquartil-Bereich (Kasten des Box-Plots; Bereich der mittleren 50 % aller Werte) wiederum ist bei der Gruppe M50 zu allen Zeitpunkten am größten. Das deutet darauf hin, dass innerhalb der Gruppe M50 keine Einheitlichkeit bei der Diskomfortbewertung herrscht. Ausreißer gibt es in den Gruppen F05 und M50 am ersten Messzeitpunkt. Wie bei der ersten Konfiguration sind auch hier alle Verteilungen schief.

Experimentelle Diskomfortuntersuchung auf Fahrzeugsitzen

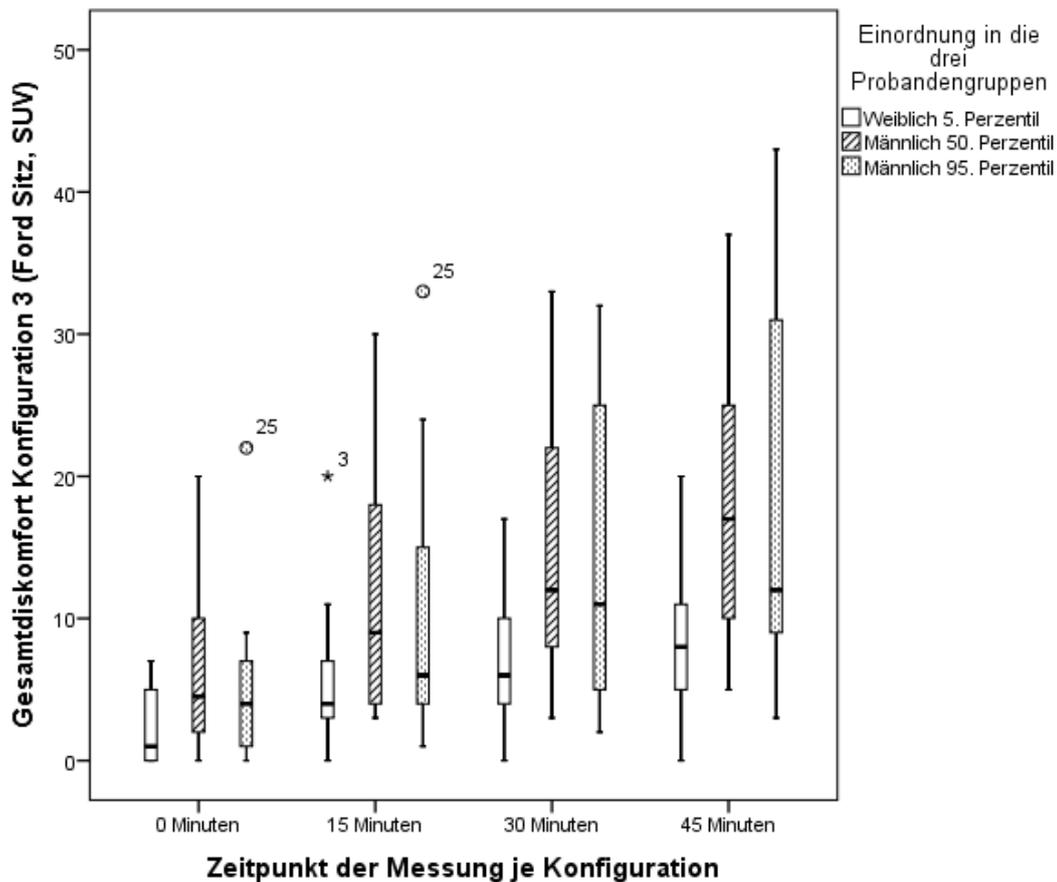


Abbildung 5-8: Box-Plot des Gesamtdiskomforts der dritten Versuchskonfiguration (Ford Sitz in SUV-Package) über alle Messzeitpunkte aufgeteilt in die drei Probandengruppen

Abbildung 5-8 zeigt die Verteilung der Diskomfortwerte für die dritte Konfiguration (Ford Sitz mit SUV-Package). Bei dieser Konfiguration liegt der Median der Gruppe M50 zu allen Zeitpunkten über den Medianen der anderen beiden Gruppen. Die Streuungen der Diskomfortwerte der Gruppe M50 sind an jedem Zeitpunkt sehr groß. Die Streuung der Gruppe M95 steigt mit der Zeit so stark, dass sie am vierten Messzeitpunkt (45 Minuten) größer ist als die der anderen beiden Gruppen. Die Gruppe der Frauen des 5. Körperhöhenperzentils hat an allen Messzeitpunkten den niedrigsten Median und die kleinste Streuung der Gesamtdiskomfortwerte, jedoch auch am zweiten Messzeitpunkt einen extremen Ausreißerdatenpunkt der Versuchsperson 3. In der Gruppe M95 ist die Versuchsperson 25 für zwei Ausreißer an den ersten beiden Messzeitpunkten verantwortlich, wie bei der ersten Konfiguration (vgl. Abbildung 5-6).

Experimentelle Diskomfortuntersuchung auf Fahrzeugsitzen

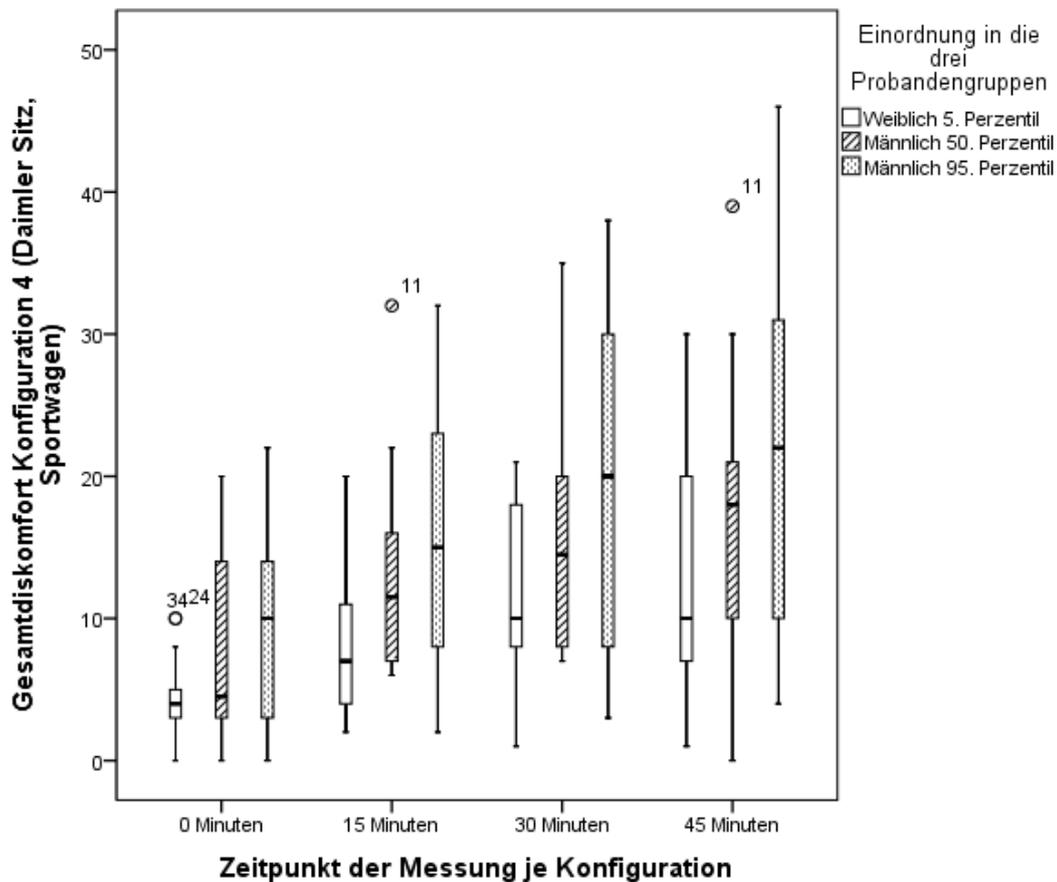


Abbildung 5-9: Box-Plot des Gesamtdiskomforts der vierten Versuchskonfiguration (Daimler Sitz in Sportwagen-Package) über alle Messzeitpunkte aufgeteilt in die drei Probandengruppen

Abbildung 5-9 zeigt die Verteilung der Diskomfortwerte für die vierte Konfiguration (Daimler Sitz mit Sportwagen-Package). Hier liegt der Median der Gruppe F05 an jedem Messzeitpunkt unterhalb der Mediane der anderen Gruppen und auch die Streuung der Gruppe der Frauen des 5. Perzentils Körperhöhe ist, mit Ausnahme des zweiten Messzeitpunkts, kleiner als bei den anderen Gruppen. Die Probandengruppe M95 hat durchgehend die größte Streuung und den höchsten Median. Bei der Gruppe F05 liegen nur die Versuchspersonen 34 und 24 mit einem Gesamtdiskomfortwert von 10 außerhalb der Verteilung zum ersten Messzeitpunkt. Bei der Gruppe der Männer des 50. Körperhöhenperzentils liegt Versuchsperson 11 außerhalb bei den Messungen nach 15 und nach 45 Minuten. Auch bei dieser Konfiguration sind die Verteilungen zum größten Teil schief, mit Ausnahme der Verteilung (Ausreißer sind hier ausgeschlossen) der Gruppe F05 am ersten Messzeitpunkt.

Experimentelle Diskomfortuntersuchung auf Fahrzeugsitzen

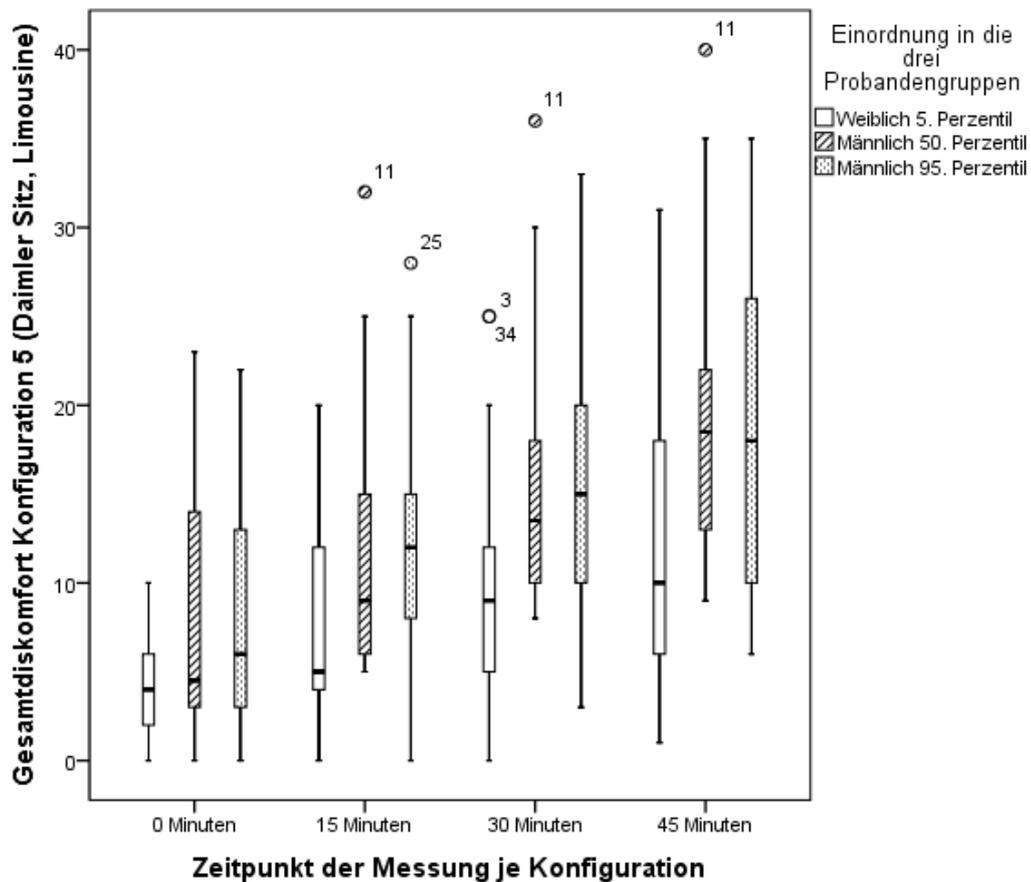


Abbildung 5-10: Box-Plot des Gesamtdiskomforts der fünften Versuchskonfiguration (Daimler Sitz in Limousinen-Package) über alle Messzeitpunkte aufgeteilt in die drei Probandengruppen

Abbildung 5-10 zeigt die Verteilung der Diskomfortwerte für die fünfte Konfiguration (Daimler Sitz mit Limousinen-Package). Auch bei dieser Konfiguration liegen die Verteilungen (inkl. Median) der Gruppe F05 an jedem Messzeitpunkt unter denen der anderen beiden Gruppen. Der Median der Gruppe M50 liegt bei den ersten drei Messpunkten unterhalb des Medianes der Gruppe M95. Am vierten Messzeitpunkt liegt der Median der Gruppe M50 leicht oberhalb der Gruppe M95. Die größte Streuung liegt, nach Ausschluss der Ausreißer, bei der Gruppe F05 am vierten Messzeitpunkt vor. Ausreißer gibt es bei allen drei Probandengruppen. Die Versuchspersonen 3 und 34 erzeugen Ausreißer in der Gruppe F05 bei der Messung nach 30 Minuten. Bei der Gruppe M50 liegt die Versuchsperson 11 an den letzten drei Messungen außerhalb der Verteilung. Versuchsperson 25 erzeugt einen Ausreißer bei der Gruppe M95 am zweiten Messzeitpunkt. Alle Verteilungen der drei Probandengruppen sind an allen Messzeitpunkten schief.

Experimentelle Diskomfortuntersuchung auf Fahrzeugsitzen

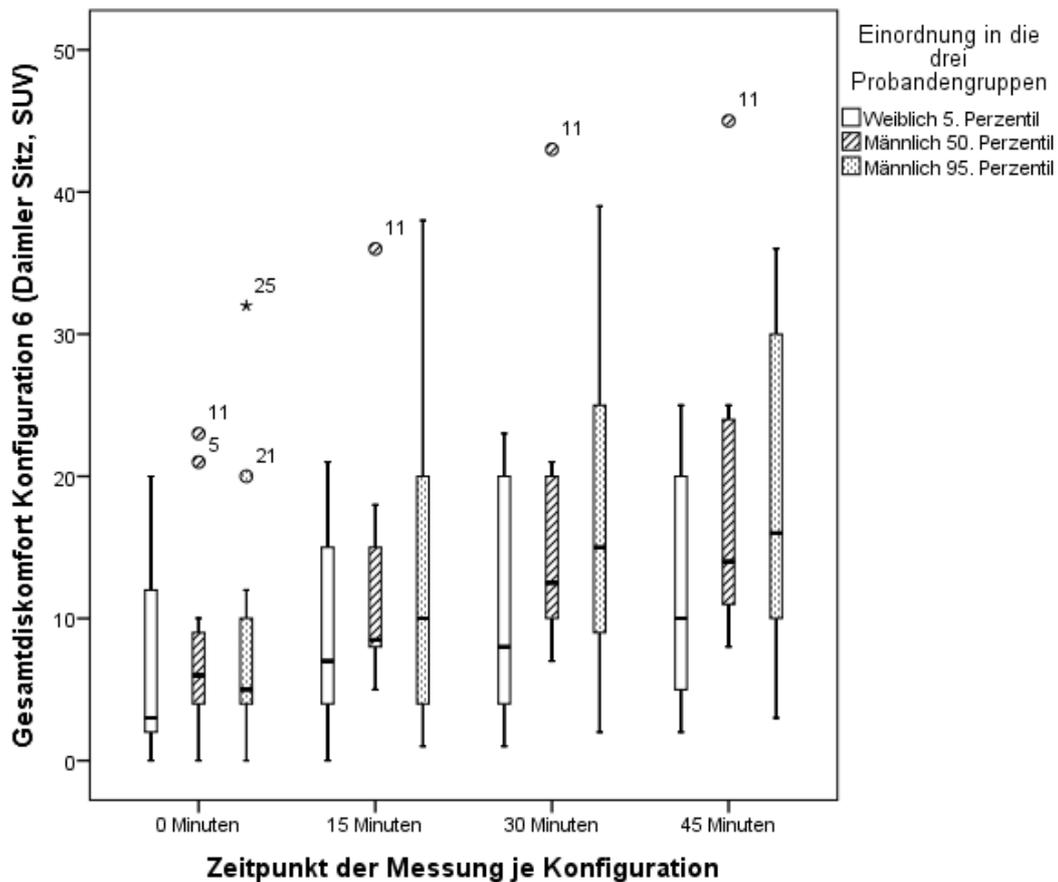


Abbildung 5-11: Box-Plot des Gesamtdiskomforts der sechsten Versuchskonfiguration (Daimler Sitz in SUV-Package) über alle Messzeitpunkte aufgeteilt in die drei Probandengruppen

Abbildung 5-11 zeigt die Verteilung der Diskomfortwerte für die sechste Konfiguration (Daimler Sitz mit SUV-Package). Die Mediane der Verteilungen der Gruppe F05 liegen bei allen Messungen unterhalb derer der anderen Gruppen. Die Verteilungen der Gruppe M50 sind, ohne die Ausreißer, zu allen Messzeitpunkten kleiner als die der beiden anderen Probandengruppen. Die größte Streuung liegt am zweiten Messpunkt bei der Gruppe M95 vor, da am ersten Messzeitpunkt die Werte der Versuchspersonen 21 und 25 als Ausreißer gewertet werden. Versuchsperson 11 liegt bei allen Messzeitpunkten außerhalb der Verteilung der Gruppe M50. Der Gesamtdiskomfortwert der Versuchsperson 5 liegt zum ersten Messzeitpunkt außerhalb der Verteilung der Gruppe M50. Die Verteilungen aller Probandengruppen sind an allen Messzeitpunkten schief.

Experimentelle Diskomfortuntersuchung auf Fahrzeugsitzen

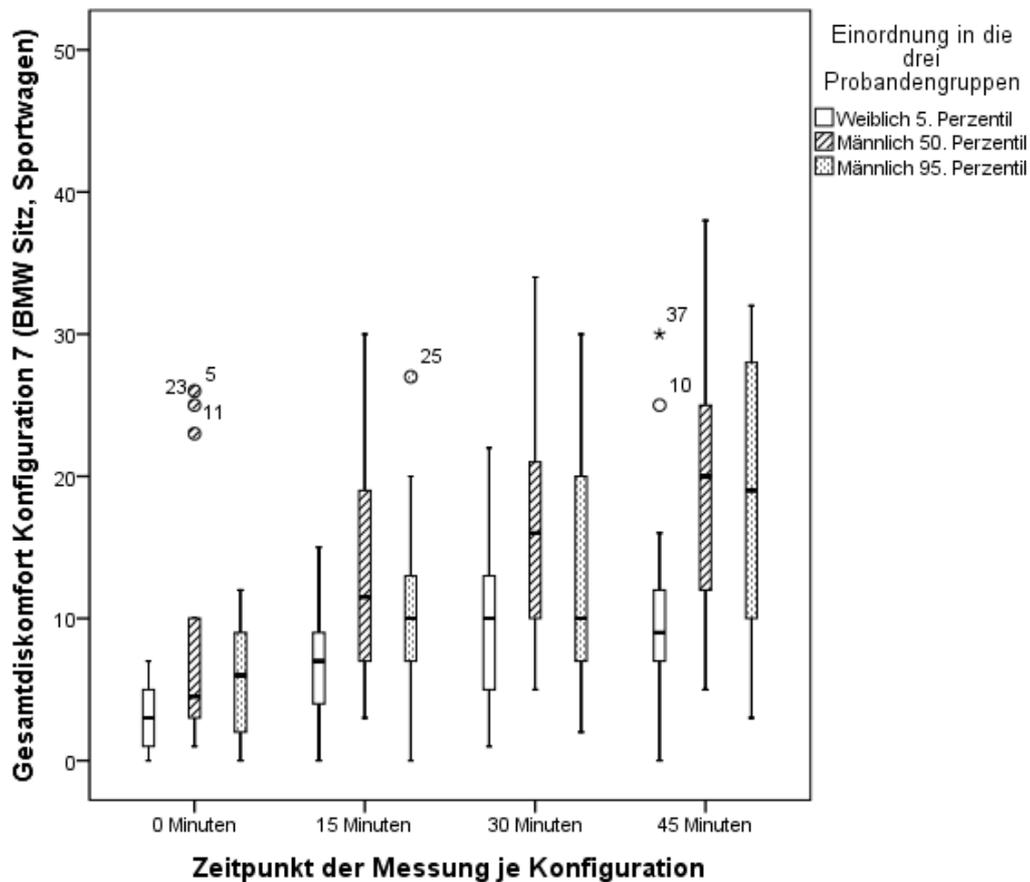


Abbildung 5-12: Box-Plot des Gesamtdiskomforts der siebten Versuchskonfiguration (BMW Sitz in Sportwagen-Package) über alle Messzeitpunkte aufgeteilt in die drei Probandengruppen

Abbildung 5-12 zeigt die Verteilung der Diskomfortwerte für die siebte Konfiguration (BMW Sitz mit Sportwagen-Package). Auch bei dieser Konfiguration sind die Mediane und die Streuung der Probandengruppe F05 geringer als die der anderen Probandengruppen. Männer des 50. Körperhöhenperzentils haben bei den Messungen nach 15, 30 und 45 Minuten den höchsten Median und die größte Verteilung der Gesamtdiskomfortwerte. Die Streuungen nehmen bei allen Probandengruppen mit der Zeit zu, die größte Streuung liegt, ohne die Ausreißer zu berücksichtigen, bei der Gruppe M50 am vierten Messzeitpunkt vor. Bei dieser Konfiguration gibt es Ausreißer bei allen drei Probandengruppen. Am ersten Messzeitpunkt liegen die Werte der Versuchspersonen 5, 11 und 23 außerhalb der Verteilung der Probandengruppe M50. Am zweiten Messzeitpunkt liegt der Gesamtdiskomfortwert der Versuchsperson 25 oberhalb der Verteilung der Männer des 95. Körperhöhenperzentils. Die Versuchspersonen 10 und 37 liegen am vierten Messzeitpunkt als Ausreißer außerhalb der Verteilung der Gruppe F05. Alle Verteilungen sind schief.

Experimentelle Diskomfortuntersuchung auf Fahrzeugsitzen

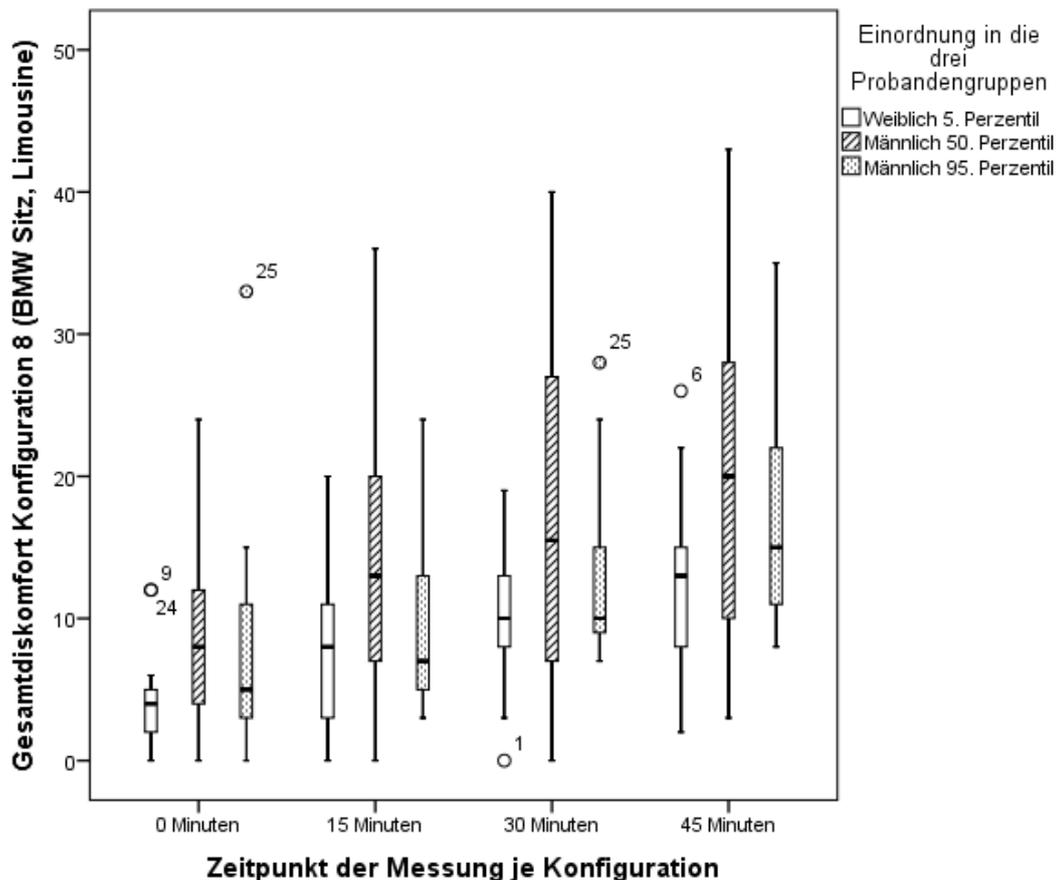


Abbildung 5-13: Box-Plot des Gesamtdiskomforts der achten Versuchskonfiguration (BMW Sitz in Limousinen-Package) über alle Messzeitpunkte aufgeteilt in die drei Probandengruppen

Abbildung 5-13 zeigt die Verteilung der Diskomfortwerte für die achte Konfiguration (BMW Sitz mit Limousinen-Package). Bei dieser Konfiguration ist der Median der Probandengruppe M50 immer oberhalb der anderen beiden Probandengruppen und die Streuung der Verteilungen dieser Gruppe ist durchgehend am größten. Der Median der Gruppen F05 und M95 sind bei allen Messzeitpunkten ähnlich, wobei die Streuung der Probandengruppe der Frauen des 5. Körperhöhenperzentils kleiner ist als die der anderen beiden Gruppen. Bei dieser Konfiguration liegen Werte von Versuchspersonen der Gruppen F05 und M95 als Ausreißer vor. Bei der Gruppe der sehr kleinen Frauen liegen die Versuchspersonen 9 und 24 bei der ersten Messung, Versuchsperson 1 bei der dritten Messung und Versuchsperson 6 am vierten Messzeitpunkt außerhalb der Verteilungen. In der Probandengruppe M95 liegt Versuchsperson 25 bei der ersten und der dritten Messung oberhalb der Verteilung. Alle Verteilungen sind schief, wobei die Verteilung der Probandengruppe F05 bei der Messung nach 30 Minuten nahezu symmetrisch ist.

Experimentelle Diskomfortuntersuchung auf Fahrzeugsitzen

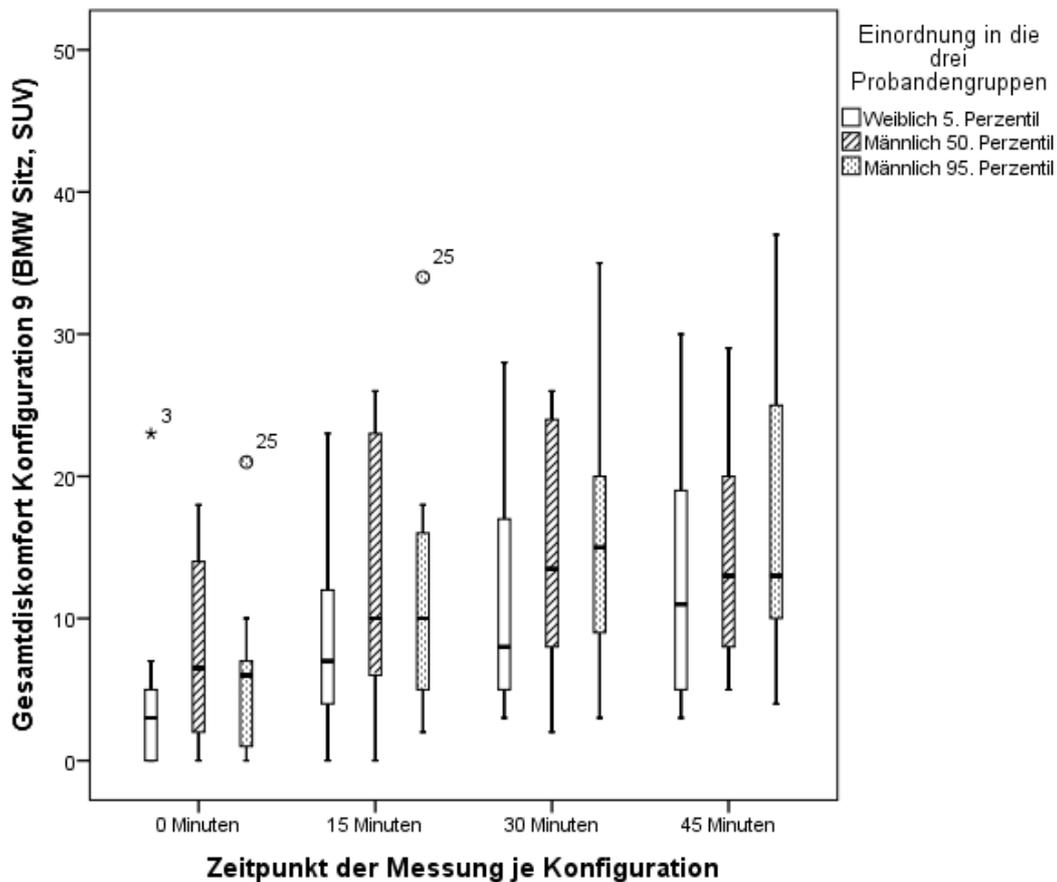


Abbildung 5-14: Box-Plot des Gesamtdiskomforts der neunten Versuchskonfiguration (BMW Sitz in SUV-Package) über alle Messzeitpunkte aufgeteilt in die drei Probandengruppen

Abbildung 5-14 zeigt die Verteilung der Diskomfortwerte für die neunte Konfiguration (BMW Sitz mit SUV-Package). Die Probandengruppe F05 hat an allen Messzeitpunkten den niedrigsten Median. Welche Probandengruppe die kleinste Streuung hat, ist uneinheitlich über die Messzeitpunkte. Bei der ersten Messung hat die Probandengruppe F05 die geringste Streuung, nach 15 Minuten die Gruppe M95 und an den letzten beiden Messzeitpunkten ist die Streuung der mittelgroßen Männer am kleinsten. Im Vergleich zu den vorherigen Konfigurationen sind die Unterschiede der Mediane und der Streuungen zwischen den drei Probandengruppen kleiner. Versuchsperson 3 gibt bei der ersten Messung einen Gesamtdiskomfortwert an, der deutlich oberhalb der Verteilung der Probandengruppe F05 liegt und als extremer Ausreißer angesehen werden kann. Versuchsperson 25 liegt an den ersten beiden Messzeitpunkten oberhalb der Verteilung der Gruppe M95. Alle Verteilungen der drei Probandengruppen sind schief.

Experimentelle Diskomfortuntersuchung auf Fahrzeugsitzen

Die Diskomfortbewertungen der einzelnen Konfigurationen über die Messzeitpunkte zeigen trotz der Gruppierung in die drei Probandengruppen große Streuungen. Die Versuchspersonen wurden gezielt für diese drei Probandengruppen ausgewählt, basierend auf definierten Körpergrößenbereichen (vgl. Kapitel 5.2.1, S. 45 ff.). Das Körpergewicht variiert zwischen den Versuchspersonen und innerhalb der Probandengruppen, wie in Tabelle 5-4 (S. 55) zu sehen ist. Der Zusammenhang zwischen Körpergröße und Gewicht kann als Korpulenz angesehen werden.

Um den Einfluss der Korpulenz auf die Diskomfortbewertung abzuschätzen, wurden die Versuchspersonen noch weiter unterteilt. Dazu wurde der Body-Mass-Index (BMI) gemäß Formel (9) berechnet.

$$BMI = \frac{\text{Körpergewicht [kg]}}{\text{Körpergröße [m]}^2}. \quad (9)$$

Anschließend wurden die Versuchspersonen gemäß der Richtlinie der Weltgesundheitsorganisation (WHO, 2018) in unter- (BMI < 18,5), normal- und übergewichtige (BMI > 24,9) Personen eingeteilt. Ab einem BMI von 30,0 liegt eine Person laut WHO (2018) im Adipositas-Bereich, dies ist bei keiner Versuchsperson der Fall. Die Verteilung der Versuchspersonen hinsichtlich der BMI Klassifizierung in unter-, normal- und übergewichtig sind in Tabelle 5-5 zu sehen.

Tabelle 5-5: Anzahl der Versuchspersonen, Mittelwert des BMIs und Standardabweichung des BMIs je Probandengruppe aufgeteilt in unter-, normal- und übergewichtig (WHO, 2018)

Gruppe		Untergewichtig (BMI < 18,5)	Normalgewichtig	Übergewichtig (BMI > 24,9)
F05	Anzahl N	0	8	5
	MW (SD)	-	21,86 (1,21)	27,92 (1,61)
M50	Anzahl N	0	4	10
	MW (SD)	-	22,98 (0,83)	26,80 (1,46)
M95	Anzahl N	0	9	4
	MW (SD)	-	22,76 (2,07)	25,95 (1,05)

Anhand der Informationen aus Tabelle 5-5 ist zu sehen, dass sich die Verteilung des BMI in den Probandengruppen unterscheidet. Keine der 40 Versuchspersonen ist im Bereich des Untergewichts. Und während in den Gruppen F05 und M95 mehrheitlich

Experimentelle Diskomfortuntersuchung auf Fahrzeugsitzen

normalgewichtige Probanden sind, sind in der Gruppe M50 nur vier von 14 Versuchspersonen normalgewichtig.

Um einen möglichen Einfluss der Korpulenz auf die Gesamtdiskomfortbewertung zu zeigen, werden wieder Box-Plots erstellt, gruppiert in die Probandengruppen und aufgeteilt in normal- und übergewichtige Versuchspersonen.

Dabei zeigt sich, dass sich die Verteilungen zwischen normal- und übergewichtigen Personen deutlich unterscheiden. Die Höhen der Mediane und die Ausmaße der Streuungen sind verschieden. Außerdem gibt es einen Unterschied, welche Probandengruppe den höheren Median des Gesamtdiskomforts hat, abhängig davon ob normalgewichtige und übergewichtige Versuchspersonen betrachtet werden.

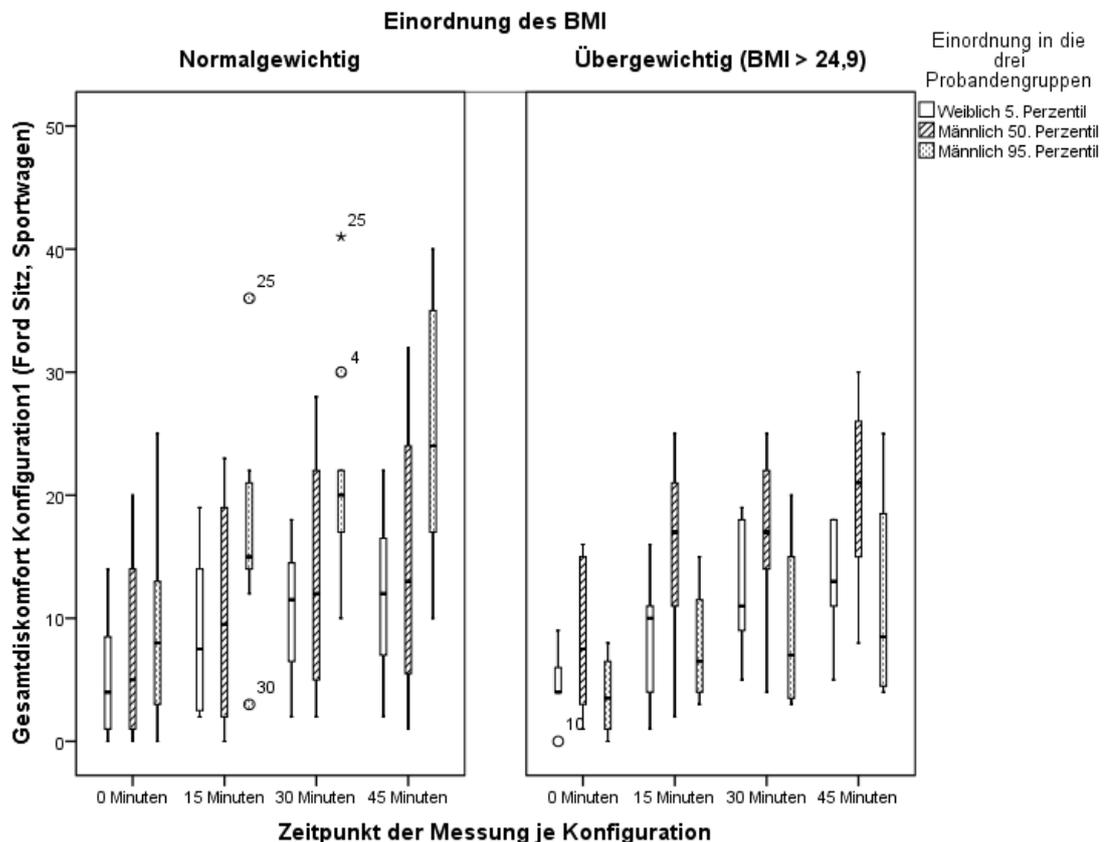


Abbildung 5-15: Box-Plot des Gesamtdiskomforts der ersten Versuchskonfiguration über alle Messzeitpunkte aufgeteilt in die drei Probandengruppen getrennt für normal- und übergewichtige Probanden

Abbildung 5-15 zeigt die Verteilungen der Gesamtdiskomfortwerte für die erste Konfiguration, analog zu Abbildung 5-6 (S. 59), aufgeteilt in normal- und übergewichtige Probanden. Zu beachten ist, dass die Verteilungen sehr unterschiedlich sind zwischen den Probandengruppen und innerhalb der Probandengruppen je nach BMI-Einteilung.

Grundsätzlich sind die Streuungen bei den Verteilungen der normalgewichtigen Probanden größer, als bei den Versuchspersonen mit einem BMI im Bereich des Übergewichts. Die größte Streuung tritt bei den normalgewichtigen Männern des 50. Körperhöhenperzentils am vierten Messzeitpunkt auf. Diese Verteilung basiert auf den Bewertungen von vier Personen (vgl. Tabelle 5-5, S. 68) und streut zwischen einem Gesamtdiskomfort von 1 und 32. Den höchsten Median des Gesamtdiskomforts hat die Probandengruppe der Männer des 95. Körperhöhenperzentils bei den normalgewichtigen Versuchspersonen und die Männer mittlerer Körperhöhe bei den Übergewichtigen. Das entspricht jeweils der Gruppe mit den meisten Personen, wie in Tabelle 5-5 (S. 68) zu sehen ist.

Auch bei den Box-Plots der anderen Konfigurationen (zu finden in Anhang 6, S. 140 ff.) sind die Ergebnisse mit denen der ersten Konfiguration vergleichbar. Die daraus gezogenen Erkenntnisse können ein Hinweis darauf sein, dass der BMI der Versuchsperson einen Einfluss auf deren Diskomfortbewertung hat. Da jedoch die Anzahl der Versuchspersonen in den nach BMI eingeteilten Gruppen nicht einheitlich ist, wird an dieser Stelle nicht weiter darauf eingegangen. Der BMI wird dennoch bei den folgenden Analysen der Ergebnisse als Einflussfaktor auf die Diskomfortbewertung in Betracht gezogen und berücksichtigt.

5.4.2 Mehrfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung

Für die Überprüfung der Hypothesen H1 bis H4 (Kapitel 5.1, S. 43 ff.) wurde eine mehrfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung durchgeführt. Als Innersubjektfaktoren wurden der Sitz (dreistufig: Ford, Daimler, BMW), das Package (dreistufig: Sportwagen, Limousine, SUV) und der Zeitpunkt der Bewertung je Konfiguration (vierstufig: 0, 15, 30, 45 Minuten) definiert. Die Zwischensubjektfaktoren waren die Probandengruppe (F05, M50, M95) und, basierend auf den Erkenntnissen aus der deskriptiven Analyse der Daten, zusätzlich die Einordnung des BMIs der Versuchspersonen (normalgewichtig, übergewichtig). Die abhängige Variable war der Gesamtdiskomfort.

5.4.2.1 Ergebnisse der mehrfaktoriellen Varianzanalyse

Es werden die Haupteffekte und relevante Interaktionseffekte beschrieben. Alle Effekte sind nach Greenhouse-Geisser korrigiert.

Die Effektstärken wurden berechnet mit den Formeln:

$$r = \sqrt{\frac{F(1,df_R)}{F(1,df_R)+df_R}} \text{ und } d = \frac{2r}{\sqrt{1-r^2}}. \quad (10) (11)$$

Der Haupteffekt des Sitzes auf die Gesamtdiskomfortbewertung ist nicht signifikant, $F(1.77, 60.21) = 1.643$, $p = 0.20$, was bedeutet, dass die Versuchspersonen die Sitze nicht signifikant unterschiedlich bewerten. Die Innersubjektkontraste zeigen, dass es über alle drei Probandengruppen und unabhängig von der BMI-Einteilung keinen signifikanten Unterschied der Gesamtdiskomfortbewertung gibt zwischen dem Sitz von Ford und dem von Daimler, $F(1, 34) = 2.437$, $p = 0.13$, $r = 0.26$ ($d = 0.54$), dem von Daimler und dem von BMW, $F(1, 34) = 2.811$, $p = 0.10$, $r = 0.28$ ($d = 0.48$), sowie dem Sitz von Ford und BMW, $F(1, 34) = 0.127$, $p = 0.72$, $r = 0.06$ ($d = 0.12$).

Der Haupteffekt des Packages auf die Gesamtdiskomfortbewertung ist nicht signifikant, $F(1.90, 64.72) = 2.37$, $p = 0.10$, was bedeutet, dass die Versuchspersonen die Fahrzeug-Packages nicht signifikant unterschiedlich bewerten. Die Innersubjektkontraste zeigen, dass es über alle drei Probandengruppen und unabhängig von der BMI-Einteilung keinen signifikanten Unterschied der Gesamtdiskomfortbewertung gibt zwischen dem Sportwagen- und dem Limousinen-Package, $F(1, 34) = 0.756$, $p = 0.39$, $r = 0.15$ ($d = 0.30$), dem Limousinen- und dem SUV-Package, $F(1, 34) = 1.874$, $p = 0.18$, $r = 0.23$ ($d = 0.47$), sowie dem Sportwagen- und dem SUV-Package, $F(1, 34) = 3.865$, $p = 0.58$, $r = 0.32$ ($d = 0.68$).

Der Haupteffekt des Zeitpunkts der Bewertung je Konfiguration (Sitzdauer) auf den Gesamtdiskomfort ist signifikant, $F(1.34, 45.64) = 136.17$, $p < 0.001$. Die Innersubjektkontraste zeigen über alle drei Probandengruppen und unabhängig von der BMI-Einteilung einen signifikanten Unterschied der Gesamtdiskomfortbewertung zwischen der Bewertung direkt nach dem Hinsetzen (0 Minuten) und der Bewertung nach 15 Minuten, $F(1, 34) = 151.263$, $p < 0.001$, $r = 0.90$ ($d = 4.13$), der Bewertung nach 15 Minuten und der nach 30 Minuten, $F(1, 34) = 89.256$, $p < 0.001$, $r = 0.85$ ($d = 3.23$).

sowie der Bewertung nach 30 Minuten und der nach 45 Minuten, $F(1, 34) = 49.924$, $p < 0.001$, $r = 0.77$ ($d = 2.41$). Den größten Effekt der Zeit zeigt der Unterschied zwischen der Bewertung direkt nach dem Hinsetzen (0 Minuten) und der Bewertung nach 30 Minuten, $F(1, 34) = 178.034$, $p < 0.001$, $r = 0.92$ ($d = 4.70$).

Der signifikante Effekt des Messzeitpunkts je Konfiguration führt dazu, dass die Hypothese H4 aus Kapitel 5.1 (S. 45) angenommen werden kann.

Der Haupteffekt der Probandengruppe ist nicht signifikant, $F(1, 34) = 1.319$, $p = 0.28$, $r = 0.19$ ($d = 0.39$). Dies deutet darauf hin, dass sich die Bewertungen des Gesamtdiskomforts durch sehr kleine Frauen (ungefähr 5. Perzentil der Körperhöhe), mittelgroße Männer (ca. 50. Perzentil der Körperhöhe) und sehr große Männer (ca. 95. Perzentil der Körperhöhe) nicht unterscheiden.

Auch der Haupteffekt der BMI Einteilung (normal- oder übergewichtig) ist nicht signifikant, $F(1, 34) = 0.280$, $p = 0.60$, $r = 0.09$ ($d = 0.18$). Dies deutet darauf hin, dass sich die Bewertungen des Gesamtdiskomforts durch normalgewichtige und übergewichtige Versuchspersonen nicht unterscheiden.

Es ist nur der Interaktionseffekt zwischen Zeitpunkt, Probandengruppe und BMI-Einteilung signifikant, $F(2.69, 45.64) = 3.993$, $p = 0.02$. Da dieser Interaktionseffekt nicht relevant ist für die Überprüfung der Hypothesen aus Kapitel 5.1 (S. 43 ff.), wird nicht weiter darauf eingegangen.

Da alle anderen für die Überprüfung der Hypothesen aus Kapitel 5.1 (S. 43 ff.) relevanten Interaktionseffekte nicht signifikant sind, müssen die Hypothesen H1, H2 und H3 abgelehnt werden.

5.4.3 Modellierung des Einflusses der Versuchsparameter

Die Ergebnisse der mehrfaktoriellen Varianzanalyse (Kapitel 5.4.2.1, S. 71 ff.) zeigen, dass der Zeitpunkt der Messung einen signifikanten Einfluss auf die Gesamtdiskomfortbewertung hat. Die verschiedenen Sitze und Fahrzeug-Packages haben jedoch keinen signifikanten Einfluss auf die Gesamtdiskomfortbewertung der Versuchspersonen.

Experimentelle Diskomfortuntersuchung auf Fahrzeugsitzen

Wie groß der signifikante Einfluss des Messzeitpunkts auf die Gesamtdiskomfortbewertung ist, wird im Folgenden mit der ersten multiplen Regression bestimmt. Auch die anderen gezielt variierten unabhängigen Variablen des Versuchs, also der Sitz (Ford, Daimler oder BMW Sitz), das Package (Sportwagen, Limousine oder SUV) und die Probandengruppe (vgl. Kapitel 5.2.4, S. 55), flossen als Prädiktoren in das Modell ein, um die Ergebnisse aus der Varianzanalyse zu überprüfen. Zusätzlich wurde der BMI-Wert einbezogen, um die Erkenntnisse aus Kapitel 5.4.1.1 (S. 58 ff.) zu berücksichtigen.

Die Variablen Probandengruppe, Sitz und Package sind nominale Daten und können daher nicht direkt als Prädiktoren eingesetzt werden. Es wurden dafür Dummy-Variablen erstellt und die Daten dementsprechend umcodiert (Field, 2018, 508 ff.). Bei Dummy-codierten Prädiktoren nehmen die Prädiktoren im Modell entweder den Wert 0 oder 1 an. Für die Probandengruppe, den Sitz und das Package gibt es jeweils zwei Dummy-Variablen. Wenn beide Dummy-Variablen 0 sind, geht die Referenzkategorie als Prädiktor in das Modell ein. Die Referenzkategorien sind bei der Probandengruppe die kleinen Frauen, beim Sitz der Ford-Sitz und beim Package das Sportwagen-Package.

Im Rahmen der multiplen Regressionsanalyse wurden die Prädiktoren schrittweise hinzugefügt, sodass insgesamt fünf Modelle (vgl. Tabelle 5-6) entwickelt wurden.

Tabelle 5-6: Aufgenommene Prädiktoren je Modell der ersten multiplen, linearen Regression zur Vorhersage der abhängigen Variable Gesamtdiskomfort. Die durchgeführte Regression bestimmt den Einfluss der Variablen Probandengruppe, Sitz, Package, Messzeitpunkt und BMI-Wert der Versuchsperson.

Modell	Aufgenommene Variable	Methode
1.1	Kleine Frauen vs. Große Männer, Kleine Frauen vs. Mittlere Männer	Einschluss
1.2	Ford Sitz vs. BMW Sitz, Ford Sitz vs. Daimler Sitz	Einschluss
1.3	Sportwagen vs. SUV, Sportwagen vs. Limousine	Einschluss
1.4	Zeitpunkt der Messung je Konfiguration	Einschluss
1.5	BMI-Wert der Versuchsperson	Einschluss

Kapitel 3 (S. 6 ff.) zeigt, dass der Begriff Diskomfort nicht zum alltäglichen Sprachgebrauch im Deutschen zählt, weshalb gemäß Ellermeier et al. (1991, S. 160) eine Diskomfortskala von Versuchspersonen nicht absolut angewendet werden kann. Stattdessen werden die Versuchspersonen immer relativ innerhalb der einzelnen Versuchstermine bewerten. Eine zweite Regressionsanalyse wird das überprüfen.

Experimentelle Diskomfortuntersuchung auf Fahrzeugsitzen

Auch bei der zweiten Regressionsanalyse werden die Probandengruppe (wieder Dummy-codiert), der BMI-Wert der Versuchsperson und der Zeitpunkt der Messung je Konfiguration als Prädiktoren eingesetzt. Im Unterschied zur ersten Regressionsanalyse werden als weitere Prädiktoren der Versuchstermin (erster, zweiter oder dritter) und die Reihenfolge der Konfigurationen je Versuchstermin (erste, zweite oder dritte) verwendet. Ebenso wurden bei der zweiten multiplen, linearen Regressionsanalyse die Prädiktoren schrittweise hinzugefügt, um den Einfluss der einzelnen besser bestimmen zu können. Es wurden insgesamt ebenfalls fünf Modelle entwickelt, wie in Tabelle 5-7 zu sehen.

Tabelle 5-7: Aufgenommene Prädiktoren je Modell der zweiten multiplen, linearen Regression zur Vorhersage der abhängigen Variable Gesamtdiskomfort. Die durchgeführte Regression bestimmt den Einfluss der Parameter Probandengruppe, BMI-Wert der Versuchsperson, Versuchstermin, Reihenfolge der Konfigurationen je Termin und Messzeitpunkt.

Modell	Aufgenommene Variable	Methode
2.1	Kleine Frauen vs. Große Männer, Kleine Frauen vs. Mittlere Männer	Einschluss
2.2	BMI-Wert der Versuchsperson	Einschluss
2.3	Versuchstermin	Einschluss
2.4	Reihenfolge der Konfigurationen je Termin	Einschluss
2.5	Zeitpunkt der Messung je Konfiguration	Einschluss

5.4.3.1 Ergebnisse der Regressionsanalysen

Durch das schrittweise Hinzufügen der gewählten Prädiktoren kann nachvollzogen werden, welche Faktoren einen signifikanten Beitrag zur Varianzaufklärung der abhängigen Variablen leisten. Auch wie hoch der Anteil der einzelnen Faktoren an der Varianzaufklärung ist und wie gut das Modell verallgemeinert, kann im Rahmen der Regressionsanalyse bestimmt werden.

Als Erstes werden die Ergebnisse der ersten Regressionsanalyse dargestellt, welche die Prädiktoren aus Tabelle 5-6 (S. 73) stufenweise einbezieht.

Die durchgeführten F-Tests zeigen, dass alle Modelle als Ganzes signifikant sind ($F_{1.1} (2,1437) = 46.367, p < 0,001$; $F_{1.2} (4,1435) = 23.693, p < 0,001$; $F_{1.3} (6,1433) = 16.612, p < 0,001$; $F_{1.4} (7,1432) = 61.037, p < 0,001$; $F_{1.5} (8,1431) = 53.768, p < 0,001$) und die Regressionsanalyse fortgesetzt werden kann.

Experimentelle Diskomfortuntersuchung auf Fahrzeugsitzen

Tabelle 5-8 zeigt die Ergebnisse der einzelnen Modelle der ersten multiplen, linearen Regressionsanalyse. Diese umfassen den Aufklärungsanteil an der Varianz des Gesamtdiskomforts der unabhängigen Variablen Probandengruppe, Sitz, Package, Messzeitpunkt und BMI-Wert der Versuchsperson sowie die Signifikanz des Einflusses.

Tabelle 5-8: Zusammenfassung der Modelle der ersten Regressionsanalyse mit Höhe der Varianzaufklärung (R_2), deren Änderung (ΔR_2), dem korrigierten Bestimmtheitsmaß für die multiple Regression (Korr. R_2) sowie der Veränderung des F-Werts (ΔF) durch die hinzugefügten Prädiktoren. Das Signifikanzniveau (p) bezieht sich auf die Änderung der Modelle.

Modell	R_2	Korr. R_2	ΔR_2	ΔF	p
1.1	0,061	0,059	0,061	46,37	< 0,001
1.2	0,062	0,059	0,001	1,02	0,362
1.3	0,065	0,061	0,003	2,36	0,095
1.4	0,230	0,226	0,165	306,35	< 0,001
1.5	0,231	0,227	0,001	2,45	0,118

Die Ergebnisse der Regressionsmodelle zeigen, dass die Probandengruppe (Modell 1.1) ungefähr 6 % (korr. R_2) der Varianz des Gesamtdiskomforts aufklärt ($p_{1.1} < 0,001$), dies entspricht einem minimalen Effekt der Probandengruppe auf den Gesamtdiskomfort (korr. $R_2 \geq 0,4$) (Ferguson, 2009). Die Prädiktoren Sitz und Package (Modelle 1.2 und 1.3) verbessern nicht signifikant ($p_{1.2} = 0,362$; $p_{1.3} = 0,095$) die Varianzaufklärung des Gesamtdiskomforts. Durch das Hinzufügen des Messzeitpunkts als Prädiktor erhöht sich die Varianzaufklärung des Gesamtdiskomforts signifikant ($p_{1.4} < 0,001$) auf insgesamt 22,6 %. Der Messzeitpunkt alleine klärt folglich 16,5 % (ΔR_2 in Modell 4) der Varianz des Gesamtdiskomforts auf, dies entspricht einem minimalen Effekt des Messzeitpunkts bzw. der Sitzdauer mit Tendenz zu einem mittleren Effekt ($0,4 \leq \Delta R_2 \leq 0,25$) (Ferguson, 2009). Der BMI-Wert der Versuchspersonen verbessert die Varianzaufklärung nicht signifikant ($p_{1.5} = 0,118$). Laut Ferguson (2009) entspricht der korrigierte Determinationskoeffizient (korr. R_2) von 0,23 einem kleinen Effekt knapp unter der Grenze zu einem mittleren Effekt (korr. $R_2 \geq 0,25$).

Die Tabelle 5-9 zeigt die Modellparameter der ersten Regressionsanalyse. Diese sind der Regressionskoeffizient (b), der Standardfehler des Regressionskoeffizienten (SE b), der standardisierte Regressionskoeffizient (β) und das Signifikanzniveau (p) des Regressionskoeffizienten.

Experimentelle Diskomfortuntersuchung auf Fahrzeugsitzen

Der Regressionskoeffizient quantifiziert den Zusammenhang zwischen dem einzelnen Prädiktor und dem Gesamtdiskomfort unter der Annahme, dass die anderen Prädiktoren konstant gehalten werden. Der Regressionskoeffizient von Dummy-Variablen entspricht der Mittelwertdifferenz zwischen der entsprechenden Gruppe und der Referenzkategorie. Der standardisierte Regressionskoeffizient ist über alle Prädiktoren hinweg auf Standardabweichungen transformiert und ermöglicht so eine Vergleichbarkeit der Effekte der einzelnen Prädiktoren.

Tabelle 5-9: Die Modellparameter Regressionskoeffizient (b), dessen Standardfehler (SE b), der standardisierte Koeffizient (β) und das dazugehörige Signifikanzniveau (p) der ersten Regressionsanalyse

Modell		b	SE b	β	p
1.1	(Konstante)	8,75	0,41		< 0,001
	kleine Frauen vs. mittlere Männer	4,86	0,57	0,25	< 0,001
	kleine Frauen vs. große Männer	4,77	0,58	0,24	< 0,001
1.2	(Konstante)	8,60	0,53		< 0,001
	kleine Frauen vs. mittlere Männer	4,86	0,57	0,25	< 0,001
	kleine Frauen vs. große Männer	4,77	0,58	0,24	< 0,001
	Ford vs. Daimler	0,62	0,57	0,03	0,278
	Ford vs. BMW	-0,15	0,57	-0,01	0,797
1.3	(Konstante)	9,19	0,62		< 0,001
	kleine Frauen vs. mittlere Männer	4,86	0,57	0,25	< 0,001
	kleine Frauen vs. große Männer	4,77	0,58	0,24	< 0,001
	Ford vs. Daimler	0,62	0,57	0,03	0,277
	Ford vs. BMW	-0,15	0,57	-0,01	0,796
	Sportwagen vs. Limousine	-0,54	0,57	-0,03	0,347
1.4	(Konstante)	0,87	0,74		0,237
	kleine Frauen vs. mittlere Männer	4,86	0,51	0,25	< 0,001
	kleine Frauen vs. große Männer	4,77	0,53	0,24	< 0,001
	Ford vs. Daimler	0,62	0,52	0,03	0,231
	Ford vs. BMW	-0,15	0,52	-0,01	0,776
	Sportwagen vs. Limousine	-0,54	0,52	-0,03	0,300
	Sportwagen vs. SUV	-1,24	0,52	-0,06	0,017
	Zeitpunkt der Messung je Konfiguration	3,33	0,19	0,41	< 0,001

Experimentelle Diskomfortuntersuchung auf Fahrzeugsitzen

Modell	b	SE b	β	p
1.5 (Konstante)	4,01	2,14		0,061
kleine Frauen vs. mittlere Männer	5,06	0,53	0,26	< 0,001
kleine Frauen vs. große Männer	4,71	0,53	0,24	< 0,001
Ford vs. Daimler	0,62	0,52	0,03	0,231
Ford vs. BMW	-0,15	0,52	-0,01	0,776
Sportwagen vs. Limousine	-0,54	0,52	-0,03	0,300
Sportwagen vs. SUV	-1,24	0,52	-0,06	0,017
Zeitpunkt der Messung je Konfiguration	3,33	0,19	0,41	< 0,001
BMI Wert der VP	-0,13	0,08	-0,04	0,118

Das Ergebnis der ersten Regressionsanalyse stimmt zum Teil mit den Ergebnissen der mehrfaktoriellen Varianzanalyse aus Kapitel 5.4.2.1 (S. 71 ff.) überein, da bei beiden Analysen der Sitz sowie der BMI-Wert keinen signifikanten Einfluss auf den Gesamtdiskomfort haben. Hinsichtlich des Packages als Prädiktor unterscheidet sich das Ergebnis der Regressionsanalyse etwas. Insgesamt leistet das Package keinen signifikanten Beitrag zum Gesamtdiskomfort (vgl. Tabelle 5-8, S. 75). Die Modellparameter aus Tabelle 5-9 (S. 76) zeigen jedoch, dass es einen signifikanten Unterschied zwischen Sportwagen- und SUV-Package gibt. Der Einfluss auf den Gesamtdiskomfort ist mit einem Mittelwertunterschied von 1,24 (SE b = 0,52) sehr niedrig (Modell 1.5 in Tabelle 5-9). Einen größeren und außerdem signifikanten Einfluss auf den Gesamtdiskomfort hat, im Unterschied zu den Ergebnissen der Varianzanalyse, die Probandengruppe. Der Mittelwert des Gesamtdiskomforts unterscheidet sich zwischen kleinen Frauen und mittleren Männern (F05 vs. M50) sowie zwischen kleinen Frauen und großen Männern (F05 vs. M95) in der Größenordnung 5,06 bzw. 4,71. Den größten, signifikanten Anteil hat, wie bei der Varianzanalyse, der Messzeitpunkt. Der Regressionskoeffizient von 3,33 (SE b = 0,19) (Modell 1.5 in Tabelle 5-9) bedeutet, dass der Gesamtdiskomfort mit jedem Messzeitpunkt um 3,33 steigt.

Um den Einfluss des Versuchstermins und der Konfigurationsreihenfolge zu bestimmen, werden im Folgenden die Ergebnisse der zweiten Regressionsanalyse dargestellt, welche die Prädiktoren aus Tabelle 5-7 (S. 74) stufenweise einbezieht.

Die durchgeführten F-Tests zeigen, dass bei der zweiten Regressionsanalyse alle fünf Modelle signifikant sind ($F_{2.1}(2,1437) = 46.367$, $p < 0,001$; $F_{2.2}(3,1436) = 31.602$,

Experimentelle Diskomfortuntersuchung auf Fahrzeugsitzen

$p < 0,001$; $F_{2.3} (4,1435) = 36.531$, $p < 0,001$; $F_{2.4} (5,1434) = 32.224$, $p < 0,001$; $F_{2.5} (6,1433) = 86.276$, $p < 0,001$).

Tabelle 5-10 fasst die Ergebnisse der zweiten multiplen, linearen Regressionsanalyse zusammen. Gezeigt werden die Höhe und die Signifikanz der Einflüsse der Prädiktoren Probandengruppe, BMI-Wert der Versuchsperson, Versuchstermin, Reihenfolge der Konfigurationen je Termin und Messzeitpunkt auf den Gesamtdiskomfort.

Tabelle 5-10: Zusammenfassung der Modelle der zweiten Regressionsanalyse mit Höhe der Varianzaufklärung (R_2), deren Änderung (ΔR_2), dem korrigierten Bestimmtheitsmaß für die multiple Regression (Korr. R_2) sowie der Veränderung des F-Werts (ΔF) durch die hinzugefügten Prädiktoren. Das Signifikanzniveau (p) bezieht sich auf die Änderung der Modelle.

Modell	R_2	Korr. R_2	ΔR_2	ΔF	p
2.1	0,061	0,059	0,061	46,37	< 0,001
2.2	0,062	0,060	0,001	2,01	0,157
2.3	0,092	0,090	0,030	48,20	< 0,001
2.4	0,101	0,098	0,009	13,70	< 0,001
2.5	0,265	0,262	0,164	320,63	< 0,001

Wie bei der ersten Regressionsanalyse klärt die Probandengruppe (Modell 2.1) bei der zweiten Regressionsanalyse ungefähr 6 % (korr. R_2) der Varianz des Gesamtdiskomforts auf ($p_{2.1} < 0,001$), dies entspricht laut Ferguson (2009) einem minimalen Effekt (korr. $R_2 \geq 0,04$). Der BMI-Wert der Versuchspersonen verbessert die Varianzaufklärung nicht signifikant ($p_{2.2} = 0,157$). Im Gegensatz zu den Prädiktoren Sitz und Package in der ersten Regressionsanalyse (vgl. Tabelle 5-8, S. 75), tragen der Versuchstermin und die Reihenfolge der Konfigurationen je Termin (Modelle 2.3 und 2.4) signifikant ($p_{2.3} < 0,001$; $p_{2.4} < 0,001$) zur Varianzaufklärung des Gesamtdiskomforts bei. Der Prädiktor Versuchstermin klärt 3 % (ΔR_2 Modell 2.3) auf, was laut Ferguson (2009) keinem minimalen Effekt des Parameters entspricht. Die Reihenfolge der Konfigurationen je Versuchstermin trägt 0,9 % (ΔR_2 Modell 2.4) zur Varianzaufklärung bei und ist damit ebenso kein minimaler Effekt (Ferguson, 2009). Der Einfluss des Messzeitpunkts entspricht mit einer Varianzaufklärung von 16,4 % (ΔR_2 Modell 2.5) einem minimalen Effekt mit Tendenz zu einem mittleren Effekt ($0,4 \leq \Delta R_2 \leq 0,25$) (Ferguson, 2009). Durch das Hinzufügen des Messzeitpunkts als Prädiktor erhöht sich die gesamte Varianzaufklärung des Gesamtdiskomforts signifikant ($p_{2.5} < 0,001$) auf insgesamt 26,2 % und ist damit höher als die maximale Varianzaufklärung aller Modelle

Experimentelle Diskomfortuntersuchung auf Fahrzeugsitzen

der ersten Regressionsanalyse. Laut Ferguson (2009) entspricht der korrigierte Determinationskoeffizient (korr. R_2) von 0,26 einem mittleren Effekt (korr. $R_2 \geq 0,25$).

Tabelle 5-11 zeigt die Modellparameter der zweiten Regressionsanalyse. Diese sind der Regressionskoeffizient (b), der Standardfehler des Regressionskoeffizienten (SE b), der standardisierte Regressionskoeffizient (β) und das Signifikanzniveau (p) des Regressionskoeffizienten.

Tabelle 5-11: Die Modellparameter Regressionskoeffizient (b), dessen Standardfehler (SE b), der standardisierte Koeffizient (β) und das dazugehörige Signifikanzniveau (p) der zweiten Regressionsanalyse.

Modell		b	SE b	β	p
2.1	(Konstante)	8,75	0,41		< 0,001
	kleine Frauen vs. mittlere Männer	4,86	0,57	0,25	< 0,001
	kleine Frauen vs. große Männer	4,77	0,58	0,24	< 0,001
2.2	(Konstante)	11,89	2,25		< 0,001
	kleine Frauen vs. mittlere Männer	5,06	0,59	0,26	< 0,001
	kleine Frauen vs. große Männer	4,71	0,58	0,24	< 0,001
	BMI-Wert der Versuchsperson	-0,13	0,09	-0,04	0,157
2.3	(Konstante)	15,83	2,29		< 0,001
	kleine Frauen vs. mittlere Männer	5,05	0,58	0,26	< 0,001
	kleine Frauen vs. große Männer	4,71	0,57	0,24	< 0,001
	BMI-Wert der Versuchsperson	-0,13	0,09	-0,04	0,147
	Versuchstermin	-1,96	0,28	-0,18	< 0,001
2.4	(Konstante)	13,76	2,34		< 0,001
	kleine Frauen vs. mittlere Männer	5,05	0,58	0,26	< 0,001
	kleine Frauen vs. große Männer	4,71	0,57	0,24	< 0,001
	BMI-Wert der Versuchsperson	-0,13	0,09	-0,04	0,144
	Versuchstermin	-1,96	0,28	-0,18	< 0,001
	Reihenfolge der Konfigurationen je Termin	1,04	0,28	0,09	< 0,001
2.5	(Konstante)	5,45	2,17		0,012
	kleine Frauen vs. mittlere Männer	5,05	0,52	0,26	< 0,001
	kleine Frauen vs. große Männer	4,71	0,52	0,24	< 0,001
	BMI-Wert der Versuchsperson	-0,13	0,08	-0,04	0,106
	Versuchstermin	-1,95	0,25	-0,17	< 0,001
	Reihenfolge der Konfigurationen je Termin	1,03	0,25	0,09	< 0,001
	Zeitpunkt der Messung je Konfiguration	3,32	0,19	0,41	< 0,001

Auch bei der zweiten Regressionsanalyse hat die Probandengruppe, im Gegensatz zum Ergebnis der mehrfaktoriellen Varianzanalyse aus Kapitel 5.4.2 (S. 70), einen signifikanten Einfluss auf den Diskomfortwert (vgl. Modell 2.1 in Tabelle 5-11). Der

Mittelwert des Gesamtdiskomforts unterscheidet sich zwischen kleinen Frauen und mittleren Männern (F05 vs. M50) sowie zwischen kleinen Frauen und großen Männern (F05 vs. M95) in der Größenordnung 4,86 bzw. 4,77. Ebenso hat der Messzeitpunkt bei der zweiten Regressionsanalyse den größten, signifikanten Einfluss auf den Gesamtdiskomfort, der Regressionskoeffizient ist 3,32 (SE $b = 0,19$). Der BMI-Wert der Versuchsperson hat, wie bei den anderen statistischen Analysen, keinen signifikanten Anteil an der Varianzaufklärung des Gesamtdiskomforts. Die vorherigen Ergebnisse stimmen erwartungsgemäß in Höhe und Signifikanz mit denen der ersten Regressionsanalyse überein.

Der Regressionskoeffizient des Versuchstermins (siehe Modell 2.3 in Tabelle 5-11, S. 79) beträgt -1,96 (von 50). Mit jedem Versuchstermin nimmt folglich der Gesamtdiskomfort im Mittel um 1,96 ab, dies deutet auf einen Gewöhnungseffekt zwischen den Terminen hin. Zu beachten ist, dass der Effekt des Versuchstermins zwar signifikant ist, die Effektstärke ($\Delta R_2 = 0,03$) aber nicht einmal einem minimalen Effekt entspricht (Ferguson, 2009). Die Reihenfolge der Konfigurationen je Termin hat einen Regressionskoeffizienten von 1,04 (siehe Modell 2.4 in Tabelle 5-11). Mit jeder untersuchten Konfiguration je Versuchstermin steigt der Gesamtdiskomfort im Durchschnitt um 1,04 (von 50), aber auch diese Effektstärke ($\Delta R_2 = 0,009$) ist unterhalb des minimalen Bereichs (Ferguson, 2009).

5.4.4 Subjektive Bewertung der Diskomfortbewertung

Jede Versuchsperson hat während des gesamten Versuchs 36-mal den Diskomfort mittels der CP50-Skala und der Body Map (siehe Abbildung 5-4, S. 53) bewertet. Im Anschluss an die letzte Versuchskonfiguration wurde die Versuchsperson gebeten, einen Abschlussfragebogen zu ihrer persönlichen Erfahrung mit der Diskomfortbewertung auszufüllen. Für die Auswertung wurden den verbalen Kategorien Zahlenwerte zugeordnet und so Mittelwert (MW), Standardabweichung (SD) und Median (MD) bestimmt. Der Abschlussfragebogen mit den zugeordneten Zahlenwerten ist in Abbildung 5-16 zu sehen.

Fragebogen am Ende der Versuchsreihe				
Versuchsperson		Datum		
Ich empfand die Bewertung des Diskomforts mit Hilfe der CP50-Skala ...				
<input type="checkbox"/> einfach	<input type="checkbox"/> eher einfach	<input type="checkbox"/> eher schwierig	<input type="checkbox"/> schwierig	
1	2	3	4	
Ich war mir bei den Bewertungen des Diskomforts ...				
<input type="checkbox"/> sicher	<input type="checkbox"/> eher sicher	<input type="checkbox"/> eher unsicher	<input type="checkbox"/> unsicher	
1	2	3	4	
Die Abstufungen der Bewertungsskala für den Diskomfort waren für mich ...				
<input type="checkbox"/> zu viel	<input type="checkbox"/> eher zu viel	<input type="checkbox"/> genau richtig	<input type="checkbox"/> eher zu wenig	<input type="checkbox"/> zu wenig
1	2	3	4	5
Die Aufteilung der Körperbereiche in der Bodymap war für mich ...				
<input type="checkbox"/> zu fein	<input type="checkbox"/> eher zu fein	<input type="checkbox"/> genau richtig	<input type="checkbox"/> eher zu grob	<input type="checkbox"/> zu grob
1	2	3	4	5
Anmerkungen aller Art				

Abbildung 5-16: Abschlussfragebogen mit zugeordneten Zahlenwerten

Zusätzlich werden die von den Versuchspersonen abgegebenen Anmerkungen aufgelistet, um so weitere Hinweise zum subjektiven Umgang mit der Body Map und der CP50-Skala zu erhalten.

5.4.4.1 Ergebnisse der subjektiven Bewertung

Abbildung 5-17 zeigt die Ergebnisse (Mittelwerte, Standardabweichungen und Median) der subjektiven Bewertungen der Diskomfortbewertung, der CP50-Skala und der Body Map.

Die Versuchspersonen stufen die Bewertung des Diskomforts mithilfe der CP50-Skala als eher einfach ein (MW = 2,03; SD = 0,77; MD = 2). Bei der Bewertung waren sich die Versuchspersonen eher sicher (MW = 1,93; SD = 0,69; MD = 2). Die Abstufungen der

Experimentelle Diskomfortuntersuchung auf Fahrzeugsitzen

Bewertungsskala waren für die Versuchspersonen eher zu viel (MW = 1,93; SD = 0,73; MD = 2) und die Aufteilung der Körperbereiche fanden die Versuchspersonen genau richtig (MW = 2,80; SD = 0,56; MD = 3).

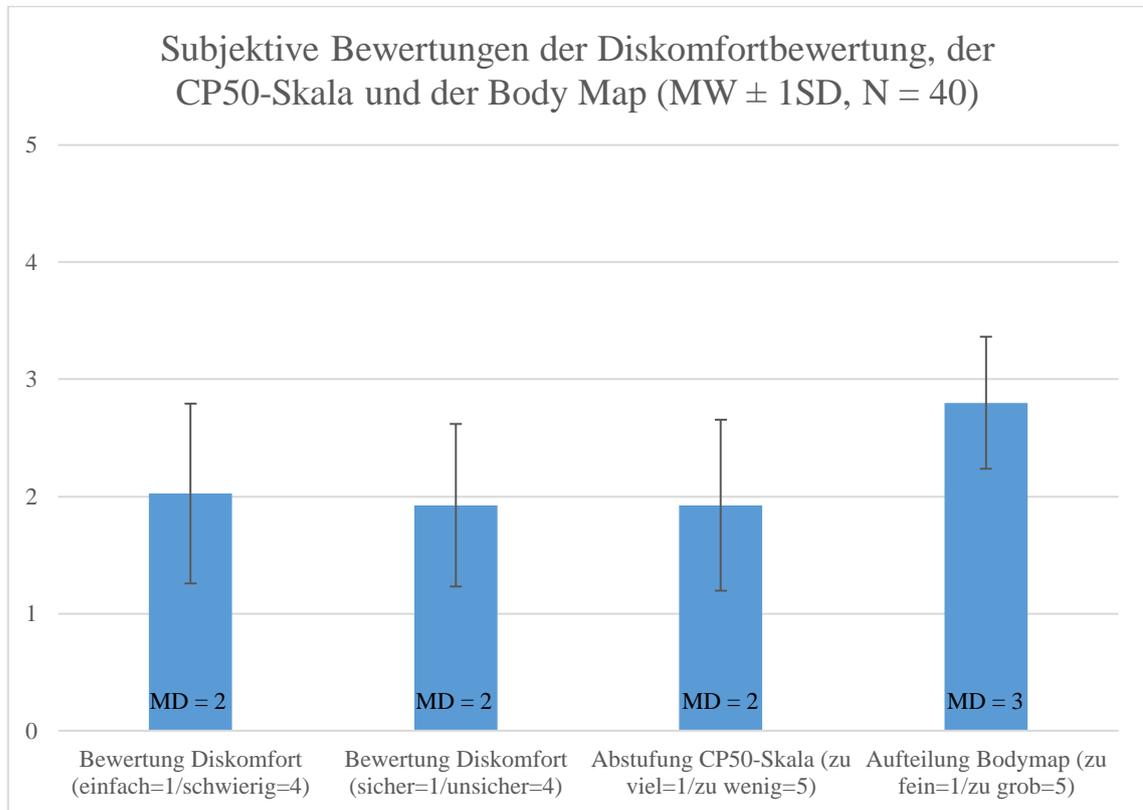


Abbildung 5-17: Auswertung der subjektiven Bewertungen der Diskomfortbewertung, der CP50-Skala und der Body Map durch die 40 Versuchspersonen (N). Balkenhöhe entspricht dem Mittelwert (MW), der Fehlerbalken zeigt \pm eine Standardabweichung (SD), zusätzlich ist der Median angegeben (MD).

Insgesamt haben sechs von vierzig Versuchspersonen zusätzliche Anmerkungen auf dem Abschlussfragebogen gemacht. Die Kommentare umfassen verschiedene Aspekte. Zweimal wurde die Abstufung der Bewertungsskala thematisiert. So hat eine Versuchsperson die Abstufung der Bewertungsskala als zu fein bezeichnet und empfand dadurch die Bewertung ein bisschen zu schwer. Eine andere Versuchsperson meinte, dass eine Skala von 0 - 20 ausgereicht hätte. Eine weitere Versuchsperson hat angegeben, dass sie die Skala nicht richtig ausgenutzt habe (max. 35), obwohl es tatsächlich geschmerzt habe, und dass die Belastung grenzwertig gewesen sei. Die Lenkradposition war laut einer anderen Versuchsperson ungewöhnlich und die Fußstellung nach längerer Zeit anstrengend. Gegen Ende des Versuchs kam es bei dieser Versuchsperson meist zu Rückenproblemen, trotz des ruhigen Sitzens. Eine weitere Versuchsperson merkte an,

dass die Körperbereiche 13, 14, 18 und 19 für normale Fahrzeugsitze unnötig und auch die Bereiche 27, 28, 29 und 30 eher unbelastet gewesen seien (vgl. Abbildung 5-4, S. 53). Der letzte Kommentar einer Versuchsperson merkt einen möglichen Störfaktor des Experiments an, da die Füße (insbesondere der rechte Fuß) in einer Position gehalten werden mussten und gleichzeitig ein Rennspiel gespielt wurde. Die Versuchsperson gibt an, wegen des Rennspiels gelegentlich das Gaspedal betätigt zu haben.

5.5 Diskussion

Die statistischen Auswertungen des Gesamtdiskomforts während des Sitzens auf Fahrzeugsitzen in unterschiedlichen Fahrzeugpackages zeigen interessante Ergebnisse.

Zum Ersten verdeutlichen die Box-Plots die großen Varianzen bei der Diskomfortbewertung durch verschiedene Versuchspersonen, auch innerhalb der definierten Probandengruppen. Dabei scheinen die Box-Plots eine geringere Varianz innerhalb der Gruppe der kleinen Frauen (F05) zu zeigen, was auf eine bessere Übereinstimmung der Bewertungen innerhalb der Gruppe hindeutet. Die genaue Betrachtung der Ausreißer in den Box-Plots (Abbildung 5-6 bis Abbildung 5-14, S. 59-67) liefert weitere überraschende Erkenntnisse. Bei der Gruppe der kleinen Frauen (F05) gibt es Ausreißerwerte bei acht von neun Konfigurationen, bei drei Konfigurationen sind dies sogar extreme Ausreißer und einmal gibt es einen Ausreißer nach unten. Insgesamt acht der 13 Versuchspersonen der Probandengruppe F05 geben bei mindestens einer Messung einen Diskomfortwert ab, der als Ausreißer betrachtet wird. Bei der Gruppe der mittelgroßen Männer geben nur drei von 14 Versuchspersonen bei mindestens einer Messung Diskomfortwerte ab, die als Ausreißer gewertet werden. Es werden nie extreme Ausreißerwerte abgegeben und bei zwei Konfigurationen gibt es in der Probandengruppe M50 keine Ausreißer. Bei den sehr großen Männern ist Versuchsperson 25 für die meisten Datenpunkte außerhalb der Verteilung verantwortlich. Bei sieben von neun Konfigurationen (nicht bei Konfigurationen 2 und 4) bewertet Versuchsperson 25 den Diskomfort an mindestens einem Messzeitpunkt deutlich höher als die anderen Versuchspersonen in der Probandengruppe M95. Bei der sechsten Konfiguration am ersten Messzeitpunkt ist der Datenpunkt der Versuchsperson 21 ein Ausreißer. Alle anderen Versuchspersonen bewerten immer innerhalb der Verteilung. Die

verhältnismäßig vielen, als Ausreißer deklarierten Datenpunkte der Probandengruppe F05 werden bei der Erstellung der Verteilungen (Boxen und Whisker) nicht berücksichtigt, was zu geringeren Streuungen bei diesen Verteilungen führt. Aber auch bei den Konfigurationen und Messzeitpunkten, bei denen keine Ausreißer in der Probandengruppe F05 vorliegen, ist die Varianz der Verteilung dieser Versuchspersonen geringer als bei den anderen beiden Probandengruppen.

Die Box-Plots, welche zusätzlich den BMI-Wert der Versuchspersonen berücksichtigen (siehe Abbildung 5-15, S. 69, und Anhang 6, S. 140), geben einen Hinweis darauf, dass der BMI-Wert einen Einfluss auf die Bewertung des Gesamtdiskomforts haben könnte. Die Verteilungen der Versuchspersonen im Bereich des Übergewichts ($BMI > 24,9$) zeigen weniger Varianz als die der normalgewichtigen Versuchspersonen. Dieser Einfluss des BMI-Werts auf die Diskomfortbewertung sollte durch eine gezielte Untersuchung mit Versuchspersonen unterschiedlicher BMI-Werte genauer betrachtet werden.

Die mehrfaktorielle Varianzanalyse (Kapitel 5.4.2, S. 70 ff.) konnte keinen signifikanten Einfluss des Sitzes und des Packages nachweisen. Nur der Effekt der Sitzdauer auf die Diskomfortbewertung ist in der mehrfaktoriellen Varianzanalyse signifikant und entspricht mit $d = 4,70$ nach Ferguson (2009) einem großen Effekt. Ein ähnliches Ergebnis haben Durkin et al. (2006) beschrieben. Auch bei ihrer Untersuchung kam es zu einem signifikanten Anstieg des Diskomforts über die Sitzdauer, aber die Sitze haben sich nicht signifikant unterschieden (Durkin et al., 2006, S. 37). Ebenso hat Hartung (2006) keinen signifikanten Einfluss der Versuchsbedingung feststellen können. Er vermutet, dass sich die Versuchsbedingungen zu wenig unterschieden. Insbesondere Fahrzeugsitze aus Serienfahrzeugen unterschieden sich seiner Meinung nach nur wenig, da diese das Ergebnis eines langen Komfortoptimierungsprozesses sind und daher wohl alle nahezu dem Optimum entsprechen (Hartung, 2006, S. 60). Ebenso konnten Jia und Nussbaum (2018) einen signifikanten Anstieg des Diskomforts über die Sitzdauer, aber keinen signifikanten Einfluss der anderen unabhängigen Variablen (hier persönlicher Stress) auf den Diskomfort nachweisen.

Die erste multiple lineare Regressionsanalyse zeigt, wie die mehrfaktorielle Varianzanalyse, keinen signifikanten Einfluss des Sitzes und des Fahrzeugpackages auf

den Gesamtdiskomfort während des Sitzens. Ebenso trägt der BMI-Wert der Versuchsperson nicht signifikant zur Varianzaufklärung des Gesamtdiskomforts bei. Bei den unabhängigen Variablen Sitzdauer und Probandengruppe unterscheiden sich die Ergebnisse der Regressionsanalysen von der mehrfaktoriellen Varianzanalyse. Die Sitzdauer bzw. der Messzeitpunkt leistet einen signifikanten Beitrag von ca. 16,5 % zum Sitzdiskomfort und hat somit, im Gegensatz zur Varianzanalyse, nur einen minimalen (Ferguson, 2009) Effekt. Der Effekt der Probandengruppe ist bei der Regressionsanalyse, entgegen der Varianzanalyse, signifikant. Sie klärt 6 % der Varianz des Diskomforts auf, dies entspricht ebenfalls einem minimalen Effekt.

Basierend auf der Recherche in Kapitel 3 (S. 6 ff.) sowie den, entgegen den Erwartungen bei der Versuchsplanung, nicht signifikanten Einflüssen des Sitzes und des Packages in den Ergebnissen der mehrfaktoriellen Varianzanalyse und der ersten Regressionsanalyse, wurde die Annahme getroffen, dass die Versuchspersonen die Konfigurationen innerhalb eines Versuchstermins relativ bewerten und nicht absolut über alle drei Termine bzw. über die neun Konfigurationen hinweg. Diese relative Bewertung wurde durch die zweite multiple Regressionsanalyse überprüft. Statt der verschiedenen Fahrzeugsitze und der Fahrzeugpackages, wurden der Versuchstermin und die Reihenfolge der Konfigurationen je Versuchstermin als Prädiktoren verwendet. Die restlichen Prädiktoren in den Regressionsmodellen stimmten mit der ersten Regressionsanalyse überein.

Die Ergebnisse der beiden Regressionsanalysen belegen zusammen eine relative Bewertung des Diskomforts durch die Versuchspersonen und keine absolute über alle Konfigurationen hinweg. Das zeigt sich insbesondere durch die signifikant höhere Varianzaufklärung der zweiten Regressionsanalyse nach Einbeziehung der Prädiktoren „Versuchstermin“ und „Reihenfolge der Konfigurationen je Termin“. Mit jedem Versuchstermin nimmt der Gesamtdiskomfort im Mittel um 1,96 (von 50 auf der CP50-Skala) ab, das deutet darauf hin, dass sich die Versuchspersonen an die Versuchssituation gewöhnen. Mit jeder Versuchskonfiguration je Termin steigt wiederum der Gesamtdiskomfort, genau wie mit den Messzeitpunkten je Konfiguration. Dies kann als konsequenter Anstieg des Gesamtdiskomforts über die Sitzdauer des gesamten Termins interpretiert werden. 15 Minuten Pause mit der Anweisung sich zu bewegen zwischen zwei Konfigurationen sind wohl zudem nicht ausreichend dafür, dieser Entwicklung

Experimentelle Diskomfortuntersuchung auf Fahrzeugsitzen

entgegenzusteuern und das Diskomfortempfinden beim Start der einzelnen Konfigurationen je Termin annähernd vergleichbar werden zu lassen.

Die entwickelten Modelle der beiden Regressionsanalysen generalisieren sehr gut, gekennzeichnet wird dies die geringe Differenz zwischen dem Determinationskoeffizienten und dem korrigierten Determinationskoeffizienten (vgl. Tabelle 5-8, S. 75 und Tabelle 5-10, S. 78). Die Differenz beschreibt, wie viel weniger der Varianz aufgeklärt werden würde, wenn die Stichprobe aus der Gesamtbevölkerung bestehen würde, anstelle der Versuchsstichprobe. Die Differenz liegt bei der ersten Regressionsanalyse zwischen 0,002 und 0,004 und bei der zweiten Regressionsanalyse zwischen 0,002 und 0,003.

Im Rahmen der Untersuchung zeigen sich die großen Variationen der Diskomfortbewertungen unterschiedlicher Versuchspersonen (vgl. Kapitel 5.4.1, S. 58), weshalb eine Normierung der Bewertungen naheliegend wäre. Da die Versuchspersonen jedoch eindeutig nicht absolut über alle Versuchstermine bewerten, sondern relativ innerhalb der drei einzelnen Termine, wäre eine Normierung über alle Diskomfortbewertungen nicht angebracht. Außerdem können Normierungen nur dann zielführend durchgeführt werden, wenn alle Versuchspersonen den gleichen Reiz bewerten. Da aber Versuchspersonen unterschiedlicher Anthropometrien unterschiedliche sensorische Reize auf denselben Konfigurationen Fahrzeugpackages erfahren, können die Reize dieses Versuchs nicht als gleich angesehen werden (Hartung, 2006, S. 41). So ist die durch identische Sitze verursachte Sitzdruckverteilung bei Personen verschiedener anthropometrischer Maße sehr unterschiedlich. Und auch dieselben Fahrzeugpackages führen bei Frauen mit einer sehr kleinen Körperhöhe (Probandengruppe F05), Männern mittlerer Körpergröße (Probandengruppe M50) und bei Männern mit einer sehr großen Körperhöhe (Probandengruppe M95) zu unterschiedlichen Körperhaltungen.

Hervorzuheben ist, dass sich die Versuchspersonen, nach eigener Aussage, eher sicher waren bei der Diskomfortbewertung mit der CP50-Skala und die Bewertung als einfach einstufen. Die große interindividuelle Varianz bei der Bewertung der einzelnen Konfigurationen kann folglich nicht durch Unsicherheit oder Überforderung mit der Aufgabe erklärt werden. Die Abstufung der Skala wurde von den Versuchspersonen als

eher zu viel angegeben. Eine Versuchsperson hat sogar angegeben, dass sie nicht die komplette Skala genutzt hat, obwohl sie Schmerzen hatte.

Von den aufgestellten Hypothesen im Kapitel 5.1 (S. 43 ff.), kann nur die Hypothese H4 angenommen werden. Der Messzeitpunkt hat einen Einfluss auf die Gesamtdiskomfortbewertung. Dieses Ergebnis bestätigt schon bekannte Ergebnisse aus der Literatur. Die anderen drei Hypothesen H1 bis H3 müssen abgelehnt werden. Diese drei Hypothesen sollten zeigen, ob die Diskomfortbewertungen mit Annahmen bei der Versuchsplanung übereinstimmen (siehe dritte Forschungsfrage, S. 4). Das vorliegende Kapitel führt daher zu dem Ergebnis, dass die Forschungsfrage 3 „Untersuchen (Dis)Komfortstudien das, was sie untersuchen sollen?“ verneint werden muss.

5.5.1 Einschränkungen

Der Versuchsaufbau und die Versuchsdurchführung waren bestimmt von den Vorgaben des Projekts UDASim. Im Rahmen des Projekts wurde ein künstliches neuronales Netz entwickelt, welches mittels Simulationsergebnissen den Diskomfort von Fahrzeugsitzen vorhersagen sollte (Ulherr, Yang & Bengler, 2017). Deshalb konnten nur Sitze verwendet werden, die für die Simulation der Versuche genutzt werden konnten. Die Sitze wurden dementsprechend nicht nach einer möglichst großen Variation unterschiedlicher Sitzparameter, wie zum Beispiel Schaumhärte, ausgewählt und die Parameter wurden vor dem Versuch auch nicht genauer untersucht bzw. aufgezeichnet.

Aufgrund des aufwändigen Versuchsdesigns und der wiederholten Anwesenheit haben nur Studierende und Promovierende an dem Versuch teilgenommen, was sich auch im Alter der Versuchspersonen widerspiegelt (vgl. Tabelle 5-4, S. 55). Inwiefern die Ergebnisse bei einer Stichprobe, die der tatsächlichen demografischen Verteilung der Bevölkerung entspricht, reproduziert werden kann, muss anhand eines Versuches mit einer solchen Stichprobe genauer untersucht werden.

Insbesondere die Akquise der weiblichen Versuchspersonen mit einer Körpergröße von 1,52 m - 1,56 m war kompliziert. Die Körpergrößenanforderung basiert auf der Beteiligung des digitalen Menschmodells am Projekt UDASim (Ulherr et al., 2018). Die für das digitale Menschmodell CASIMIR FE-modellierte Probandin, die mit 1,545 m dem fünften Perzentil der Körperhöhe entsprechen soll, entspricht gemäß der letzten

Experimentelle Diskomfortuntersuchung auf Fahrzeugsitzen

deutschen Reihemessung „SizeGERMANY“ dem vierten Körperhöhenperzentil der Frauen in Deutschland zwischen 18 und 65 Jahren (Human Solutions GmbH & Hohenstein Institute, 2010). Wird die gesamtdeutsche Bevölkerung zwischen 18 und 65 Jahren betrachtet (Männer und Frauen), so entspricht die Körperhöhe von 1,545 m dem zweiten Körperhöhenperzentil (Human Solutions GmbH & Hohenstein Institute, 2010). Dies bedeutet 2 % der Bevölkerung dieser Altersgruppe haben einer geringere und 98 % eine größere Körperhöhe. Der ausgewählte Bereich von 1,52 m - 1,56 m ergibt eine Summenhäufigkeit innerhalb der gesamtdeutschen Bevölkerung (18 - 65 Jahre) von 3,11 %.

Die gesamte Sitzdauer wurde für diesen Versuch auf 45 Minuten festgelegt, vgl. Kapitel 5.2.1 (S. 45 ff.). Diese Entscheidung basiert auf Praktikabilität in Kombination mit den Erkenntnissen von Estermann (1999), dass der Diskomfort erst nach ungefähr 210 Minuten Sitzen konstant bleibt.

Die Versuchspersonen wurden aufgefordert, ihre Körperhaltung und Position während der Sitzdauer von 45 Minuten konstant zu halten. Es ist unklar, ob dies überhaupt realistisch durchführbar war, da sich Menschen in der Regel immer wieder bewegen, teilweise unbewusst. Außerdem führte das Videospiel bei einzelnen Versuchspersonen zu körperlichen Reaktionen, zum Beispiel eine Folgebewegung des Oberkörpers mit dem Rennverlauf.

Aktuell gibt es keine Standards hinsichtlich der Nebenaufgaben während der (Dis)Komfortuntersuchungen. Es wurde hier ein Rennspiel gewählt, um die Aufmerksamkeit zu binden und Langweile zu vermeiden. Gleichzeitig sollte die Versuchsperson dieselbe Fußposition beibehalten. Es ist nicht auszuschließen, dass diese Diskrepanz zwischen der Aufgabe (Rennspiel) und dem Stillhalten des Fußes auf dem Gaspedal ein Störfaktor während des Experiments darstellt (vgl. Anmerkungen der Versuchspersonen in Kapitel 5.4.4.1, S. 81 ff.).

6 Abschließende Diskussion

Nach der Präsentation des aktuellen Stands der Wissenschaft, einer Metaanalyse schon publizierter (Dis)Komfortuntersuchungen und der statistischen Analyse der Daten der Hauptstudie zu Diskomfortbewertungen auf Fahrzeugsitzen des Projekts UDASim, werden im Folgenden die Ergebnisse in Zusammenhang gebracht und diskutiert. Auf Basis dieser Diskussion werden die Forschungsfragen aus Kapitel 2 (S. 4) beantwortet.

Die Beschreibung des aktuellen Stands der Wissenschaft zeigt, dass es im Bereich der (Dis)Komfortbewertung große Unterschiede gibt. Dies zeigt sich durch die Verwendung unterschiedlicher Modelle, genauso wie durch fehlende Standards bei der Versuchsdurchführung und den verwendeten Skalen. Schon die Uneinigkeit, ob nun Komfort oder Diskomfort gemessen werden soll bzw. was von beidem überhaupt gemessen werden kann, machen die Ergebnisse der publizierten Studien schwer vergleichbar. In Anbetracht der sprachlichen Hürden, die in den Veröffentlichungen nicht thematisiert werden, ist die Vergleichbarkeit der Ergebnisse immer kritisch zu sehen. Wegen der fehlenden Definition und der nicht alltäglichen Verwendung des Begriffs „Diskomfort“ in der deutschen Sprache ist davon auszugehen, dass nicht alle Versuchspersonen bei Diskomfortstudien an deutschen Forschungsinstituten das gleiche Verständnis davon haben, was sie genau bewerten sollen.

Zum Teil spiegelt die Varianz bei der Bewertung des (Dis)Komforts auch die realen bzw. natürlichen sensorischen Unterschiede zwischen Menschen wider. Aber es ist sehr wahrscheinlich, dass der größere Varianzanteil durch individuelle Tendenzen bei der Bewertung beeinflusst wird. Das entspricht dann den Unterschieden bei der individuellen Interpretation der Zahlenwerte bzw. des Bewertungsgegenstands durch die Versuchspersonen. (Marks, 1982, S. 49)

Basierend auf diesen Erkenntnissen muss die Forschungsfrage 1 „Ist die aktuelle Herangehensweise bei (Dis)Komfortuntersuchungen auf Fahrzeugsitzen zielführend?“ verneint werden. Die publizierten Studien sind aufgrund fehlender Standards sowie verschiedener Modelle und Begriffe nicht vergleichbar. Wegen der sprachlichen Hürden und fehlenden Begriffsdefinitionen ist anzuzweifeln, dass die Versuchspersonen das bewerten, was sie bewerten sollen. Und auch wenn die

Abschließende Diskussion

Versuchspersonen selber die Bewertung von Diskomfort als einfach einschätzen (vgl. Kapitel 5.4.4, S. 80 ff.), sollten diese persönlichen Konstrukte bzw. die mentalen Modelle des subjektiven Empfindens während des Sitzens noch einmal überprüft und erforscht werden.

Unabhängig von möglichen Unterschieden bei der Verwendung und Interpretation von Begriffen und Skalen, sollten die Aussagen der veröffentlichten Untersuchungen kritisch betrachtet werden, wie auch die Metaanalyse in Kapitel 4 (S. 29 ff.) zeigt.

Die Metaanalyse verdeutlicht, dass zwar viele Komfort- und Diskomfortstudien publiziert werden, aber häufig Ergebnisse ohne Zahlenwerte oder Effektgrößen bzw. konkrete Werte, um diese zu berechnen, präsentiert werden. Außerdem werden in der Regel nur signifikante Ergebnisse publiziert, weshalb die Ergebnisse von Metaanalysen häufig einseitig beeinflusst sind.

Dennoch zeigt die Metaanalyse, insbesondere in Kombination mit dem ausgewerteten Datensatz aus Kapitel 5 (S. 43 ff.), Erkenntnisse hinsichtlich der Diskomfortbewertung von Fahrzeugsitzen auf. Bei der genaueren Betrachtung der unabhängigen Variablen der Experimente zeigen sich deutliche Unterschiede hinsichtlich der Effektstärke dieser Versuchsparameter auf die subjektive Bewertung des Komforts oder Diskomforts. So variiert der Effekt der verschiedenen bewerteten Fahrzeugsitze auf die Gesamtbewertung des (Dis)Komforts zwischen einer minimalen Effektstärke $d = 0,54$ (nicht signifikanter Effekt des Fahrzeugsitzes aus Kapitel 5.4.2.1, S. 71 ff.) und einer sehr großen Effektstärke $d = 4,66$ (Kolic & Taboun, 2004, Nr. 9 in Tabelle 4-3, S. 37). Dabei unterscheidet sich das Versuchsdesign von Kolic und Taboun (2004) von dem des Experiments aus Kapitel 5 (S. 43 ff.). Kolic und Taboun (2004) betrachten den Gesamtkomfort mittels eines *Overall Comfort Index*, die Veröffentlichung enthält keine genauen Angaben zur Sitzdauer der Versuchspersonen und die Sitze wurden in den entsprechenden, stehenden Fahrzeugen ohne Nebenaufgabe bewertet. Im Gegensatz dazu wird in der Diskomfortstudie aus Kapitel 5 (S. 43 ff.) der Gesamtdiskomfort mit einer numerischen Skala bewertet, die Sitzdauer beträgt 45 Minuten und die Fahrzeugsitze wurden in einem Mock-up mit einem Videospiel als Nebenaufgabe bewertet. Die beiden Studien untersuchen ähnliche Fragestellungen, die Ergebnisse sind aber aufgrund der deutlichen Unterschiede bei den Versuchsparametern und der subjektiven Messgröße

Abschließende Diskussion

kaum vergleichbar. Im Gegensatz dazu ist die Effektstärke der unterschiedlichen Fahrzeugsitze auf den Diskomfort des rechten oberen Beins bei Cardoso und McKinnon et al. (2018) mit $d = 0,51$ ähnlich zu der oben beschriebenen Effektstärke der Fahrzeugsitze auf den Gesamtdiskomfort. Im Gegensatz zu den Ergebnissen der mehrfaktoriellen Varianzanalyse und der Regressionsanalyse aus Kapitel 5.4 (S. 56 ff.) ist bei Cardoso und McKinnon et al. (2018) der Unterschied der Diskomfortbewertungen zwischen den beiden unterschiedlichen Lkw-Sitzen signifikant.

Wie in Kapitel 3.2 (S. 9 ff.) beschrieben, ist der Effekt der Sitzdauer auf die (Dis)Komfortbewertung bekannt (Estermann, 1999; Hiemstra-van Mastrigt et al., 2015; Na et al., 2005; Reed et al., 1991; Ulherr & Bengler, 2016). Die Ergebnisse der Metaanalyse und die Auswertung der Diskomfortdaten aus Kapitel 5 (S. 43 ff.) bestätigen diese Erkenntnisse. Die berechnete Effektstärke (Cohen's d) der Sitzdauer auf die subjektive Diskomfortbewertung variiert zwischen 0,60 (Diskomfort des rechten Oberschenkels bei Nr. 6 in Tabelle 4-3, S. 37) und 6,24 (Gesamtdiskomfort bei Nr. 10 in Tabelle 4-3, S. 37). Dies entspricht laut Ferguson (2009) einem minimalen bis starken Effekt der Sitzdauer auf die Diskomfortbewertung. Wie in der Diskussion der Metaanalyse (Kapitel 4.5, S. 38 ff.) ausgeführt, unterscheiden sich die Effektstärken der Sitzdauer vor der Bewertung auf einzelne Körperbereiche und auf den Gesamtdiskomfortwert deutlich. Dies sollte bei der Berechnung der durchschnittlichen Effektstärke der Sitzdauer vor der Bewertung auf den Diskomfort beachtet werden. Da die Effektstärken der Sitzdauer auf einzelne Körperbereiche fast ausschließlich minimale Effekte widerspiegeln (vgl. Kapitel 4.5, S. 38 ff.), wird nur die durchschnittliche Effektstärke der Sitzdauer auf den Gesamtdiskomfort weiter betrachtet. Diese berechnet sich aus den Ergebnissen der Metaanalyse (Tabelle 4-3, S. 37 ff.) und den Ergebnissen der mehrfaktoriellen Varianzanalyse (siehe Kapitel 5.4.2.1, S. 71 ff.) zu:

$$\bar{d}_{zeit} = \frac{\sum_{i=1}^k d_{i,zeit}}{n} = \frac{2,41 + 2,48 + 3,23 + 4,13 + 4,70 + 6,24}{6} = 3,87 \quad (12)$$

Folglich entspricht die Effektstärke der Sitzdauer je Versuchskonfiguration auf den Gesamtdiskomfort mit 3,87 einem starken Effekt (Ferguson, 2009). Diese Erkenntnis wird durch die Ergebnisse der Regressionsanalysen (Kapitel 5.4.3.1, S. 74 ff.) nur eingeschränkt bestätigt. In den Regressionsanalysen entspricht der signifikante Effekt der

Abschließende Diskussion

Sitzdauer jeweils nur einem minimalen Effekt. Zudem zeigt der signifikante Effekt der Reihenfolge der Konfigurationen je Termin bei der zweiten Regressionsanalyse, trotz der zu geringen Effektstärke, dass der Gesamtdiskomfort mit jeder Konfiguration im Termin signifikant steigt. Dieser Einfluss der Reihenfolge der Konfigurationen je Termin kann als ein Einfluss der Sitzdauer betrachtet werden, da mit jeder Konfiguration die gesamte Zeitspanne steigt, die die Versuchsperson an diesem Tag auf Fahrzeugsitzen gesessen ist.

Der Effekt der Körperhöhe ist laut den Ergebnissen der Metaanalyse (vgl. Nr. 8 in Tabelle 4-3, S. 37) kein relevanter Effekt. Der Einfluss der Körperhöhe auf den Gesamtdiskomfort wird in der mehrfaktoriellen Varianzanalyse durch den Zwischensubjektfaktor Probandengruppe repräsentiert. Der Effekt der Probandengruppe ist gemäß den Ergebnissen der Varianzanalyse nicht signifikant (Kapitel 5.4.2.1, S. 71 ff.) und deren Effektstärke entspricht laut Ferguson (2009) einem nicht vorhandenen Effekt. Die Ergebnisse der beiden Regressionsanalysen (Kapitel 5.4.3.1, S. 74 ff.) zeigen einen signifikanten Effekt der Probandengruppe auf den Diskomfort während des Sitzens, die Effektstärke der Probandengruppe entspricht dabei jedoch nur einem minimalen Effekt knapp oberhalb der Grenze.

Der Versuchsparameter Fahrzeugpackage bzw. Fahrzeugklasse ist laut den Ergebnissen der Metaanalyse und der Auswertung der Diskomfortuntersuchung in Kapitel 5 (S. 43 ff.) nicht relevant für die (Dis)Komfortbewertung bei Fahrzeugen. Ob es wirklich keinen Effekt des Fahrzeugpackages gibt oder dieser mit dem aktuellen Stand der Technik bei der Bewertung von Komfort und Diskomfort nicht nachweisbar ist, kann nicht bestimmt werden.

Die verwendeten Fahrzeugsitze in der Diskomfortstudie des Kapitels 5 (S. 43 ff.) haben keinen signifikanten Einfluss auf die Gesamtdiskomfortbewertung der teilnehmenden Versuchspersonen. Dieses Ergebnis könnte durch die, in der zweiten Regressionsanalyse nachgewiesene, relative Bewertung der Versuchskonfigurationen je Versuchstermin begründet sein. Dass im Gegensatz dazu der Effekt der verschiedenen Sitze auf den „Gesamtkomfort“ (*Overall Comfort Index*) bei Kolich und Taboun (2004) sehr stark ist, muss noch einmal genauer betrachtet werden. Ein Grund für den sehr unterschiedlichen Effekt könnte die von Kolich und Taboun (2004) verwendete subjektive Messmethode sein. Dabei handelt es sich nicht um eine numerische Skala, sondern um einen Fragebogen

Abschließende Diskussion

mit mehreren Items, die separat bewertet werden und dann insgesamt einen Gesamtkomfort ergeben.

Die diskutierten Ergebnisse der Metaanalyse und der Auswertung der experimentellen Diskomfortuntersuchung beantworten die Forschungsfrage 2 „Welche Faktoren beeinflussen die (Dis)Komfortbewertung?“ (S. 4). Der Zwischensubjektfaktor Probandengruppe bzw. Körpergröße hat, wenn überhaupt, einen minimalen Effekt auf die Diskomfortbewertung. Der Einfluss des BMI-Werts hat eine zu geringe Effektstärke, um relevant zu sein, und ist in den Ergebnissen aus Kapitel 5.4 (S. 56 ff.) nicht signifikant. Wie schon in Kapitel 4.5 (S. 38 ff.) beschrieben wurde, scheint es keinen Einfluss zu haben, ob die Versuche in einem Mock-up oder in realen Fahrzeugen stattfinden. Der Effekt der verwendeten Sitze ist bei der Mock-up Studie aus Kapitel 5 (S. 43ff.) nicht nachweisbar. Die Ergebnisse von Kolich (2003) sowie Kolich und Taboun (2004), identische Experimente nur unterschiedlich ausgewertet, in realen Fahrzeugen, zeigen einen mäßigen bis starken Effekt des Fahrzeugsitzes auf die Bewertung des Komforts. Wegen der sehr unterschiedlichen Versuchsdesigns und Messmethoden der gefundenen Studien kann keine abschließende Aussage darüber getroffen werden, wie stark es die subjektive Bewertung durch Versuchspersonen beeinflusst, ob die Studien im Labor oder in einer realen Umgebung durchgeführt werden. Die Sitzdauer hat auf die (Dis)Komfortbewertung nachweislich einen starken Einfluss, dies zeigt sich in allen Auswertungen. Der Effekt der Sitzdauer wird schon in der Literatur beschrieben und wird durch die Metaanalyse sowie die Auswertung der Diskomfortuntersuchung noch weiter bestätigt.

Neben den Erkenntnissen aus den betrachteten Veröffentlichungen, der Metaanalyse und der Diskomfortstudie gibt es weitere grundsätzliche Diskussionspunkte hinsichtlich der subjektiven Bewertung von Sitzen. Diese leisten einen Beitrag zur Beantwortung der 1. Forschungsfrage (S. 4), ob die aktuelle Herangehensweise bei (Dis)Komfortuntersuchungen auf Fahrzeugsitzen zielführend ist.

Versuchspersonen können sich einfach einer Situation mit hohen Diskomfortwerten bzw. unangenehmen Empfindungen aufgrund der Sitzposition entziehen. So reichen manchmal schon geringe Gewichtsverlagerungen oder kleinere Anpassungen der Körperhaltung aus um Abhilfe zu schaffen. Solche, teilweise minimalen Veränderungen können unbewusst

Abschließende Diskussion

geschehen, also als nahezu automatische Reaktion auf bestimmte Reize, und verändern so unkontrolliert die Versuchsbedingungen in Sitzkomfortstudien. Dies ist insbesondere als kritisch zu sehen, wenn objektive Messungen mit den subjektiven Werten in Verbindung gebracht werden sollen. Andererseits entspricht dies dem natürlichen Verhalten bei der Interaktion mit Sitzen und sollte nicht zwanghaft unterbunden werden, da sonst unrealistische Versuchsbedingungen geschaffen werden würden. Und Zwangshaltungen bzw. die Einschränkung persönlicher Freiheiten führt zu höherem Diskomfort. Ähnliches hat Lorenz (2011) bei seinen Untersuchungen festgestellt, als er den Versuchspersonen eine objektiv perfekte Sitzposition vorgegeben hat und diese schlechter bewertet wurde, als die selbst gewählte, nach objektiven Kriterien schlechtere Sitzeinstellung.

Grundsätzlich wünschen sich insbesondere Automobilhersteller möglichst exakte und gut interpretierbare (Dis)Komfortbewertungsmöglichkeiten, die einfach reproduziert werden können. Kleinste Veränderungen bei der Konstruktion des Sitzes oder die Verwendung eines anderen Schaums und Bezugs sollen sich in der Bewertung widerspiegeln. Außerdem soll die vergleichende Bewertung des (Dis)Komforts zeigen, welche der Varianten „besser“ ist und von den Nutzenden präferiert werden würde. Bei solchen geringen Unterschieden zwischen den Sitzen ist immer mit zu berücksichtigen, dass die Körperbereiche, welche mit dem Sitz in Kontakt sind, eine niedrigere Auflösung bei der Unterscheidung von taktilen Wahrnehmungen haben als beispielsweise Finger (Mather, 2009, S. 69–70). Außerdem haben Menschen immer Bereiche, innerhalb derer Bedingungen als angenehm empfunden werden, wie beispielsweise die Komfortwinkel der verschiedenen Körpergelenke während des Sitzens (Bubb et al., 2015, S. 363). Diese Bereiche müssen bei vergleichenden Bewertungen von unterschiedlichen Sitzen berücksichtigt werden. Das Ziel der Automobilindustrie ist außerdem insbesondere in Anbetracht der Ergebnisse von Englmaier (2017) kritisch zu sehen, da Sitzparameter nicht nur, wie gewünscht, zwischen verschiedenen Sitzen variieren, sondern ebenfalls zwischen gleichen Sitzen aus derselben Produktionscharge aufgrund von Produktionstoleranzen und teilweise Produktionsfehlern. Ob das Ziel der eindeutigen subjektiven Bewertung kleiner Unterschiede von Fahrzeugsitzen realistisch ist, ist basierend auf den Toleranzbereichen des Menschen und den Produktionstoleranzen kritisch zu betrachten.

Abschließende Diskussion

Die Forschungsfragen der Dissertation (Kapitel 2, S. 4) lassen sich wie folgt beantworten:

Zu 1. Die aktuelle Herangehensweise bei Komfort- und Diskomfortuntersuchungen auf Fahrzeugsitzen ist nicht zielführend.

Zu 1.1. Verschiedene publizierte Studien sind nicht vergleichbar. Bei Versuchsdesigns und Messmethoden gibt es keine Standards und bei den Begrifflichkeiten fehlen genaue Definitionen.

Zu 1.2. Versuchspersonen können Komfort und Diskomfort nicht bewerten. Die großen Varianzen bei erhobenen Komfort- und Diskomfortwerten sprechen dafür, dass die Versuchspersonen Komfort und Diskomfort unterschiedlich interpretieren und es keine Einheitlichkeit bei der Bewertung gibt. Insbesondere die nachgewiesene relative Bewertung des Diskomforts zeigt dies.

Zu 2. Grundsätzlich zeigen signifikante unabhängige Variablen einen größeren Effekt auf die Gesamtbewertungen als auf die Bewertungen einzelner Körperteile. Den größten Effekt auf Komfort und Diskomfort hat die Sitzdauer. Des Weiteren wird die Diskomfortbewertung bei der Studie des Projekts UDASim durch die Reihenfolge der Konfigurationen je Versuchstermin signifikant mit einer zu geringen Effektstärke beeinflusst. Auch die Anthropometrie und das Geschlecht (Probandengruppe) sowie der Versuchstermin haben einen signifikanten Effekt mit einer zu geringen Effektstärke.

Zu 2.1. Das Geschlecht und die Physiologie (Körperhöhe und BMI) haben keinen signifikanten Effekt auf die subjektive Bewertung des Komforts bzw. Diskomforts.

Zu 2.2. Es gibt keine Hinweise darauf, dass der Versuchsaufbau die Bewertung signifikant beeinflusst.

Zu 2.3. Im Mittel hat die Sitzdauer einen großen Effekt auf die Gesamtdiskomfortbewertung.

Zu 3. Komfort- und Diskomfortstudien messen laut den Ergebnissen dieser Dissertation nicht das, was sie untersuchen sollen.

Zu 3.1. Logische Annahmen bei der Versuchsplanung werden nicht durch die Ergebnisse bestätigt. Gleiche Versuchsbedingungen führen bei sehr unterschiedlichen Versuchspersonen nicht zu signifikanten Unterschieden bei der Diskomfortbewertung.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Ziel der vorliegenden Dissertation war eine kritische Auseinandersetzung mit dem aktuellen Stand der Wissenschaft hinsichtlich Komfort- und Diskomfortbewertung auf Fahrzeugsitzen. Dazu wurde als Erstes der aktuelle Stand anhand einer Literaturrecherche beschrieben und diskutiert. Anschließend wurden gefundene Studien mittels einer Metaanalyse verglichen und diskutiert. Als Drittes wurde die großangelegte Diskomfortuntersuchung des Projekts UDASim ausgewertet, um weitere Erkenntnisse zur Diskomfortbewertung zu erhalten. Dabei wurden die Einflussparameter auf die Gesamtdiskomfortbewertung statistisch analysiert. Die vorgestellten Ergebnisse der Metaanalyse und der Auswertungen der Diskomfortuntersuchung in Kombination mit dem vorher betrachteten Stand der Technik zeigt den Diskussionsbedarf hinsichtlich der verwendeten theoretischen Modelle, den experimentellen Untersuchungen sowie der Interpretation von Komfort- und Diskomfortstudien.

Kurzfristig kann eine Standardisierung der experimentellen Vorgehensweise die Vergleichbarkeit von Veröffentlichungen verbessern. Aber die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, dass dies nicht ausreicht. Die bisherigen Modelle, verwendete Begriffe sowie die experimentellen Vorgehensweisen sollten noch einmal neu betrachtet und definiert werden. Bis dies umgesetzt wird, sollten Versuche möglichst mit Ankerreizen durchgeführt werden, welche als Referenz dienen. Wie vorher gezeigt, sind die Bewertungen von Komfort und Diskomfort aktuell als relative Bewertungen zu sehen, weshalb eine Referenz in den Versuchen die Interpretation der Ergebnisse erleichtern wird.

Dies ist besonders wichtig, da die anhaltend hohe Zahl an wissenschaftlichen Veröffentlichungen zu der Thematik des Komforts und Diskomforts während des Sitzens die Wichtigkeit des Forschungsbereichs zeigt. Diese wird mit der Zunahme an automatisierten Fahrmanövern im Individualverkehr noch weiter steigen. Der Innenraumkomfort in Fahrzeugen wird eine immer zentralere Rolle spielen, da sich die Passagiere weniger auf die Fahraufgabe und mehr auf das Komforterlebnis konzentrieren können. Gleichzeitig wird sich das Erleben des Fahrzeuginnenraums aufgrund der steigenden Nebenbeschäftigungen (Kyriakidis et al., 2015) verändern und der Innenraum- bzw. Sitzkomfort wird noch komplexer werden. Dies ist ein weiterer wichtiger Grund,

warum das Konstrukt von Komfort und Diskomfort im Fahrzeug noch einmal grundlegend wissenschaftlich untersucht werden muss.

Ähnlich wie Zhang et al. (1996) haben sich Cardello, Winterhalter und Schutz (2003) sowie Guest et al. (2011) mit der Entwicklung einer Erfassungsmethode von Komfort bzw. Berührungsempfindung basierend auf der Sammlung von Attributen beschäftigt. Diese Vorgehensweise könnte ein Ansatz sein, um noch einmal das Komfortempfinden während des Sitzens zu untersuchen. Aber wie auch die Untersuchung von Zhang et al. (1996) wurden die Studien von Cardello et al. (2003) sowie Guest et al. (2011) in den USA durchgeführt. Für ein allgemeingültiges Modell müssten die Untersuchungen in verschiedenen Ländern und Sprachräumen durchgeführt werden, um die unterschiedlichen Interpretationsmöglichkeiten und Begriffsverständnisse in verschiedenen Sprachen zu berücksichtigen.

Grundsätzlich kann der Komfort, bzw. das Wohlbefinden, eher mit der Empfindung des Gefallens verglichen werden. Wie auch für Gefallen, gibt es kein menschliches Sinnesorgan für Komfort, das auf spezielle/eindeutige Reize reagiert (Cardello et al., 2003). Komfort ist folglich eine subjektive Interpretation eines Zusammenspiels verschiedener Empfindungen, basierend auf Erfahrungen, Erwartungen und Vorlieben. Annett (2002) definiert Komfort als ein mentales Konstrukt. Mentale Konstrukte basieren auf gemeinschaftlichen Erfahrungen und einem allgemein übereinstimmenden Begriffsverständnis in einer Personengruppe. Damit mentale Konstrukte valide sind, müssen ihnen umfassende theoretische Modelle zugrunde liegen. (Annett, 2002, S. 976)

Für die Untersuchung von Komfort und Diskomfort wäre es daher gut, wenn die bisher entwickelten Modelle noch einmal überprüft werden, und das umfassend, also gemeinsam mit den verwendeten Begrifflichkeiten. Ein Ansatz dazu wäre die Untersuchung der zugrunde liegenden mentalen Modelle (Greca & Moreira, 2000) von Menschen bei der Nutzung eines Fahrzeuginnenraums bzw. Fahrzeugsitzes. Dabei ist zu beachten, dass mentale Modelle manipulierbar sind und sich je nach Informationsstand einer Person verändern (Johnson-Laird, 1980). Mentale Modelle können daher nur als ein erster Ansatz für die Entwicklung eines umfassenden Wahrnehmungsmodells genutzt werden.

Ein konkreter Ansatz, um subjektive Wahrnehmung von Personen in Fahrzeuginnenräumen zu erörtern und damit ein Verständnis für die zugrunde liegenden

persönlichen Konstrukte zu erhalten, ist die Repertory Grid Methode (Fromm & Paschelke, 2010). Bei dieser Methode werden systematische Interviews mit den Teilnehmenden geführt, um so ein umfassendes Bild des persönlichen Konstrukts zu generieren. Bei der Entwicklung von Produkten kann die Repertory Grid Methode eingesetzt werden, um die Vorlieben und Wünsche, bewusst und unbewusst, der nutzenden Personen systematisch zu erfassen (Jankowicz, 2013).

Unabhängig von dem gewählten Ansatz ist wichtig, dass bei einer erneuten Aufarbeitung des subjektiven Empfindens während des Sitzens unbedingt der Kontext zu berücksichtigen ist. Schon Wegener (1982, S. 29) hat betont, dass subjektive Bewertungen immer relativ sind zum Kontext, in dem diese gemacht werden. Insbesondere bei Fahrzeugen wird das eine Rolle spielen, da in der Fahrsituation so viele Stimuli vorliegen können, dass eine subjektive Bewertung aufgrund der limitierten Verarbeitungsressourcen bzw. der selektiven Wahrnehmung beeinflusst sein kann (Annett, 2002, S. 970). Die Erkenntnisse zukünftiger Untersuchungen im Bereich des Sitzens im Fahrzeug sollten daher ein Zusammenspiel aus Untersuchungen im Labor und in realen Fahrsituationen sein (Nickerson & Pew, 2003).

Basierend auf einem neu entwickelten Wahrnehmungsmodell, müssen anschließend Bewertungsmethoden systematisch entwickelt und evaluiert werden. Zudem sollte ein Leitfaden für die Durchführung von Sitzuntersuchungen erstellt werden, um so die Vergleichbarkeit von veröffentlichten Untersuchungen zu gewährleisten.

All diese Schritte sollten international abgestimmt und nicht singular in einzelnen Forschungsinstituten durchgeführt werden. Der Forschungsbereich würde von einem gemeinschaftlichen Projekt sehr profitieren und dadurch die Aufmerksamkeit bekommen, die er verdient.

Literaturverzeichnis

- Ahmed, S. & Babski-Reeves, K. (2009). Analysis of Subjective Body Discomfort Ratings during Simulated Prolonged Driving Tasks: What Measures are most Effective? *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 53 (17), 1161–1165. DOI: 10.1177/154193120905301724
- Annett, J. (2002). Subjective rating scales: science or art? *Ergonomics*, 45 (14), 966–987. DOI: 10.1080/00140130210166951
- Bech, S. & Zacharov, N. (2006). *Perceptual audio evaluation. Theory, method and application*. Chichester, England: John Wiley & Sons.
- Becker, T., Herrmann, R., Sandor, V., Schäfer, D. & Wellisch, U. (2016). Deskriptive Statistik und explorative Datenanalyse. In T. Becker, R. Herrmann, V. Sandor, D. Schäfer & U. Wellisch (Hrsg.), *Stochastische Risikomodellierung und statistische Methoden* (S. 27–91). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. DOI: 10.1007/978-3-662-49407-3_2
- Borenstein, M., Hedges, L. V., Higgins, J. P. T. & Rothstein, H. R. (2009). *Introduction to meta-analysis*. Chichester: Wiley.
- Borg, G. (1990). Psychophysical scaling with applications in physical work and the perception of exertion. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 16 Suppl 1, 55–58.
- Bortz, J. & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation. Für Human- und Sozialwissenschaftler; mit 87 Tabellen* (Springer-Lehrbuch Bachelor, Master, 4., überarb. Aufl.). Heidelberg: Springer-Medizin-Verl.
- Bubb, H., Bengler, K., Grünen, R. E. & Vollrath, M. (2015). *Automobilergonomie* (ATZ/MTZ-Fachbuch). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Bühner, M. & Ziegler, M. (2017). *Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler* (Pearson Studium - Psychologie, 2., aktualisierte und erweiterte Auflage). Hallbergmoos: Pearson Studium ein Imprint von Pearson Deutschland.
- Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. (2011). *Sitzlust statt Sitzfrust. Sitzen bei der Arbeit und anderswo* (4. Aufl.). Berlin: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- Burke, L. I., Storer, R. H., Lansing, L. L. & Flanders, S. W. (1996). A neural-network approach to prediction of vehicle driving comfort. *IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers)*, 28 (6), 439–452. Verfügbar unter <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0030165966&partnerID=40&md5=1a519551971436f88478ddc1bcf6f61c>

Literaturverzeichnis

- Cameron, J. A. (1996). Assessing work-related body-part discomfort: Current strategies and a behaviorally oriented assessment tool. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 18 (5-6), 389–398. DOI: 10.1016/0169-8141(95)00101-8
- Cardello, A. V., Winterhalter, C. & Schutz, H. G. (2003). Predicting the Handle and Comfort of Military Clothing Fabrics from Sensory and Instrumental Data. Development and Application of New Psychophysical Methods. *Textile Research Journal*, 73 (3), 221–237. DOI: 10.1177/004051750307300306
- Cardoso, M., Fulton, F., McKinnon, C., Callaghan, J. P., Johnson, M. J. & Albert, W. J. (2018). Ergonomic evaluation of a new truck seat design. A field study. *International journal of occupational safety and ergonomics: JOSE*, 1–13. DOI: 10.1080/10803548.2017.1348056
- Cardoso, M., McKinnon, C., Viggiani, D., Johnson, M. J., Callaghan, J. P. & Albert, W. J. (2018). Biomechanical investigation of prolonged driving in an ergonomically designed truck seat prototype. *Ergonomics*, 61 (3), 367–380. DOI: 10.1080/00140139.2017.1355070
- Carron, M., Rotureau, T., Dubois, F., Misdariis, N. & Susini, P. (2017). Speaking about sounds. A tool for communication on sound features. *J. of Design Research*, 15 (2), 85. DOI: 10.1504/JDR.2017.086749
- Choisel, S. & Wickelmaier, F. (2006). Extraction of Auditory Features and Elicitation of Attributes for the Assessment of Multichannel Reproduced Sound. *Journal of the AES [Audio Engineering Society]*, 54 (9), 815–826.
- Coelho, D. A. & Dahlman, S. (2012). Articulation at shoulder level--a pilot experimental study on car seat comfort. *Applied ergonomics*, 43 (1), 27–37. DOI: 10.1016/j.apergo.2011.03.003
- Cohen, J. (1992). A Power Primer. *Psychological Bulletin*, 112 (1), 155–159.
- Constantin, D., Nagi, M. & Mazilescu, C.-A. (2014). Elements of Discomfort in Vehicles. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 143, 1120–1125. DOI: 10.1016/j.sbspro.2014.07.564
- Corlett, E. N. & Bishop, R. P. (1976). A Technique for Assessing Postural Discomfort. *Ergonomics*, 19 (2), 175–182. DOI: 10.1080/00140137608931530
- Daruis, D.D.I., Deros, B. M., Nor, M.J.M. & Hosseini Fouladi, M. (2012). Relationship between Objective and Subjective Methods in Evaluating Static Discomfort of Car Driver Seat. *Advanced Materials Research*, 433-440, 4997–5003. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.433-440.4997

Literaturverzeichnis

- Döring, N. & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften* (Springer-Lehrbuch, 5. vollst. überarb., aktualisierte und erw. Aufl.). Berlin: Springer.
- Duden. (2019). *Komfort, der*, Bibliographisches Institut GmbH. Zugriff am 05.03.2019. Verfügbar unter <http://www.duden.de/rechtschreibung/Komfort>
- Durkin, J. L., Harvey, A., Hughson, R. L. & Callaghan, J. P. (2006). The effects of lumbar massage on muscle fatigue, muscle oxygenation, low back discomfort, and driver performance during prolonged driving. *Ergonomics*, 49 (1), 28–44. DOI: 10.1080/00140130500356882
- Ebe, K. & Griffin, M. J. (2001). Factors affecting static seat cushion comfort. *Ergonomics*, 44 (10), 901–921.
- El Falou, W., Duchêne, J., Grabisch, M., Hewson, D., Langeron, Y. & Lino, F. (2003). Evaluation of driver discomfort during long-duration car driving. *Applied Ergonomics*, 34 (3), 249–255. DOI: 10.1016/S0003-6870(03)00011-5
- Ellermeier, W., Westphal, W. & Heidenfelder, M. (1991). On the “absoluteness” of category and magnitude scales of pain. *Perception & Psychophysics*, 49 (2), 159–166. DOI: 10.3758/BF03205035
- Englmaier, T. (2017). *Erarbeitung eines hardware-spezifischen mathematischen Sitzverhaltensmodells. Modellierung automobiler Sitze unter Berücksichtigung des Produktionseinflusses anhand des Abgleichs chargengleicher Automobilsitze*. Nicht veröffentlichte Diplomarbeit. Technische Universität München, Garching.
- Estermann, S. (1999). *Komfortmodellierung für den 3D- Softdummy RAMSIS unter realen Fahrbedingungen*. Dissertation. Technische Universität München, Garching bei München.
- Ferguson, C. J. (2009). An effect size primer. A guide for clinicians and researchers. *Professional Psychology: Research and Practice*, 40 (5), 532–538. DOI: 10.1037/a0015808
- Field, A. P. (2003). Can meta-analysis be trusted? *The Psychologist*, 16 (12), 642–645.
- Field, A. P. (2018). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics* (5th edition). London: SAGE Publications.
- Field, A. P. & Gillett, R. (2010). How to do a meta-analysis. *The British journal of mathematical and statistical psychology*, 63 (Pt 3), 665–694. DOI: 10.1348/000711010X502733
- Frigg, R. (2010). Models and fiction. *Synthese*, 172 (2), 251–268. DOI: 10.1007/s11229-009-9505-0

Literaturverzeichnis

- Fromm, M. & Paschelke, S. (2010). *GridPractice. Anleitung zur Durchführung und Auswertung von Grid-Interviews* (1., neue Ausg.). Norderstedt: Books on Demand.
- Glass, G. V. (1976). Primary, Secondary, and Meta-Analysis of Research. *Educational Researcher*, 5 (10), 3–8. DOI: 10.2307/1174772
- Göbel, H., Heller, O., Nowak, T. & Westphal, W. (1988). Zur Korrespondenz von Schmerzreiz und Schmerzerleben. *Schmerz (Berlin, Germany)*, 2 (4), 205–211. DOI: 10.1007/BF02527918
- Godfrey-Smith, P. (2006). The strategy of model-based science. *Biology & Philosophy*, 21 (5), 725–740. DOI: 10.1007/s10539-006-9054-6
- Grabisch, M., Duchêne, J., Lino, F. & Perny, P. (2002). Subjective evaluation of discomfort in sitting positions. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 1 (3), 287–312.
- Greca, I. M. & Moreira, M. A. (2000). Mental models, conceptual models, and modelling. *International Journal of Science Education*, 22 (1), 1–11. DOI: 10.1080/095006900289976
- Grondin, D. E., Triano, J. J., Tran, S. & Soave, D. (2013). The effect of a lumbar support pillow on lumbar posture and comfort during a prolonged seated task. *Chiropractic & Manual Therapies*, 21 (1).
- Guest, S., Dessirier, J. M., Mehrabyan, A., McGlone, F., Essick, G., Gescheider, G. et al. (2011). The development and validation of sensory and emotional scales of touch perception. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 73 (2), 531–550. DOI: 10.3758/s13414-010-0037-y
- Gyi, D. E. & Porter, J. M. (1999). Interface pressure and the prediction of car seat discomfort. *Applied Ergonomics*, 30 (2), 99–107. DOI: 10.1016/S0003-6870(98)00018-0
- Hartung, J. (2006). *Objektivierung des statischen Sitzkomforts auf Fahrzeugsitzen durch die Kontaktkräfte zwischen Mensch und Sitz*. Dissertation. Technische Universität München, Garching bei München.
- Hasselmann, K. (2014). *Experimentelle Untersuchung des Einflusses von Nebenaufgaben auf den Diskomfort*. Nicht veröffentlichte Semesterarbeit. Technische Universität München, Garching.
- Hatta, K., Ueno, Y. & Nagashima, H. (1987). Study on the cushion characteristics of automobile seats (part 1). Preference survey in static conditions. *The Japanese journal of ergonomics*, 23 (3), 173–180. DOI: 10.5100/jje.23.173
- Healy, G. N., Dunstan, D. W., Salmon, J., Cerin, E., Shaw, J. E., Zimmet, P. Z. et al. (2008). Breaks in sedentary time: beneficial associations with metabolic risk. *Diabetes care*, 31 (4), 661–666. DOI: 10.2337/dc07-2046

Literaturverzeichnis

- Helander, M. G. & Zhang, L. (1997). Field studies of comfort and discomfort in sitting. *Ergonomics*, 40 (9), 895–915. DOI: 10.1080/001401397187739
- Heller, O. (1982). *Theorie und Praxis des Verfahrens der Kategorienunterteilung (KU)*. Würzburg: Universität Würzburg, Psychologisches Institut, Lehrstuhl III.
- Heller, O. (1985). Hörfeldaudiometrie mit dem Verfahren der Kategorienunterteilung (KU). In G. Bäuml, F. Merz, M. Ritter, H. Schmidtke & W. Witte (Hrsg.), *Psychologische Beiträge. Vierteljahresschrift für alle Gebiete der Psychologie* (Bd. 27, S. 478–493). Organ der Deutschen Gesellschaft für Psychologie. Meisenheim/Glan: Verlag Anton Hain.
- Hertzberg, H. T. E. (1958). Seat comfort. "Annotated bibliography of applied physical anthropology in human engineering," *WADC Technical Report*, 30–56.
- Hiemstra-van Mastrigt, S., Kamp, I., Veen, S.A.T. van, Vink, P. & Bosch, T. (2015). The influence of active seating on car passengers' perceived comfort and activity levels. *Applied Ergonomics*, 47, 211–219. DOI: 10.1016/j.apergo.2014.10.004
- Hiemstra-van Mastrigt, S., Groenesteijn, L., Vink, P. & Kuijt-Evers, L. F. M. (2016). Predicting passenger seat comfort and discomfort on the basis of human, context and seat characteristics: a literature review. *Ergonomics*, 1–23. DOI: 10.1080/00140139.2016.1233356
- Human Solutions GmbH & Hohenstein Institute (Hrsg.). (2010). *SizeGERMANY. Abschlussbericht zur repräsentativen, neuen Deutschen Reihemessung*. Kaiserslautern, Bönningheim.
- Jankowicz, D. (2013). *The easy guide to repertory grids* (Reprinted with corrections). Chichester: Wiley.
- Jia, B. & Nussbaum, M. A. (2018). Influences of continuous sitting and psychosocial stress on low back kinematics, kinetics, discomfort, and localized muscle fatigue during unsupported sitting activities. *Ergonomics*, 1–14. DOI: 10.1080/00140139.2018.1497815
- Johnson-Laird, P. N. (1980). Mental Models in Cognitive Science. *Cognitive Science*, 4 (1), 71–115. DOI: 10.1207/s15516709cog0401_4
- Kee, D. & Lee, I. (2012). Relationships between subjective and objective measures in assessing postural stresses. *Applied Ergonomics*, 43 (2), 277–282. DOI: 10.1016/j.apergo.2011.06.002
- Knoll, C. M. (2007). *Einfluss des visuellen Urteils auf den physisch erlebten Komfort am Beispiel von Sitzen. Ein Beitrag zu dem Verhältnis von Ergonomie und Industriedesign*. Dissertation. Technische Universität München, Garching bei München.

Literaturverzeichnis

- Kolich, M. & Taboun, S. M. (2004). Ergonomics modelling and evaluation of automobile seat comfort. *Ergonomics*, 47 (8), 841–863. DOI: 10.1080/0014013042000193273
- Kolich, M. (2003). Automobile seat comfort: occupant preferences vs. anthropometric accommodation. *Applied Ergonomics*, 34 (2), 177–184. DOI: 10.1016/S0003-6870(02)00142-4
- Kolich, M. (2008). A conceptual framework proposed to formalize the scientific investigation of automobile seat comfort. *Applied Ergonomics*, 39 (1), 15–27. DOI: 10.1016/j.apergo.2007.01.003
- Krist, R. (1994). *Modellierung des Sitzkomforts. Eine experimentelle Studie*. Dissertation. Weiden: Schuch.
- Kuhn, K. (2014). *Experimentelle Untersuchung des Einflusses von Sitzdauer und Nebenaufgabe auf den Diskomfort*. Nicht veröffentlichte Bachelorarbeit. Technische Universität München, Garching.
- Kyriakidis, M., Happee, R. & Winter, J.C.F. de. (2015). Public opinion on automated driving. Results of an international questionnaire among 5000 respondents. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 32, 127–140. DOI: 10.1016/j.trf.2015.04.014
- Kyung, G. & Nussbaum, M. A. (2008). Driver sitting comfort and discomfort (part II): Relationships with and prediction from interface pressure. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 38 (5-6), 526–538. DOI: 10.1016/j.ergon.2007.08.011
- Kyung, G. & Nussbaum, M. A. (2009). Specifying comfortable driving postures for ergonomic design and evaluation of the driver workspace using digital human models. *Ergonomics*, 52 (8), 939–953. DOI: 10.1080/00140130902763552
- Kyung, G., Nussbaum, M. A. & Babski-Reeves, K. (2008). Driver sitting comfort and discomfort (part I): Use of subjective ratings in discriminating car seats and correspondence among ratings. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 38 (5-6), 516–525. DOI: 10.1016/j.ergon.2007.08.010
- Le, P., Rose, J., Knapik, G. & Marras, W. S. (2014). Objective classification of vehicle seat discomfort. *Ergonomics*, 57 (4), 536–544. DOI: 10.1080/00140139.2014.887787
- Lim, S., Chung, M. K., Jung, J. & Na, S. H. (2000). The Effect of Lumbar Support Prominence on Driver's Comfort and Body Pressure Distribution. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 44 (29), 308–311. DOI: 10.1177/154193120004402981

Literaturverzeichnis

- Looze, M. P. de, Kuijt-Evers, L. F. M. & Dieën, J. van. (2003). Sitting comfort and discomfort and the relationships with objective measures. *Ergonomics*, 46 (10), 985–997. DOI: 10.1080/0014013031000121977
- Lorenz, S. (2011). *Assistenzsystem zur Optimierung des Sitzkomforts im Fahrzeug* (Audi Dissertationsreihe, v. 48). Dissertation: Cuvillier Verlag.
- Macey, S. (2009). *H-POINT. The fundamentals of car design & packaging* (First edition).
- Mansfield, N., Sammonds, G. & Nguyen, L. (2015). Driver discomfort in vehicle seats – Effect of changing road conditions and seat foam composition. *Applied Ergonomics*, 50, 153–159. DOI: 10.1016/j.apergo.2015.03.010
- Marks, L. E. (1982). Psychophysical Measurement: Procedures, Tasks, Scales. In B. Wegener (Hrsg.), *Social attitudes and psychophysical measurement* (S. 43–71). Erlbaum: Hillsdale, NJ.
- Marx, B., Amann, C. & Verver, M. (2005). *Virtual Assessment of Seating Comfort with Human Models*. Warrendale, PA: SAE International. DOI: 10.4271/2005-01-2678
- Mather, G. (2009). *Foundations of sensation and perception* (2nd ed). Hove, East Sussex [England]: Psychology Press.
- Mergl, C. (2006). *Entwicklung eines Verfahrens zu Optimierung des Sitzkomforts auf Automobilsitzen*. Dissertation. Technische Universität München, Garching bei München.
- Moes, N. C.C.M. (2005). Analysis of sitting discomfort, a review. In P. D. Bust & P. T. McCabe (Hrsg.), *Contemporary ergonomics 2005* (S. 200–204). London: Taylor & Francis.
- Na, S., Lim, S., Choi, H.-S. & Chung, M. K. (2005). Evaluation of driver's discomfort and postural change using dynamic body pressure distribution. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35 (12), 1085–1096. DOI: 10.1016/j.ergon.2005.03.004
- Naddeo, A., Cappetti, N. & D'Oria, C. (2015). Proposal of a new quantitative method for postural comfort evaluation. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 48, 25–35. DOI: 10.1016/j.ergon.2015.03.008
- Naddeo, A., Cappetti, N., Califano, R. & Vallone, M. (2015). The effect of external and environmental factors on perceived comfort: the car-seat experience. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter 2015 Annual Conference*.
- Naddeo, A., Cappetti, N., Vallone, M. & Califano, R. (2014). New trend line of research about comfort evaluation: proposal of a framework for weighing and evaluating contributes coming from cognitive, postural and physiologic comfort perceptions. In T. Ahram, W. Karwowski &

Literaturverzeichnis

- T. Marek (Hrsg.), *Proceedings of the 5th International Conference on Applied Human Factors an Ergonomics AHFE 2014*.
- Nickerson, R. S. & Pew, R. W. (2003). Psychological Experimentation Addressing Practical Concerns. In I. B. Weiner, A. F. Healy & R. W. Proctor (Hrsg.), *Handbook of Psychology. Volume 4 Experimental Psychology* (S. 649–675). Hoboken, N.J.: John Wiley.
- Owen, N., Healy, G. N., Matthews, C. E. & Dunstan, D. W. (2010). Too much sitting: the population health science of sedentary behavior. *Exercise and sport sciences reviews*, 38 (3), 105–113. DOI: 10.1097/JES.0b013e3181e373a2
- Oxford Dictionaries (Oxford University Press, Hrsg.). (2019). *discomfort*. Zugriff am 05.03.2019. Verfügbar unter <https://en.oxforddictionaries.com/definition/discomfort>
- Parducci, A. (1982). Category Ratings: Still More Contextual Effects! In B. Wegener (Hrsg.), *Social attitudes and psychophysical measurement* (S. 89–105). Erlbaum: Hillsdale, NJ.
- Porter, J. M., Gyi, D. E. & Tait, H. A. (2003). Interface pressure data and the prediction of driver discomfort in road trials. *Applied Ergonomics*, 34 (3), 207–214. DOI: 10.1016/S0003-6870(03)00009-7
- Reed, M. P., Saito, M., Kakishima, Y., Lee, N. S. & Schneider, L. W. (1991). An investigation of driver discomfort and related seat design factors in extended-duration driving. *SAE transactions*, 100 (6), 130–159.
- SAE J1100 (1984). *Motor Vehicle Dimensions*.
- SAE J826 (1995). *Devises for use in Defining and Measuring Vehicle Seating Accommodation*.
- Shackel, B., Chidsey, K. D. & Shipley, P. (1969). The Assessment of Chair Comfort. *Ergonomics*, 12 (2), 269–306. DOI: 10.1080/00140136908931053
- Shen, W. & Galer, I. A. R. (1993). Development of a pressure related assessment model of seating discomfort. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 37th Annual Meeting* (Bd. 10).
- Shen, W. & Parsons, K. C. (1997). Validity and reliability of rating scales for seated pressure discomfort. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 20 (6), 441–461. DOI: 10.1016/S0169-8141(96)00068-6
- Shingledecker, C. A. & Holding, D. H. (1974). Risk and effort measures of fatigue. *Journal of motor behavior*, 6 (1), 17–25. DOI: 10.1080/00222895.1974.10734975

Literaturverzeichnis

- Smith, J., Mansfield, N. & Gyi, D. (2015). Long-term Discomfort Evaluation. Comparison of Reported Discomfort between a Concept Elevated Driving Posture and a Conventional Driving Posture. *Procedia Manufacturing*, 3, 2387–2394. DOI: 10.1016/j.promfg.2015.07.387
- Smith, J., Mansfield, N., Gyi, D., Pagett, M. & Bateman, B. (2015). Driving performance and driver discomfort in an elevated and standard driving position during a driving simulation. *Applied Ergonomics*, 49, 25–33. DOI: 10.1016/j.apergo.2015.01.003
- Tabachnick, B. G. & Fidell, L. S. (2009). *Using multivariate statistics* (5. edition, 6. printing). Boston: Pearson Education.
- Techniker Krankenkasse. (2013). *Beweg Dich, Deutschland! TK-Studie zum Bewegungsverhalten der Menschen in Deutschland*. Hamburg: Techniker Krankenkasse Pressestelle.
- Thornton, A. (2000). Publication bias in meta-analysis its causes and consequences. *Journal of Clinical Epidemiology*, 53 (2), 207–216. DOI: 10.1016/S0895-4356(99)00161-4
- Ulherr, A. & Bengler, K. (2014). Global Discomfort Assessment for Vehicle Passengers by Simulation (UDASim). In *Proceedings of 3rd International Digital Human Modeling Symposium DHM 2014*.
- Ulherr, A. & Bengler, K. (2016). *Final report for the joint project funded by the German Federal Ministry of Education and Research within the framework of "KMU-innovativ. IKT": UDASim : global discomfort assessment for vehicle passengers by simulation; Project duration: 01.07.2013-30.09.2016* (Technische Universität München & Lehrstuhl für Ergonomie, Hrsg.). TIB - Technische Informationsbibliothek Universitätsbibliothek Hannover. DOI: 10.2314/GBV:888737955
- Ulherr, A. & Bengler, K. (2017). Seat Assessment – A Discussion of Comfort and Discomfort Models and Evaluation Methods. In *Proceedings of 1st International Comfort Congress ICC 2017*.
- Ulherr, A. & Bengler, K. (2018). Bewertung von Sitzen. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 72 (2), 104–110. DOI: 10.1007/s41449-017-0092-5
- Ulherr, A. & Bengler, K. (2019). How to Assess Sitting (Dis)comfort? – An Analysis of Current Measurement Methods and Scales. In S. Bagnara, R. Tartaglia, S. Albolino, T. Alexander & Y. Fujita (Hrsg.), *Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)* (Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 826, S. 566–575). Cham: Springer. DOI: 10.1007/978-3-319-96065-4_60

Literaturverzeichnis

- Ulherr, A., Hasselmann, K., Kuhn, K. & Bengler, K. (2015). The Effect of Secondary Tasks on the perceived Seating Discomfort. In *Proceedings of the 19th Triennial Congress of the International Ergonomics Association*.
- Ulherr, A., Yang, Y. & Bengler, K. (2017). Implementation of an artificial neural network for global seat discomfort prediction by simulation. In *Proceedings of the 5th International Digital Human Modeling Symposium* (1. Aufl., S. 274–282). Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- Ulherr, A., Zeller, F. & Bengler, K. (2018). Simulating Seat Discomfort. An Experimental Design for Using Digital Human Models. In D. N. Cassenti (Hrsg.), *Advances in Human Factors in Simulation and Modeling. AHFE 2017* (Advances in Intelligent Systems and Computing, Bd. 509, S. 354–365). Cham: Springer International Publishing. DOI: 10.1007/978-3-319-60591-3_32
- Van Dale Uitgevers. (2019). *Gratis Woordenboek. Betekenis 'Discomfort'*. Zugriff am 12.02.2019. Verfügbar unter <https://www.vandale.nl/gratis-woordenboek/engels-nederlands/vertaling/Discomfort>
- Vink, P. & Hallbeck, S. (2012). Editorial: Comfort and discomfort studies demonstrate the need for a new model. In P. Vink & S. Hallbeck (Hrsg.) *Applied Ergonomics. Special Section on Product Comfort. Applied Ergonomics. 43* (2), 271–276 [Themenheft].
- Wachsler, R. A. & Learner, D. B. (1960). An Analysis of Some Factors Influencing Seat Comfort. *Ergonomics*, 3 (4), 315–320. DOI: 10.1080/00140136008930493
- Wegener, B. (1982). Outline of a Structural Taxonomy of Sensory and Social Psychophysics. In B. Wegener (Hrsg.), *Social attitudes and psychophysical measurement* (S. 1–40). Erlbaum: Hillsdale, NJ.
- Weisberg, M. (2003). *When Less Is More. Tradeoffs and Idealization in Model Building*. PhD Dissertation. Stanford University, Stanford, USA. Zugriff am 10.07.2018. Verfügbar unter <http://www.academia.edu/download/30604870/lessmorefinal.pdf>
- WHO. (2018). *Body mass index - BMI*, World Health Organization - Regional Office for Europe. Zugriff am 23.10.2018. Verfügbar unter <http://www.euro.who.int/en/health-topics/disease-prevention/nutrition/a-healthy-lifestyle/body-mass-index-bmi>
- Yamazaki, N. (1992). Analysis of sitting comfortability of driver's seat by contact shape. *Ergonomics*, 35 (5-6), 677–692. DOI: 10.1080/00140139208967846

Literaturverzeichnis

- Zeller, F. (2015). *Konzept und Planung eines Versuchs zum Trainieren künstlicher neuronaler Netze für die Diskomfortbewertung*. Nicht veröffentlichte Masterarbeit. Technische Universität München, Garching.
- Zenk, R. (2009). *Objektivierung des Sitzkomforts und seine automatische Anpassung* (Ergonomie). München: Utz.
- Zhang, L., Helander, M. G. & Drury, C. G. (1996). Identifying Factors of Comfort and Discomfort in Sitting. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 38 (3), 377–389. DOI: 10.1518/001872096778701962

Anhang 1

Anhang 1

Analyisierte Literatur für die Metaanalysen

Autor(en)	Jahr	Titel der Veröffentlichung	Verwendet für Metaanalyse
Ahmed & Babski-Reeves	2009	Analysis of Subjective Body Discomfort Ratings during Simulated Prolonged Driving Tasks: What Measures are most Effective?	Nein
Cardoso, McKinnon, Viggiana, Johnson, Callaghan & Albert	2018	Biomechanical investigation of prolonged driving in an ergonomically designed truck seat prototype	Ja
Coelho & Dahlman	2012	Articulation at shoulder level e A pilot experimental study on car seat comfort	Nein
Daruis, Deros, Nor & Hosseini Fouladi	2012	Relationship Between Objective And Subjective Methods In Evaluating Static Discomfort Of Car Driver Seat	Nein
Durkin, Harvey, Hughson & Callaghan	2007	The effects of lumbar massage on muscle fatigue, muscle oxygenation, low back discomfort, and driver performance during prolonged driving	Nein
El Falou, Duchene, Grabisch, Hewson, Langeron & Lino	2003	Evaluation of driver discomfort during long-duration car driving	Ja
Franz, Durt, Zenk & Desmet	2012	Comfort effects of a new car headrest with neck support	Nein
Grabisch, Duchene & Lino	2002	Subjective Evaluation of Discomfort in Sitting	Nein
Gyi & Porter	1999	Interface pressure and the prediction of car seat discomfort	Nein
Hiemstra-van Mastrigt, Kamp, Veen van, Vink & Bosch	2015	The influence of active seating on car passengers' perceived comfort and activity levels	Nein
Kamp	2012	The influence of car-seat design on its character experience	Nein

Anhang 1

Autor(en)	Jahr	Titel der Veröffentlichung	Verwendet für Metaanalyse
Kolich	2003	Automobile seat comfort: occupant preferences vs. anthropometric accommodation.	Ja
Kolich & Taboun	2004	Ergonomics modelling and evaluation of automobile seat comfort	Ja
Kyung & Nussbaum	2008	Driver sitting comfort and discomfort (part II): Relationships with and prediction from interface pressure.	Ja
Kyung & Nussbaum	2009	Specifying comfortable driving postures for ergonomic design and evaluation of the driver	Nein
Le, Rose, Knapik & Marras	2014	Objective classification of vehicle seat discomfort	Nein
Lim, Chung, Jung & Na	2000	The Effect of Lumbar Support Prominence on Driver's Comfort and Body Pressure Distribution.	Ja
Mansfield, Sammonds & Nguyen	2015	Driver discomfort in vehicle seats - Effect of changing road conditions and seat foam composition	Ja
Mergl	2006	Entwicklung eines Verfahrens zur Optimierung des Sitzkomforts auf Automobilsitzen	Ja
Na, Lim, Choi & Chung	2005	Evaluation of driver's discomfort and postural change using dynamic body pressure distribution	Nein
Porter, Gyi & Tait	2003	Interface pressure data and the prediction of driver discomfort in road trials	Nein
Smith, Mansfield & Gyi	2015	Long-term discomfort evaluation: Comparison of reported discomfort between a concept elevated driving posture and a conventional driving posture	Ja
Smith, Mansfield, Gyi, Pagett & Batenan	2015	Driving performance and driver discomfort in an elevated and standard driving position during a driving simulation	Ja

Anhang 2

Fahrzeugsitze für den Versuch

Sitz von BMW:



Anhang 2

Sitz von Daimler:



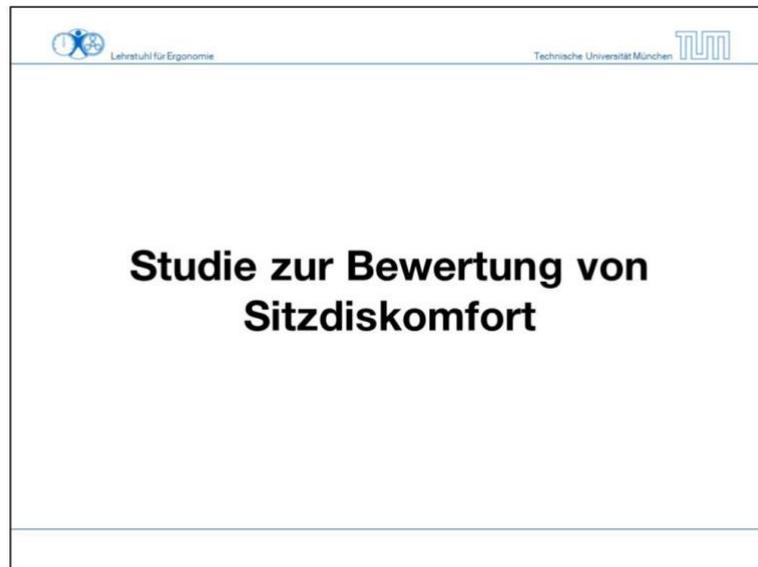
Anhang 2

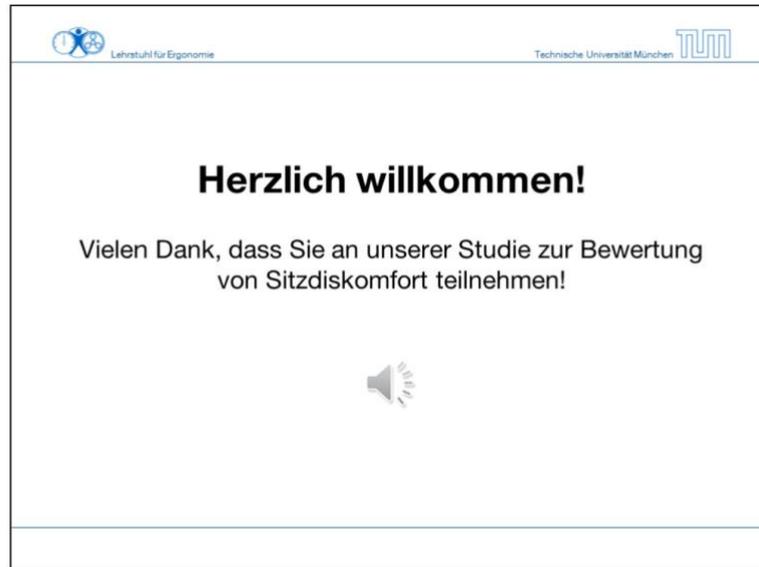
Sitz von Ford:



Anhang 3

Einführungspräsentation Versuch





Vielen Dank, dass Sie an unserer Studie zur Bewertung von Sitzdiskomfort teilnehmen.

Bei Unklarheiten oder Fragen können Sie uns jederzeit ansprechen.

Lehrstuhl für ErgonomieTechnische Universität München 

Versuchsablauf

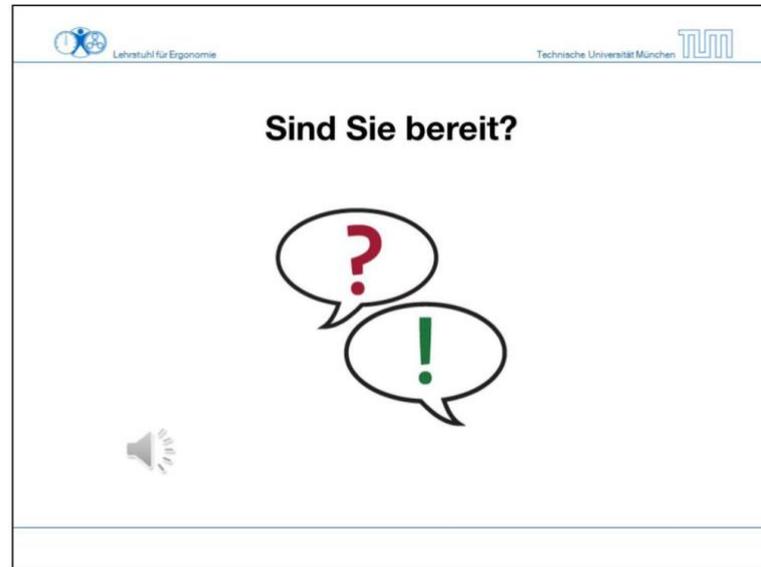
- 3 verschiedene Sitze mit je 3 Einstellungen
→ 9 Konfigurationen
- 3 Termine pro Person
- Jeweils 3 Konfigurationen pro Termin
- Anthropometriemessung am ersten Termin
- 45 Minuten Sitzen pro Konfiguration
- Diskomfortbewertung alle 15 Minuten



Bei dieser Studie geht es um die Bewertungen von Diskomfort während des Sitzens. Es werden 3 verschiedene Sitze mit je 3 verschiedenen Einstellungen an drei Terminen bewertet. Dabei müssen Sie nichts weiter tun als zu sitzen und alle 15 Minuten den Sitzdiskomfort bewerten.

Vorab wird einmalig eine Anthropometriemessung durchgeführt, um ihre Körpermaße zu erfassen. Danach werden Sie auf dem Versuchsstand Platz nehmen, sich den Sitz passend für sich einstellen und so pro Konfiguration 45 Minuten sitzen. Am heutigen Termin werden 3 Konfigurationen getestet.

Zwischen den Konfigurationen erfolgt ein Umbau. Dieser dauert etwa 15 Minuten. In dieser Zeit bitten wir Sie sich zu entspannen und ungefähr 10 Minuten spazieren zu gehen.



Haben Sie noch Fragen, ansonsten starten wir nun mit dem Versuch.
Bei Unklarheiten und Fragen können Sie uns jederzeit ansprechen.



Sie bekommen nun zuerst einen Fragebogen von der Versuchsleitung mit Fragen zu Ihrer Person. Bitte füllen Sie diesen komplett aus und seien Sie ehrlich. Ihre Daten werden anonymisiert gespeichert und ausgewertet, das heißt es wird später nicht möglich sein Ihre Daten mit Ihrem Namen in Verbindung zu bringen.

Außerdem werden die Informationen nur für wissenschaftliche Untersuchungen genutzt. Dies gilt auch für alle weiteren Fragebögen, die Sie im Laufe des Versuchs bitte ausfüllen.



Um Ihre Körpermaße zu erfassen, werden wir nun zwei Fotos von Ihnen aufnehmen.

Dabei nehmen Sie bitte die folgenden zwei stehenden Haltungen nacheinander nach Aufforderung durch die Versuchsleitung ein.

Während den Aufnahmen bitte nicht bewegen.



Die erste Haltung ist die gerade stehende Haltung.

Bitte stellen Sie sich gerade hin und schauen Sie gerade nach vorne.
Die Arme seitlich am Körper herunterhängen lassen.



Die zweite Haltung ist die sogenannte Pharao-Haltung.

Bitte stellen Sie Ihren linken Fuß auf die Ablagefläche, sodass das linke Knie einen 90 Grad Winkel einnimmt. Der linke Arm wird am Körper anliegend so gehalten, dass auch der Ellenbogen einen 90 Grad Winkel aufweist und die Handfläche nach rechts zeigt. Der rechte Arm hängt wie bei der vorherigen Haltung am Körper nach unten.



Der Versuch heute setzt sich aus den Bewertungen von 3 Konfigurationen zusammen.

Grundsätzlich müssen Sie nichts weiter tun, als pro Konfiguration 45 Minuten ruhig sitzen zu bleiben und zwischendurch Bewertungen abgeben.

Um den Versuch kurzweilig zu gestalten, haben Sie während des Sitzens die Möglichkeit auf der Wii das Spiel „Mario Kart“ zu spielen. Zwischen den Teilversuchen bitten wir Sie 10 Minuten spazieren zu gehen und sich zu entspannen.



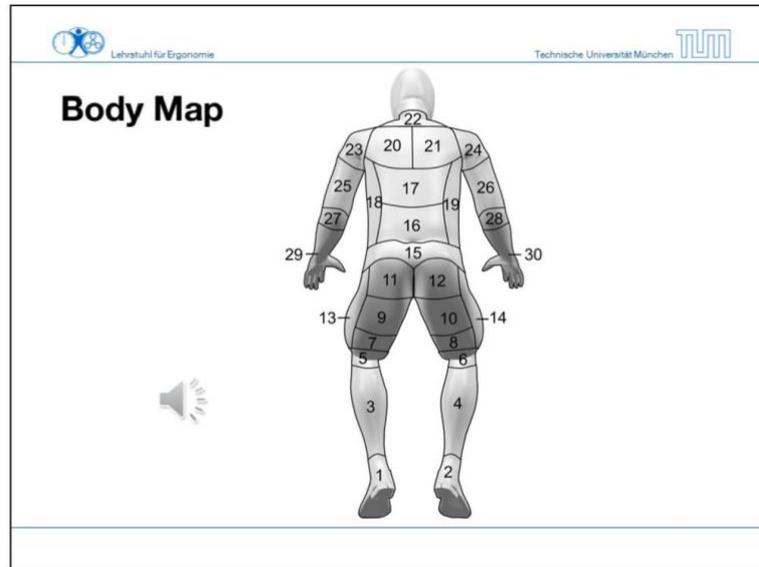
Die Versuchsleitung wird Sie während des Versuchs alle 15 Minuten nach Ihrem Diskomfort befragen. Die subjektive Bewertung erfolgt anhand der sogenannten CP 50 Skala und einer Bodymap. Mit Hilfe dieser werden Sie einzelne Körperbereiche hinsichtlich des Diskomforts bewerten. Anschließend geben Sie bitte einen Wert für Ihren Gesamtdiskomfort an, dieser soll Ihre Muskelanspannung, das Druckempfinden und die Gelenkstellungen über den ganzen Körper widerspiegeln.



Unter Diskomfort ist zu verstehen, wie **unangenehm** Sie eine Gegebenheit empfinden. Diskomfort kann unterschiedlichste Ursachen haben. Ziel der Diskomfortbewertung ist es, nicht die Ursachen des Diskomforts zu bewerten, sondern die Stärke des Diskomforts, d.h. **wie stark das unangenehme Gefühl ist**, das Sie in einem Körperbereich verspüren. Diskomfort ist somit immer mit einer **negativen Empfindung** in dem jeweiligen Körperbereich gleichzusetzen.

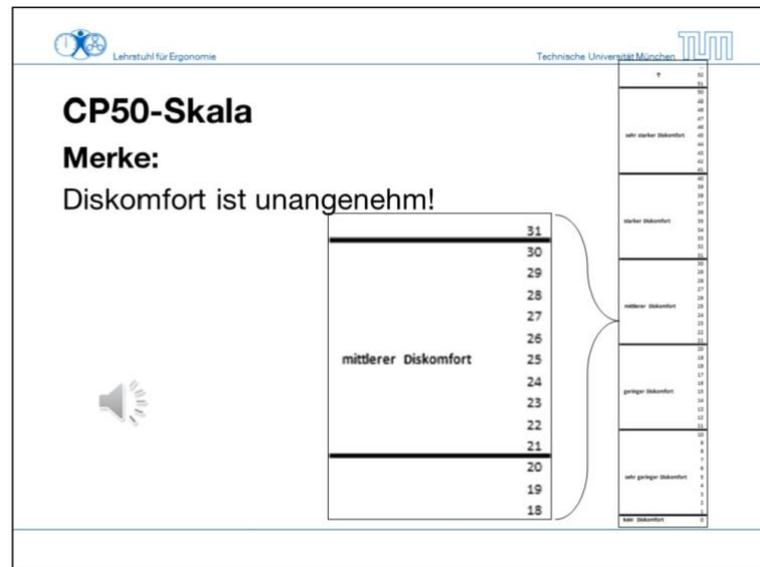
„Kein Diskomfort“ bedeutet somit, dass Sie keine unangenehme Empfindung in dem jeweiligen Körperbereich verspüren. „Sehr starker Diskomfort“ bedeutet hingegen, dass Sie in dem jeweiligen Körperbereich eine sehr starke unangenehme Empfindung verspüren. Wenn Sie zum Beispiel längere Zeit auf einer Bierbank sitzen, werden Sie schnell das Bedürfnis haben etwas an Ihrer Sitzposition zu ändern, auch ohne genau zu wissen ob das harte Holz, die fehlende Lehne oder etwas anderes der Grund für Ihr unangenehmes Gefühl ist. Und die Ausprägung dieses unangenehmen Gefühls wird durch die Höhe des Diskomforts bewertet.

Anhang 3



Hier sehen Sie die sogenannte Body Map. Dabei handelt es sich um eine Aufteilung der Körperoberfläche in die Bereiche 1 bis 30. Die Bewertung der Körperbereiche erfolgt der Reihe nach.

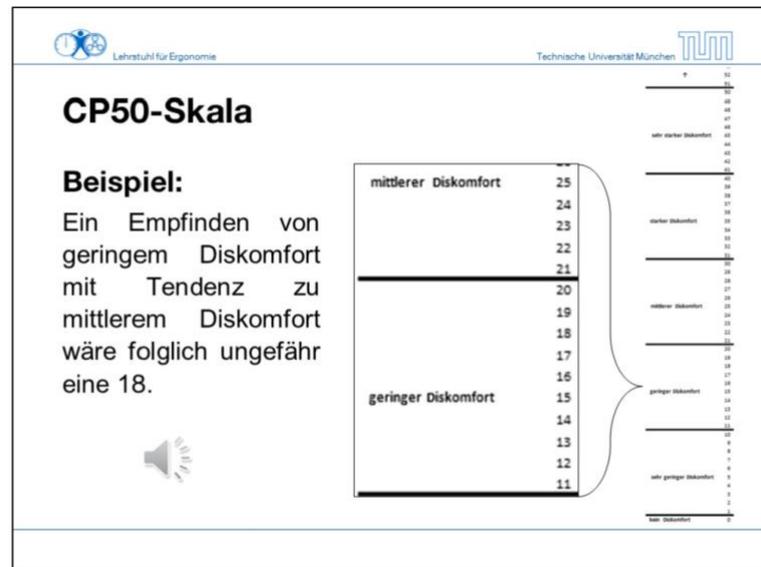
Anhang 3



Um Ihren Diskomfort für die einzelnen Körperbereiche zu bewerten, wählen Sie zunächst eine der Kategorien der CP 50 Skala.

Diese sind: kein Diskomfort, sehr geringer Diskomfort, geringer Diskomfort, mittlerer Diskomfort, starker Diskomfort und sehr starker Diskomfort.

Anschließend geben Sie durch den Zahlenwert die Tendenz innerhalb dieser Kategorie an.



Hier ein Beispiel: Ein Empfinden von geringem Diskomfort mit Tendenz zu mittlerem Diskomfort wäre folglich ungefähr eine 18.



Sie bekommen nun einen Fragebogen von der Versuchsleitung mit Fragen zu Ihrem aktuellen persönlichen Befinden. Bitte füllen Sie diesen komplett aus und seien Sie ehrlich. Ihre Daten werden, wie schon vorher erwähnt, anonymisiert gespeichert und ausgewertet.



Nehmen Sie nun bitte auf dem Versuchsstand Platz.

Stellen Sie sich folgendes Szenario vor: Sie fahren gleich eine längere Strecke mit dem Auto und wollen den Sitz passend einstellen. Dazu haben Sie folgende Verstellmöglichkeiten: Sitz nach vorne oder hinten, Sitzhöhenverstellung und die Neigung der Lehne. Stellen Sie sich den Sitz so ein, dass Sie fahren könnten und möglichst angenehm sitzen.

Wenn Sie fertig sind, stehen Sie bitte auf, damit die Druckmessmatten aufgelegt werden können.

Anschließend nehmen Sie wieder Platz und ändern bitte möglichst nichts mehr an Ihrer Haltung für die restliche Versuchsdauer.



Die Hände sollen während des gesamten Versuchs am Lenkrad bleiben, so als würden Sie tatsächlich Auto fahren. Dafür nehmen Sie die Viertel-vor-Drei-Position ein, so dass die Hände den Lenkradkranz jeweils mittig links und rechts umfassen. Dort sind auch die Bedienelemente der Wii angebracht.



Um den Versuch etwas kurzweiliger zu gestalten, haben Sie die Möglichkeit mit der Wii das Spiel „Mario Kart“ zu spielen. Dabei können Sie auf einem Rundkurs fahren. Mit dem Lenkrad können Sie ganz normal lenken. Gas geben können Sie mit dem Knopf an der rechten Hand, bremsen mit dem Knopf an der linken Hand. Es ist sehr wichtig, dass Sie sich während des Spiels nicht aufregen und immer ruhig sitzen bleiben. Das Spiel dient lediglich zur Unterhaltung.

Sie haben nun die Möglichkeit eine Testfahrt mit der Wii zu machen.

→ **Testfahrt wäre nicht schlecht!**



Wir bedanken uns ganz herzlich für Ihre Teilnahme am Versuch zur Bewertung von Sitzdiskomfort!

Anhang 4

Anhang 4

Reihenfolge der Konfigurationen je Versuchsperson

	1. Termin			2. Termin			3. Termin		
VP 1	4	5	7	9	2	1	8	6	3
VP 2	9	5	2	3	6	7	1	4	8
VP 3	6	5	3	8	2	9	7	1	4
VP 4	5	7	1	8	9	3	2	6	4
VP 5	7	8	9	2	5	3	4	6	1
VP 6	3	2	9	7	4	5	6	8	1
VP 7	9	8	2	5	1	6	3	4	7
VP 8	1	8	2	5	6	9	7	3	4
VP 9	8	4	2	3	5	7	9	1	6
VP 10	7	2	8	3	9	5	1	4	6
VP 11	1	5	6	2	9	4	3	7	8
VP 12	5	7	3	2	1	8	9	6	4
VP 13	4	8	3	6	7	1	5	9	2
VP 14	5	1	8	7	4	9	6	3	2
VP 15	7	8	4	5	3	2	9	6	1
VP 16	5	1	3	8	7	4	6	9	2
VP 17	8	9	1	3	4	6	2	5	7
VP 18	5	4	8	6	9	1	2	7	3
VP 19	3	1	2	9	7	5	6	8	4
VP 20	9	4	6	7	8	3	5	1	2
VP 21	6	2	9	8	5	4	7	1	3
VP 22	2	8	6	9	5	4	3	7	1
VP 23	1	8	7	6	2	4	5	9	3
VP 24	8	9	4	2	1	5	7	3	6
VP 25	8	4	6	5	9	1	7	2	3
VP 26	5	8	4	7	9	1	6	3	2
VP 27	4	6	5	2	1	3	7	8	9
VP 28	5	8	2	4	3	9	6	1	7
VP 29	4	6	1	5	8	2	3	9	7
VP 30	7	1	3	5	6	8	4	2	9
VP 31	7	5	1	4	6	8	9	3	2
VP 32	6	5	2	8	1	9	7	4	3
VP 33	6	8	3	4	9	2	7	5	1
VP 34	5	4	8	7	2	9	6	1	3
VP 35	6	1	5	2	4	3	8	7	9
VP 36	1	3	2	8	6	5	7	9	4
VP 37	5	4	3	6	7	2	1	8	9
VP 38	6	8	1	2	4	7	3	5	9
VP 39	6	2	1	9	5	3	7	4	8
VP 40	8	2	1	7	6	3	9	5	4

Sitz	Package	Nr.
Ford	Sportwagen	1
Ford	Limousine	2
Ford	SUV	3
Daimler	Sportwagen	4
Daimler	Limousine	5
Daimler	SUV	6
BMW	Sportwagen	7
BMW	Limousine	8
BMW	SUV	9

Anhang 5

Fragebögen und Bogen zur Abfrage des Diskomforts

Fragebogen zur Erfassung persönlicher Daten			
Versuchsperson		Datum	
Körpermaße	____cm; ____kg	<input type="checkbox"/> Mann <input type="checkbox"/> Frau	Alter ____Jahre
Welchen Beruf üben Sie aus?			
Haben Sie schon mal an einer Studie des LfE teilgenommen?		<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	
Hatten Sie innerhalb der letzten 6 Monate Beschwerden im Bereich von Rücken, Becken oder Beinen?		<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	
Wenn ja in welchen Bereichen?			
Wann sind diese das letzte Mal aufgetreten?			
Wie viele Stunden sitzen Sie im Durchschnitt pro Tag? (Sowohl während der Arbeitszeit, als auch in Ihrer Freizeit)		____ Stunden pro Tag	

Anhang 5

Fragebogen zur Erfassung der Tagesform

Versuchsperson		Datum	
----------------	--	-------	--

Ich bin um ____ Uhr aufgestanden. Jetzt ist es ____ Uhr.				
Ich fühle mich gerade ...				
<input type="checkbox"/> wach	<input type="checkbox"/> eher wach	<input type="checkbox"/> eher müde	<input type="checkbox"/> müde	
Für den Versuch bin ich ...				
<input type="checkbox"/> motiviert	<input type="checkbox"/> eher motiviert	<input type="checkbox"/> eher unmotiviert	<input type="checkbox"/> unmotiviert	
Insgesamt fühle ich mich ...				
<input type="checkbox"/> gut	<input type="checkbox"/> eher gut	<input type="checkbox"/> mittelmäßig	<input type="checkbox"/> eher schlecht	<input type="checkbox"/> schlecht

Ich fühle mich auf dem Mockup ...			
<input type="checkbox"/> sicher	<input type="checkbox"/> eher sicher	<input type="checkbox"/> eher unsicher	<input type="checkbox"/> unsicher

Anhang 5

Befragung während des Versuchs

Versuchsperson		Sitzeinstellung	
----------------	--	-----------------	--

1. Bewertung des Diskomforts nach CP50-Skala bei 0 Minuten

Bereich	Wert	Bereich	Wert	Bereich	Wert
1		11		21	
2		12		22	
3		13		23	
4		14		24	
5		15		25	
6		16		26	
7		17		27	
8		18		28	
9		19		29	
10		20		30	
				Gesamt	

Anmerkungen:

2. Bewertung des Diskomforts nach CP50-Skala bei 15 Minuten

Bereich	Wert	Bereich	Wert	Bereich	Wert
1		11		21	
2		12		22	
3		13		23	
4		14		24	
5		15		25	
6		16		26	
7		17		27	
8		18		28	
9		19		29	
10		20		30	
				Gesamt	

Anmerkungen:

Anhang 5

3. Bewertung des Diskomforts nach CP50-Skala bei 30 Minuten

Bereich	Wert	Bereich	Wert	Bereich	Wert
1		11		21	
2		12		22	
3		13		23	
4		14		24	
5		15		25	
6		16		26	
7		17		27	
8		18		28	
9		19		29	
10		20		30	
				Gesamt	

Anmerkungen:

4. Bewertung des Diskomforts nach CP50-Skala bei 45 Minuten

Bereich	Wert	Bereich	Wert	Bereich	Wert
1		11		21	
2		12		22	
3		13		23	
4		14		24	
5		15		25	
6		16		26	
7		17		27	
8		18		28	
9		19		29	
10		20		30	
				Gesamt	

Anmerkungen:

Anhang 5

Fragebogen am Ende der Versuchsreihe

Versuchsperson		Datum	
-----------------------	--	--------------	--

Ich empfand die Bewertung des Diskomforts mit Hilfe der CP50-Skala ...			
<input type="checkbox"/> einfach	<input type="checkbox"/> eher einfach	<input type="checkbox"/> eher schwierig	<input type="checkbox"/> schwierig

Ich war mir bei den Bewertungen des Diskomforts ...			
<input type="checkbox"/> sicher	<input type="checkbox"/> eher sicher	<input type="checkbox"/> eher unsicher	<input type="checkbox"/> unsicher

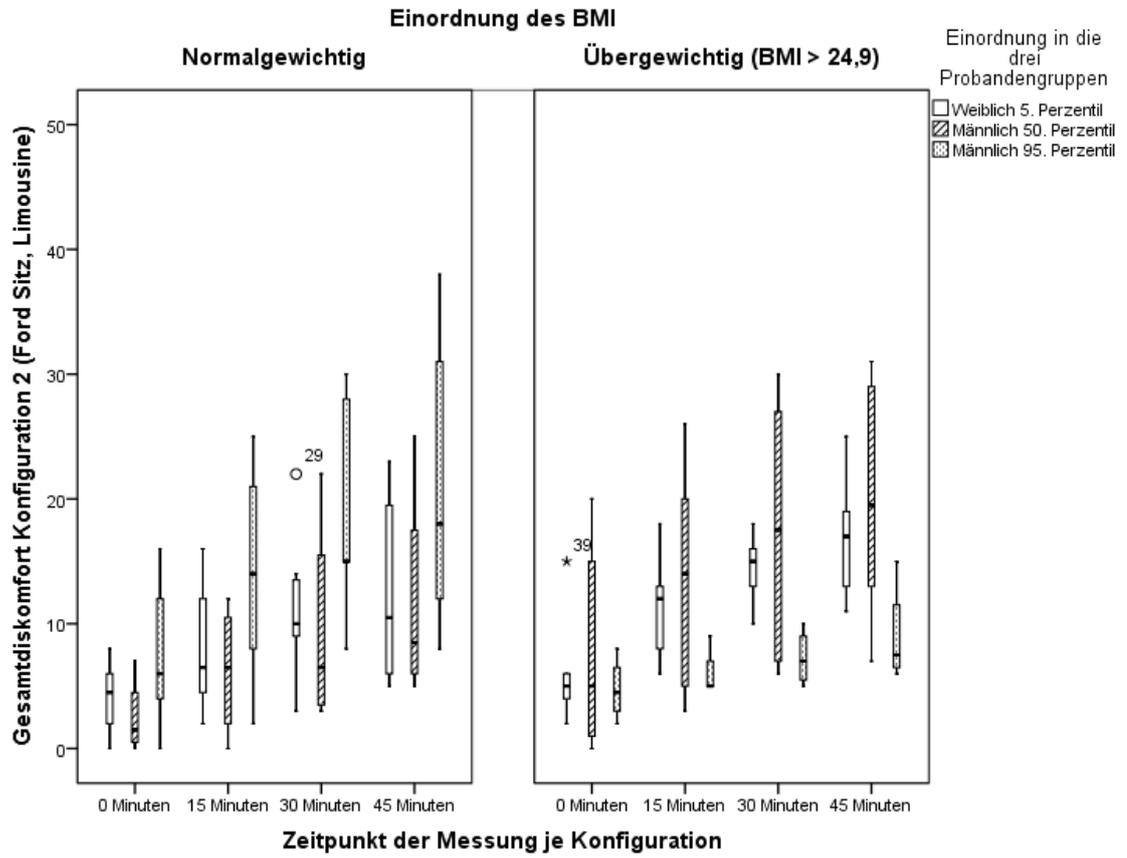
Die Abstufungen der Bewertungsskala für den Diskomfort waren für mich ...				
<input type="checkbox"/> zu viel	<input type="checkbox"/> eher zu viel	<input type="checkbox"/> genau richtig	<input type="checkbox"/> eher zu wenig	<input type="checkbox"/> zu wenig

Die Aufteilung der Körperbereiche in der Bodymap war für mich ...				
<input type="checkbox"/> zu fein	<input type="checkbox"/> eher zu fein	<input type="checkbox"/> genau richtig	<input type="checkbox"/> eher zu grob	<input type="checkbox"/> zu grob

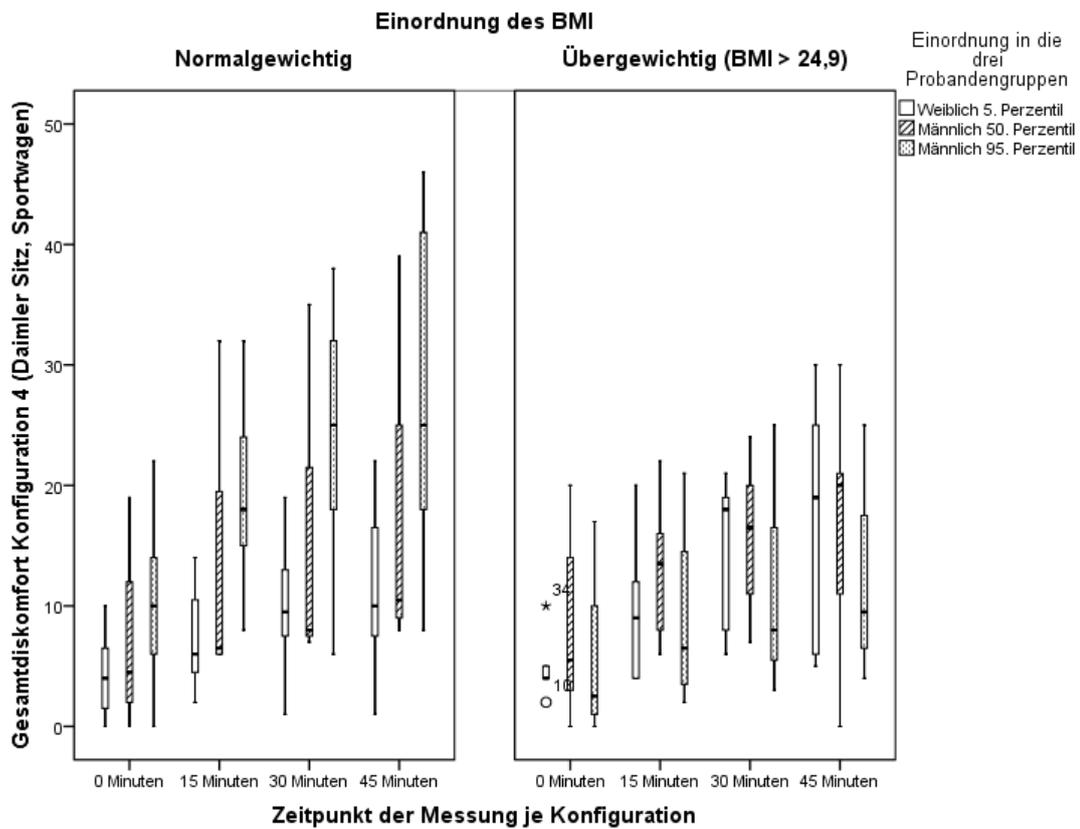
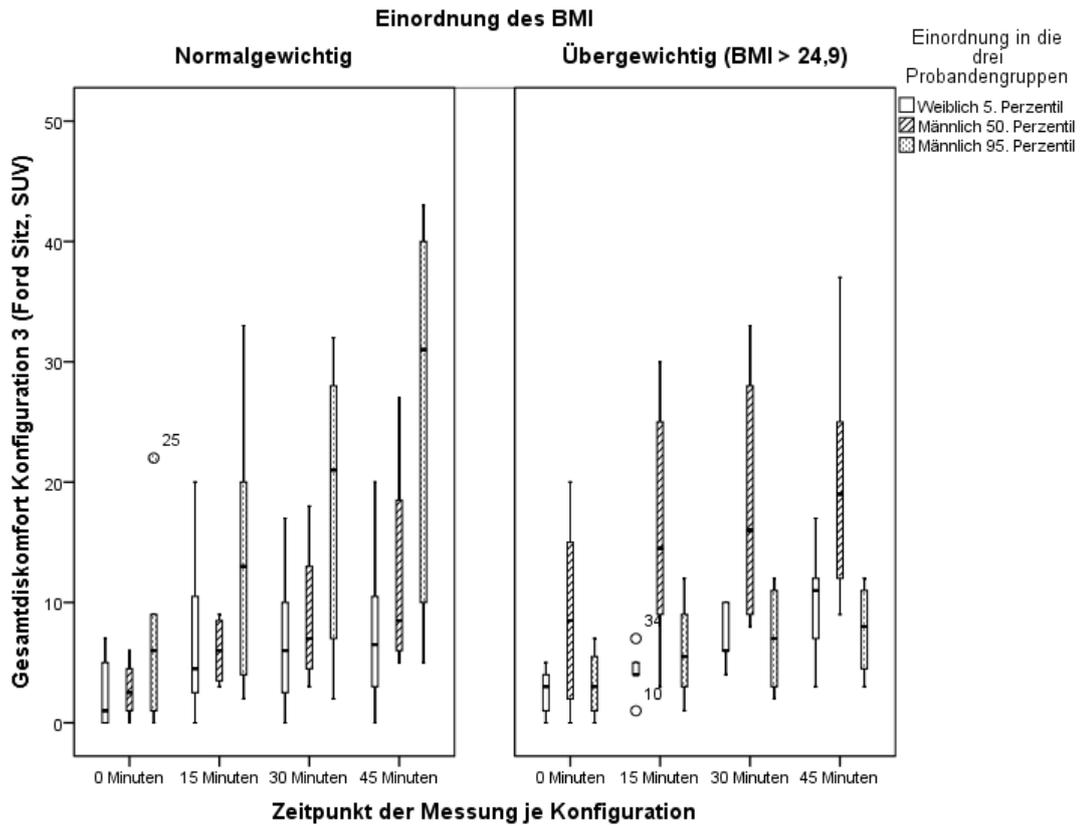
Anmerkungen aller Art				

Anhang 6

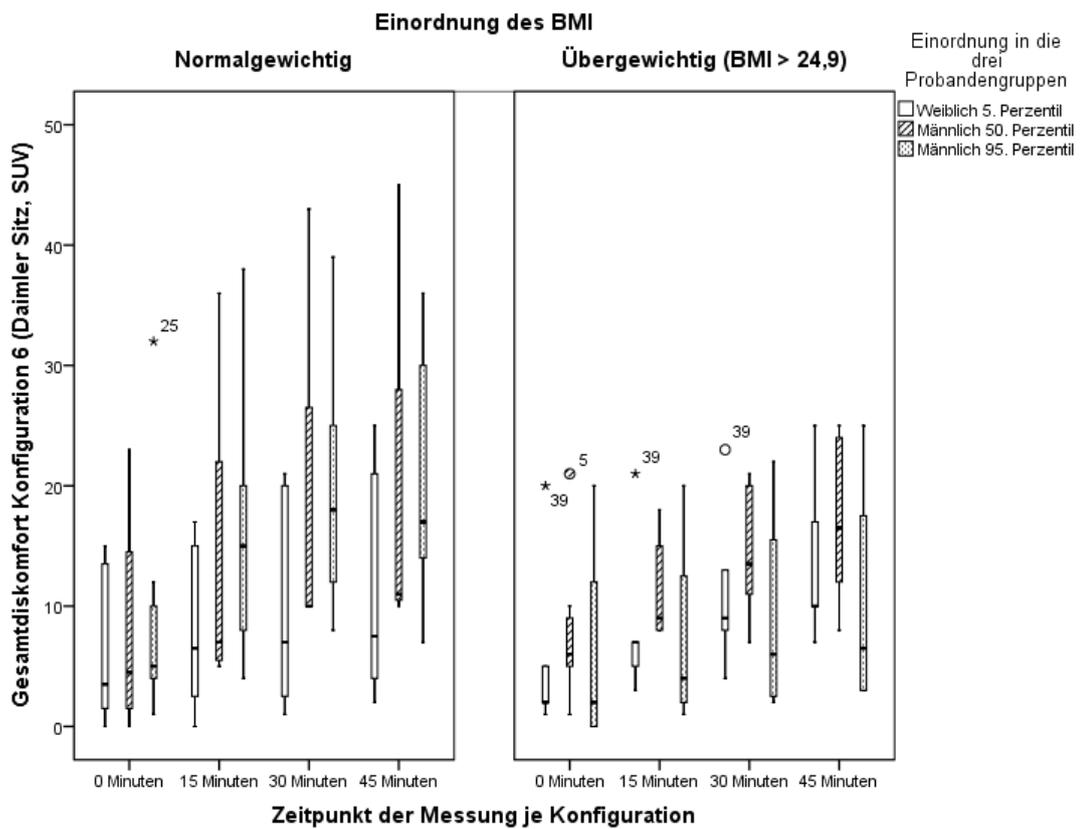
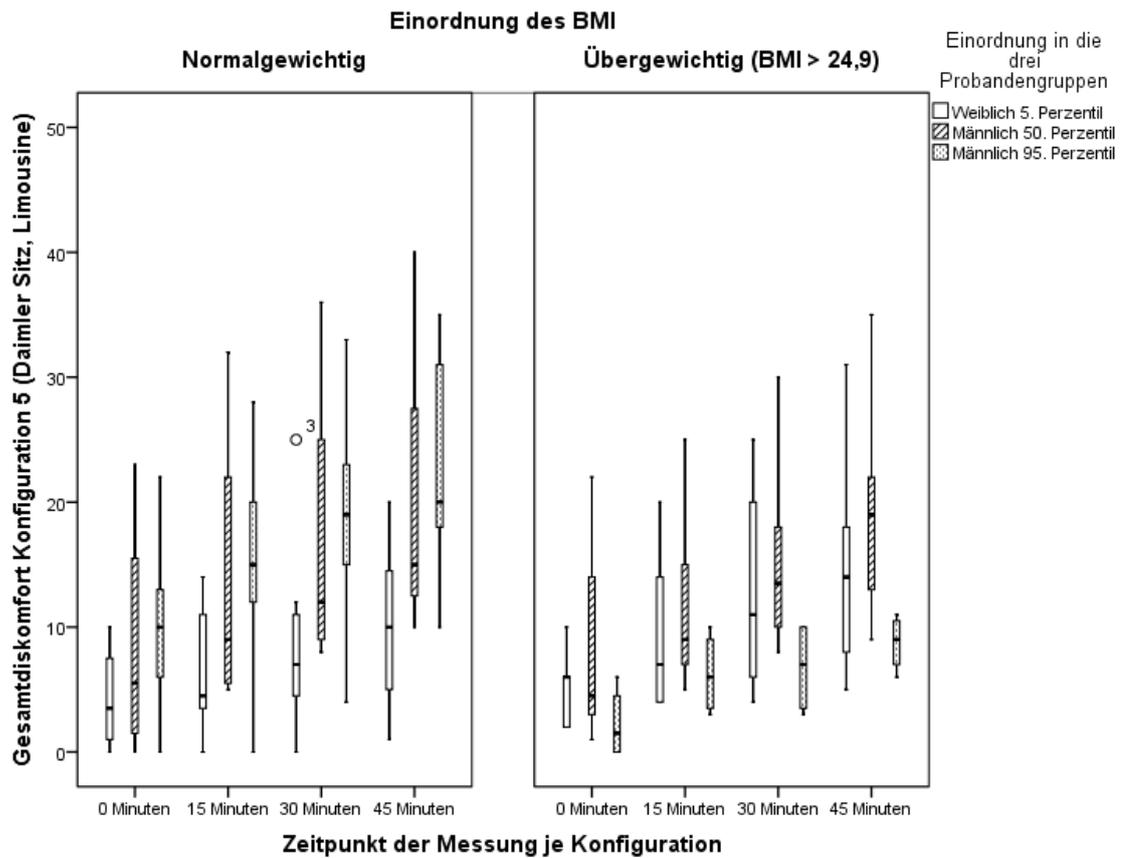
Box Plots je Konfiguration über die Zeit aufgeteilt nach BMI



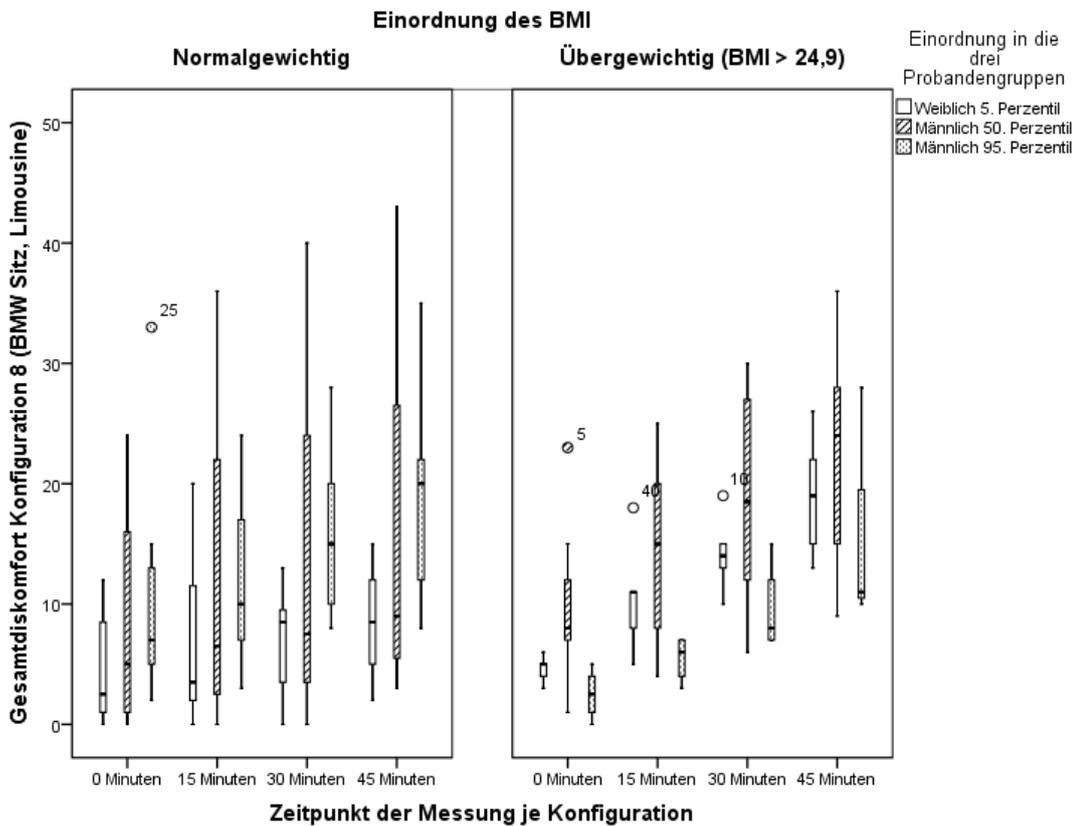
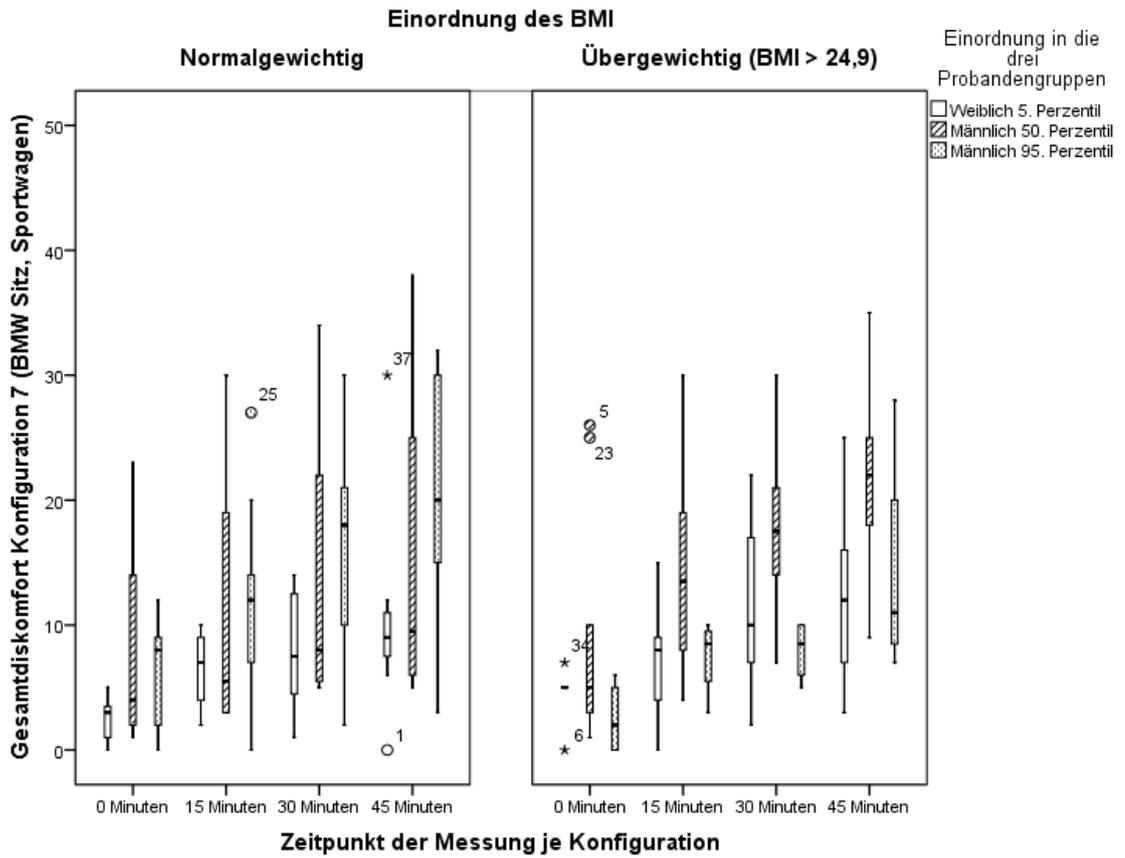
Anhang 6



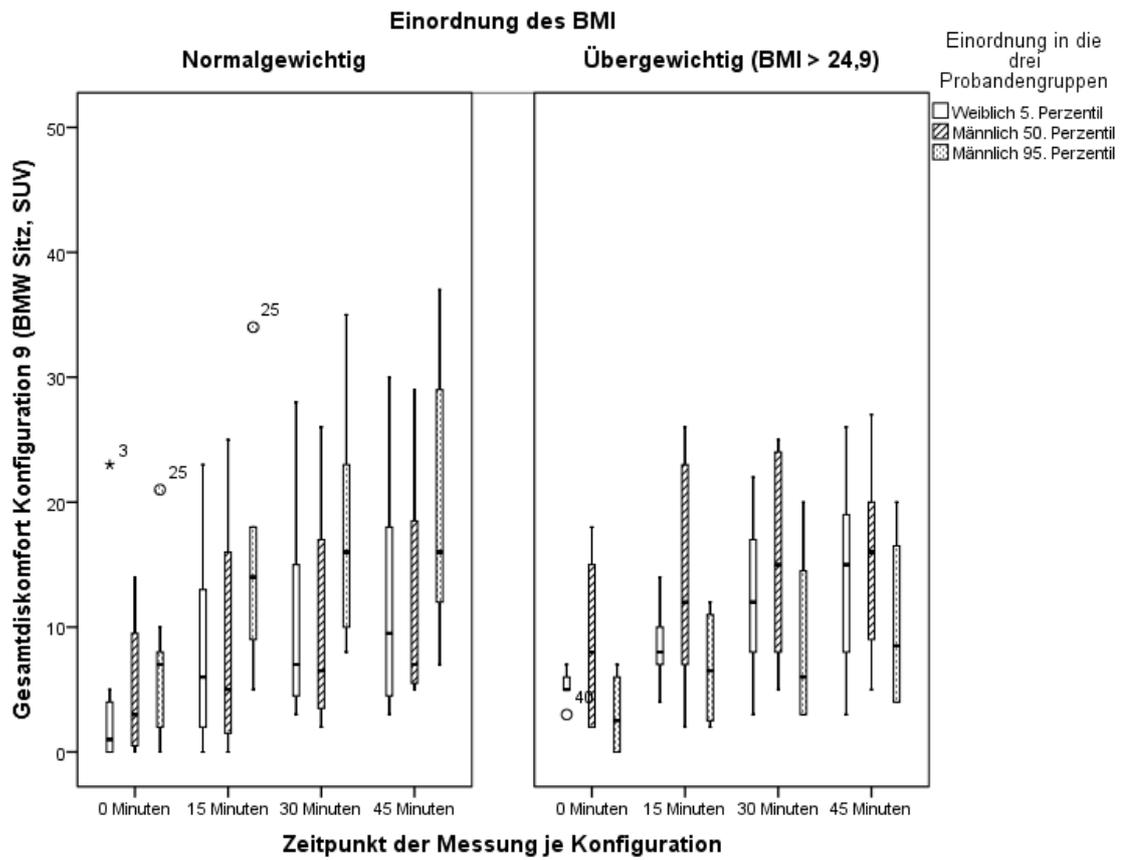
Anhang 6



Anhang 6



Anhang 6



Abbildungsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1: Zahl der wissenschaftlichen Veröffentlichungen pro Jahr ab 1990 auf Scopus (www.scopus.com, Stand 31.01.2019) _____	10
Abbildung 3-2: Komfort/Diskomfortmodell nach Zhang et al. (1996, S. 388), eigene Darstellung _____	12
Abbildung 3-3: Theoretisches Komfort/Diskomfortmodell von Looze et al. (2003, S. 988) _____	13
Abbildung 3-4: Ein Teil des Modells von Moes (2005), adaptiert von Vink und Hallbeck (2012, S. 274) (I: Interaction, E: Internal Body Effects, P: Perception, A: Appreciation, D: Discomfort), eigene Darstellung _____	14
Abbildung 3-5: Komfort/Diskomfortmodell von Vink und Hallbeck (2012, S. 275) (I: Interaction, H: Internal Human Body Effects, P: Perception, E: Expectations, C: Comfort, N: Nothing, D: Discomfort, M: Musculoskeletal Complaints), eigene Darstellung _____	15
Abbildung 3-6: Von Naddeo et al. (2014) vorgeschlagenes Komfortwahrnehmungsmodell, eigene Darstellung _____	16
Abbildung 3-7: Komfort- und Diskomfortmodell von Hiemstra-van Mastrigt et al. (2016, S. 19), eigene Darstellung _____	17
Abbildung 3-8: Entwicklung des Diskomforts des Rückens über die Sitzdauer (Estermann, 1999, S. 91) _____	23
Abbildung 4-1: Verlauf der Anzahl an Veröffentlichungen bei Scopus mit dem Begriff "Meta-Analysis" im Titel zwischen 1990 und 2018 (www.scopus.com, Stand: 31.01.2019) _____	30
Abbildung 5-1: Der verwendete Versuchsstand am Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München _____	49
Abbildung 5-2: Verstellrichtungen des Sitzes, des Bodens und der Pedale am Versuchsaufbau _____	50
Abbildung 5-3: Einstellmöglichkeiten des Lenkrads mit installiertem Wii-Controller und Monitor für das Spiel Mario Kart _____	51
Abbildung 5-4: Verwendete Body Map und CP50-Skala basierend auf Hartung (2006) angepasst für den durchgeführten Versuch (Ulherr et al., 2018) _____	53
Abbildung 5-5: Elemente eines Box-Plot Diagramms _____	58
Abbildung 5-6: Box-Plot des Gesamtdiskomforts der ersten Versuchskonfiguration (Ford Sitz in Sportwagen-Package) über alle Messzeitpunkte aufgeteilt in die drei Probandengruppen _____	59
Abbildung 5-7: Box-Plot des Gesamtdiskomforts der zweiten Versuchskonfiguration (Ford Sitz in Limousinen-Package) über alle Messzeitpunkte aufgeteilt in die drei Probandengruppen _____	60
Abbildung 5-8: Box-Plot des Gesamtdiskomforts der dritten Versuchskonfiguration (Ford Sitz in SUV- Package) über alle Messzeitpunkte aufgeteilt in die drei Probandengruppen _____	61
Abbildung 5-9: Box-Plot des Gesamtdiskomforts der vierten Versuchskonfiguration (Daimler Sitz in Sportwagen-Package) über alle Messzeitpunkte aufgeteilt in die drei Probandengruppen _____	62
Abbildung 5-10: Box-Plot des Gesamtdiskomforts der fünften Versuchskonfiguration (Daimler Sitz in Limousinen-Package) über alle Messzeitpunkte aufgeteilt in die drei Probandengruppen _____	63

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 5-11: Box-Plot des Gesamtdiskomforts der sechsten Versuchskonfiguration (Daimler Sitz in SUV-Package) über alle Messzeitpunkte aufgeteilt in die drei Probandengruppen</i>	64
<i>Abbildung 5-12: Box-Plot des Gesamtdiskomforts der siebten Versuchskonfiguration (BMW Sitz in Sportwagen-Package) über alle Messzeitpunkte aufgeteilt in die drei Probandengruppen</i>	65
<i>Abbildung 5-13: Box-Plot des Gesamtdiskomforts der achten Versuchskonfiguration (BMW Sitz in Limousinen-Package) über alle Messzeitpunkte aufgeteilt in die drei Probandengruppen</i>	66
<i>Abbildung 5-14: Box-Plot des Gesamtdiskomforts der neunten Versuchskonfiguration (BMW Sitz in SUV-Package) über alle Messzeitpunkte aufgeteilt in die drei Probandengruppen</i>	67
<i>Abbildung 5-15: Box-Plot des Gesamtdiskomforts der ersten Versuchskonfiguration über alle Messzeitpunkte aufgeteilt in die drei Probandengruppen getrennt für normal- und übergewichtige Probanden</i>	69
<i>Abbildung 5-16: Abschlussfragebogen mit zugeordneten Zahlenwerten</i>	81
<i>Abbildung 5-17: Auswertung der subjektiven Bewertungen der Diskomfortbewertung, der CP50-Skala und der Body Map durch die 40 Versuchspersonen (N). Balkenhöhe entspricht dem Mittelwert (MW), der Fehlerbalken zeigt \pm eine Standardabweichung (SD), zusätzlich ist der Median angegeben (MD).</i>	82

Tabellenverzeichnis

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 3-1: Diskomfortskalen mit Bewertungen von Shen und Parsons (1997)</i>	19
<i>Tabelle 4-1: Die für die Metaanalyse verwendeten Veröffentlichungen</i>	32
<i>Tabelle 4-2: Informationen über Versuchspersonen, -konfigurationen, Versuchsaufbau und Nebenaufgabe der für die Metaanalyse herangezogenen Veröffentlichungen</i>	33
<i>Tabelle 4-3: Berechnete Effektstärken (Cohen's d) der Veröffentlichungen mit entsprechender Klassifikation e nach Ferguson (2009). In Klammern sind die Konfigurationen bzw. die betrachteten Unterschiede angegeben.</i>	37
<i>Tabelle 5-1: H30-Maße aus der Literatur (Macey, 2009) und die H30-Maße für die Versuchskonfigurationen</i>	46
<i>Tabelle 5-2: Realisierte Konfigurationen im Rahmen des Versuchs</i>	47
<i>Tabelle 5-3: Übersicht über die Einstellungen des Versuchsstands für die einzelnen Versuchskonfigurationen nach Package und Sitz je Hersteller</i>	50
<i>Tabelle 5-4: Versuchspersonen sortiert nach Probandengruppen</i>	55
<i>Tabelle 5-5: Anzahl der Versuchspersonen, Mittelwert des BMIs und Standardabweichung des BMIs je Probandengruppe aufgeteilt in unter-, normal- und übergewichtig (WHO, 2018)</i>	68
<i>Tabelle 5-6: Aufgenommene Prädiktoren je Modell der ersten multiplen, linearen Regression zur Vorhersage der abhängigen Variable Gesamtdiskomfort. Die durchgeführte Regression bestimmt den Einfluss der Variablen Probandengruppe, Sitz, Package, Messzeitpunkt und BMI-Wert der Versuchsperson.</i>	73
<i>Tabelle 5-7: Aufgenommene Prädiktoren je Modell der zweiten multiplen, linearen Regression zur Vorhersage der abhängigen Variable Gesamtdiskomfort. Die durchgeführte Regression bestimmt den Einfluss der Parameter Probandengruppe, BMI-Wert der Versuchsperson, Versuchstermin, Reihenfolge der Konfigurationen je Termin und Messzeitpunkt.</i>	74
<i>Tabelle 5-8: Zusammenfassung der Modelle der ersten Regressionsanalyse mit Höhe der Varianzaufklärung (R_2), deren Änderung (ΔR_2), dem korrigierten Bestimmtheitsmaß für die multiple Regression (Korr. R_2) sowie der Veränderung des F-Werts (ΔF) durch die hinzugefügten Prädiktoren. Das Signifikanzniveau (p) bezieht sich auf die Änderung der Modelle.</i>	75
<i>Tabelle 5-9: Die Modellparameter Regressionskoeffizient (b), dessen Standardfehler ($SE b$), der standardisierte Koeffizient (β) und das dazugehörige Signifikanzniveau (p) der ersten Regressionsanalyse</i>	76
<i>Tabelle 5-10: Zusammenfassung der Modelle der zweiten Regressionsanalyse mit Höhe der Varianzaufklärung (R_2), deren Änderung (ΔR_2), dem korrigierten Bestimmtheitsmaß für die multiple Regression (Korr. R_2) sowie der Veränderung des F-Werts (ΔF) durch die hinzugefügten Prädiktoren. Das Signifikanzniveau (p) bezieht sich auf die Änderung der Modelle.</i>	78
<i>Tabelle 5-11: Die Modellparameter Regressionskoeffizient (b), dessen Standardfehler ($SE b$), der standardisierte Koeffizient (β) und das dazugehörige Signifikanzniveau (p) der zweiten Regressionsanalyse.</i>	79