

**Lehrstuhl für Ergonomie
der Technischen Universität München**

**Objektivierung des statischen Sitzkomforts auf Fahrzeugsitzen durch die
Kontaktkräfte zwischen Mensch und Sitz**

Jürgen Hartung

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

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Heinz Ulbrich

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Heiner Bubb
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Bernd Heißing
3. Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Heinzpeter Rühmann

Die Dissertation wurde am 30.06.2005 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 09.01.2006 angenommen.

für Ingrid
und
meine Eltern

Einleitung

1	Einleitung	2
1.1	Zielsetzung	4
1.2	Komfortmodell.....	5
1.3	Physiologische Grundlagen.....	10
1.4	Stand der Forschung.....	17
2	Hauptuntersuchung	22
2.1	Vorgehensweise	22
2.2	Versuchs- und Messeinrichtungen	24
2.3	Vorversuchsphase	32
2.4	Konzeptentwicklung für die Hauptversuchsphase	44
2.5	Hauptversuchsphase	51
2.6	Auswertungen, Ergebnisse, Diskussion	57
3	Validierungsuntersuchung	101
3.1	Versuchsdesign	101
3.2	Versuchsdurchführung	103
3.3	Auswertung	104
3.4	Ergebnisse.....	105
4	Zusammenfassung der Ergebnisse	108
4.1	Analyse der Diskomfortwertungen.....	108
4.2	Zusammenhang Druck – Druckbewertung	109
4.3	Regressionsmodell zwischen Diskomfort und objektiven Druckparametern ..	109
4.4	Lastverteilungen.....	109
5	Zusammenfassung.....	116
6	Ausblick.....	118
7	Literatur.....	120

1 Einleitung

In der westlichen Gesellschaft verbringt der Mensch einen beträchtlichen Anteil seiner Wachzeit im Sitzen. Sowohl im Beruf wie auch in der Freizeit werden in den letzten Jahrzehnten Tätigkeiten in wachsendem Maße sitzend ausgeübt. Da sich dieser Trend schon Anfang des Jahrhunderts abzeichnete, setzten sich Wissenschaftler und Ärzte zunehmend mit den gesundheitlichen Folgen des Sitzens auseinander. Dieser Prozess dauert bis heute an. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse werden größtenteils von den Sitzentwicklern berücksichtigt.

Da die Optimierung bezüglich Gesundheitsaspekten beim Sitzen weitestgehend ausgereizt scheint, erfolgte in den letzten Jahrzehnten eine Verlagerung des Forschungsschwerpunktes hinsichtlich der Sitzgestaltung auf die Komfortoptimierung bzw. Diskomfortminimierung.

Besondere Anstrengungen werden hierbei vor allem im Automobilbereich unternommen, da dort der erste Komforteindruck im Fahrzeug mitunter kaufentscheidend sein kann. Auch der längerfristige Komforteindruck nach dem Kauf scheint für zukünftige Kaufentscheidungen und Kundenbindung ein ausschlaggebender Faktor zu sein.

Da im Fahrzeug der Sitz die größte Kontaktfläche mit dem Fahrzeug darstellt, ist anzunehmen, dass die Ausprägung dieses Kontaktes eine entscheidende Rolle für den Komforteindruck spielt. Der Fahrzeugsitz muss einen Großteil des Körpergewichtes des Fahrers aufnehmen. Es stellt sich nun die Frage in welcher Weise diese Aufnahme des Körpergewichtes für den Menschen am wenigsten Diskomfort hervorruft. In der industriellen Sitzentwicklung wird dieser Optimiervorgang hin zu einer guten Lastverteilung meist, wenn überhaupt, auf Basis von subjektiven Urteilen einiger weniger Sitzexperten oder ausgewählter Versuchspersonen durchgeführt. Es ist allerdings aus dem Forschungsfeld der Psychologie allgemein bekannt, dass subjektive Wertungen durch eine Vielzahl von Parametern determiniert sind und vielfach große intraindividuelle wie auch interindividuelle Schwankungen aufweisen. Solche Parameter können zum Beispiel die Gemütslage, das physische Befinden der Versuchsperson, aber auch Umweltfaktoren wie die Beleuchtung und die Umgebungstemperatur sein.

Um diese bei Menschen immer auftretenden Schwankungen zu kompensieren, muss bei Versuchen zur Beurteilung des Diskomforts von Fahrzeugsitzen auf ein entsprechend großes Versuchspersonenkollektiv zurückgegriffen werden. Dies ist allerdings immer mit einem sehr hohen Aufwand an Zeit und Kosten verbunden.

Einleitung

Aus der oben dargestellten Problematik ergibt sich der Bedarf nach einem objektiven Verfahren für die Beurteilung der Kraftverteilung zwischen Mensch und Sitz hinsichtlich des zu erwartenden Diskomforts.

Deshalb wurde im Rahmen des Projektes „FAT-Schwingungsdummy“ der Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V.¹ ein Forschungsvorhaben mit dem Titel „Statischer Sitzkomfort“ initiiert, das sich mit der Entwicklung eines Modells zur objektiven Prognose von Diskomfort auf Basis der Kraftverteilung zwischen Mensch und Sitz beschäftigt.

¹ siehe hierzu auch: Darstellung des Schwingungsverhaltens von Fahrzeug-Insassen – Symbiose aus Experiment und Simulation, Band 189 der Schriftenreihe der Forschungsvereinigung Automobiltechnik, Frankfurt, 2005

1.1 Zielsetzung

Es soll ein Modell entwickelt werden, das es erlaubt, aus objektiven Parametern der Sitzdruckverteilung den Diskomfort auf einem Fahrzeugsitz zu prognostizieren.

Die objektiven und subjektiven Parameter liefern hierbei Sitzversuche mit Probanden auf Realsitzen und auf dem am Lehrstuhl für Ergonomie entwickelten Experimentalstuhl. Als objektive Parameter werden die Druckverteilung und die Körperhaltung erfasst. Die subjektiven Parameter, vor allem der Diskomfort, werden über Fragebögen von den Probanden ermittelt.

Primäres Ziel ist die Ableitung eines Regressionsmodells, welches objektive Kennwerte der Druckverteilungen mit den Diskomfortaussagen der Versuchspersonen in Beziehung setzt.

Um die Anzahl der möglichen Einflussfaktoren zu minimieren, beschränkt sich die Untersuchung auf Personen deren Körperhöhe und Körpergewicht zwischen dem 40-ten und 60-ten Perzentil liegen. Außerdem ist das Alter der Versuchspersonen auf 18-29 Jahre begrenzt.

1.2 Komfortmodell

1.2.1 Komfort, Diskomfort

Im Vorfeld dieser Untersuchung muss eine Klärung der Begriffe Komfort und Diskomfort durchgeführt werden. Jemand, der unbedarft an das Thema Komfort bzw. Diskomfort herangeht, neigt dazu die beiden Begriffe auf derselben Achse eines Kontinuums anzuordnen. Untersuchungen von *Zhang et al. (1996)* zeigen aber, dass diese einfache Annahme die Realität falsch beschreibt. Die Analysen von *Zhang et al. (1996)* haben zum Ergebnis (Abbildung 1), dass die Begrifflichkeit Diskomfort in engem Zusammenhang mit biomechanischen Faktoren und dem Faktor Ermüdung, kurz dem Aspekt des Erleidens steht. Die Begrifflichkeit Komfort wird dagegen hauptsächlich mit dem Aspekt des Gefallens in Zusammenhang gebracht. Basierend auf diesen Erkenntnissen entwickelten *Zhang et al. (1996)* ein hypothetisches Modell (Abbildung 2, Seite 6), das die Wahrnehmung von Komfort und Diskomfort beschreibt.

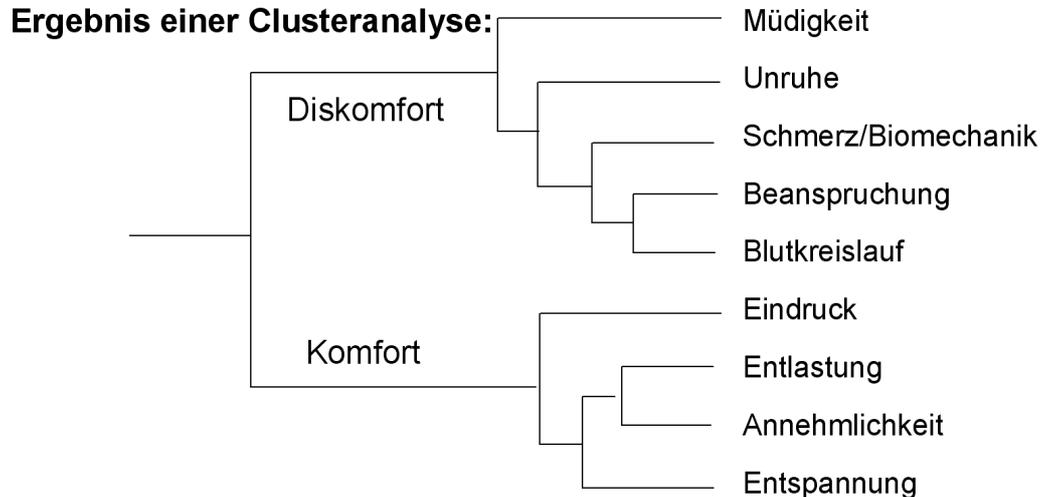


Abbildung 1: Ergebnis einer Clusteranalyse von Begriffen bezüglich der Zuordnung zu Komfort, Diskomfort nach *Zhang et al. (1996)* entnommen aus *Ranhart (2002)*

Das nachfolgende Beispiel soll die Zweidimensionalität dieses Komfort-Diskomfort-Zusammenhanges verdeutlichen: Auf den Fahrer eines Sportwagens wirken aufgrund der steiferen Auslegung des Fahrwerkes wesentlich höhere Kräfte und Schwingungen ein als in einem „normalen“ PKW. Diese stärkeren physikalischen Einflüsse sollten einen höheren Diskomfort als beim „normalen“ PKW hervorrufen. Der Fahrer empfindet aber in der Regel trotzdem einen hohen Komfort, da der Aspekt des Gefallens so stark in den Vordergrund tritt, dass er

Einleitung

durch den in Kauf genommen Diskomfort nicht zerstört wird. An diesem anschaulichen Beispiel wird klar, dass die Begrifflichkeiten Komfort und Diskomfort nicht auf derselben Achse liegen können.

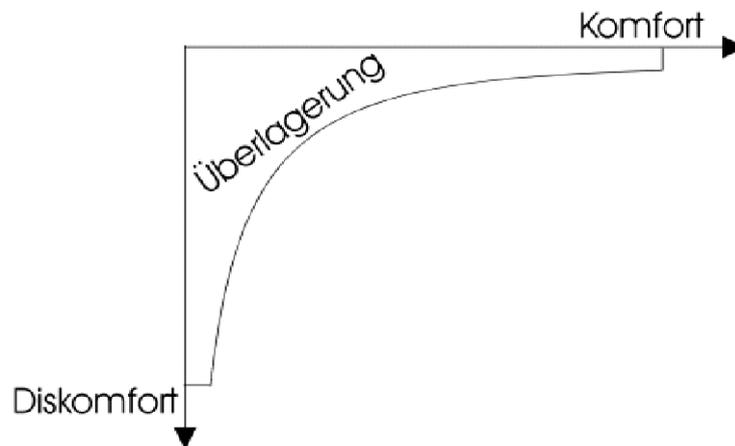


Abbildung 2: Hypothetisches Modell zu Komfort, Diskomfort nach Zhang et al. (1996) entnommen aus Ranhart (2002)

Da der Aspekt des Gefallens stark durch individuelle Vorlieben geprägt ist, entzieht sich dieser der Objektivierung durch physikalische Messwerte. Diskomfort wird dagegen größtenteils durch physikalisch messbare Größen beeinflusst. Da Komfort nur entstehen kann, wenn der Diskomfort auf ein gewisses Maß begrenzt wird, erscheint es sinnvoll, den Fokus auf Diskomfort als primären Untersuchungsgegenstand zu setzen.

In der Literatur hat sich diese Trennung nach Komfort und Diskomfort nur zum Teil durchgesetzt. In vielen Studien wird nur allgemein von Komfort gesprochen. Zum Teil erfolgt aber, bei genauerer Betrachtung der Befragungsmethodik, eine Befragung hinsichtlich des Diskomforts (z.B. Brooks 1999, Estermann 1999) oder eine Durchmischung von Komfort und Diskomfort innerhalb einer Bewertungsskala (z.B. Shackel et al. 1969).

1.2.2 Diskomfortpyramide

In Anlehnung an das Prinzip der Bedürfnispyramide von Maslow (1978) wurde von Krist (1993) auf der Grundlage von Befragungsexperimenten eine Diskomfortpyramide entwickelt. Die grundlegende Aussage dieser Pyramide ist, dass zuerst Grundbedürfnisse zu einem gewissen Maß erfüllt sein müssen, damit höhere Bedürfnisse in den Vordergrund treten können.

Resultierend aus diesen Überlegungen und Erfahrungswerten wurde von Bubb (2003) die in Abbildung 3 auf Seite 7 dargestellte Diskomfortpyramide abgeleitet.

Einleitung

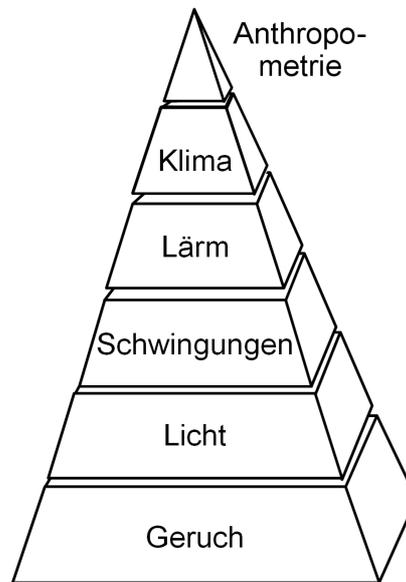


Abbildung 3: Diskomfortpyramide (Bubb 2003)

Die Reihenfolge der verschiedenen Modalitäten nach Abbildung 3 stellt eine grobe Einschätzung dar. Es können sich je nach Höhe und Art des Einflusses Überlappungen und Verschiebungen innerhalb der Diskomfortpyramide ergeben. Wichtig ist die Grundaussage, dass immer zuerst Grundbedürfnisse bezüglich des Diskomforts in einem ausreichenden Maße befriedigt werden müssen, bevor höher stehende Diskomforteinflüsse wahrgenommen werden. Die Druckverteilung auf dem Fahrzeugsitz ist in dieser Pyramide auf Höhe der Anthropometrie einzuordnen.

1.2.3 Einflussfaktoren auf den Sitzdiskomfort

Um die in dieser Arbeit dargestellte Untersuchung besser in den Gesamtkontext einordnen zu können, wird im Folgenden erläutert, aus welchen Einflussfaktoren sich der Sitzkomfort zusammensetzt. Bezug nehmend auf Abschnitt 1.2.1 lassen sich die Faktoren nach den Kategorien Komfort und Diskomfort unterscheiden. Zur Kategorie Komfort zählen Faktoren wie die Marke des Fahrzeuges, die äußere Anmutung von Karosserie und des Innenraumes, usw.. Diese Faktoren entziehen sich weitestgehend einer objektiven Betrachtung. Im Gegensatz dazu lassen sich die Einflussfaktoren auf den Diskomfort größtenteils mit den Methoden der Psychophysik objektivieren.

Faktoren, die den Diskomfort auf Fahrzeugsitzen maßgeblich beeinflussen, sind der dynamische und statische Sitzdiskomfort sowie der Klimadiskomfort. Unter dem dynamischen Sitzdiskomfort versteht man die Missempfindungen, die durch die Auswirkungen von Schwingungen auf den menschlichen Körper

hervorgerufen werden. Der statische Sitzdiskomfort umfasst die Auswirkung der Körperhaltung des Menschen sowie die Kraftverteilung zwischen Mensch und Sitz auf den Diskomfort. Der Klimadiskomfort beschreibt die Missempfindungen während des Sitzens, die durch eine ungünstige Wärme- und Feuchteverteilung an der Körperoberfläche des Menschen hervorgerufen werden. Zu jedem dieser Faktoren sind in der Literatur entsprechende Untersuchungen dokumentiert. Ob und wie diese Faktoren wechselseitig korrelieren ist bis dato allerdings nur wenig untersucht worden.

Weiterhin ist zu beachten, dass das Diskomfortempfinden als Grundrauschen auch immer mit der zu bewältigten Aufgabe in Konkurrenz um die Aufmerksamkeit des Menschen steht. Ist keine Aufgabe zu erledigen, wäre die liegende Haltung die vorzuziehende (*Branton 1969*). Somit hängen der bewusst wahrgenommene Diskomfort und die Akzeptanz bezüglich einer Diskomfortempfindung maßgeblich von der zu bewältigten Aufgabe ab.

1.2.4 Ansitz-, Kurzzeit-, Langzeitdiskomfort

Der Diskomfort beim Sitzen wird hier nach der Sitzdauer weiter untergliedert. Es erfolgt eine Unterscheidung zwischen Ansitz-, Kurzzeit- und Langzeitdiskomfort. Die nachfolgenden Aussagen bezüglich der Zeiten für Kurz- und Langzeitkomfort wurden in Anlehnung an *Reed et al. (1991)*, *Thakurta et al. (1995)* und *Gyi und Porter (1998)* definiert.

Unter Ansitzdiskomfort versteht man das Empfinden des Menschen beim Vorgang des Hinsetzens und wenige Sekunden danach (*Millet et Pignède 2001*). Für den Ansitzdiskomfort spielen unter anderem die dynamischen Eigenschaften des Sitzes, sowie dessen Oberflächenbeschaffenheit eine Rolle.

Beim weiteren Fortschreiten der Zeit wird von Kurzzeitdiskomfort gesprochen. Dieser Zeitraum ist von etwa 1 Minute nach dem Hinsetzen bis zu circa 15-30 Minuten danach festzulegen. Es treten noch keine oder nur wenige physiologische Effekte durch die Körperhaltung und die Druckeinwirkung auf den Körper auf. Die Bewertung des Diskomforts stützt sich weitestgehend auf die haptischen Reize, die vom Sitz auf den Menschen wirken. Im Vergleich zum Langzeitdiskomfort scheint beim Kurzzeitdiskomfort die Körperhaltung, wenn sie der Mensch frei wählen kann, eine untergeordnete Rolle zu spielen.

Nach 15-30 Minuten folgt der Übergang zum Langzeitdiskomfort. Es beginnen erste physiologische Effekte durch die Haltung und Druckeinwirkung spürbar zu werden. Durch die Unterbindung des Blutflusses in den mit hohem Druck

Einleitung

beaufschlagten Körperregionen bilden sich in den Zellen Abfallprodukte, die eine Reizung der Nocizeptoren auslöst und dadurch zu extrem unangenehmen Empfindungen bis hin zum Schmerz führen können. Weiterhin scheint mit fortschreitender Sitzdauer die Körperhaltung stärker an Bedeutung zu gewinnen, da bei ungünstiger Körperhaltung zunehmend Verspannungen in der Muskulatur auftreten. Weiterhin können länger einwirkende, hohe Kräfte auf die knöcherne Struktur des Menschen zu Tiefenschmerz (Schmidt 1977) führen. Dieser wird als dumpfer, schwer zu lokalisierender Schmerz empfunden, der teilweise auch in andere Körperbereiche ausstrahlt.

Nach dieser Definition sind aufgrund der beschränkten Versuchsdauer die in der Hauptuntersuchung gewonnenen Erkenntnisse dem Kurzzeitdiskomfort zuzuordnen.

1.3 Physiologische Grundlagen

1.3.1 Physiologische Wirkung von Druck

Druck, der sich nicht hydrostatisch in lebendem Gewebe auswirkt, verursacht eine Verformung desselben. Werden hierbei gewisse Grenzwerte überschritten, kommt es zu einer Unterbindung des Blutflusses im beaufschlagten Gewebe. Ab einer äußeren Druckeinwirkung von 6-12 mmHg (entspr. 0,08-0,16 N/cm²) kann eine Versperrung des venösen Abflusses erfolgen. Ab einer Druckeinwirkung von 32 mmHg (entspricht circa 0,42 N/cm²) kann es zu einem Druckkollaps kommen. Dies kann im schlimmsten Fall zur Zellerstörung und einer damit verbundenen Freisetzung von toxischen Substanzen führen, welche Schmerzreize hervorrufen. Weitere Faktoren für die Auswirkung von Druck auf Gewebe sind die Ausprägung der Exposition und die Expositionsdauer. Gleichmäßig und flächig zugeführter Druck hat nur wenig oder keine Auswirkung. Bei stark lokalisierter Druckeinwirkung treten verstärkt Gewebsschädigungen auf. Hinsichtlich der Expositionsdauer sind zwei Stadien der Gewebekondition zu differenzieren. Im ersten Stadium erweitern sich die Blutgefäße, um den Blutfluss zu maximieren. Dies zeigt sich durch eine Rötung der Haut, die unter Druck erbleicht. Mit fortschreitender Zeit erfolgt der Wechsel zum zweiten Stadium, bei dem das Blut in den Kapillaren zu gerinnen beginnt. Diese Rötung erbleicht unter Druck nicht. (*Australian Wound Management Association-Pressure Ulcer Interest Sub-Committee, 2001*)

Bennett et al. (1979) fanden heraus, dass bei hohen auftretenden Scherkräften nur die Hälfte des Druckes notwendig ist, um den Blutfluss zu unterbinden. Die Ergebnisse beziehen sich dabei auf einen Bereich im Handrücken, scheinen aber prinzipiell auch auf die für diese Arbeit relevanten Körperbereiche übertragbar zu sein: Nach *Goosens (1994)* erfolgt am Sacrum bei jungen gesunden Versuchspersonen eine Mangel durchblutung ab umgerechnet 1,16 N/cm² bei reiner Druckbelastung. Bei einer zusätzlichen Scherkraftbelastung von 0,31 N/cm² reicht bereits eine Druckbelastung von 0,87 N/cm² für eine kritische Abschnürung des Blutflusses aus.

Müller und Vetter (1954) zitiert bei *Coermann und Kroemer (1968)* geben an, dass eine Behinderung der Durchblutung bereits ab 0,05 kp/cm² (circa 0,5 N/cm²) bei einer Dauer von 2,5 Minuten auftritt. Allerdings sind, so *Coermann und Kroemer (1968)*, bei zwischenzeitlicher Entlastung der Haut auch höhere Drücke erträglich.

1.3.2 Physiologie der Mechanorezeption

1.3.2.1 Histologische Struktur und afferente Innervation

Eine Übersicht der im Menschen ausgebildeten Mechanorezeptoren ist in Abbildung 4 dargestellt. Diese Mechanorezeptoren werden durch schnellleitende afferente Nervenfasern versorgt, so dass ein peripher ausgelöster Impuls innerhalb weniger Millisekunden im Rückenmark eintrifft.

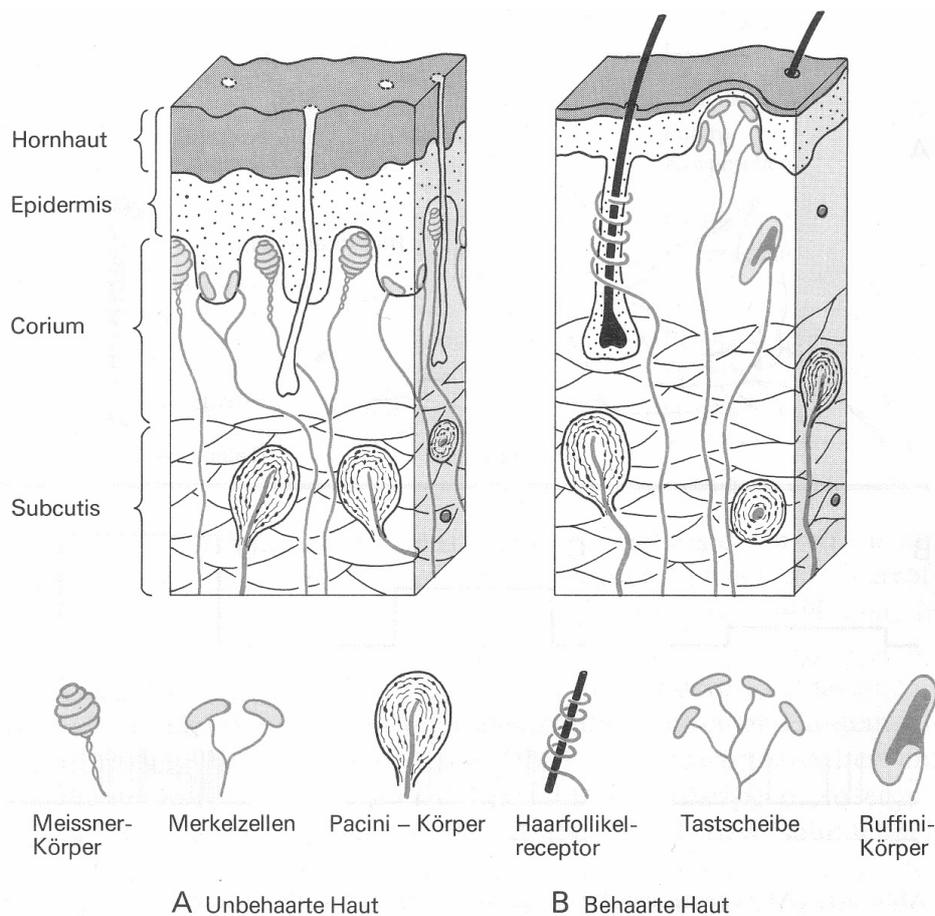


Abbildung 4: Schematische Darstellung von Struktur und Lage von Mechanorezeptoren in der unbehaarten (A) und der behaarten Haut (B) aus Schmidt (1977)

Bezüglich der Innervationsdichte der verschiedenen Hautbereiche gibt es nur wenige Erkenntnisse, die hauptsächlich aus Versuchen bezüglich der Unterschiedsschwellen resultieren. Die Innervation der Mechanorezeptoren zeichnet sich weiterhin durch eine unterschiedliche Konvergenz/Divergenz für verschiedene Mechanorezeptoren aus. Konvergenz bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die afferenten Fasern von mehreren Sensoren in einer Faser zusammenlaufen. Divergenz bedeutet, dass die afferenten Fasern der Mechanorezeptoren Verbindungen mit mehreren anderen afferenten Fasern ausgebildet haben. Die konvergente Verschaltung bewirkt eine Datenreduktion.

Einleitung

Die divergente Verschaltung gewährleistet auch bei Beschädigung einzelner Sensoren bzw. derer afferenten Fasern eine Weiterleitung des Reizes.

Weiterhin sind die afferenten Fasern hemmend miteinander verschaltet. Dies dient dazu, das durch die Divergenz der Verschaltung unscharf maskierte Signal wieder zu diskretisieren.

Folge der teils komplexen Verschaltung der Sensoren ist, dass es - analog zu optischen Täuschungen - zu Täuschungen der Mechanoperzeption kommen kann. Dies könnte innerhalb dieser Arbeit Bedeutung erlangen, falls angrenzende Druckempfindungen miteinander über diese Verschaltung interferieren.

Ein weiteres Phänomen in diesem Zusammenhang ist das Vorhandensein so genannter rezeptiver Felder. Als rezeptives Feld wird dasjenige Hautareal bezeichnet innerhalb dessen ein aufgebracht Reiz den Rezeptor erregen kann. Als Testreiz werden hierfür meist einige wenige Vielfache der Schwellenreizstärke (siehe Abschnitt 1.3.2.3) verwendet. Zum Teil stimmen die rezeptiven Felder einiger Rezeptoren mit deren anatomischer Ausdehnung überein (zum Beispiel Tast-Scheiben). In anderen Fällen dehnen sich diese auf ein weitaus größeres Areal um den Sensor aus (zum Beispiel Pacini-Körperchen).

(Schmidt 1977, Schmidt 2001)

1.3.2.2 Kodierung der Reizstärke

Typisches Verhalten von Rezeptoren bei der Kodierung der Reizstärke wird durch eine Reizschwelle und einen maximalen Reiz charakterisiert. Unterhalb der Reizschwelle wird keinerlei Empfindung wahrgenommen. Reize oberhalb des maximalen Reizes führen zu keiner weiteren Erhöhung des Sensorpotentials und damit der Empfindung. Es tritt somit eine Sättigung ein. In einigen Fällen kann ein Reiz oberhalb des maximalen Reizes wiederum ein niedrigeres Sensorpotential als das des maximalen Reizes induzieren. *(Schmidt 2001)*

1.3.2.3 Empfindungsschwelle mechanischer Hautreizungen

Wie bereits beschrieben, wird als Empfindungsschwelle jene Hautreizung bezeichnet, welche mindestens benötigt wird, um eine Empfindung hervorzurufen. Für die Empfindungsschwellen mechanischer Hautreizungen konnten keine Daten für die in dieser Arbeit betrachteten Hautareale gefunden werden. Allerdings sind Daten zu den Empfindungsschwellen auf der Hand verfügbar. Die Empfindlichkeit wurde dabei anhand der Eindellung der Haut gemessen. In den Handinnenflächen führen bereits Eindellungen von 0,01 Millimeter zu einer

Berührungsempfindung (*Schmidt 1977*). In wieweit diese Daten auf den Rücken und Oberschenkelbereich übertragen werden können ist unklar.

1.3.2.4 Unterschiedsschwelle mechanischer Hautreizungen

Als Unterschiedsschwelle wird die Differenz zwischen zwei Hautreizungen bezeichnet, die mindestens notwendig ist, um die Reize als unterschiedlich zu empfinden. Es tritt erst eine Empfindungsänderung ein, wenn die Reizänderung einen gewissen Wert, die Unterschiedsschwelle, überschreitet. In der Literatur (*Schneider 1971*) wird für einen gerade spürbaren Kraftunterschied auf der Hautoberfläche ein Verhältnis von 29/30 angegeben. Das heißt, erst wenn man die Kraft um 1/30 bzw. circa 3,33 % verändert, wird dies auch wahrgenommen. In diesem Zusammenhang wird meist auch das Weber'sche Gesetz angewendet, welches besagt, dass sich der gerade spürbare Reizunterschied proportional zu der Höhe des Reizes verhält. Dieser Zusammenhang zwischen Reizhöhe und Reizänderung findet auch in der Verhältnisangabe der Kräfte bei *Schneider (1971)* seinen Ausdruck.

1.3.2.5 Räumliches Auflösungsvermögen

Das Auflösungsvermögen gegenüber mechanischen Hautreizen wird über die so genannte Zweipunktschwelle bestimmt. Dazu wird ein Tastzirkel wiederholt mit zunehmender Öffnung auf die Haut aufgesetzt. Der Punkt, an dem die beiden Zirkelspitzen als 2 getrennte Empfindungen wahrgenommen werden, wird als Zweipunktschwelle bezeichnet. Je nach Körperbereich gibt es große Unterschiede hinsichtlich dieser Schwelle. In den für diese Arbeit interessanten Hautarealen (Gesäß und Rücken) liegt die Zweipunktschwelle bei etwa 7 cm. (*Schmidt und Thews 1987*)

1.3.2.6 Adaptionsverhalten

Die in Abschnitt 1.3.2.1 dargestellten Mechanorezeptoren unterliegen verschiedenem Adaptionsverhalten. Es wird hierbei zwischen sehr schnell, mittelschnell und langsam adaptierenden Rezeptoren unterschieden, die nach Zuordnung des darüber gemessenen Reizes auch als Beschleunigungsdetektoren, Geschwindigkeitsdetektoren und Intensitätsdetektoren bezeichnet werden. (*Schmidt 1977, Schmidt 2001, Schmielau 1987*)

Berücksichtigt man die in Tabelle 1 dargestellten Adaptionszeiten, so sind für die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Versuche die Charakteristika der Intensitäts-Detektoren von primärem Interesse.

Einleitung

Tabelle 1: Adaptionsverhalten und Klassifikation von Druckrezeptoren (Schmidt 1977, Schmidt 2001)

ADAPTION BEI KONSTANTEM DRUCKREIZ			
	Langsam	Mittelschnell	Sehr schnell
Typ-Nomenklatur	SA I, SA II (<u>S</u> lowly <u>A</u> dapting)	RA (<u>R</u> apidly <u>A</u> dapting),	PC (<u>P</u> acini <u>C</u> orpuscle)
Anhalten der Entladungen über die afferente Faser	Andauernde Entladungen	Entladungen für 50-500 ms	1-2 Entladungen pro Druckreiz
Unbehaarte Haut	Merkel-Zelle	Meissner-Zellkomplexe	Vater-Pacini-Körperchen
Behaarte Haut	Tastscheibe, Ruffini-Kolben	Haarfollikel-Rezeptor	Vater-Pacini-Körperchen
	Intensitätsdetektor	Geschwindigkeitsdetektor	Beschleunigungsdetektor

KLASSIFIKATION NACH ADÄQUATEM REIZ			
------------------------------------	--	--	--

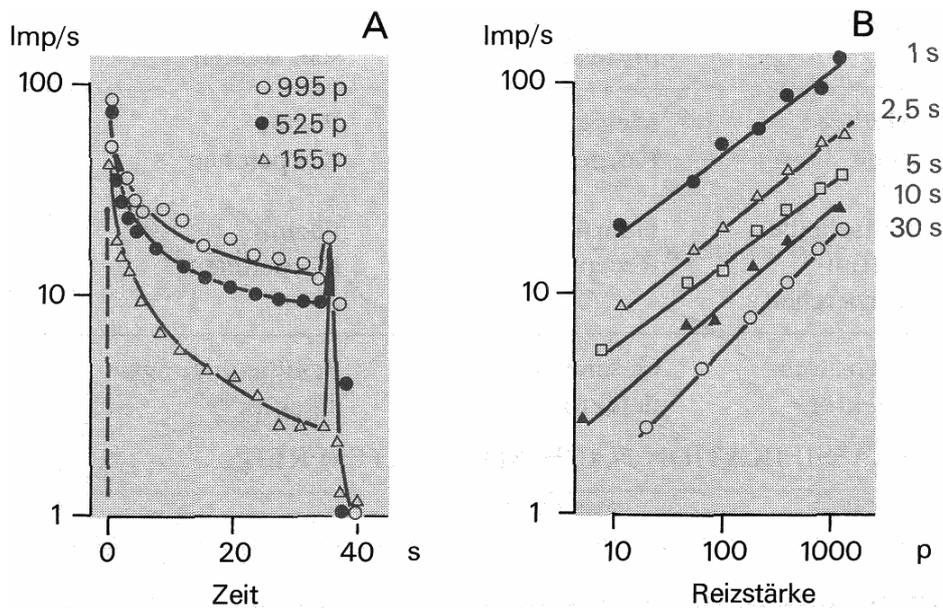


Abbildung 5: Antwortverhalten eines Druckrezeptors auf Reize konstanter Kraft. (A) Zeitverlauf der Rezeptorentladungen (Ordinate in Impulse/Sekunde, logarithmischer Maßstab) während dreier Reize von knapp 40 Sekunden Dauer (Abszisse) mit den durch die Symbole im Bild angegebenen Reizintensitäten- (B) Die Beziehung zwischen Reizstärke (Abszisse) und Rezeptorentladung (Ordinate) zu verschiedenen Zeiten nach Reizbeginn. Beide Maßstäbe sind logarithmisch. Die Schwellenreize zu dem Reizzeitpunkt wurden von den applizierten Reizen abgezogen. Jeder Punkt in (A) und (B) ist der Durchschnittswert aus 10 Einzelmessungen (Schmidt, 1977) (Anmerkung des Autors: 1000p entsprechen einem Kilopond, dies entspricht der Gewichtskraft einer Masse von 1 kg auf der Erde.)

In Abbildung 5 ist das Antwortverhalten eines Druckrezeptors dargestellt. In Bereich A der Grafik ist zu erkennen, dass die Antwort des Druckrezeptors über die Zeit stark adaptiert, aber dann abhängig von der Höhe des Druckreizes auf

eine konstante Zahl an Entladungen einschwenkt. Trägt man die Beziehung zwischen Reizintensität und Impulsfrequenz in einem doppellogarithmischen Koordinatensystem auf (Abbildung 5 –B), so lassen sich die Messpunkte gut durch eine Gerade annähern. Dies weist darauf hin, dass diese Beziehung durch eine Potenzfunktion der Art $\text{Impulsfrequenz} = \text{Reizintensität}^n$ ausgedrückt werden kann. (Schmidt 1977)

1.3.2.7 Mechanosensible freie Nervenendigungen

Neben den myelinisierten Afferenzen enthält jeder Hauptnerv unmyelinisierte Fasern, welche zum Teil als freie Nervenendigungen in nicht korpuskulären Strukturen enden. Die Rezeptorfunktionen dieser Nervenendigungen sind zum Teil noch ungeklärt. Neben den Empfindungsqualitäten Schmerz und Temperatur können auch mechanische Reize mit geringen Reizstärken durch einige dieser Fasern detektiert werden. Diese Art von Mechanorezeptoren ist vornehmlich in behaarter Haut zu finden. Aufgrund der geringen Leitungsgeschwindigkeit von unmyelinisierten Fasern sind diese Detektoren in der Regel nicht bzw. nicht von Beginn an, an mechanisch induzierten Reflexen beteiligt. Weiterhin zeigt das Antwortverhalten dieser Rezeptoren auf gleiche Reize beträchtliche Unterschiede, so dass über diese Rezeptoren nur ungefähre Angaben über die Reizintensität gemacht werden können. Die Zahl der unterscheidbaren Intensitätsstufen ist kleiner als drei, meist zwei. Aufgrund dieser Eigenschaften wird vermutet, dass diese Sensoren als Schwellendetektoren fungieren, die nur signalisieren, ob ein Reiz vorhanden ist oder nicht. (Schmidt 1977; Schmielau 1987)

1.3.2.8 Tiefensensibilität

Bei Applikation von hohen Drücken auf die Haut werden „vor allem langsam adaptierende und zum Teil hochschwellige Mechanorezeptoren in der Unterhaut, aber auch die Mechanorezeptoren in Muskeln, Sehnen und im partikulären Gewebe [erregt]. Die Tiefensensibilität ist kein einheitlicher Sinn.“ (Schmidt 2001)

1.3.2.9 Verarbeitung mechanischer Reize

Reize einer Sinnesmodalität werden auf der untersten Verarbeitungsebene im Gehirn auf den Hautarealen zugeordneten Bereichen topologisch geordnet projiziert. Das heißt, die Projektion im Gehirn entspricht weitestgehend der räumlichen Anordnung auf der Hautoberfläche. Darauf aufbauend erfolgt in einer Organisationsstruktur, den so genannten „Kolumnen“, die weitere Verarbeitung der Reize. Die Neuronentypen der untersten Ebene (topologisch) entsprechen weitestgehend den Rezeptoreigenschaften, die komplexeren Neuronen in den Kolumnen reagieren im Sinne von Detektoren nur auf bestimmte Reizmerkmale.

Zusätzlich wird die Hautoberfläche in einem zweiten Areal repräsentiert, welches nicht eine topologische Ausprägung hat. Beide Areale sind wechselseitig miteinander verbunden. (*Schmielau 1987*)

1.3.2.10 Zusammensetzung der Mechanoperzeption

Die histologisch unterschiedlichen Rezeptortypen lassen die Vermutung aufkommen, dass jeder Rezeptortyp für eine bestimmte Art von Empfindung ausschlaggebend ist. Ausgeprägt ist dies bei den Pacini-Körperchen zu beobachten, die ab Reizfrequenzen über 60 Hz alleinverantwortlich für die Empfindung zu sein scheinen. Ansonsten scheint sich aber die Empfindung aus der gleichzeitigen Reizung unterschiedlicher Rezeptoren zusammensetzen. Versuche zeigen, dass, bei gleicher Reizstärke, Reizen aus taktil wichtigen Hautarealen vom Zentralnervensystem mehr Aufmerksamkeit geschenkt wird. (*Schmidt 1977*)

1.3.2.11 Schmerz

Schmerz signalisiert über die dafür ausgebildeten Nocizeptoren dem Körper, dass gewebsschädigende Reize, so genannte Noxe auf den menschlichen Körper einwirken. Aufgrund der niedrigen Sitzdrücke, die in diesem Projekt betrachtet werden, ist nicht davon auszugehen, dass durch die direkte mechanische Krafteinwirkung ein Schmerzreiz ausgelöst wird. Allerdings ist zu beachten, dass bei Abschnürung des Blutflusses durch lang anhaltenden Druck und der damit auftretenden Mangelversorgung des Gewebes, Stoffe im Körper freigesetzt werden, die eine Schmerzempfindung auslösen. Alltägliche Erfahrung und Versuche bezüglich des temperaturinduzierten Schmerzes weisen darauf hin, dass eine Schmerzadaption nicht erfolgt. (*Schmidt 1977, Schmielau 1987*)

1.3.2.12 Fazit

Aufgrund der oben gemachten Ausführungen werden folgende Schlüsse gezogen:

Es ist anzunehmen, dass für das Diskomfortempfinden in den angestrebten Versuchen die langsam adaptierenden Mechanorezeptoren (SA) ausschlaggebend sind. Die Rolle der SA II Sensoren (Ruffini-Kolben) bei der Wahrnehmung von mechanischen Reizen ist hierbei allerdings unklar (*Schmidt 2001*). Daneben wird mit zunehmender Sitzdauer der Einfluss des durch Sauerstoffmangel induzierten Schmerzes anwachsen. Dies kommt vor allem in langfristig mit Druck belastetem Gewebe zum Tragen.

1.4 Stand der Forschung

Entsprechend der verschiedenen Einflussfaktoren auf den statischen Sitzdiskomfort wurden zahlreiche Untersuchungen zur Objektivierung desselben durchgeführt. So wurde versucht, den Diskomfort durch die Anzahl der Bewegungen, die auf dem Sitz ausgeführt werden, zu objektivieren. Eine hohe Zahl von Haltungswechseln soll dabei auf einen hohen Diskomfort auf einer Sitzgelegenheit hinweisen. Die auf Basis dieser Annahme durchgeführten Versuchsreihen hatten allerdings bei der Klassifizierung von Sitzen hinsichtlich des Diskomforts nur mäßigen bis gar keinen Erfolg (*Shackel et al. 1969, Fenety et al. 2000, Reed et al. 1991, Rieck 1969*). Bei der Untersuchung der Körperhaltung auf dem Sitz konnten wesentlich bessere Erfolge bezüglich der Objektivierung des Diskomforts erzielt werden (*Krist 1993*). Des Weiteren wurde versucht den Einfluss der Sitzqualität über das Maß der Erfüllung einer Arbeitsaufgabe zu objektivieren (*Bhatnager 1985*). *Dien et al. (2001)* gelangten in ihrer Untersuchung gar zur Aussage, dass die Aufgabe wichtiger zu sein scheint als der Sitz. *De Looze et al. (2003)* führten eine zwar nicht vollständige aber umfassende Zusammenstellung der Ergebnisse aus der Literatur zu den vorher genannten Themen durch. Sie kamen zu dem Schluss, dass die Sitzdruckverteilung den besten Zusammenhang mit subjektiven Bewertungen zeigt.

Da sich diese Arbeit mit den Kontaktkräften zwischen Mensch und Sitz beschäftigt, wird im Folgenden ausführlich auf den Stand der Forschung für diesen Faktor bei der Beurteilung des statischen Sitzdiskomfort eingegangen.

1.4.1 Sitzdruck als Prädiktor von Diskomfort

In der Literatur sind vielfach Ansätze, wie auch konkrete Modelle dokumentiert, die einen Zusammenhang zwischen dem Diskomfort und der Druckbelastung an der Nahtstelle zwischen Mensch und Sitz annehmen lassen.

Ebe und Griffin (2001) haben in Ihren Versuchen festgestellt, dass die Last in einem Bereich von 4 cm x 4 cm um den maximalen Druck an den Sitzbeinhöckern gut mit dem subjektiv empfundenen Diskomfort korreliert. Allerdings ist zu bemängeln, dass von den Lastwerten der Median aus den untersuchten Versuchspersonen genommen wurde. Damit wurde die Streubreite dieser Variable bei der Korrelation nicht berücksichtigt. Für ein Feld mit 10 cm x 10 cm um den Maximalwert an den Sitzbeinhöckern, ein Feld, das die ganze Hüfte

Einleitung

umschließt und ein Feld, das nur die vorderen Oberschenkel umschließt, konnten keine statistisch signifikanten Korrelationen gefunden werden.

Gyi und Porter (1999) fanden nur für sehr große Männer und unter starken Restriktionen bezüglich der Körperhaltung einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Druck und den Diskomfortwertungen an den Sitzbeinhöckern. Für alle anderen Versuchspersonen konnte kein signifikanter Zusammenhang ermittelt werden. Sie kommen deshalb zum Schluss, dass Druck kein zuverlässiger Indikator für Diskomfort sei. Ein Grund für dieses Ergebnis könnte sein, dass die Druckmessungen erst am Ende der Versuchsreihe und nur auf einer Körperseite durchgeführt wurden. Durch Aufstehen und wieder Hinsetzen ergeben sich zum Teil starke Schwankungen in den Druckverteilungen, die eine zusätzliche Streuung in die Messwerte einbringen (*Hartung 2004*).

Kamijo et al. (1983) haben in Ihren Versuchen herausgefunden, dass die Verteilung der Last und damit indirekt die des Druckes entlang der Lehnenfläche für komfortabel eingestufte Sitze anders verläuft als für unkomfortable. Kritisch anzumerken ist hierbei, dass die Lastverläufe nur von einer Versuchsperson stammen, die Diskomfortwertungen allerdings von einem Kollektiv an Versuchspersonen. Dies schmälert die Aussagekraft der dargestellten Ergebnisse erheblich.

Lee und Ferraiuolo (1993) fanden zwar Korrelationen zwischen den subjektiven Aussagen der Versuchspersonen untereinander, aber keine ausreichenden Zusammenhänge mit objektiven Faktoren, wie zum Beispiel der Druckverteilung bei ihren Sitzversuchen.

Milivojevic et al. (2000) erhielten aus Ihren Befragungen und Druckmessungen relativ hohe Korrelationen zwischen den Drücken unter den Sitzbeinhöckern bzw. Oberschenkeln und den Diskomfortwertungen der Versuchspersonen. Allerdings ist hier ebenfalls zu bemängeln, dass zuerst die Mittelwerte für die gemessenen Drücke bzw. Komfortwertungen ermittelt und erst dann die Regressionen berechnet wurden. Damit wurde die Schwankungsbreite der objektiven und subjektiven Parameter bei den Regressionen nicht berücksichtigt.

Über *Ng et al. (1995)* lässt sich indirekt belegen, dass die Druckverteilung respektive die Lastverteilung auf dem Sitz einen Einfluss auf den empfundenen Diskomfort hat. Sie entwarfen ein intelligentes Sitzsystem, welches über Drucksensoren eine optimale Verteilung der Last einstellt. Es zeigte sich dabei, dass sich die Lastverteilung wie auch die Diskomfortwertungen auf dem intelligenten Sitzsystem signifikant von denen auf einem Standardsitz

Einleitung

unterscheiden. Die Diskomfortwertungen auf dem intelligenten Sitzsystem fielen dabei besser aus. Auf die Ergebnisse dieser Studie wird später in dieser Arbeit eingegangen.

Shen und Galer (1993) fanden statistisch signifikante Korrelationen zwischen objektiven Druckwerten (mittlerer Druck, maximaler Druck, maximaler Druckgradient) und subjektiven Wertungen. Allerdings sind die Korrelationen nur gering, so dass eine praktische Verwertung nicht sinnvoll erscheint.

Tabelle 2: Zusammenfassung der Literaturrecherche bezüglich des Zusammenhangs zwischen Druck und Diskomfort (zum Teil aus Oudenhuijzen et al. (2003))

Autor	Korrelation Hartung	Beziehung Hartung	Beziehung Oudenhuijzen et al. (2003)
Demontis und Giacoletto (2002)	n.v.	n.v.	+
Ebe and Griffin (2001)	+	+	n.v.
Gyi und Porter (1999)	-	- (*)	n.v.
Inagaki et al. (2000)	- (3*)	+	+
Kamajio et al. (1983)	-	+ (4*)	+ (4*)
Lee und Ferraiuolo (1993)	?	?	?
Milivojevich et al. (2000)	+ (2*)	+	+
Michida et al. (2001)	n.v.	n.v.	+
Oudenhuijzen et al. (2003)	-	+	n.v.
Park et al. (1998)	n.v.	n.v.	+
Reed et al. (1991)	-	?	?
Shen und Galer (1993)	+ (5*)	+	n.v.
Shen und Parsons (1997)	+	+	n.v.
Thakurta et al. (1995)	-	+	n.v.
Uenishi et al. (2000)	n.v.	n.v.	+
Zhao et al. (1994)	n.v.	n.v.	+

+ : Beziehung/Korrelation gefunden
 - : keine Beziehung/Korrelation gefunden
 ? : gefundene Beziehung/Korrelation nicht aussagekräftig
 n.v.: nicht verfügbar

(*) nur für sehr große Versuchspersonen unter stark eingeschränkten Sitzeinstellungsmöglichkeiten
 (2*) Vorgehensweise ist evtl. fragwürdig, da für die Korrelation die Größe des betrachteten Bereiches optimiert wurde
 (3*) keine Korrelation mit dem Druck, sondern mit dem seat compliance index
 (4*) es wurde nur die Druckmessungen von einer Versuchsperson betrachtet
 (5*) Korrelationen sind für eine praktische Anwendung zu klein
 (p_{max} 0.256, p<0.05, p_{avg} 0.241 p<0.05)

Zusammenfassung

Oudenhuijzen et al. (2003) haben in ihrem Artikel die Ergebnisse eines Literaturreviews in einer übersichtlichen Tabelle (Tabelle 2) zusammengefasst. Diese Tabelle wurde noch um weitere Literaturstellen und um das Kriterium „Korrelation gefunden“ erweitert. Am Ende der Tabelle sind noch vereinzelt Anmerkungen zu den betrachteten Artikeln angefügt.

1.4.2 Einfluss von Körperbau, -muskulatur und -fett auf Druckverteilungen

Untersuchungen von verschiedenen Autoren weisen darauf hin, dass der Körperbau des Menschen einen Einfluss auf die Druckperzeption und auf den Diskomfort haben kann.

Nach *Treaster und Marras (1987)* hat die Menge des Körperfettes und der Muskulatur einen Einfluss auf die resultierende Sitzdruckverteilung. Sie konnten bei einer Erhöhung des Körperfettanteils eine Erhöhung des Polsterungseffektes feststellen. Dabei stellte sich mit zunehmendem Fettanteil über den Knochenerhebungen ein diffuser werdendes Druckbild ein.

Gestützt wird dies auch durch die Aussage von *Hatta et al. (1985)* zitiert von *Yamazaki (1992)*: „Männliche, junge und schlanke Testpersonen haben einen besseren Übereinstimmungskoeffizienten in ihrer Empfindungsdifferenzierung als weibliche, alte und korpulente Testpersonen.“

Moes (2000b) analysierte den Zusammenhang zwischen Parametern von Druckverteilungen und Körpermerkmalen der Versuchspersonen. Als die Haupteinflussvariablen auf die Druckverteilung werden Körpermasse, Größe des subkutanen Fettanteils, Geschlecht und der so genannte „ectomorphic index“ angegeben.

Weiterhin untersuchte *Moes (2000a)* anhand von Sitzdruckverteilungen den Abstand der Druckmaxima, die von den Sitzbeinhöckern hervorgerufen wurden. Als Haupteinflussvariablen fand er das Geschlecht und die Beckenkippung. Die sagittale Position der Maxima auf dem Sitz erwies sich als nicht vorhersagbar.

Betrachtet man den Körperbau von Männern und Frauen so unterscheidet er sich in der knöchernen Struktur. Nach *Congleton et al. (1988)* ist das weibliche Becken im Allgemeinen um ein Drittel größer als das männliche und der Winkel des Beckens läuft nicht so spitz zu wie bei Männern. Zudem sind Männer oberhalb der Hüfte stärker gebaut und die Sitzbeinhöcker sowie die Gelenkpfannen der Oberschenkelköpfe liegen näher beieinander.

Eine Unterscheidung zwischen Männern und Frauen bei Sitzversuchen wird gestützt durch die Ergebnisse von *Gyi und Porter (1999)*, die einen Zusammenhang zwischen Diskomfortempfinden und Geschlecht gefunden haben.

Die aufgeführten Ergebnisse implizieren, im Sinne einer Verminderung der Komplexität des Untersuchungsgegenstandes, die Variationsbreite der

Einleitung

Anthropometrien zu beschränken. Zudem sollte eine Unterscheidung zwischen Männern und Frauen durchgeführt werden.

2 Hauptuntersuchung

2.1 Vorgehensweise

2.1.1 Methodische Vorgehensweise

Grundlegendes Versuchskonzept ist die Durchführung von Sitzversuchen mit Probanden, die basierend auf den dabei auftretenden Empfindungen subjektive Wertungen abgeben. Als objektive Größe werden die Druckverteilungen zwischen Proband und Sitz über Druckmessmatten bzw. über den Forschungsstuhl erfasst. Aus den subjektiven Wertungen und objektiven Druckdaten soll ein Diskomfortmodell abgeleitet werden.

Es ist anzunehmen, dass sich die Eigenschaften der heute verfügbaren Sitze in einem langjährigen Iterationsprozess dem Optimum angenähert haben. Dies hat zur Folge, dass die verfügbaren Sitze für ein Regressionsmodell eine nicht ausreichende Streubreite aufweisen. Deshalb werden auf dem Forschungsstuhl zusätzlich Sitzversuche auf Sitzen mit modifizierten Eigenschaften durchgeführt.

Für die Sitzversuche werden als Hauptversuchseinrichtungen Realsitzmockups und der Forschungsstuhl 2000 verwendet. Die Mockups sind mit Sitzen von Realfahrzeugen ausgestattet und geben vereinfacht das Package des Realfahrzeuges hinsichtlich Lenkrad und Pedalerie wieder. Als weitere Versuchseinrichtung wird der Forschungsstuhl 2000 eingeführt. Er ermöglicht es, Realsitze zu vermessen und diese basierend auf der Vermessung physikalisch zu simulieren. Vorteil der Simulation ist, dass durch Veränderung der Daten aus der Sitzvermessung eine gezielte Modifikation der Sitzeigenschaften durchgeführt werden kann.

Vor der Vermessung der Sitze mit dem Forschungsstuhl ist es erforderlich, die Sitze zu altern, da diese nach der Erfahrung von Automobilherstellern in der ersten Gebrauchsphase eine starke Änderung ihrer physikalischen Eigenschaften erfahren.

2.1.2 Organisatorische Vorgehensweise

Organisatorisch gliedert sich die Untersuchung in Vorversuchsphase und Hauptversuchsphase.

Primäre Zielsetzung der Vorversuchsphase ist es, die Versuchsmethodik zu entwickeln und an einem kleinen Probandenkollektiv zu prüfen, ob mit dieser

Hauptuntersuchung

Methodik das in der Aufgabenstellung definierte Ziel erreicht werden kann. Die aus der Auswertung und Analyse der Vorversuchsphase gewonnenen Erkenntnisse bilden die Ausgangsbasis für die Gestaltung der Hauptversuchsphase. Aufgabe der Vorversuchsphase ist es zudem, die technischen Voraussetzungen für die Durchführung der Versuche zu schaffen. Hierzu zählen der Aufbau der Mockups für die Versuche, die Sitzalterung (Abschnitt 2.2.3) und die Sitzvermessung (Abschnitt 2.2.1.2) mit dem Experimentalstuhl für die spätere Simulation der Sitze (Abschnitt 2.2.1.3) auf demselben.

Für die Hauptversuchsphase wird die Versuchsmethodik entsprechend den Erkenntnissen aus der Vorversuchsphase erweitert und modifiziert. Parallel zur Durchführung der Hauptversuchsphase erfolgt in mehreren Zyklen die Auswertung der gewonnenen Daten. Basierend auf den Zwischenergebnissen wird dann die weitere Vorgehensweise definiert. Nach einer abschließenden Auswertung und Analyse erfolgt die endgültige Modellierung.

Abschließend ist anzumerken, dass die vorliegende Untersuchung im Rahmen des FAT-Projektes „Schwingungsdummy“ zusammen mit dem Institut für Fahrzeugtechnik der TU-Braunschweig durchgeführt wurde. Ziel des Projektes war die Zusammenführung von statischem und dynamischem Sitzkomfort in einem Modell. Deshalb mussten alle Versuchspersonen sowohl an Versuchen am Institut für Fahrzeugtechnik als auch am Lehrstuhl für Ergonomie teilnehmen. Aus der Zusammenarbeit ergaben sich für den Ablauf und die Methodik einige Restriktionen, auf die im Späteren noch eingegangen wird.

2.2 Versuchs- und Messeinrichtungen

2.2.1 Forschungsstuhl

2.2.1.1 Technische Ausführung des Forschungsstuhls

Der in den Versuchen eingesetzte Forschungsstuhl (Abbildung 6) wurde von *Balzulat (2000)* entwickelt. Ziel war es ein Instrument zu schaffen, mit dem sich die Nahtstelle zwischen Mensch und Sitz detailliert untersuchen lässt.

Sitz- und Lehnenfläche bestehen jeweils aus 81 Pneumatikzylindern, die unabhängig voneinander angesteuert werden können. Jeder dieser Zylinder ist mit einem Kraft- und einem Wegmesssystem ausgestattet. Dadurch ist es möglich innerhalb eines Hubweges von 120 mm jede beliebige Geometrie und ein breites Spektrum an Kraft-Weg-Charakteristiken zu simulieren.

Die Zylinder sind in einer Verstellmechanik montiert, die es erlaubt den Forschungsstuhl auf die Größe des zu untersuchenden Sitzes sowohl in Länge als auch in Breite anzupassen. Für die Simulation der Seitenwangen werden jeweils die beiden äußeren Stößelreihen der Sitz- und Lehnenfläche verwendet. Diese sind mit zusätzlichen Verstellmöglichkeiten ausgestattet, um die Neigung der Seitenwangen zu reproduzieren.

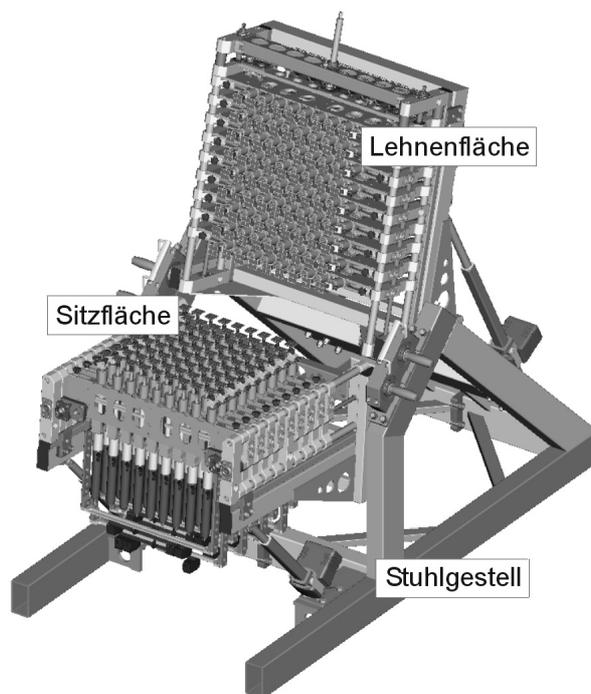


Abbildung 6: Forschungsstuhl (Balzulat 2000)

Hauptuntersuchung

2.2.1.2 Sitzvermessung

Bei der Sitzvermessung (siehe Abbildung 7 und Abbildung 8) wird mit dem Forschungsstuhl ein definiertes Kraftprofil (Mittelwert der Kraftverteilung aus einem Versuchspersonenkollektiv) auf die Lehnen- bzw. Sitzfläche eines zu vermessenden Sitzes schrittweise aufgebracht. Damit wird gewährleistet, dass die Federkennlinien für den Anwendungsfall „sitzender Mensch“ ermittelt werden können. Diese Vorgehensweise ist notwendig, da der Forschungsstuhl nur Verformungen senkrecht zur Sitzoberfläche simulieren kann. Querkräfte können nicht simuliert werden. Somit muss der Einfluss der Querkräfte indirekt durch die Verwendung des definierten Kraftprofils berücksichtigt werden. (*Balzulat 2000*)

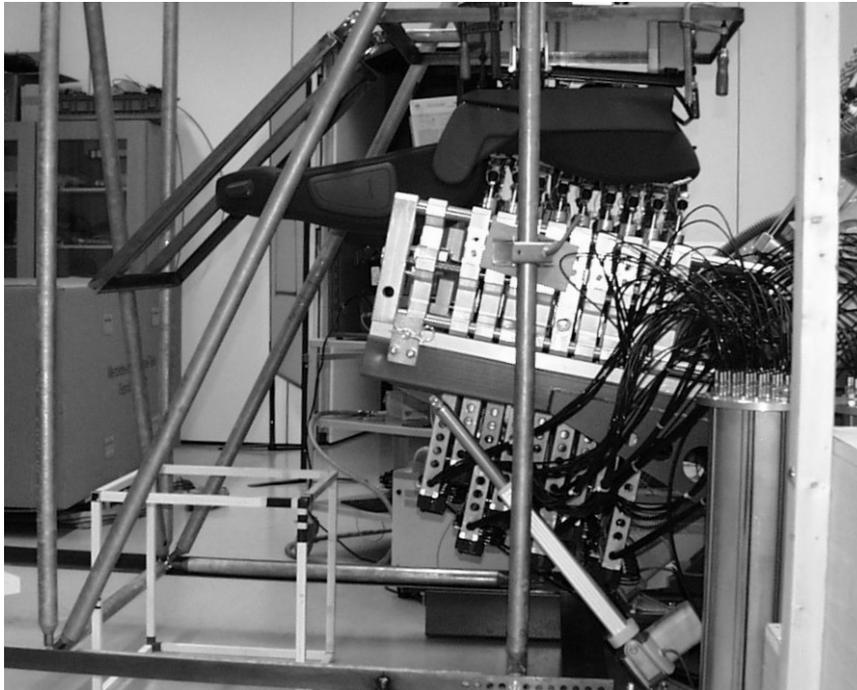


Abbildung 7: Vermessung der Sitzfläche der Sitze mit dem Forschungsstuhl



Abbildung 8: Vermessung der Sitzfläche der Sitze mit dem Forschungsstuhl, Detailansicht

2.2.1.3 Sitzsimulation

Auf Basis der aus der Sitzvermessung gewonnenen Daten lässt sich ein vermessener Sitz auf dem Forschungsstuhl hinsichtlich seiner Oberflächengeometrie und Federsteifigkeiten simulieren (Abbildung 9). Es besteht ebenfalls die Möglichkeit die Vermessungsdaten zu modifizieren oder gänzlich synthetisch zu generieren, um so mit neuen Sitzkonzepten experimentieren zu können.

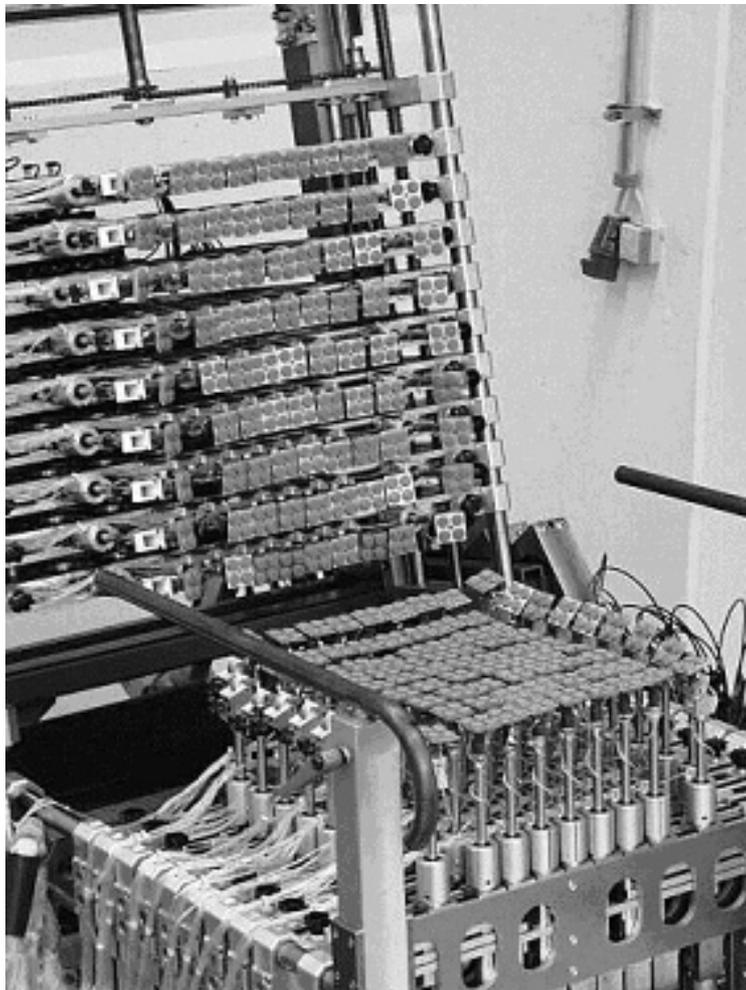


Abbildung 9: Simulation eines vermessenen Sitzes mit dem Forschungsstuhl

2.2.2 Druckmessmatten

2.2.2.1 Novel-Druckmesssystem

Für die Messung auf Realsitzen wird eine Druckmessmatte der Firma Novel verwendet. Die Messmatte verfügt auf einem Messfeld von 400 mm x 400 mm über 16 x 16 quadratische kapazitive Drucksensoren. Für die Messung wird die Matte auf die Sitz- bzw. Lehnenfläche gelegt (Abbildung 10). Danach erfolgt die Positionierung der Versuchsperson. Bei der Lehnenfläche muss die Messmatte zweimal angelegt werden, da häufig die Kontaktfläche der Versuchsperson mit der Lehne größer ist als das Messfeld der Druckmessmatte. Die gemessenen Druckdaten werden für die weitere Bearbeitung als ASCII-Dateien ausgegeben.

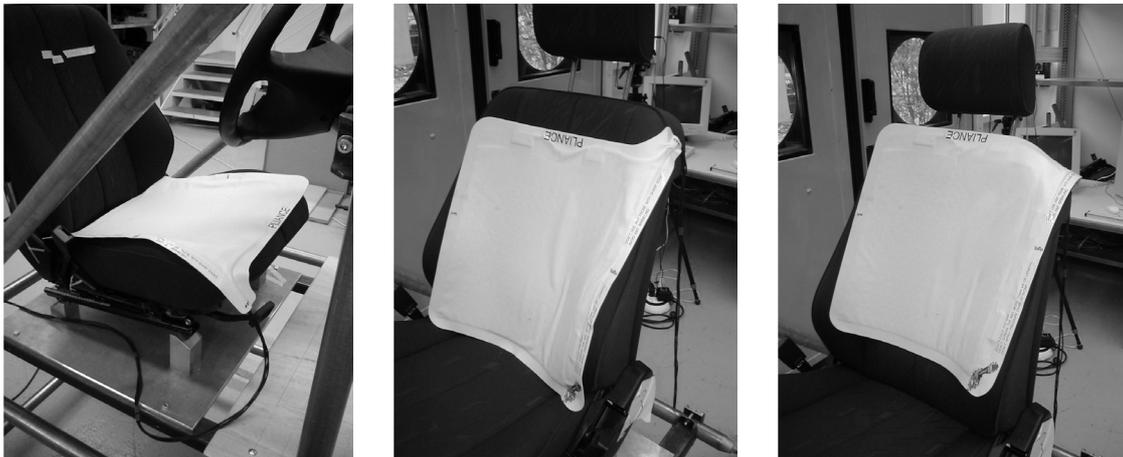


Abbildung 10: Anwendung der Novel-Druckmessmatte

2.2.2.2 FSA-Druckmesssystem

Für Versuche auf Realsitzen werden als zweites Druckmesssystem Messmatten der Firma FSA eingesetzt, welche resistive Drucksensoren verwenden. Das Messmattensystem besteht aus jeweils einer Messmatte für Sitz- und Lehnenfläche. Die Messmatte für die Sitzfläche verfügt über ein Messfeld von 400 mm x 400 mm, aufgeteilt in 16 x 16 Sensoren. Die Abmessungen des Messfeldes für die Lehnenfläche betragen 960 mm x 510 mm mit ebenfalls 16 x 16 Messstellen. Im Gegensatz zur Novel-Druckmessmatte kann mit dem FSA-Druckmesssystem die gesamte Druckverteilung (Sitzfläche und gesamte Lehne) auf einem Sitz durch eine einzige Messung erfasst werden. Die Messsoftware speichert die Messwerte als Binärdateien. Der Datentransfer erfolgt

Hauptuntersuchung

aus der Messanwendung über die Zwischenablage von Windows in andere Anwendungen (zum Beispiel Excel).

2.2.3 Sitzalterungsmaschine

Für die Alterung von unbenutzten Fahrzeugsitzen wurde eine Sitzalterungsmaschine entwickelt. Durch einen Pneumatikzylinder wird eine modifizierte SAE-Sitzschablone definiert hinsichtlich Frequenz, Kraft und Richtung in den Sitz gedrückt. Die Kräfte verteilen sich dabei je nach gewählter Richtung anteilig auf Sitz- und Lehnenfläche. In Abbildung 11 ist die Sitzalterungsmaschine mit ihren Einzelkomponenten dargestellt. Auf den Ablauf der Sitzalterung wird im Späteren nochmals eingegangen.

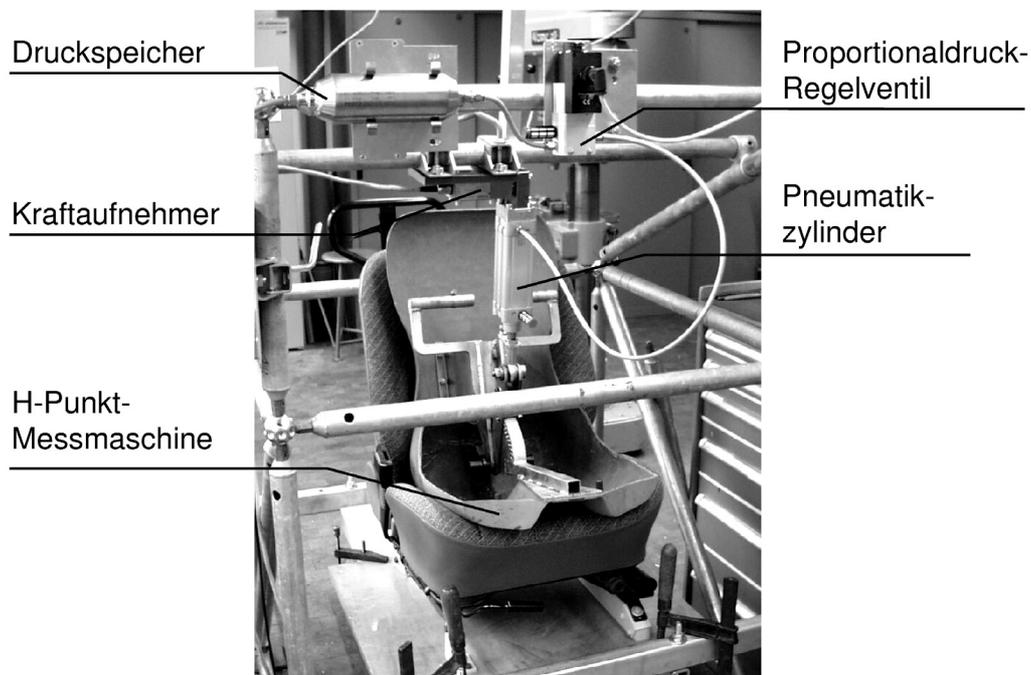


Abbildung 11: Sitzalterungsmaschine

2.2.4 Mockups

2.2.4.1 Variables Mockup

Das variable Mockup (Abbildung 12) erlaubt es in einem großen Bereich die relevanten Packagemaße eines Fahrzeugs einzustellen. Es verfügt über ein Lenkrad und positionierbare Pedale, über die eine einfache Fahrsimulation angesteuert werden kann. Eine Adapterplatte ermöglicht es, Sitze von verschiedenen Fahrzeugen zu montieren. Mit diesem Mockup können somit

Hauptuntersuchung

unterschiedlichste Fahrzeuge bezüglich ihrer Fahrerplatzauslegung simuliert werden.

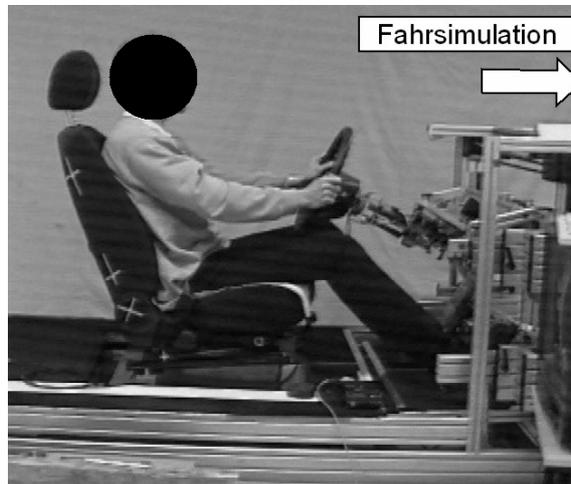


Abbildung 12: Variables Mockup mit Versuchsperson

2.2.4.2 Forschungsstuhl-Mockup

Mit dem Forschungsstuhl-Mockup (Abbildung 13) können die relevanten Packagemaße der in diesem Projekt verwendeten Fahrzeugtypen reproduziert werden. Es verfügt über ein Lenkrad, ein positionierbares feststehendes Gaspedal und eine positionierbare Fußstütze.

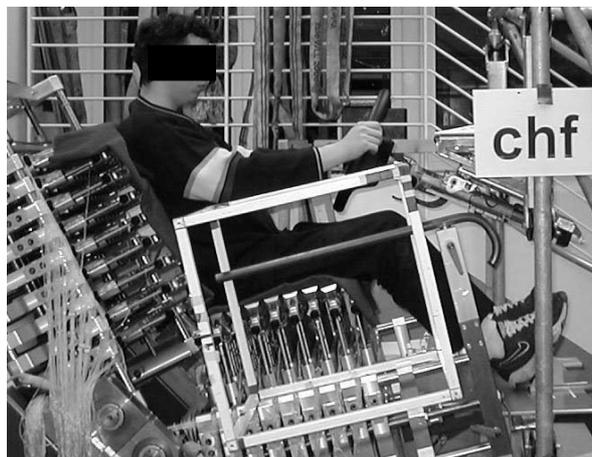


Abbildung 13: Forschungsstuhl-Mockup mit Versuchsperson

2.2.4.3 Fahrzeugspezifische Mockups

Es ist nicht möglich das variable Mockup in der Hauptversuchsphase einzusetzen, da das Einstellen der Packagemaße für die Vielzahl an Versuchen einen zu hohen Zeitaufwand erfordert. Deshalb wurden für die Hauptphase fünf Einzelmockups aufgebaut, die in den Packagemaßen den im Projekt verwendeten

Hauptuntersuchung

Fahrzeugen entsprechen. Die Mockups sind mit den Originalteilen (Fahrsitz, Lenkrad und Pedalerie) der simulierten Fahrzeuge ausgestattet. Lediglich die Fußstützen für den linken Fuß wurden nach Vorgaben der Automobilhersteller aus Holz gefertigt. Als Beispiel ist in Abbildung 14 das Realsitzmockup für die Mercedes E-Klasse mit Versuchsperson dargestellt.



Abbildung 14: Realsitzmockup mit Versuchsperson

2.2.5 Kameras

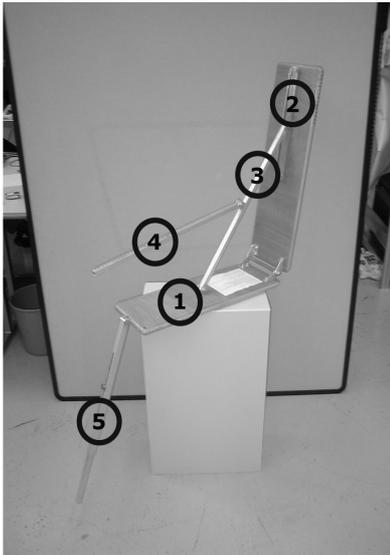
Zur Dokumentation der Versuche wurden im Laufe des Projektes verschiedene Kamerasysteme verwendet. Der Wechsel zwischen den Kamerasystemen erfolgte, da jeder Wechsel mit einer Verbesserung der Bildqualität und der Auflösung verbunden war. Folgende Kamerasysteme wurden verwendet:

- Pulnix S/W Kameras mit Capture-Karte,
- Sony HI-8 Videokameras, Einzelbilder über Digitalisierung mit PC,
- Sony Mavica D73, Digitalkamera,
- Olympus C-100, Digitalkamera.

2.2.6 Messschablone zur Übertragung von Sitzeinstellungen

Um die Fahrsitzeinstellungen an den Realsitzen unabhängig von den verschiedenen Sitzkinematiken einfach und schnell auf den Forschungsstuhl zu übertragen, wurde eine Messschablone konstruiert, mit der alle relevanten Maße abgenommen werden können. Die verwendete Schablone und deren Einsatz ist in Abbildung 15 dargestellt.

Hauptuntersuchung



- 1: Kontaktplatte Sitzfläche
- 2: Kontaktplatte Lehnenfläche
- 3: Bestimmung Öffnungswinkel zwischen Sitzfläche und Lehne
- 4: Bestimmung der Lenkradposition
- 5: Bestimmung der Hackenposition



Abbildung 15: Schablone zur Übertragung von Sitzeinstellungen

2.3 Vorversuchsphase

Im Folgenden wird die Vorversuchsphase beschrieben. Diese Phase dient sowohl dem Aufbau der Versuchseinrichtungen als auch dem Test und der Verbesserung des Versuchskonzeptes für die Hauptversuchsphase.

2.3.1 Sitzauswahl

Um die Ergebnisse möglichst allgemeingültig über Fahrzeugklassen hinweg anwenden zu können, werden in der Vorversuchsphase Sitze aus drei verschiedenen Fahrzeugklassen verwendet. Als Vertreter der jeweiligen Fahrzeugklassen wurden ein Opel Corsa-Sitz (Kleinwagen), ein Ford Focus-Sitz (untere Mittelklasse) und ein Mercedes E-Klasse-Sitz (obere Mittelklasse) ausgewählt. Sitze aus Oberklasse- und Luxusfahrzeugen werden bewusst nicht berücksichtigt. Aufgrund des oberen Preissegmentes ist anzunehmen, dass diese nur minimalen Diskomfort aufweisen.

2.3.2 Sitzalterung

Für das Projekt werden von den Automobilherstellern unbenutzte Fahrzeugsitze aus der laufenden Fertigung zur Verfügung gestellt. Nach Erfahrung der Automobil- und Sitzhersteller verändern Sitze ihre Polstereigenschaften in der ersten Gebrauchsphase. Deshalb erfolgt ein Alterungsprozess mit der in Abschnitt 2.2.3 beschriebenen Sitzalterungsmaschine. Während der Alterung wird unter definiertem Klima (Temperatur = 35°C, relative Feuchte = 60%) eine modifizierte H-Punkt-Messmaschine mit einem Pneumatikzylinder periodisch in die Sitzfläche und Rückenlehne gedrückt. Die Last variiert dabei zwischen etwa 550 und 850 N. Die Alterung ist in 96 Belastungszyklen mit einer Dauer von 15 Minuten unterteilt. Zwischen den Belastungszyklen erfolgt eine einminütige Pause. Innerhalb von 26 Stunden werden auf diese Weise circa 130.000 Lastwechsel durchgeführt. Die durchgeführte Alterung entspricht in etwa 96 Einzelfahrten mit je 1.350 starken Erschütterungen bei einem Fahrergewicht von circa 100 kg.

2.3.3 Sitzvermessung

2.3.3.1 Durchführung der Sitzvermessung

Für die Simulation der Realsitze auf dem Forschungsstuhl ist es notwendig die bereitgestellten Sitze mit dem Forschungsstuhl zu vermessen. Diese Vermessung erfolgt für jeden PKW-Sitz zweimal: vor und nach der Sitzalterung. Um die

Hauptuntersuchung

Genauigkeit der Vermessung zu erhöhen, wird jede Fläche der Sitze fünf Mal vermessen (siehe auch Abschnitt 2.2.1.2).

2.3.3.2 Ergebnisse der Sitzvermessung

Die Analyse der Sitzvermessungen zeigt, dass sich die Sitzflächeneigenschaften durch die Alterung in hohem Maße verändern. Die Schaumsitze (Opel Corsa, Ford Focus) erfahren bei der Alterung, durch Brechen innerer Strukturen im Schaum, eine stärkere Veränderung in den mechanischen Eigenschaften als der davon unterschiedliche Sitzflächenaufbau der E-Klasse, welcher aus einer harten Auflage mit Stahlunterfederung besteht.

2.3.4 Sitzversuche

In der Vorversuchsphase soll mit Hilfe der Sitzversuche geprüft werden, ob das gewählte Versuchskonzept für die Untersuchung des Einflusses der Druckverteilung auf den Diskomfort geeignet ist.

2.3.4.1 Versuchspersonen

Das Versuchspersonenkollektiv für die Vorversuche besteht aus 6 männlichen Probanden. Um den Einfluss durch eine Variation der Anthropometrie zu minimieren (siehe auch Abschnitt 1.4.2), erfolgt die Auswahl der Versuchspersonen möglichst nahe dem 50. Perzentil bezüglich Körperhöhe (178-182 cm) und Körpergewicht (72-76 kg). Zudem bewegt sich das geforderte Alter für die Probanden in der Spanne zwischen 18-29 Jahren. Somit kann auch ein eventuell vorhandener Einfluss des Alters der Versuchspersonen minimiert werden.

2.3.4.2 Versuchsdesign

Die Sitzversuche in der Vorversuchsphase untergliedern sich in zwei Versuchstypen. Es werden einerseits Langzeitversuche auf den Realsitzen, andererseits Kurzzeitversuche auf dem Forschungsstuhl durchgeführt.

Langzeitversuche

Die Durchführung der Langzeitversuche erfolgt unter Verwendung des in Abschnitt 2.2.4.1 beschriebenen Mockups. Entsprechend dem verwendeten Sitz wird das Mockup auf die Packagemaße des zu simulierenden Fahrzeuges eingestellt. Über Lenkrad, Gaspedal und Bremse des Mockups kann die Versuchsperson eine einfache Fahrsimulation steuern.

Hauptuntersuchung

Zu Beginn der Versuche soll sich die Versuchsperson den Sitz entsprechend ihren Wünschen einstellen. Eine nochmalige Verstellung des Sitzes ist nur innerhalb der ersten fünf Minuten erlaubt. Diese Vorgehensweise wurde gewählt, um der Versuchsperson nicht schon im Vorfeld der Untersuchung das Gefühl zu geben, zu einer bestimmten Sitzeinstellung gezwungen zu werden. Denn dies könnte unter Umständen eine beeinflussende Wirkung auf die subjektiven Bewertungen der Versuchsperson ausüben.

Die Dauer eines Langzeitversuches beträgt 135 Minuten. Nach den ersten 15 Minuten und im Weiteren alle 30 Minuten erfolgt die Befragung der Versuchsperson mit den in Kapitel 2.3.4.3 dargestellten Fragebögen. Vor jeder Befragung wird die Haltung der Versuchsperson mit Hilfe von Kameraaufnahmen dokumentiert.

Mit Hilfe der in Kapitel 2.2.2.1 beschriebenen Druckmessmatte erfolgt die Erfassung der Druckverteilungen zwischen Versuchsperson und Sitz. Hierfür wird die Versuchsperson gebeten kurz aufzustehen, um die Druckmessmatte zu positionieren.

Nach einer Woche erfolgt für die ersten drei Versuchspersonen eine Wiederholung der Langzeitversuche, um die Test-Retest-Reliabilität zu untersuchen.

Kurzzeitversuche

Für die Kurzzeitversuche erfolgt eine Simulation der mit dem Forschungsstuhl (vgl. Abschnitt 2.2.1) vermessenen Sitze. Zudem werden zur Erweiterung des Spektrums der simulierten Sitze die vermessenen Federkennlinien modifiziert. Zusätzlich zu den vermessenen Sitzen werden zwei weitere generiert. Die erste Variation besteht in einer Modifikation der Kraft-Wegverläufe für die einzelnen Stößel des Forschungsstuhles in der Weise, dass sich bei gleicher Kraft nur 50% des Weges ergeben. Bei der zweiten Variation ergeben sich bei gleicher Kraft 200% des Weges im Vergleich zum Kraft-Wegverlauf des vermessenen Sitzes. Diese Modifikation ist notwendig, da anzunehmen ist, dass die zur Verfügung gestellten Fahrzeugsitze auf Basis langjähriger Erfahrung der Automobil- und Sitzhersteller entwickelt wurden, und deshalb bereits nahe an einem Diskomfortminimum liegen. Da zudem subjektive Aussagen von Versuchspersonen stark streuen können, wäre es ohne zusätzliche Modifikation der Sitze unter Umständen schwierig, den zu untersuchenden Zusammenhang mit ausreichender Güte nachzuweisen.

Hauptuntersuchung

Für die Vorversuche am Forschungsstuhl wird das in Abschnitt 2.2.4.2 beschriebene Forschungsstuhlmockup verwendet, um das Package der Fahrzeuge zu simulieren. Die Übertragung der Sitzeinstellung erfolgt hierbei durch die in Abschnitt 2.2.5 beschriebene Schablone. Die so reproduzierten Restriktionen für Hände (Lenkrad) und Füße (Pedale) gewährleisten eine möglichst gute Reproduzierbarkeit der eingenommenen Haltung auf dem Sitz.

Für die Sitzversuche wird die Versuchsperson angewiesen im Forschungsstuhl Platz zu nehmen und sich bis zum Versuchsende möglichst nicht mehr zu bewegen. Nach notwendigen technischen Einstellungen am Forschungsstuhl erfolgt nach circa 10 Minuten die Messung der Druckverteilung über das in den Forschungsstuhl integrierte Druckmesssystem. Weiterhin erfolgt eine Aufnahme der Versuchssituation über Kameras. Im Anschluss daran wird eine Befragung mit den in Abschnitt 2.3.4.3 vorgestellten Fragebögen durchgeführt.

2.3.4.3 Fragebögen

Wie bereits in Abschnitt 2.1.2 beschrieben war das Ziel des Gesamtprojektes in Zusammenarbeit mit dem Institut für Fahrzeugtechnik der TU-Braunschweig statische und dynamische Diskomfortwertungen in einem Modell zu vereinen. Im Hinblick auf eine Zusammenführung der Ergebnisse ist es deshalb notwendig, ähnliche Fragebögen zu verwenden. Das Institut für Fahrzeugtechnik kann auf gute Erfahrungen mit den von Ihnen entwickelten Fragebögen für den Bereich Schwingungsdiskomfort verweisen. Deshalb wurden die Fragebögen zur Ermittlung der Spürbarkeit und des Diskomforts in der Vorversuchsphase analog zu den Fragebögen des Institutes für Fahrzeugtechnik erstellt. Die Fragebögen sind beispielhaft in Abbildung 16 dargestellt.

Die Bewertung erfolgt für definierte Körperbereiche. Um den Versuchspersonen die Lokalisierung der Körperbereiche zu erleichtern, wurde eine Bodymap (Abbildung 17) in Analogie zu *Corlett und Bishop (1976)* entwickelt.

Bei der Spürbarkeitsbewertung sollen die Probanden möglichst neutral die Höhe des empfundenen Druckes angeben. Bei der Diskomfortbewertung sollen die Versuchspersonen angeben wie unangenehm sie den Druck empfinden. Grundüberlegung hierbei ist, dass Druck nicht zwangsweise als unangenehm empfunden wird, sondern dass ein stützender Druck in bestimmten Körperbereichen durchaus erwünscht sein kann.

Hauptuntersuchung

Druck ist

kaum spürbar

stark spürbar

Nr.	Körperregion	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10
1	Schulter links				X															
2	Schulter rechts			X																
3	Brustkorb seitlich links							X												

...

Druck ist

kaum unangenehm

sehr unangenehm

Nr.	Körperregion	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10
1	Schulter links				X															
2	Schulter rechts				X															
3	Brustkorb seitlich links									X										

...

Abbildung 16: Ausschnitte aus den Fragebögen

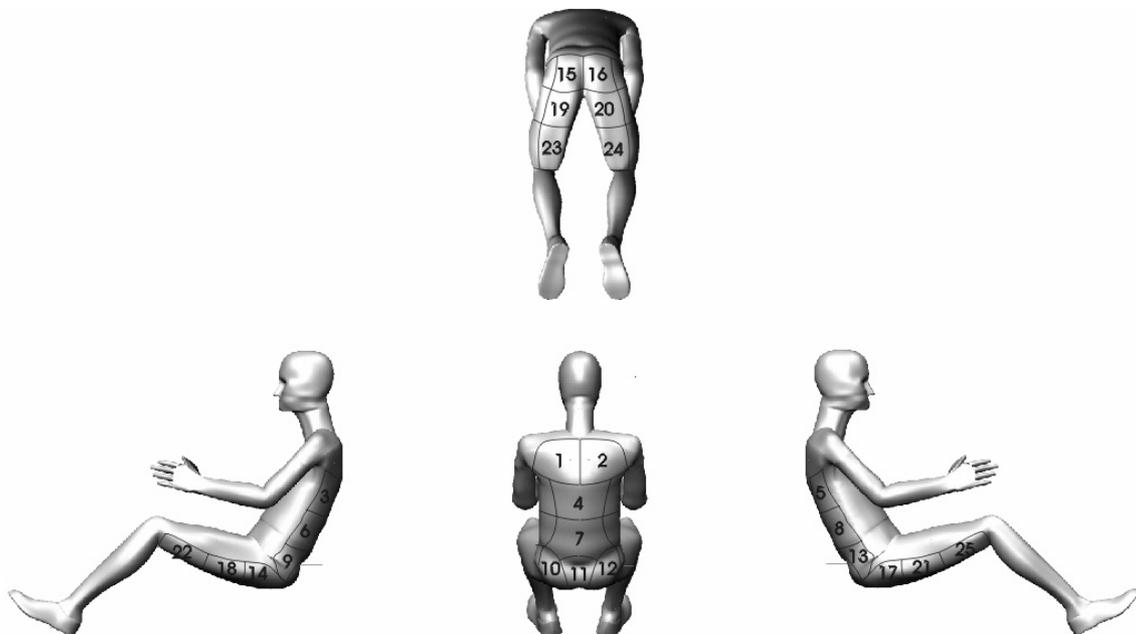


Abbildung 17: Bei den Versuchen verwendete „Bodymap“

2.3.4.4 Versuchsdurchführung

Die Durchführung der Vorversuche erfolgte in der Versuchshalle des Lehrstuhls für Ergonomie der TU München von Oktober 2000 bis Februar 2001.

Die Langzeitversuche für verschiedene Sitze wurden auf Grund der langen Versuchsdauer an verschiedenen Tagen durchgeführt. Die unterschiedlichen Abstände zwischen den Versuchstagen waren dabei durch die Verfügbarkeit der Versuchspersonen bedingt. Aufgrund der notwendigen Umbauarbeiten erfolgten auch die Kurzzeitversuche für jedes Fahrzeug an verschiedenen Versuchstagen.

Nachfolgend sind einige Beobachtungen beschrieben, die bei den Langzeit- und Kurzzeitversuchen gemacht wurden.

Einige Versuchspersonen äußerten bei den Langzeitversuchen den Wunsch, den Sitz nach längerer Versuchsdauer nochmals verstellen zu dürfen. Dies wurde den Versuchspersonen jedoch verwehrt, um über die Versuchsdauer die Haltung möglichst konstant zu halten. Die Versuchspersonen äußerten sich auch dahingehend, dass die lange Fahraufgabe ermüdend auf sie wirke.

Weiterhin war den Versuchspersonen eine gewisse Beunruhigung vor den Forschungsstuhlversuchen anzumerken, ausgelöst durch die Schwere des technischen Aufbaus. Nach einigen Sitzversuchen wich diese Beunruhigung einer angenehmen Überraschung bezüglich der Qualität der Sitz-Simulation.

2.3.4.5 Auswertung und Ergebnisse

Die im Folgenden gemachten Ausführungen sind immer vor dem Hintergrund einer Voruntersuchung mit stark eingeschränkter Versuchspersonenzahl zu sehen. Durch die geringe Probandenzahl können die durchgeführten Auswertungen nur Tendenzen aufzeigen.

Subjektive Wertungen der Versuchspersonen

Reliabilität der Messmethodik

Um die Test-Retest-Reliabilität der Messmethode zu überprüfen, werden die subjektiven Wertungen aus neun Versuchen auf den Realsitzen mit den jeweiligen Wiederholungsversuchen verglichen. Es ergibt sich dabei eine Korrelation zwischen den Wertungen für die Spürbarkeit von 0,7 ($p < 0,01$) und für das Diskomfortempfinden von 0,785 ($p < 0,01$). Die gefundenen Korrelationen sprechen für eine gute Test-Retest-Reliabilität der verwendeten Messmethodik. Dies ist umso höher zu bewerten, da zwischen Versuch und

Hauptuntersuchung

Wiederholungsversuch eine Zeitspanne von mindestens einem Tag lag und somit Erinnerungseffekte weitestgehend auszuschließen sind.

Zeitabhängigkeit

Es wird untersucht, ob eine Zeitabhängigkeit bei den subjektiven Wertungen vorliegt. Einen ersten Hinweis auf eine Zeitabhängigkeit liefert der Vergleich der Antwortenverteilungen. Hierbei ist mit zunehmender Zeit eine Verschiebung zu höheren Wertungen festzustellen.

Ein Vergleich der Mittelwerte mit Hilfe eines zweiseitigen t-Tests ergibt, dass bei einer Gesamtbetrachtung aller abgegebenen Wertungen diese sowohl für die Spürbarkeit als auch für den Diskomfort nach 135 Minuten signifikant ($p < 0,05$) höher liegen als nach 15 Minuten.

Zusammenhang zwischen Spürbarkeit und Diskomfort

Die Betrachtung der Antwortenverteilungen führt zu der Annahme, dass die subjektiven Urteile für die beiden Faktoren Spürbarkeit und Diskomfort äquivalent sind. Die Überprüfung des Zusammenhangs zwischen beiden Faktoren mittels einer Korrelationsanalyse über alle Spürbarkeits- und Diskomfortwertungen ergibt einen Korrelationskoeffizienten von 0,92 ($p < 0,01$). Somit besteht zwischen den beiden Urteilen ein hochsignifikanter, annähernd funktionaler Zusammenhang, welcher es erlaubt, die Spürbarkeit aus dem Diskomfort bzw. umgekehrt mit hoher Wahrscheinlichkeit vorherzusagen. Somit wäre es im Rahmen weiterer Versuche ausreichend, nur nach einer dieser Variablen zu fragen. Dies würde für die Versuchspersonen eine erhebliche Entlastung bei der Abgabe der subjektiven Wertungen, sowie eine Reduktion der Bearbeitungszeit zugunsten der Fahraufgabe während der Versuchsdurchführung bedeuten. Wie sich allerdings später zeigen wird (vergleiche Abschnitt 2.4.1), ist diese Annahme von einer Gleichwertigkeit von Druck- und Diskomfortempfinden nicht haltbar.

Vergleich zwischen Realsitz und simuliertem Sitz

Die Ähnlichkeit der Antwortenverteilungen lassen hier die Vermutung zu, dass Realsitz und simulierter Sitz gleich bewertet werden. Die Korrelationen zwischen den Wertungen für die Realsitze nach 15 Minuten und den Wertungen für die simulierten Sitze betragen für den Faktor Spürbarkeit 0,77 ($p < 0,01$) und für den Faktor Diskomfort 0,77 ($p < 0,01$), was nur geringfügig unter der Test-Retest-Reliabilität von 0,785 ($p < 0,01$) liegt. Dies weist darauf hin, dass die Bewertungen auf dem Realsitz und auf dem durch den Forschungsstuhl simulierten Sitz als gleich angenommen werden können.

Hauptuntersuchung

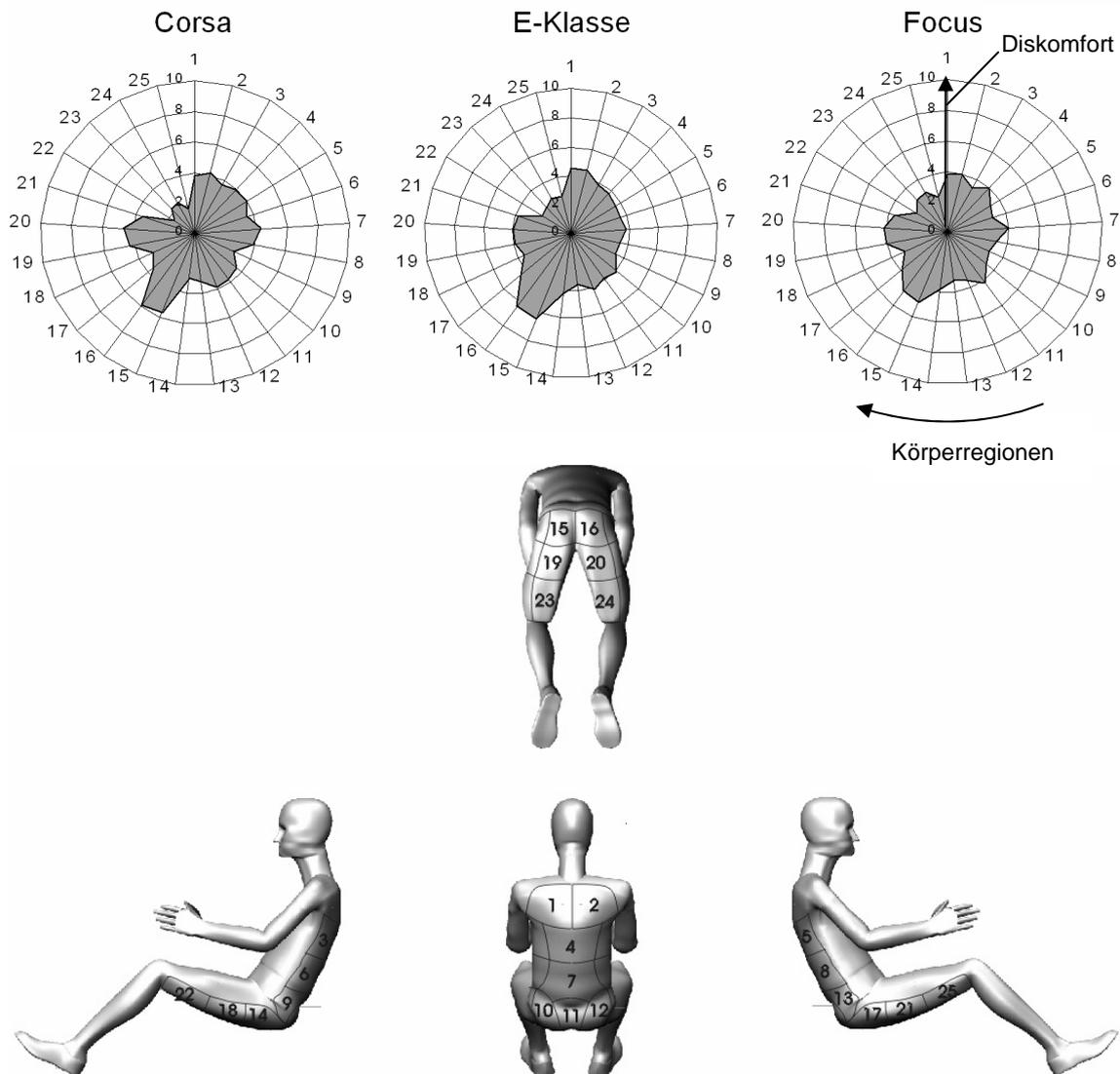


Abbildung 18: Mittlere Diskomfortwertungen nach 135 Minuten für die einzelnen Körperregionen, Radial aufgetragen die Höhe der Diskomfortwertungen, im Uhrzeigersinn aufgetragen die Körperregionen 1-25 (vergleiche hierzu die Bodymap)

Unterschiede zwischen den Sitzen

Um einen ausreichenden Zusammenhang zwischen Druckverteilung und Diskomfort zu finden, ist es notwendig eine möglichst große Variationsbreite bezüglich der Sitze abzudecken. Einen Hinweis auf die Verschiedenheit der Sitze liefert die Betrachtung der Verteilung der mittleren Diskomfortwerte für die einzelnen Körperregionen (Abbildung 18).

An den unterschiedlichen Profilen in den Diagrammen ist erkennbar, dass Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Sitzbewertungen vorlagen. Allerdings wurde diese Aussage keiner statistischen Überprüfung unterzogen.

Hauptuntersuchung

Auswertung der Druckverteilungen

Die Aufbereitung der auf den Realsitzen gemessenen Druckverteilungen für die Auswertung gestaltet sich als äußerst schwierig. Die Messwerte der novel-Druckmessmatte weisen eine Vielzahl von Messartefakten auf, die v.a. bei den Schaumsitzen (Ford Focus, Opel Corsa) wahrscheinlich durch Knickung der kapazitiven Messmatte entstehen. Erschwerend kommt hinzu, dass durch die unterschiedlichen Haltungen der Versuchspersonen auf den verschiedenen Sitzen die Position des Druckbildes variiert.

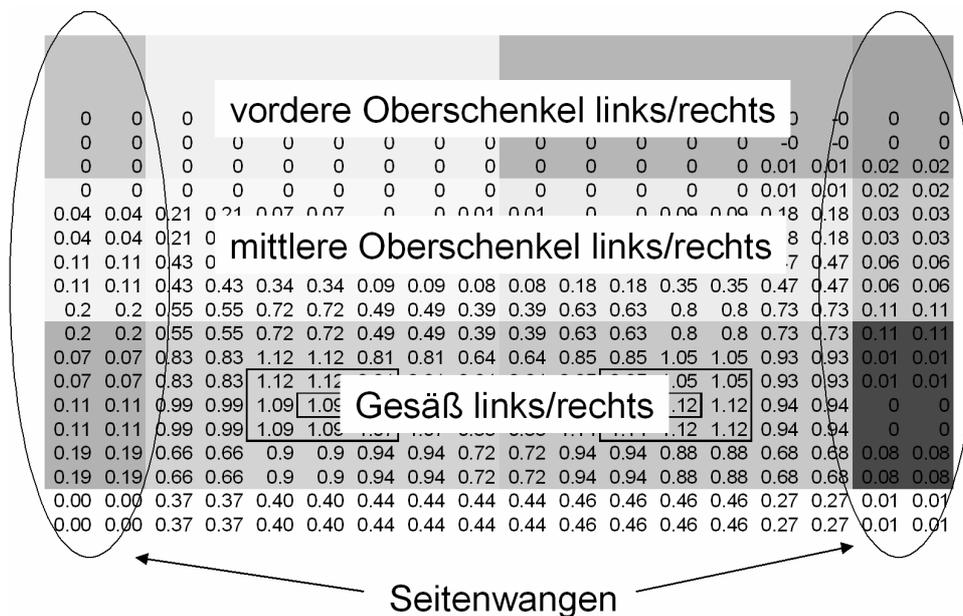


Abbildung 19: Beispiel für die Aufteilung der Druckverteilungen in Körperbereiche (hier: Sitzfläche, Messung auf simuliertem Sitz)

Deshalb ist es notwendig, eine äußerst aufwändige Aufbereitung der Daten von Hand durchzuführen. Dabei wird das Druckbild manuell entsprechend der definierten Körperbereiche aufgeteilt (siehe Abbildung 19). Die Größe der Körperbereiche wird an die Körpermaße der Versuchspersonen angepasst. Offensichtliche Messartefakte werden ausgeklammert.

Bei der Aufbereitung der Druckverteilungen, die durch den Forschungsstuhl ermittelt werden, erfolgt eine analoge Vorgehensweise, wobei hier jedoch nur sehr wenige offensichtliche Messartefakte auftreten.

Da die Auswertung der Vorphase engen zeitlichen Begrenzungen unterliegt, ist die Vorgehensweise bei der Aufteilung in Körperbereiche noch vergleichsweise rudimentär. In der Hauptphase erfolgt eine exaktere, aber auch zeitaufwändigere Zuordnung der Druckwerte zu den einzelnen Körperbereichen.

Hauptuntersuchung

Zusammenhang zwischen Druckverteilung und subjektiven Wertungen

Zur Untersuchung des Zusammenhanges zwischen subjektiven Wertungen und den korrespondierenden Druckverteilungen wurde eine Vielzahl an Korrelationsanalysen durchgeführt. Im Weiteren werden die wichtigsten Ergebnisse dargestellt.

Normierung der subjektiven Wertungen

Die Normierung von subjektiven Aussagen ist eine gängige Methode, um die Varianz durch unterschiedliche innere Bewertungsskalen zu minimieren.

Die im Rahmen der Auswertung durchgeführten Analysen zeigen, dass sich die Normierung für die vorliegenden Daten als nicht zielführend erweist. Der Grund hierfür ist darin zu sehen, dass vom Prinzip her nur Wertungen normiert werden dürfen, die den gleichen Reiz bewerten. Da die Druckverteilungen aber für verschiedene Versuchspersonen auf den gleichen Sitzen teilweise stark differieren, ist eine Normierung hier nicht zulässig.

Genereller Zusammenhang

Zunächst ist zu überprüfen, ob ein genereller Zusammenhang zwischen Spürbarkeit bzw. Diskomfort und dem gemessenen Druck existiert. Hierzu werden alle für die Körperregionen erfassten Spürbarkeitswertungen bzw. Diskomfortwertungen mit den gemessenen mittleren und maximalen Drücken korreliert. Für die Korrelationen ergeben sich die in Tabelle 3 und Tabelle 4 für bestimmte Zeitpunkte beispielhaft dargestellten Werte.

Tabelle 3: Korrelationen: Subjektive Wertungen – Druck Realsitz

	mittlerer Druck	maximaler Druck
Spürbarkeit (15 min)	0,25 (p<0,01)	0,31 (p<0,01)
Diskomfort (135 min)	0,31 (p<0,01)	0,36 (p<0,01)

Tabelle 4: Korrelationen: Subjektive Wertungen – Druck Forschungsstuhl

	mittlerer Druck	maximaler Druck
Spürbarkeit	0,24 (p<0,01)	0,23 (p<0,01)
Diskomfort	0,23 (p<0,01)	0,23 (p<0,01)

Es existieren somit zwar statistisch signifikante, aber schwache Zusammenhänge zwischen den subjektiven Wertungen und den am Körper des Menschen gemessenen Druckwerten. Da bei dieser Berechnung eine Vermischung von Versuchspersonen und Versuchsbedingungen stattfindet, ist die Aussagekraft dieser Korrelationen mit Vorbehalt zu betrachten. Eine bessere Information

Hauptuntersuchung

darüber, ob Zusammenhänge existieren, kann durch die Betrachtung der Korrelationen innerhalb der Daten einzelner Versuchspersonen erlangt werden.

Zusammenhang auf Versuchspersonenebene

Bei der Betrachtung des Zusammenhangs zwischen den subjektiven Wertungen einzelner Versuchspersonen und den entsprechenden Druckwerten zeigen sich tatsächlich höhere Korrelationen als beim generellen Zusammenhang. Die Korrelationen liegen überwiegend in einer Größenordnung zwischen 0,3 und 0,7. In diese Korrelation fließen die Werte aller Körperregionen mit ein. Diese Korrelationen liefern somit keine Aussagekraft über die Zusammenhänge in einzelnen Körperregionen, sondern nur über die Gesamtheit aller betrachteten Körperbereiche. Für diese Gesamtheit gilt somit ein positiver Zusammenhang zwischen dem gemessenen Druck und den subjektiven Wertungen.

Bei den Maximaldrücken zeigt sich eine Tendenz zu höheren Korrelationen als bei den mittleren Drücken. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass in Bezug auf die subjektiven Empfindungen den Maximaldrücken eine größere Bedeutung beizumessen ist, als den mittleren Druckwerten.

Zusammenhang auf Versuchspersonen- und Körperregionenebene

Da für jede Körperregion einer Versuchsperson nur jeweils drei objektive Druckwerte vorliegen, ist es nicht sinnvoll statistische Untersuchungen der Zusammenhänge in den einzelnen Körperregionen der Versuchspersonen durchzuführen.

Hauptuntersuchung

Zusammenfassung der Ergebnisse der Vorversuchsphase

Die in der Vorversuchsphase durchgeführten Analysen zeigen, dass...

- ein statistisch nachweisbarer Zusammenhang zwischen gemessenem Druck und den subjektiven Wertungen besteht.
- der generelle Zusammenhang zwischen Druck und den subjektiven Wertungen über alle Versuchspersonen - wahrscheinlich aufgrund unterschiedlicher Bewertungsskalen der Versuchspersonen - kleiner ist, als innerhalb einer Versuchsperson.
- die subjektiven Wertungen von Spürbarkeit und Diskomfort als äquivalent anzusehen sind.
- Diskomfort eine Zeitabhängigkeit aufweist.
- bei den untersuchten Sitzen Unterschiede hinsichtlich des Diskomforts in verschiedenen Körperregionen vorliegen (statistisch nicht überprüft, vergleiche Abbildung 18).
- Realsitze und mit dem Forschungsstuhl simulierte Sitze bezüglich der subjektiven Bewertungen als äquivalent angesehen werden können.

Die in der Vorversuchsphase gewonnenen Erkenntnisse lassen den Schluss zu, dass die eingesetzte Versuchsmethodik prinzipiell geeignet scheint, um den Zusammenhang zwischen Diskomfort und Druckverteilungen weiter zu untersuchen.

2.4 Konzeptentwicklung für die Hauptversuchsphase

2.4.1 Diskussion der Ergebnisse der Vorversuchsphase

Die im Rahmen der Voruntersuchungen gewonnenen Ergebnisse stellen die Diskussionsgrundlage für die weitere Ausarbeitung der Vorgehensweise in der Hauptphase dar.

Die Diskomfort- und Spürbarkeitswertungen aus der Voruntersuchung zeigen entgegen der anfänglichen Erwartung eine hohe Korrelation. Die langjährige Erfahrung der an diesem Projekt beteiligten Sitz- und Automobilhersteller widerspricht diesem gefundenen starken Zusammenhang. Aufgrund dieser Tatsache wurde eine nachgeschaltete Befragung von Probanden aus der Vorversuchsphase durchgeführt. Dabei ergab sich, dass das Konzept von Spürbarkeit und Diskomfort von den Versuchspersonen nicht richtig verstanden worden war und die beiden Faktoren als äquivalent betrachtet werden. Basierend auf dieser Erkenntnis wird für die Hauptphase ein neuer Fragebogen entwickelt, der besser auf die Problematik des statischen Sitzdiskomforts abgestimmt ist.

2.4.2 Entwicklung der Fragebögen

Die verwendeten Fragebögen sind vollständig im Anhang aufgeführt.

2.4.2.1 Anleitung für Versuchspersonen

Wichtigster Bestandteil der neuen Fragebögen ist eine Anleitung für die Versuchspersonen bezüglich der Unterscheidung zwischen Diskomfort- und Druckempfindung. In dieser Anleitung wird den Versuchspersonen allgemein und anhand von Beispielen erklärt, was Druck bzw. Diskomfort bedeuten.

2.4.2.2 Modifizierte Bodymap

Die in der Voruntersuchung verwendete Bodymap wird für die Hauptversuche modifiziert. Das Ergebnis dieser Modifikationen ist in Abbildung 20 auf Seite 46 dargestellt. Die Reduktion der Anzahl der Körperregionen von 25 auf 17 soll zu einer Entlastung der Versuchspersonen bei der Befragung führen. Die bisher verwendeten vier Ansichten, in denen die zu bewertenden Körperregionen eingezeichnet sind, werden auf eine reduziert. Durch nur eine Ansicht sowie deren Ausrichtung fällt es der Versuchsperson leichter sich mit der Bodymap zu identifizieren („das bin ich von hinten/unten gesehen“). Zudem ist es für eine Versuchsperson ohne technisch geprägtem Hintergrund schwierig, die

Hauptuntersuchung

verschiedenen Ansichten richtig zu interpretieren, da hierzu ein hoher Umcodierungsaufwand betrieben werden muss. Das heißt, durch die Verwendung von nur einer Ansicht fällt es einer Versuchsperson leichter, die Körperregionen richtig zuzuordnen und die mentale Belastung für die Versuchsperson wird reduziert.

2.4.2.3 Modifizierte CP-50 Skalen

Basierend auf der in der Literatur beschriebenen CP-50-Skala, die sich im Vergleich zu anderen Skalen durch eine hohe Test-Retest-Reliabilität bezüglich der Bewertung von Druck (*Shen und Parsons 1997*) auszeichnet, wurden Skalen zur Bewertung des Diskomfort- und Druckempfindens entwickelt. Die Skalen sind unterteilt in jeweils 6 Kategorien, die verbal formuliert sind. Innerhalb jeder Kategorie erfolgt eine weitere Unterteilung in 10 Zahlenwerte anhand derer die Versuchsperson eine Tendenz innerhalb der Kategorie zum Ausdruck bringen kann. Die Skala ist so zu verwenden, dass immer zuerst eine Kategorie anhand der vorgegebenen Formulierungen ausgesucht wird, zum Beispiel „mittlerer Diskomfort“ und dann eine feinere Differenzierung innerhalb der Kategorie anhand der Zahlenwerte vorgenommen wird. Die Skala ist nach oben offen, so dass auch Wertungen oberhalb von 50, dem höchsten Zahlenwert in der obersten Kategorie, auftreten können. In Abbildung 20 auf Seite 46 ist neben der Bodymap beispielhaft die CP-50-Skala zur Bewertung des Diskomfortempfindens dargestellt.

2.4.2.4 Interview der Versuchsperson zum Diskomfort, Druckempfinden, Unterstützungswunsch

Kern der neuen Fragebögen für die Hauptversuchsphase stellt das Interview dar. Der Interviewfragebogen wird nicht von der Versuchsperson selbst, sondern von dem Versuchsleiter, der auch die Befragung durchführt, ausgefüllt. Damit wird erreicht, dass die Versuchsperson während des gesamten Versuches in der gleichen Haltung verbleiben kann und nicht die Arme vom Lenkrad nehmen muss. Mit Hilfe der Bodymap wird im Rahmen des Interviews das Diskomfortempfinden, die Akzeptanz bezüglich des Diskomforts, der Grund für den Diskomfort, die Druckempfindung und der Unterstützungswunsch für die einzelnen Körperbereiche sowie über alle Körperbereiche insgesamt abgefragt. Die einzelnen Abschnitte des Interviews werden im Folgenden kurz erläutert.

Hauptuntersuchung

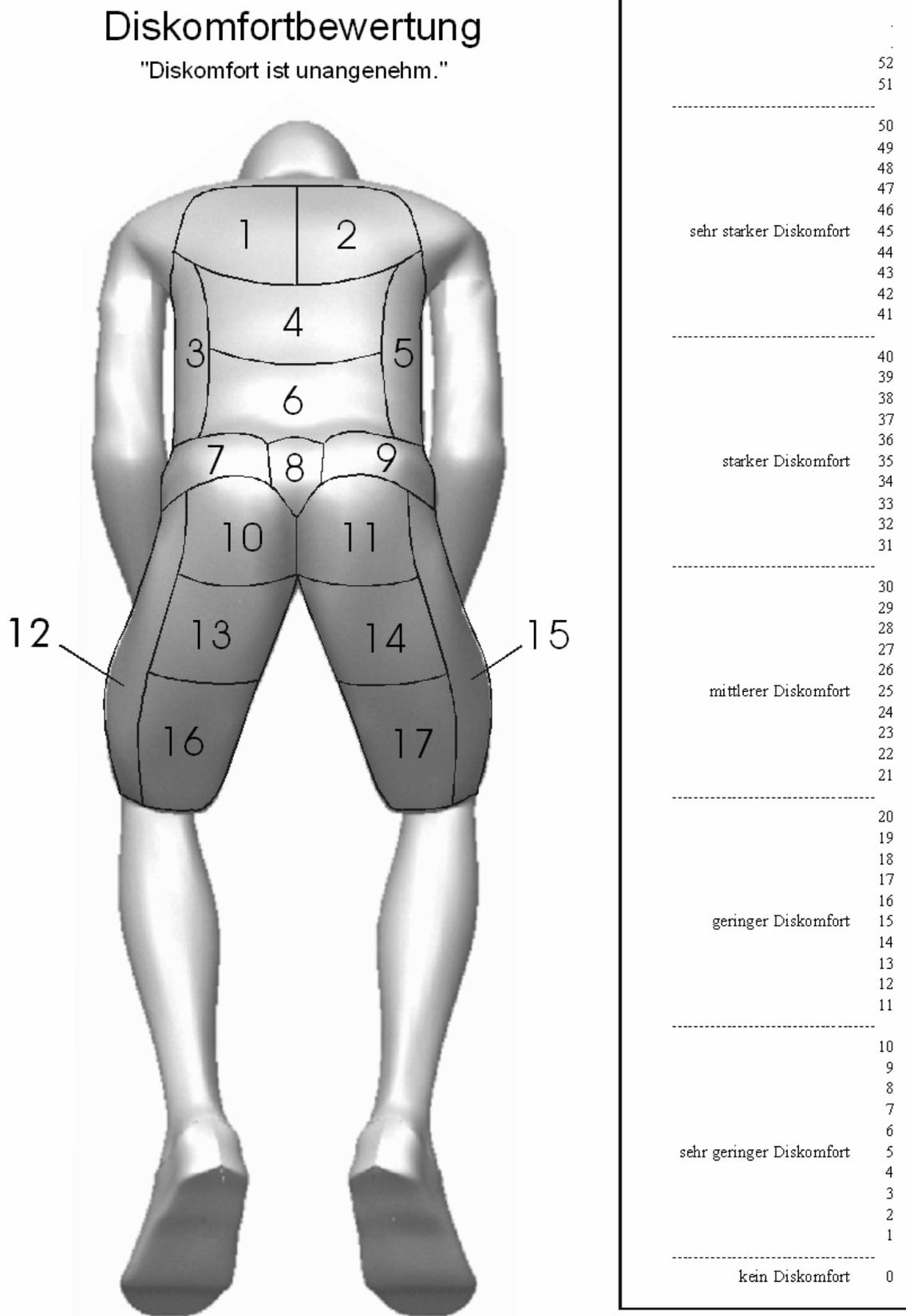


Abbildung 20: Bodymap der Hauptversuchsphase mit CP-50-Skala zur Befragung der Versuchspersonen

Hauptuntersuchung

Diskomfort

Die Versuchsperson wird nach dem Diskomfortempfinden in der jeweiligen Körperregion befragt. Für die Bewertung wird der Versuchsperson eine Schautafel vorgelegt, auf der die Bodymap und die modifizierte CP-50 Skala zur Diskomfortbewertung abgebildet sind.

Akzeptanz

Die Versuchsperson soll sich dahingehend äußern, ob der empfundene Diskomfort für sie noch akzeptabel ist oder nicht. Die Bewertung erfolgt in den Abstufungen „akzeptabel“, „eher akzeptabel“, „eher unakzeptabel“, „unakzeptabel“.

Grund für den Diskomfort

Wenn eine Diskomfortbewertung von größer null durch eine Versuchsperson erfolgt, soll diese angeben, welchen Grund der Diskomfort hat. Der Versuchsperson werden dabei keine Kategorien vorgegeben, sondern sie darf sich frei äußern.

Druckempfindung

Für jede Körperregion soll die Versuchsperson eine Wertung darüber abgeben, wie hoch sie im Moment den Druck empfindet. Für diese Bewertung wird der Versuchsperson die Bodymap mit der modifizierten CP-50-Skala für die Druckbewertung vorgelegt.

Unterstützungswunsch

Beim Unterstützungswunsch soll die Versuchsperson darüber eine Aussage machen, ob sie sich in der jeweiligen Körperregion mehr oder weniger Unterstützung durch den Sitz wünscht. Bei der Befragung wird der Versuchsperson die Bodymap präsentiert. Die Bewertung soll auf einer Skala von -3 bis +3 vorgenommen werden, wobei -3 für „weniger Unterstützung“, 0 für „in Ordnung“ und +3 für „mehr Unterstützung“ steht.

2.4.2.5 Fragebogen zur Erfassung persönlicher Daten und Gewohnheiten

Mit diesem Fragebogen werden grundlegende, während des Versuchszeitraums weitgehende unveränderliche Merkmale bzw. Gewohnheiten der Versuchsperson erfasst. Merkmale sind zum Beispiel Alter, Körpergewicht, Größe, Erwerb des Führerscheins oder aktuelles Fahrzeug. Abgefragte Gewohnheiten sind zum

Hauptuntersuchung

Beispiel Sitzgewohnheiten, Essgewohnheiten oder Vorstellungen über einen guten Sitz.

Dieser Fragebogen wird nur einmalig und zwar beim Antritt zum ersten Versuch von der Versuchsperson ausgefüllt.

2.4.2.6 Fragebogen zur Beurteilung der äußeren Anmutung der Sitze

Bei den Realsitzversuchen kann die äußere Anmutung der Sitze einen möglichen Einflussparameter auf den Diskomfort darstellen. Deshalb wurden in diesem Fragebogen der Versuchsperson zum Beispiel Fragen zur äußeren Anmutung des Sitzbezuges und seiner Farbe gestellt. Die Versuchspersonen beantworteten diesen Fragebogen für jeden in der Versuchsreihe verwendeten Realsitz.

Diese Befragung wird für jeden Realsitz nur einmalig, beim Antritt zum ersten Versuch, durchgeführt.

2.4.2.7 Fragebogen zur Erfassung der Einflussfaktoren am Versuchstag

Dieser Fragebogen dient dazu diejenigen Faktoren zu erfassen, die am Versuchstag einen Einfluss auf die Versuchsperson ausüben könnten. Dies sind zum Beispiel Tätigkeiten vor dem Versuch, die letzte Nahrungsaufnahme oder die getragene Kleidung.

Dieser Fragebogen wird jeweils zu Beginn jedes Versuchstages von den Versuchspersonen ausgefüllt.

2.4.2.8 Fragebogen zur Erfassung der Einflussfaktoren beim Versuch

Mit diesem Fragebogen sollen Faktoren erfasst werden, die während des Versuchs einen Einfluss auf das Urteil der Versuchsperson haben könnten. Hierzu zählen Fragen bezüglich des aktuellen Befindens der Versuchsperson wie auch Fragen darüber, wie die Umgebungsbedingungen empfunden werden.

Diese Befragung wird jeweils während eines Sitzversuches auf den Realsitzen bzw. dem Forschungsstuhl durchgeführt.

2.4.2.9 Fragebogen zum Versuchsablauf

In diesem Fragebogen soll die Versuchsperson Aussagen darüber abgeben wie sie den Versuchsablauf empfunden haben. Fragen hierbei sind zum Beispiel wie

Hauptuntersuchung

schwierig es für die Versuchsperson war, die Bewertungen durchzuführen oder ob sie sich auf dem Forschungsstuhl unsicher gefühlt hat.

Dieser Fragebogen wird von den Versuchspersonen am Ende eines Versuchstages ausgefüllt.

2.4.3 Test der Fragebögen

Es wird ein Versuch zum Test der Fragebögen auf Verständlichkeit und des Interviews auf Test-Retest-Reliabilität durchgeführt.

2.4.3.1 Versuchsanordnung

Für die Versuche wird das Corsa-Mockup, welches für die Hauptversuche gebaut wurde, verwendet. Die Versuchspersonen dürfen sich den Fahrersitz nach ihren eigenen Vorlieben einstellen und werden danach angewiesen in Fahrerhaltung Platz nehmen. Das Versuchspersonenkollektiv besteht aus neun Männern und drei Frauen, von denen bei den Wiederholungsversuchen nach einer Woche fünf Männer und zwei Frauen nochmals befragt werden konnten. Die in der Vorwoche gemachten Sitzeinstellungen werden für den Wiederholungsversuch reproduziert. Zusätzlich zu den vorbereiteten Fragebögen erfolgt eine Befragung der Versuchspersonen, ob Verständnisprobleme bei der Beantwortung der Fragen auftreten.

2.4.3.2 Ergebnisse

Die Korrelation der Antworten der ersten Versuche mit denen der Wiederholungsversuche ergibt eine ausreichende Test-Retest-Reliabilität ($r=0,77$). Hierbei ist anzumerken, dass die Reliabilität der CP50-Skala, auf der das Interview aufbaut, bereits durch *Shen und Parson (1997)* als Beste unter einer Auswahl von 6 gebräuchlichen Bewertungsskalen nachgewiesen wurde. Die durchgeführte Untersuchung bezüglich der Test-Retest-Reliabilität erfolgte ausschließlich zur Überprüfung der Frage, ob sich die Reliabilität durch die Übersetzung der Skala aus dem Englischen grundlegend geändert hat. Das Ergebnis lässt darauf schließen, dass dies nicht stattgefunden hat.

Durch die Anleitung bei der Bewertung von Diskomfort und Druck wird erreicht, dass die Versuchspersonen nun zwischen Diskomfort und Druck unterscheiden können. Unter anderem zeigt sich dieser Sachverhalt auch in einer Reduktion der Korrelation zwischen Diskomfort und Druckempfinden von $r=0,92$ in den Vorversuchen auf $r=0,33$.

Hauptuntersuchung

Aus der zusätzlichen intensiven Befragung der Versuchspersonen konnte ermittelt werden, dass die Fragebögen sowie die Anleitung zu Diskomfort- und Druckbewertung verständlich formuliert sind.

2.5 Hauptversuchsphase

2.5.1 Versuchsdesign

2.5.1.1 Versuchspersonenkollektiv

Das Versuchspersonenkollektiv für die Hauptversuchsphase besteht aus 48 Versuchspersonen (24 männliche, 24 weibliche). Die Versuchspersonenauswahl ist durch die in Tabelle 5 aufgeführten Kriterien eingegrenzt.

Tabelle 5: Kriterien für die Versuchspersonenauswahl

	Männer	Frauen
Alter	18-29 Jahre	18-29 Jahre
Körperhöhe	178-182 cm	165-169 cm
Gewicht	72-76 kg	58-62

Körperhöhe und Körpergewicht wurden dabei so gewählt, dass sie ungefähr den Bereich vom 40. bis zum 60. Perzentil abdecken. Die Perzentilwerte wurden mit RAMSIS¹ für das Bezugjahr 2000 bestimmt. Ziel ist es, Versuchspersonen möglichst nahe dem 50. Perzentil bezüglich Körpergröße und Körpergewicht zu finden. Diese Einschränkung erfolgt, um den Einfluss unterschiedlicher Anthropometrien zu minimieren (siehe auch Abschnitt 1.4.2). Dies bedeutet allerdings auch, dass ein auf dieser Datenbasis entwickeltes Modell vorerst nur für diese Bevölkerungsgruppe gültig sein kann. Um die festgelegte Zahl an Versuchspersonen überhaupt aufbringen zu können, werden geringe Abweichungen von den oben aufgeführten Körpermaßen akzeptiert.

2.5.1.2 Sitze

Das Sitzkollektiv für die Hauptversuchsphase besteht aus den drei bereits in der Vorversuchsphase verwendeten PKW-Sitzen und zusätzlich aus einem LKW- und einem Bus-Sitz. Die zusätzlichen Sitze sollen nur mit einem reduzierten Versuchspersonenkollektiv von 12 männlichen Probanden untersucht werden, um stichprobenartig zu prüfen, in wieweit die auf PKW-Sitzen ermittelten Modelle auf andere Sitztypen übertragbar sind.

Die Simulation der fünf oben aufgeführten Sitze erfolgt auf dem Forschungsstuhl mit jeweils zwei Variationen pro Sitz. Wie in der Vorversuchsphase wird bei der ersten Variation der Kraft-Wegverlauf so modifiziert, dass bei gleicher Kraft nur

¹ RAMSIS: ein Computermenschmodell mit hinterlegter anthropometrischer Datenbank

Hauptuntersuchung

50% des Weges erreicht werden. Die zweite Variation besteht darin, den Kraft-Wegverlauf so zu skalieren, dass bei gleicher Kraft 150% des Weges im Vergleich zum Realsitz erreicht werden. In der Vorversuchsphase ist bei der zweiten Variation noch eine Verdopplung des Weges durchgeführt worden. Es zeigte sich allerdings während der Vorversuche, dass der Einsinkweg der Versuchspersonen an manchen Stellen bei dieser Variation so groß ist, dass der maximale Verfahrweg der Stößel des Forschungsstuhles nicht mehr ausreicht.

Somit stehen für die Hauptversuche 5 Realsitze und 15 auf dem Forschungsstuhl simulierte Sitze zu Verfügung.

2.5.1.3 Haltungen

In der Hauptphase werden die Versuche analog zur Vorversuchsphase in der Fahrerhaltung durchgeführt. Der Sitz darf von den Versuchspersonen frei eingestellt werden, unter der Prämisse, dass die Pedalerie und Lenkrad bedient werden können.

Für die Hauptversuchsphase wird eine weitere Haltung hinzugenommen, die im Weiteren als „standardisierte Haltung“ bezeichnet wird. Im Gegensatz zur Fahrerhaltung sind hierbei die Sitzeinstellungen fest vorgegeben und entsprechen ungefähr der Konstruktionslage der Sitze für das 50. Perzentil männlich (nach Angabe der Automobilhersteller). Es sind keine äußeren Restriktionen durch Pedale oder Lenkrad vorgegeben. Die Versuchsperson soll sich so in den Sitz setzen, dass sie mit dem gesamten Rücken an der Rückenlehne anliegt. Die Beine sollen bequem nach vorne abgelegt werden, so dass weder eine Lücke zwischen Oberschenkel und Sitzfläche entsteht, noch das Polster am vorderen Ende der Sitzfläche zu stark zusammengedrückt wird. Die Arme sollen bequem auf den Oberschenkel gelegt werden. Diese Haltung entspricht in etwa einer Beifahrerhaltung.

2.5.1.4 Messwerkzeuge

Für die Durchführung der Versuche werden folgende Versuchseinrichtungen und Messwerkzeuge verwendet:

- Realsitzmockups (siehe Abschnitt 2.2.4.3),
- Forschungsstuhlmockup (siehe Abschnitt 2.2.4.2),
- Forschungsstuhl (siehe Abschnitt 2.2.1),

Hauptuntersuchung

- Novel-Druckmessmatte für Druckmessung auf Realsitzmockups (siehe Abschnitt 2.2.2.1),
- Kameras (siehe Abschnitt 2.2.5),
- Fragebögen (siehe Abschnitt 2.4.2),
- Schablone zur Übertragung von Sitzeinstellungen (siehe Abschnitt 2.2.5).

2.5.1.5 Versuchsdauer

Auf eine weitere Durchführung der Langzeitversuche analog zur Vorversuchsphase wird verzichtet, da es sich bereits in der Vorversuchsphase abzeichnete, dass den Versuchspersonen eine so lange Versuchsdauer, vor dem Hintergrund einer hohen Zahl an Versuchen in der Hauptphase, nicht zuzumuten ist. Es erfolgt somit eine Fokussierung auf den Kurzzeitkomfort. Zutraglich zu dieser Entscheidung war, dass in der Literatur bereits Erkenntnisse über die generelle Entwicklung des Diskomfortempfindens über die Sitzdauer vorliegen (*Estermann 1999*).

2.5.1.6 Versuchsablauf

Der Versuchsablauf wird für alle Versuche gleich gestaltet. Eine Permutation der Versuchsbedingungen erfolgt nicht, da die dazu notwendigen Umbauten am Forschungsstuhl die Anzahl der Termine für die Versuchspersonen verdreifachen würde. Dies ist aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit der Versuchspersonen nicht durchführbar. Aus der Kombination von Versuchspersonen mit der Anzahl der verwendeten Sitze und Haltungen ergibt sich für die Untersuchung eine Gesamtzahl von 1.344 Sitzversuchen.

Am ersten Versuchstag müssen die Versuchspersonen nach der Begrüßung den Fragebogen zur Abfrage persönlicher Daten und Gewohnheiten (vgl. Abschnitt 2.4.2.5) ausfüllen.

Zunächst erfolgt einer Vermessung der Versuchspersonen zur Überprüfung der bei der Rekrutierung gemachten Angaben bezüglich Körperhöhe und Gewicht. Zusätzlich werden die Versuchspersonen mit zwei Kameras aus verschiedenen Blickwinkeln in zwei vordefinierten Körperhaltungen aufgenommen. Die erstellten Aufnahmen dienen im Späteren für die Ermittlung weiterer anthropometrischer Maße mit dem PCMAN. PCMAN ist ein System zur berührungslosen anthropometrischen Vermessung. Für weitere Informationen über PCMAN sei auf *Geuß (1994)* und *Seitz (2000)* verwiesen.

Hauptuntersuchung

Nach der Vermessung füllen die Versuchspersonen den Fragebogen zur äußeren Anmutung der Sitze aus (vgl. Abschnitt 2.4.2.6). Dazu wird die Versuchsperson zum jeweiligen Sitz geführt und der entsprechende Fragebogen übergeben. Die Versuchsperson erhält die Anweisung die Sitze nicht zu berühren und die Beurteilung nur auf Grund der optischen Erscheinung des Sitzes durchzuführen.

Darauf erfolgt eine Einweisung der Versuchsperson in die Bewertung von Diskomfort und Druck (vgl. Abschnitt 2.4.2.1) und die Verwendung der Bodymap und der CP50-Bewertungsskala (vgl. Abschnitte 2.4.2.2, 2.4.2.3). Um eventuell Vorbehalte aufgrund des mächtigen Erscheinungsbildes des Forschungsstuhls auszuräumen, wird dessen Funktionsweise der Versuchsperson kurz erläutert und versichert, dass die Versuche gänzlich ungefährlich sind.

Die oben beschriebenen Schritte erfolgen nur am ersten Versuchstag. Die nachfolgenden Schritte werden am ersten wie auch an den weiteren Versuchstagen immer in der gleichen Reihenfolge durchgeführt.

Nach den Vorbereitungen müssen die Versuchspersonen den Fragebogen zur Erfassung der Einflussfaktoren am Versuchstag (vgl. Abschnitt 2.4.2.7) ausfüllen.

Bei der nachfolgenden Durchführung der Realsitzversuche erhält die Versuchsperson die Anweisung sich in der standardisierten Haltung (Abbildung 21) auf den vorbereiteten Sitz zu setzen und den Fragebogen zu den Einflussfaktoren während des Versuches (vgl. Abschnitt 2.4.2.8) auszufüllen. Danach erfolgen die Druckmessungen mit Hilfe der Novel-Druckmessmatte. Im Anschluss werden Aufnahmen der Versuchsperson mit zwei Kameras aus zwei verschiedenen Perspektiven erstellt. Den Abschluss des Versuches bildet das durch den Versuchsleiter geführte Interview (vgl. Abschnitt 2.4.2.4) mit der Versuchsperson.

Für die Fahrerhaltung (Abbildung 21) wird analog vorgegangen mit dem Unterschied, dass die Sitzeinstellungen frei gewählt werden dürfen. Für die Versuchspersonen gelten ferner die äußeren Restriktionen durch die geforderte Bedienung von Pedalen und Lenkrad. Die Sitzeinstellungen werden nach dem Versuch direkt am Sitz und mit Hilfe der Sitzschablone (siehe Abschnitt 2.2.6) erfasst.

Nach Abschluss der Realsitzversuche wird mit den Forschungsstuhlversuchen begonnen. Bei den Versuchen in der standardisierten Haltung (Abbildung 22) erfolgt eine Reproduktion der Sitzeinstellungen auf dem Forschungsstuhl. Der Versuchsperson werden die Sitze in der Reihenfolge normal, 50% Weg, 150%

Hauptuntersuchung

Weg (vgl. Abschnitt 2.5.1.2) dargeboten. Die Datenaufnahme während des Versuches besteht aus dem Fragebogen zu den Einflussfaktoren (vgl. Abschnitt 2.4.2.8), einer Druckmessung mit dem Forschungsstuhl, Bildaufnahmen vom Versuch mit zwei Kameras aus verschiedenen Blickwinkeln und dem Interview (vgl. Abschnitt 2.4.2.4) mit der Versuchsperson.

Die Forschungsstuhlversuche für die Fahrerhaltung (Abbildung 22) verlaufen analog zu den Versuchen mit standardisierter Haltung. Allerdings erfolgt bei der Fahrerhaltung eine Reproduktion der individuellen Einstellungen der Realsitze auf dem Forschungsstuhl mit Hilfe der Sitzschablone (vgl. Abschnitt 2.2.6).

Am Ende eines Versuchstages müssen die Versuchspersonen den Fragebogen zur Bewertung des Versuchsablaufes ausfüllen (siehe Abschnitt 2.4.2.9).



Abbildung 21: Standardisierte Haltung (links) und Fahrerhaltung (rechts) auf dem Realsitz

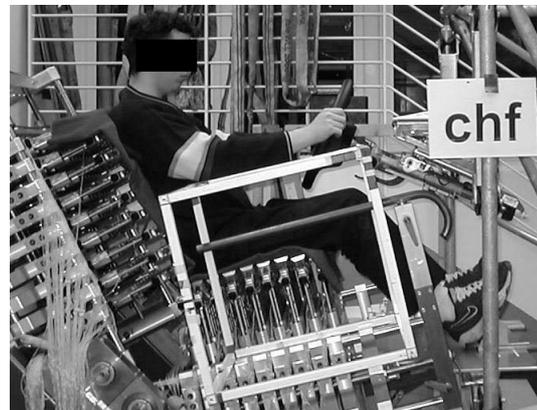
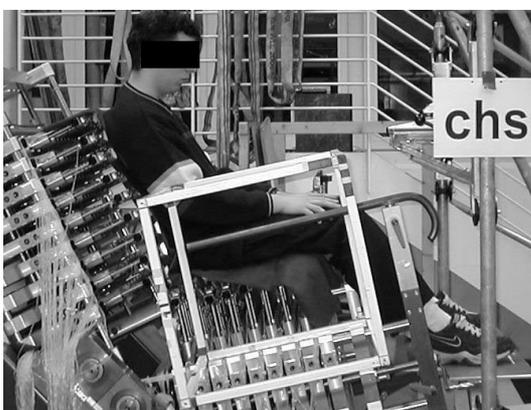


Abbildung 22: Standardisierte Haltung (links) und Fahrerhaltung (rechts) auf dem Forschungsstuhl

2.5.2 Versuchsdurchführung

Die Sitzversuche der Hauptversuchphase fanden in dem Zeitraum von September 2001 bis März 2003 in der Versuchshalle am Lehrstuhl für Ergonomie der TU München statt.

Wie bereits früher erwähnt, erfolgt diese Untersuchung im Rahmen eines größeren Projektes, welches den Austausch der Versuchspersonen zwischen dem Lehrstuhl für Ergonomie und dem Institut für Fahrzeugtechnik der TU-Braunschweig erfordert. Die Versuchspersonen wurden deshalb zur Hälfte aus der Umgebung von Braunschweig und zur Hälfte aus der Umgebung von München rekrutiert.

Bei den Versuchspersonen aus Braunschweig erfolgten die Versuche an jeweils drei aufeinander folgenden Tagen. Jedem dieser Tage war ein anderer Sitz als Untersuchungsgegenstand zugeordnet.

Bei den Probanden aus München waren die Abstände zwischen den Versuchstagen je nach Verfügbarkeit der Versuchsperson unterschiedlich groß. Ansonsten erfolgte der Ablauf wie bei den Versuchspersonen aus Braunschweig und wie in Abschnitt 2.5.1.4 beschrieben.

Die Untersuchung von Bus- und LKW-Sitz wurde mit 12 männlichen Versuchspersonen aus München durchgeführt.

2.6 Auswertungen, Ergebnisse, Diskussion

Bereits während der laufenden Hauptuntersuchung wurden zu verschiedenen Zeitpunkten Vorauswertungen durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Zwischenauswertungen werden hier ebenfalls beschrieben.

2.6.1 Auswertung der Fragebögen

2.6.1.1 Häufigkeitsverteilung der Diskomfortwertungen

Ergebnisse

Boxplots geben einen ersten Überblick über die Struktur der Daten. Im Boxplot sind Median, Quartile, Ausreißer und Extremwerte dargestellt. Der Median wird durch die waagerechte dicke schwarze Linie repräsentiert. Der graue Bereich umfasst das 25. bis 75. Perzentil. Die äußeren waagerechten Striche geben das 0. und 100. Perzentil an. Aufgrund der hier insgesamt sehr niedrigen Diskomfortwertungen fallen bei fast allen Körperbereichen 0. Perzentil, 25. Perzentil und Median zusammen und sind somit nicht getrennt im Diagramm sichtbar. Ausreißer sind definiert als Werte, die innerhalb des eineinhalb- bis dreifachen des Interquartilbereichs nach oben bzw. nach unten liegen. Sie sind im Diagramm als Ringe gekennzeichnet. Extremwerte liegen oberhalb bzw. unterhalb dieses Bereiches und sind mit einem Stern gekennzeichnet.

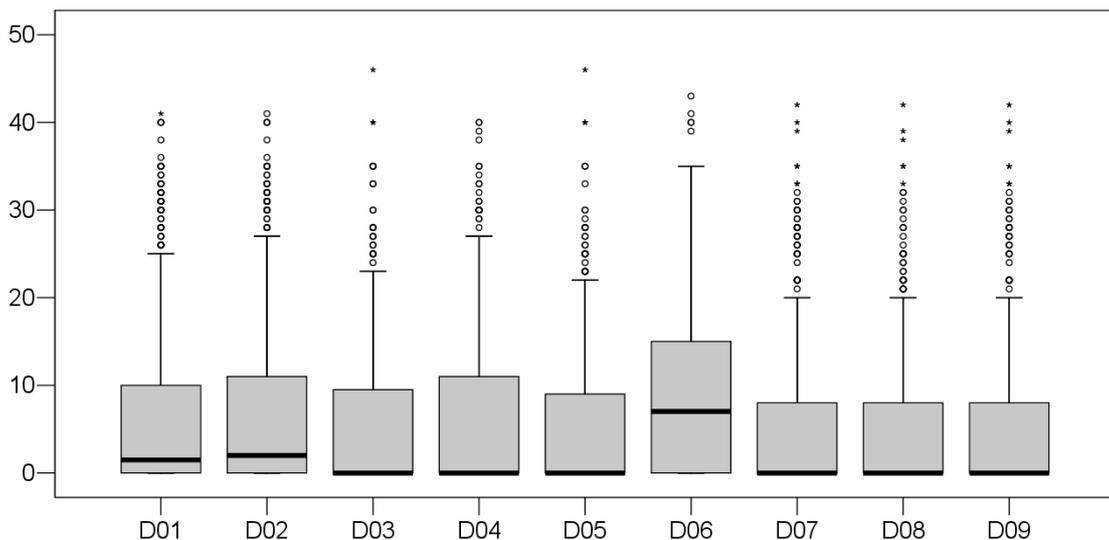


Abbildung 23: Boxplot der Diskomfortwertungen (Ordinate) für die Körperregionen 1-9 (Abszisse) des Rückens, nur PKW auf Forschungsstuhl (Versuchsperson 01-48)

Hauptuntersuchung

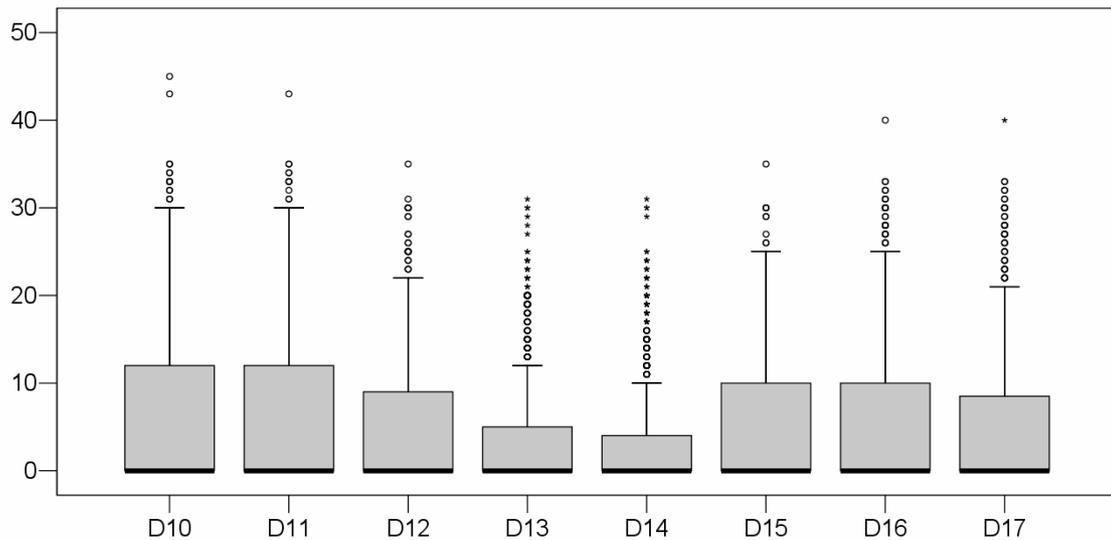


Abbildung 24: Boxplot der Diskomfortwertungen (Ordinate) für die Körperregionen 10-17 (Abszisse) des Gesäßes, nur PKW auf Forschungsstuhl (Versuchsperson 01-48)

Deutlich zu erkennen ist, dass die Diskomfortwertungen insgesamt sehr niedrig sind. Bis auf den Schulterbereich (D01, D02) und den Lendenwirbelbereich (D06) ist der Median der Diskomfortwertungen null. Das 75. Perzentil liegt für fast alle Körperbereiche um die Wertung „Diskomfort 10“. Nur im Lendenwirbelbereich (D06) fällt es etwas höher, im mittleren Oberschenkel (D13, D14) etwas niedriger aus.

Gespräche mit Automobilherstellern ergaben, dass für sie der Bereich von „0 Diskomfort“ bis „sehr geringer Diskomfort“ noch akzeptabel sei. Dies kann auch aus wissenschaftlicher Sicht unterstützt werden, da aufgrund der intraindividuellen Unterschiede wohl niemals erreicht werden kann, dass alle zufrieden sind. Ein sehr gutes Beispiel hierfür sind die Klimauntersuchungen von *Fanger (1973)* zitiert in *Schmidtke (1993)*. Diese Untersuchung hatte zum Ergebnis, dass immer nur versucht werden kann, die Zahl der Unzufriedenen zu minimieren. Aus diesem Grund wurden die Häufigkeiten für den Diskomfortbereich „0-10 Diskomfort“ berechnet. Die Anteile der Wertungen von „0 Diskomfort“ bis „sehr geringer Diskomfort“ sind in Tabelle 6 und Tabelle 7 für die einzelnen Körperbereiche dargestellt.

Tabelle 6: Prozentualer Anteil der Wertung zwischen „0 Diskomfort“ und „sehr geringer Diskomfort“ auf Basis des Gesamtkollektivs (Versuchsperson 1-48) für die Körperregionen 1-9

KT01	KT02	KT03	KT04	KT05	KT06	KT07	KT08	KT09
75,1%	74,9%	75%	73,3%	78,9%	63,0%	81,7%	81,6%	81,9%

Hauptuntersuchung

Tabelle 7: Prozentualer Anteil der Wertung zwischen „0 Diskomfort“ und „sehr geringer Diskomfort“ auf Basis des Gesamtkollektivs (Versuchsperson 1-48) für die Körperregionen 10-17

KT10	KT11	KT12	KT13	KT14	KT15	KT16	KT17
72,8%	73,0%	80,0%	86,9%	87,6%	79,4%	77,3%	79,7%

Diskussion

Die größtenteils niedrigen Diskomfortwertungen weisen darauf hin, dass Sitze und Sitzvariationen, die in diesem Projekt verwendet wurden, schon sehr nahe an einem Optimum liegen. Aus den Daten ist auch zu erkennen, dass die Diskomfortsskala trotz Variation der Versuchsbedingungen nur zu einem kleinen Teil ausgenutzt wird. Dies könnte eventuell problematisch für die Ableitung eines Regressionsmodells sein, da hierfür eine möglichst große Variationsbreite wünschenswert ist.

2.6.1.2 Vergleich der Realsitzwertungen mit den Forschungsstuhlwertungen

Auswertung

Generell stellt sich im Rahmen von Versuchen mit dem Forschungsstuhl die Frage, ob man auf dem simulierten Sitz vergleichbare Diskomfortwertungen wie auf dem Realsitz erhält. Dazu werden für jede Körperregion gepaarte t-Tests zwischen den Diskomfortwertungen bei verschiedenen Versuchsbedingungen durchgeführt.

Ergebnis

Betrachtet man die Gesamtheit der t-Tests, weisen die Diskomfortwertungen der Versuchsbedingungen „real“ und „simuliert“ in 66,67% der Fälle keine Unterschiede auf ($p > 0,25$, vergleiche hierzu *Bortz 1979*). In 25% der Fälle ist keine statistisch abgesicherte Aussage möglich ($0,05 < p < 0,25$). In 8,33 % der Fälle sind Unterschiede zwischen den Realsitz-Wertungen und den Forschungsstuhlwertungen festzustellen ($p < 0,05$).

Diskussion

Die dargestellten Werte stellen hinsichtlich der Hypothese, dass Realsitze und simulierte Sitze nicht unterschiedlich bewertet werden, eine konservative Betrachtung dar. Eine Bonferoni-Korrektur der Ergebnisse hinsichtlich der Anzahl der durchgeführten t-Tests würde die Hypothese weiter stärken. Aufgrund der, trotz konservativer Betrachtung, wenigen Unterschiede in den Diskomfortwertungen lässt sich sagen, dass simulierte und reale Sitze hinsichtlich

Hauptuntersuchung

des Diskomforts von den Versuchspersonen nicht unterschiedlich bewertet werden.

2.6.1.3 Einfluss der Versuchsbedingung auf die Diskomfortwertungen

Auswertung

Mit Hilfe einer Varianzanalyse wird untersucht, ob die gewählten Versuchsbedingungen, das heißt Variation der Sitze, Sitzsteifigkeiten, Sitzhaltungen bezüglich der Diskomfortwertungen auf den mit dem Forschungsstuhl simulierten PKW-Sitzen einen Einfluss haben.

Ergebnis

Es zeigt sich bei den (entsprechend dem Levene-Test auf Gleichheit der Varianzen) durchgeführten Post-Hoc-Tests, dass der Faktor „Versuchsbedingung“ keinen signifikanten Einfluss auf die Diskomfortwertungen ausübt. Dieses Ergebnis bezieht sich sowohl auf den Gesamtdiskomfort als auch auf die Diskomfortwertungen in den einzelnen Körperregionen.

Diskussion

Das Ergebnis der Varianzanalyse zeigt, dass es mit dem gewählten Versuchsdesign schwierig sein wird, einen Zusammenhang zwischen Diskomfortempfinden und gemessenen Druckparametern zu finden. Hierzu ist wahrscheinlich ein größerer Unterschied zwischen den Versuchsbedingungen notwendig. Die Hauptproblematik liegt vermutlich in der Auswahl der Sitze und der Variation dieser Sitze auf dem Forschungsstuhl. Bei den nicht modifizierten Sitzen ist davon auszugehen, dass sie das Endprodukt eines langen Optimierungsvorganges hinsichtlich der Minimierung des Sitzdiskomforts darstellen. Es ist somit zu erwarten, dass sich diese Sitze daher in der Nähe eines Optimums befinden. Die Veränderung der Sitzsteifigkeit um einen festen Faktor scheint keine ausreichend große Abweichung von diesem Optimum zu bewirken.

2.6.1.4 Einfluss des Geschlechts auf die Diskomfortwertungen

Auswertung

Es wird eine Varianzanalyse der Diskomfortwertungen bezüglich des Faktors „Geschlecht“ der Versuchspersonen durchgeführt. Für die Diskomfortwertungen von Männer und Frauen erfolgt ein Post-Hoc-Vergleich mit dem Scheffé-Test. Voraussetzungen für die Varianzanalyse sind eine Normalverteilung der Daten in jeder Treatmentstufe, eine Gleichheit der Varianzen und die Unabhängigkeit der

Hauptuntersuchung

Fehlerkomponenten voneinander. Sowohl Normalverteilung als auch Gleichheit der Varianzen ist bei den Diskomfortwertungen in den meisten Körperregionen nicht gegeben. Die Varianzanalyse findet hier trotzdem ihre Anwendung, da Varianzanalysen bei $n \geq 10$ (Weiß 2004) sehr robust gegenüber Verletzung ihrer Voraussetzungen sind.

Ergebnisse

Die Varianzanalyse zeigt, dass der Faktor „Geschlecht“ der Versuchsperson bei dieser Untersuchung einen signifikanten Einfluss auf die Diskomfortwertungen ausübt. Es lassen sich folgende Aussagen treffen:

- die Diskomfortwertungen von Männern und Frauen unterscheiden sich signifikant ($p < 0,05$) in den Körperregionen Schulter, oberer Rücken, Steißbeinbereich, Sitzbeinhöcker, Seitenbereich der Oberschenkel, mittlerer Oberschenkel und dem Gesamtdiskomfort.
- Frauen werten den Diskomfort in den Körperregionen Schulter, oberer Rücken, Steißbeinbereich, Sitzbeinhöcker und den Gesamtdiskomfort im Mittel höher.
- Männer werten den Diskomfort in den Körperregionen seitlicher Oberschenkel und mittlerer Oberschenkel höher.

Diskussion

Dieses Ergebnis lässt sich nicht eindeutig interpretieren, da die Versuchspersonengruppen „männlich“ und „weiblich“ ausgeprägt unterschiedliche, innerhalb der Gruppen aber sehr ähnliche Anthropometrien aufwiesen. Somit ergibt eine Varianzanalyse über die Faktoren „Körperhöhe“ oder „Körpergewicht“ einen ähnlichen Einfluss. Somit ist nicht auszuschließen, dass nicht das Geschlecht, sondern die anthropometrische Ausprägung der Versuchsperson zu diesem Ergebnis führt.

2.6.1.5 Zusammensetzung des Gesamtdiskomforts

Weiterhin ist von Interesse, in welcher Beziehung der Gesamtdiskomfort zu den Diskomfortwertungen in den einzelnen Körperregionen steht. Dazu werden die Wertungen in den einzelnen Körperregionen mit dem Gesamtdiskomfort korreliert. Der Diskomfort in jeder untersuchten Körperregion zeigt eine positive Korrelation mit dem Gesamtdiskomfort. Dies trifft sowohl auf Männer wie auch auf Frauen zu.

Hauptuntersuchung

Auswertung und Ergebnisse

Bezüglich der Zusammensetzung des Gesamtdiskomforts werden verschiedene Theorien aufgestellt. Die naheliegendste Theorie ist, dass sich der Gesamtdiskomfort aus dem Mittelwert der Einzeldiskomfortwertungen in den Körperregionen zusammensetzt. Eine entsprechende Regressionsanalyse ergibt einen Regressionskoeffizienten von $r = 0,695$. Als Erweiterung wird angenommen, dass der Gesamtdiskomfort sich aus dem Mittelwert und dem Maximalwert der Einzeldiskomfortwertungen zusammensetzt. Über eine multiple Regression ergibt sich die folgende Regressionsgleichung:

$$DG = 0,951 \cdot \text{Mittelwert}(D01..D17) + 0,112 \cdot \text{Maximalwert}(D01..D17) + 2,72$$
$$r = 0,71$$

DG: Gesamtdiskomfort

D01..D17: Diskomfort in den Körperteilen 1–17

Als zusätzliche Verfeinerung wird angenommen, dass Rücken und Sitzfläche getrennt zu betrachten sind. Daraus ergibt sich die folgende Regressionsgleichung:

$$DG = 0,582 \cdot \text{Mittelwert}(D01..D09) + 0,071 \cdot \text{Maximalwert}(D01..D09)$$
$$+ 0,099 \cdot \text{Mittelwert}(D10..D17) + 0,218 \cdot \text{Maximalwert}(D10..D17) + 2,35$$
$$r = 0,72$$

DG: Gesamtdiskomfort

D01..D17: Diskomfort in den Körperteilen 1–17

Durch eine weitere Aufgliederung in die Diskomfortwertungen der einzelnen Körperregionen ergibt sich für eine mit SPSS schrittweise durchgeführte multiple Regressionsanalyse folgende Gleichung:

$$DG = 0,242 \cdot D02 + 0,134 \cdot D03 + 0,141 \cdot D04 + 0,181 \cdot D06 + 0,055 \cdot D07 +$$
$$0,168 \cdot D10 + 0,087 \cdot D12 + 0,075 \cdot D13 + 0,077 \cdot D16 + 2,633$$
$$r = 0,75$$

DG: Gesamtdiskomfort

D01..D17: Diskomfort in den Körperteilen 1–17

Wie sich erkennen lässt, sind symmetrische Körperregionen nur jeweils einmal vertreten. Dies ist in soweit konsistent als auch die Sitze bei den verschiedenen

Hauptuntersuchung

Versuchsbedingungen fast immer symmetrisch hinsichtlich des Diskomforts bewertet wurden. Es ist somit für das Regressionsmodell ausreichend nur eine der symmetrischen Körperregionen zu berücksichtigen. Der Diskomfort im Steißbeinbereich (D08) ist nicht in der Gleichung vertreten und leistet somit keinen Beitrag zum Gesamtdiskomfort.

Diskussion

In den dargestellten Gleichungen ist zu erkennen, dass Diskomfortwertungen im Rücken eine stärkere Gewichtung erfahren als die anderen Faktoren. Diese Erkenntnis steht auch im Einklang mit den Aussagen mehrerer Autoren (zusammengefasst bei *Oudenhuijzen et al. 2003*), die dem Rücken eine stärkere Gewichtung bezüglich des Gesamtdiskomforts zusprechen.

Durch zusätzliche Differenzierung erhält man bei den multiplen Regressionen nur eine marginale Erhöhung des Bestimmtheitsmaßes ($B=r^2$). Als einfachstes Vorhersagemodell für die Bestimmung des Gesamtdiskomforts eignet sich deshalb der Mittelwert aus den Einzeldiskomfortwertungen in den Körperregionen.

Allgemein ist festzuhalten, dass diese Art der Bestimmung des Gesamtdiskomforts zunächst nur für die in diesem Projekt betrachteten Versuchsbedingungen (nahe am Optimum) Gültigkeit hat. Es ist anzunehmen, dass bei ungünstigeren Konstellationen der Maximalwert in einem der betrachteten Körperregionen zunehmende Bedeutung gewinnt. Auf Basis der vorliegenden Versuchsdaten kann allerdings darüber keine Aussage gemacht werden.

2.6.1.6 Weitere Einflussfaktoren auf die Diskomfortwertungen

Es wird untersucht, ob die Antworten der Versuchspersonen aus den Fragebögen (vgl. Abschnitt 2.4.2.5 bis 2.4.2.9) mit deren Aussagen zum Gesamtdiskomfort bzw. zum Diskomfort in einzelnen Körperbereichen korrelieren. Es ergeben sich nur sehr wenige, zudem auch noch geringe Zusammenhänge, so dass eine Verwertung im Hinblick auf eine Modellierung nicht sinnvoll erscheint.

2.6.2 Subjektives Empfinden und Druckmessung, einfacher Zusammenhang

2.6.2.1 Auswertung

Die Auswertung erfolgt auf einer Datenbasis von 16 Versuchspersonen (12 männlich, 4 weiblich).

Hauptuntersuchung

Für die Aufbereitung der Druckverteilungen wird eine spezielle Software verwendet, mit der die Einteilung der Druckverteilungen in die einzelnen Körperbereiche durchgeführt wird. Die Software erlaubt es, ein Gitter, das die Körperbereiche repräsentiert, über einer graphisch dargestellten Druckverteilung frei zu positionieren. Damit kann ein vertikaler und horizontaler Versatz der Versuchsperson auf Lehnen- und Sitzfläche ausgeglichen werden. Die Ausrichtung dieses Gitters erfolgt bei der Sitzfläche über die gut sichtbaren Druckmaxima unter den Sitzbeinhöckern. Hierbei ist zu beachten, dass die maximale Positioniergenauigkeit etwa einen halben Stößelabstand des Forschungsstuhls beträgt. Dies bedeutet je nach simuliertem Sitz 2-3 cm. In der weiteren Auswertung wird für die einzelnen Körperbereiche der mittlere und maximale Druck berechnet und mit den subjektiven Aussagen der Versuchspersonen korreliert.

2.6.2.2 Ergebnisse

Druckempfinden

Die Korrelationen der subjektiven Druckempfindung der Versuchspersonen mit den objektiv gemessenen Drücken sind getrennt nach Rücken und Gesäß in Abbildung 25 und Abbildung 26 dargestellt. Die gefundenen Korrelationen lassen den Schluss zu, dass Drücke, die auf verschiedene Stellen am Körper in unterschiedlicher Höhe einwirken, auch subjektiv unterschiedlich hoch bewertet werden.

Korrelation Druck - subjektiver Druck:					
Lehnenfläche					
	p_max	p_avg		p_max	p_avg
VP1	0.38**	0.31**	VP9	0.46**	0.45**
VP2	0.37**	0.32**	VP10	0.46**	0.51**
VP3	0.54**	0.65**	VP11	0.55**	0.50**
VP4	0.50**	0.44**	VP12	0.30**	0.27**
VP5	0.54**	0.58**	VP13	0.61**	0.68**
VP6	0.26**	0.34**	VP14	0.38**	0.54**
VP7	0.20**	0.24**	VP15	0.20*	0.25**
VP8	0.53**	0.47**	VP16	-0.05	0.12*

** signifikant auf dem 0.01-Niveau
* signifikant auf dem 0.05-Niveau

⇒ hoher Druck am Rücken
wird auch subjektiv als hoch bewertet

Abbildung 25: Korrelationen zwischen Druckempfindung und Druckmessungen, Rücken

Hauptuntersuchung

Korrelation Druck - subjektiver Druck:

Sitzfläche

	p_max	p_avg		p_max	p_avg
VP1	0.62**	0.61**	VP9	0.65**	0.74**
VP2	0.50**	0.40**	VP10	0.66**	0.77**
VP3	0.70**	0.70**	VP11	0.52**	0.62**
VP4	0.74**	0.85**	VP12	0.38**	0.40**
VP5	0.83**	0.88**	VP13	0.76**	0.86**
VP6	0.50**	0.62**	VP14	0.55**	0.58**
VP7	0.39**	0.48**	VP15	0.60**	0.68**
VP8	0.71**	0.78**	VP16	0.52**	0.64**

** signifikant auf dem 0.01-Niveau

⇒ hoher Druck an Oberschenkel und Gesäß wird auch subjektiv als hoch bewertet

Abbildung 26: Korrelationen zwischen Druckempfindung und Druckmessungen, Gesäß

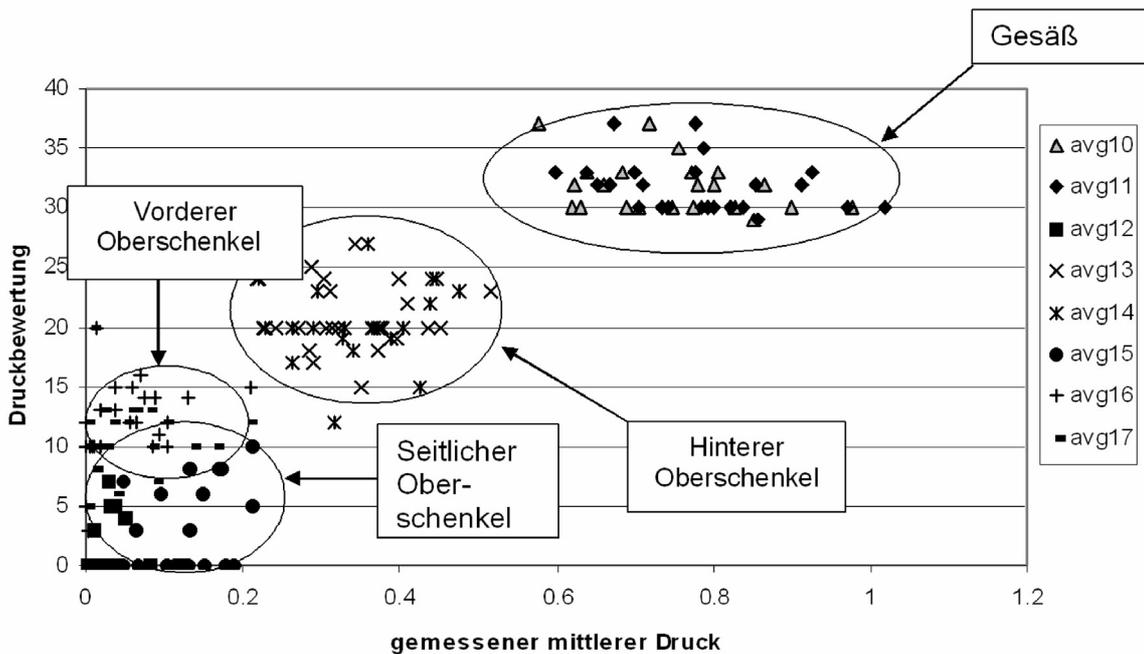


Abbildung 27: Subjektive Druckwertungen aufgetragen über dem gemessenen mittleren Druck in den Körperregionen

Hierbei muss angemerkt werden, dass die in Abbildung 26 dargestellten Korrelationen jeweils über alle Körperregionen von Rücken und Gesäß hinweg ermittelt wurden. Bei Begrenzung der Korrelationen auf einzelne Körperregionen ergeben sich überwiegend keine signifikanten Zusammenhänge zwischen Druckempfinden und objektivem Druck. Betrachtet man die Druckbewertungen, aufgetragen über dem mittleren Druck, so zeigen sich für verschiedene

Hauptuntersuchung

Körperregionen Cluster. Das heißt, für die einzelne Versuchsperson ergibt sich aus den unterschiedlichen Versuchsbedingungen nur eine geringe Variation von objektivem Druck und subjektivem Druckempfinden. In Abbildung 27 ist die angesprochene Clusterbildung anhand der Werte von einer Versuchsperson beispielhaft dargestellt.

Diskomfortempfinden

Die Berechnung der Korrelation zwischen Diskomfortwertungen und Druckwerten für Rücken und Gesäß ergibt keine eindeutigen Zusammenhänge. Eine ausgeprägte Clusterung der Diskomfortbewertungen (analog zu den Druckwertungen in Abbildung 27) zeigt sich nicht. Die Analyse des Zusammenhangs zwischen dem Diskomfort in den einzelnen Körperregionen und den objektiven Druckparametern erbringt ebenfalls keine klaren Ergebnisse. Für die einzelnen Versuchspersonen ergeben sich nur sehr wenige statistisch signifikante Korrelationen zwischen den objektiven Parametern maximaler und mittlerer Druck in einer Körperregion und dem entsprechenden Diskomforturteil. Die Anzahl der signifikanten Korrelationen liegt in einer Größenordnung, die aufgrund der akzeptierten Fehlerwahrscheinlichkeit zu erwarten ist. Zudem weisen die wenigen statistisch signifikanten Korrelationen unterschiedliche Vorzeichen auf, so dass ein eindeutiger Trend nicht ablesbar ist.

Weiterhin wird der Zusammenhang zwischen dem Druckgradienten (Druckdifferenz zwischen zwei Körperregionen) und dem Diskomfortempfinden einer genaueren Betrachtung unterzogen. Wie bei den Korrelationen des Diskomfortempfindens mit den objektiven Druckwerten ergeben sich hinsichtlich des Druckgradienten keine eindeutigen Ergebnisse.

2.6.2.3 Diskussion

Aus den Ergebnissen lässt sich ableiten, dass, wenn überhaupt, nur ein schwacher Zusammenhang zwischen Diskomfortempfinden und den gemessenen Parametern mittlerer und maximaler Druck besteht. Eine mögliche Erklärung für dieses Ergebnis ist, dass der Zusammenhang zwischen Diskomfort und Druck nicht linear ansteigend ist, sondern ein Optimum aufweist. Dies würde bedeuten, dass sowohl zu hoher Druck als auch zu niedriger Druck in einer Körperregion zu einer Diskomfortempfindung führen können. In Abbildung 28 ist dieser angenommene, gegensätzliche Zusammenhang zwischen objektiven Druck und Diskomfortempfinden für unterschiedliche Ursachen des Diskomforts dargestellt.

Hauptuntersuchung

Diskomfort durch

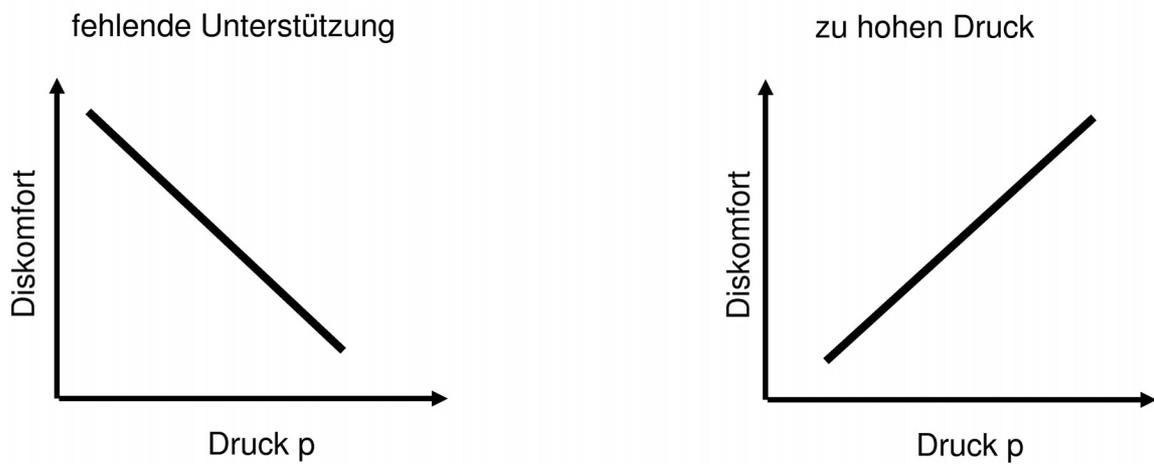


Abbildung 28: Gegensätzlicher Zusammenhang zwischen Diskomfort und Druck bei unterschiedlichen Diskomfortursachen

Die Vorgehensweise bei der Einteilung der Druckverteilungen in die einzelnen Körperregionen ist in dieser Vorauswertung zwar bereits genauer als in der Voruntersuchung, allerdings, besonders für die Sitzfläche, noch zu stark vereinfacht. Eine Verfeinerung der verwendeten Methode würde den Fehler bei der Auswertung für die Sitzfläche weiter minimieren.

2.6.3 Diskomfortempfinden und Druckmessung, komplexer Zusammenhang

2.6.3.1 Auswertung

Diese Auswertung erfolgt auf der Datenbasis von 28 Versuchspersonen. Es finden ausschließlich Daten Verwendung, die auf dem Forschungsstuhl gewonnen wurden.

Für die Auswertung der Druckverteilungen wurde das Programm zur Zuordnung der einzelnen Druckwerte auf die Körperbereiche erweitert. Die erweiterte Version erlaubt es einen Öffnungswinkel zwischen linkem und rechtem Bein einzustellen (siehe Abbildung 29). Somit ist es möglich, eine genauere Zuordnung der Druckwerte zu den einzelnen Körperbereichen durchzuführen. Die systembedingte Beschränkung der Genauigkeit durch die Abstände der Sensoren des Forschungsstuhls hat natürlich weiterhin Bestand.

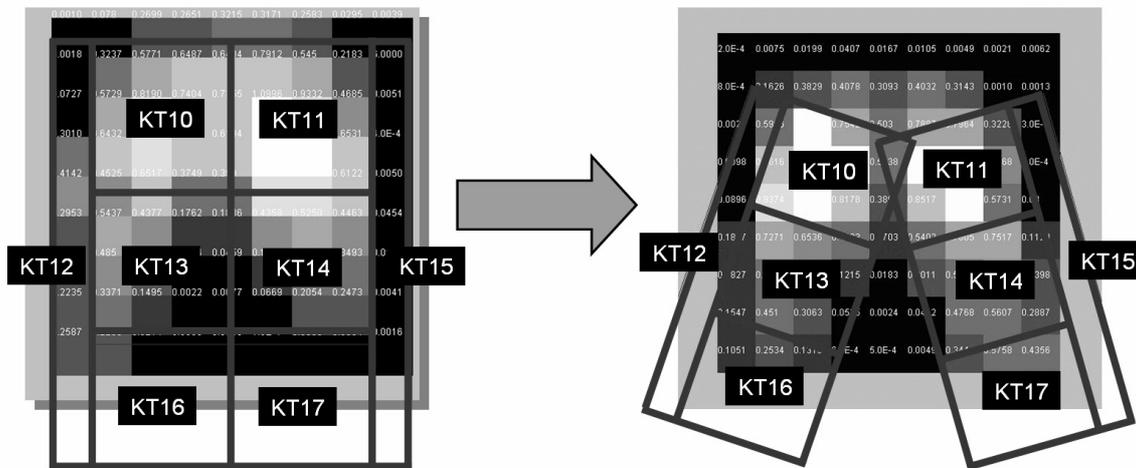


Abbildung 29: Berücksichtigung des Öffnungswinkels der Beine bei der Druckverteilungsauswertung

Für die detailliertere Analyse erfolgt zunächst eine Separierung der Daten nach dem Diskomfortgrund in zwei Datensätze. In einem Datensatz sind alle subjektiven Wertungen enthalten, die als Grund für das Diskomfortempfinden „zu hoher Druck“ enthalten. Entsprechend sind im anderen Datensatz alle Wertungen enthalten, die als Grund für das Diskomfortempfinden „zu wenig Unterstützung“ enthalten. In Abbildung 30 ist dieser Sortiervorgang beispielhaft dargestellt.

Hauptuntersuchung

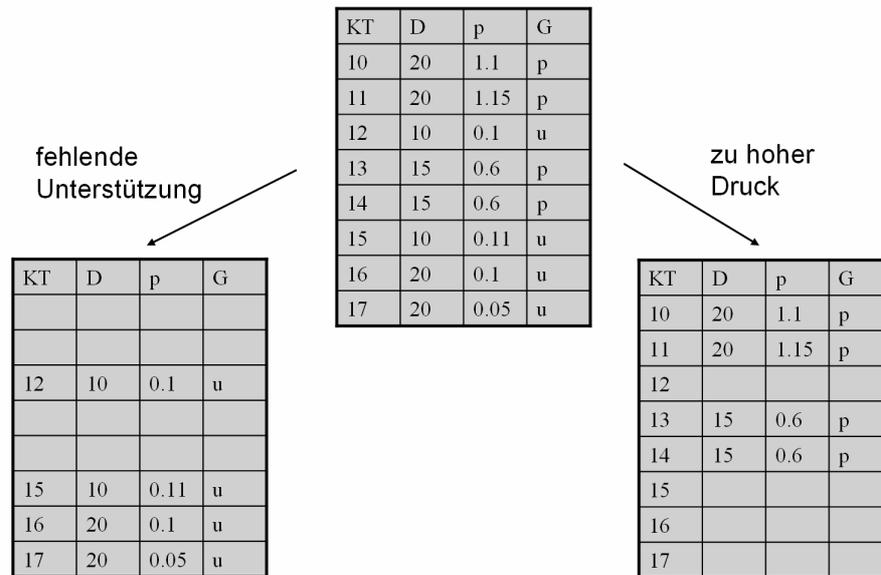


Abbildung 30: Vorgehensweise bei der Separierung der subjektiven Aussagen nach "zu hoher Druck" und "zu wenig Unterstützung"

Für diese beiden Datensätze werden Korrelationen zwischen dem Diskomfortempfinden und den objektiven Parametern mittlerer und maximaler Druck sowie den Druckgradienten zwischen den Körperregionen berechnet.

2.6.3.2 Ergebnisse

Die Diskomfortaussagen zeigen für den Diskomfortgrund „zu hoher Druck“ nur wenige statistisch signifikante, schwache Korrelationen mit den objektiven Druckmesswerten für die einzelnen Körperbereiche. In Abbildung 31 sind die Korrelationen zwischen den Diskomfortaussagen und den objektiven Parametern mittlerer Druck (Spalte 5 der Tabellen) und maximaler Druck (Spalte 6 der Tabellen) in der jeweiligen Körperregion dargestellt. Korrelationen mit einem Stern (*) sind signifikant auf dem 5%-Niveau.

Für den Diskomfortgrund „zu wenig Unterstützung“ zeigen sich keine statistisch signifikanten Korrelationen zwischen Diskomfortbewertung und den objektiven Parametern maximaler (Abbildung 32, Spalte 6 der Tabellen) und mittlerer Druck (Abbildung 32, Spalte 5 der Tabellen) in der Körperregion.

Tabelle 8 stellt zusammenfassend die Anzahl der Korrelationen, die jeweils auf dem 5%-Niveau signifikant sind, für den Fall dar, dass die Daten bei der Berechnung der Korrelationen nicht nur nach Körperregion sondern zusätzlich nach der Versuchsperson (Versuchsperson 1-16) aufgeteilt werden. Auch hier ergibt sich nur eine sehr geringe Anzahl an signifikanten Korrelationen, die zudem unterschiedliche Steigungen mit unterschiedlichen Vorzeichen aufweisen.

Hauptuntersuchung

Weiterhin sind in den Tabellen in Abbildung 31 und Abbildung 32 die Korrelationen zwischen den subjektiven Wertungen untereinander aufgetragen. Die gefundenen Korrelationen zeigen, dass die subjektiven Wertungen hinsichtlich des Diskomforts, des Druckes und des Unterstützungswunsches entsprechend den Diskomfortgründen „zu hoher Druck“ bzw. „zu wenig Unterstützung“ weitestgehend konsistent abgeben werden. So weisen die signifikanten Korrelationen zwischen Druckempfindung und Diskomfortempfindung für den Diskomfortgrund „zu hoher Druck“ positive Vorzeichen, für „zu wenig Unterstützung“ negative Vorzeichen auf. Analog verhält es sich mit den Korrelationen zwischen Diskomfort und Unterstützungswunsch. Die Korrelationen zwischen Druck und Unterstützungswunsch haben dagegen immer ein positives Vorzeichen, das heißt bei hohem Druck wird weniger Unterstützung gewünscht und umgekehrt. Die, entgegen den vorher getroffenen Aussagen, umgekehrten Vorzeichen der Korrelationen in den Tabellen in Abbildung 31 und Abbildung 32 mit dem Unterstützungswunsch ergeben sich aus der Datencodierung für die Auswertung.

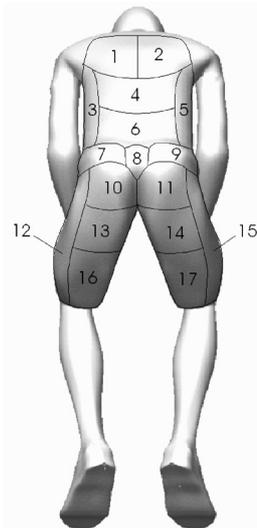
Für den Zusammenhang zwischen Diskomfortempfinden und Druckgradienten konnten keine verwertbaren Korrelationen gefunden werden.

Die vorher angeführten Ergebnisse sind immer unter dem Aspekt zu betrachten, dass die Aufteilung in zwei Datensätze und das Herausfiltern weiterer Ursachen für den Diskomfort, wie zum Beispiel Temperatur, zu einer starken Reduktion der für eine Versuchsperson verwendbaren Wertungen geführt hat. So ist es oft auf Grund der geringen Anzahl von Messwerten nicht möglich oder nicht sinnvoll, eine statistische Analyse durchzuführen. Dies trifft im Besonderen auf die Betrachtungen des Gradienten zu.

Tabelle 8: Zusammenfassung der Korrelationen zwischen Diskomfort und den objektiven Druckmessungen separiert nach Diskomfortgrund, Unterteilung der Daten nach Versuchsperson und Körperregion (theoretisch $16 \cdot 17 = 476$ Korrelationen, wobei aufgrund zu geringer Messwertanzahl nur die in der Tabelle dargestellte Anzahl berechnet werden konnte)

Korrelation	Sign. Auf 5%-Niveau
D-p_avg nur Druck	2 von 130
D-p_max nur Druck	10 von 122
D-p_avg nur Unterstützung	10 von 56
D-p_max nur Unterstützung	4 von 63

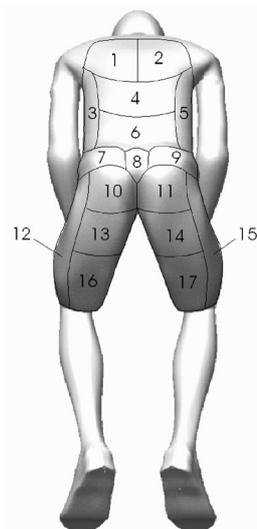
Hauptuntersuchung



Ergebnisse Betrachtung „zu hoher Druck“

KT	D-P	D-U	P-U	D-p_avg	D-p_max
01	.70*	.38*	.40*	-.21*	.09
02	.70*	.37*	.38*	-.19*	-.21
03	.68*	.21	.30*	-.10	-.08
04	.56*	.42*	.42*	.13	.18*
05	.66*	.17	.33*	.03	-.10
06	.37*	.45*	.49*	-.01	.07
07	.64*	.54*	.63*	-.03	-.05
08	.54*	.41*	.56*	-.13	-.13
09	.65*	.55*	.65*	-.05	-.05

D: subjektive Diskomfortwertungen
P: subjektive Druckwertungen
U: subjektiver Unterstützungswunsch
p: Druckmessung (avg: Mittelwert, max: Maximalwert)



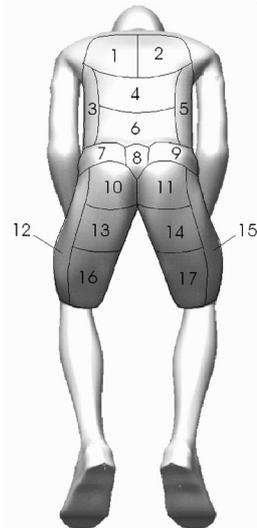
Ergebnisse Betrachtung „zu hoher Druck“

KT	D-P	D-U	P-U	D-p_avg	D-p_max
10	.37*	.43*	.39*	-.08	.02
11	.36*	.43*	.40*	.00	-.02
12	.26	.16	.12	.07	.03
13	.49*	.30*	.39*	.10	-.10
14	.40*	.18*	.32*	.07	.01
15	.17	.14	.11	-.17	-.306
16	.35*	.17*	.36*	.31*	.28*
17	.37*	.19*	.36*	.28*	.25*

D: subjektive Diskomfortwertungen
P: subjektive Druckwertungen
U: subjektiver Unterstützungswunsch
p: Druckmessung (avg: Mittelwert, max: Maximalwert)

Abbildung 31: Korrelationen zwischen subjektiven Wertungen und objektiven Druckwerten für den Diskomfortgrund „zu hoher Druck“. Spalte 1: Körperregionnummer, Spalte 2: Korrelation zwischen Diskomfortwertung und Druckwertung, Spalte 3: Korrelation zwischen Diskomfortwertung und Unterstützungswertung, Spalte 4: Korrelation zwischen Diskomfortwertung und mittlerem Druck in der jeweiligen Körperregion, Spalte 5: Korrelation zwischen Diskomfortwertung und maximalem Druck in der jeweiligen Körperregion

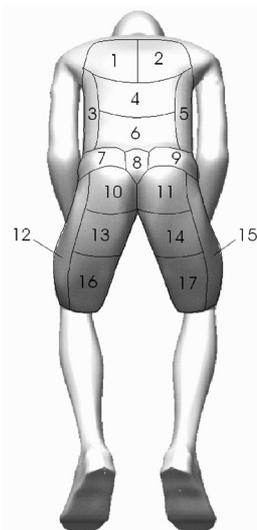
Hauptuntersuchung



Ergebnisse Betrachtung „zu wenig Unterstützung“

KT	D-P	D-U	P-U	D-p_avg	D-p_max
01	.15	-.13	.32*	-.22	-.13
02	.14	-.16	.32*	-.18	-.11
03	-.28*	-.57*	.55*	.04	.04
04	.09	-.35*	-.02	-.15	-.04
05	-.30*	-.59*	.56*	.04	-.07
06	.05	-.34*	.26*	-.09	.08
07	-.11	-.54*	.34*	-.01	-.12
08	.09	-.31*	.39*	-.09	-.11
09	-.13	-.51*	.45*	-.02	-.11

D: subjektive Diskomfortwertungen
P: subjektive Druckwertungen
U: subjektiver Unterstützungswunsch
p: Druckmessung (avg: Mittelwert, max: Maximalwert)



Ergebnisse Betrachtung „zu wenig Unterstützung“

KT	D-P	D-U	P-U	D-p_avg	D-p_max
10	-.08	-.27	.04	-.30	-.25
11	-.13	-.29	.10	-.30	-.29
12	-.17*	-.55*	.46*	.02	.01
13	-.42*	-.78*	.69*	-.35	-.23
14	-.52*	-.78*	.78*	-.17	-.22
15	-.20*	-.55*	.48*	-.04	-.02
16	-.28*	-.67*	.48*	-.06	.03
17	-.36*	-.69*	.55*	-.07	.04

D: subjektive Diskomfortwertungen
P: subjektive Druckwertungen
U: subjektiver Unterstützungswunsch
p: Druckmessung (avg: Mittelwert, max: Maximalwert)

Abbildung 32: Korrelationen zwischen subjektiven Wertungen und objektiven Druckwerten für den Diskomfortgrund „zu wenig Unterstützung“ Spalte 1: Körperregionnummer, Spalte 2: Korrelation zwischen Diskomfortwertung und Druckwertung, Spalte 3: Korrelation zwischen Diskomfortwertung und Unterstützungswertung, Spalte 4: Korrelation zwischen Diskomfortwertung und mittlerem Druck in der jeweiligen Körperregion, Spalte 5: Korrelation zwischen Diskomfortwertung und maximalem Druck in der jeweiligen Körperregion

2.6.3.3 Diskussion

Schlussfolgerung aus den vorher angeführten Ergebnissen ist, dass sich mit dem gewählten Versuchsdesign und Auswerteverfahren keine verwertbaren Korrelationen zwischen Diskomfortempfinden und mittlerem Druck, maximalem Druck und Druckgradienten bezüglich der einzelnen Körperregionen finden lassen. Die Versuchsbedingungen scheinen sich nicht stark genug voneinander zu unterscheiden.

Dieses Ergebnis zeichnete sich bereits aus der Betrachtung der Häufigkeiten der Diskomfortwertungen und aus der Varianzanalyse bezüglich des Einflusses der Versuchsbedingungen auf den Diskomfort ab.

Dass die gewählte Versuchsmethodik zur Ableitung eines Regressionsmodells prinzipiell geeignet ist, zeigten *Mergl et al. (2005)* in einer späteren Studie, wobei hier eine wesentlich größere Variation der Versuchsbedingungen durchgeführt wurde. Allerdings waren die Sitzvariationen dabei teilweise so groß, dass sie in keinster Weise mehr mit einem bestehenden Fahrzeugsitz vergleichbar sind.

2.6.4 Einfluss der 2-D Lastverteilungen auf den Diskomfort

2.6.4.1 Auswertung

Im Rahmen dieser Auswertung erfolgt eine Betrachtung der prozentualen Lastverläufe längs der Sitzfläche.

Zunächst soll kurz erläutert werden wie die relativen Lastverteilungen ermittelt werden. Die auf dem Forschungsstuhl gemessenen Druckverteilungen können als eine 9x9-Matrix dargestellt werden, wobei die Anordnung der Messsensoren quer zur Sitzfläche im Folgenden als Zeilen bezeichnet werden. Aus gemessenem Druck und bekannter Sensorfläche kann für jede Zelle der Matrix die einwirkende Kraft berechnet werden. Bezieht man diese Kräfte auf jene Kraft, die auf die gesamte Sitzfläche wirkt, erhält man die relative Lastverteilung. Summiert man nun über die Zeilen, so erhält man 9 Werte, die aufgetragen in einem Diagramm den relativen Lastverlauf längs der Sitzfläche darstellen. Die beschriebene Vorgehensweise ist in Abbildung 33 nochmals grafisch dargestellt.

Hauptuntersuchung

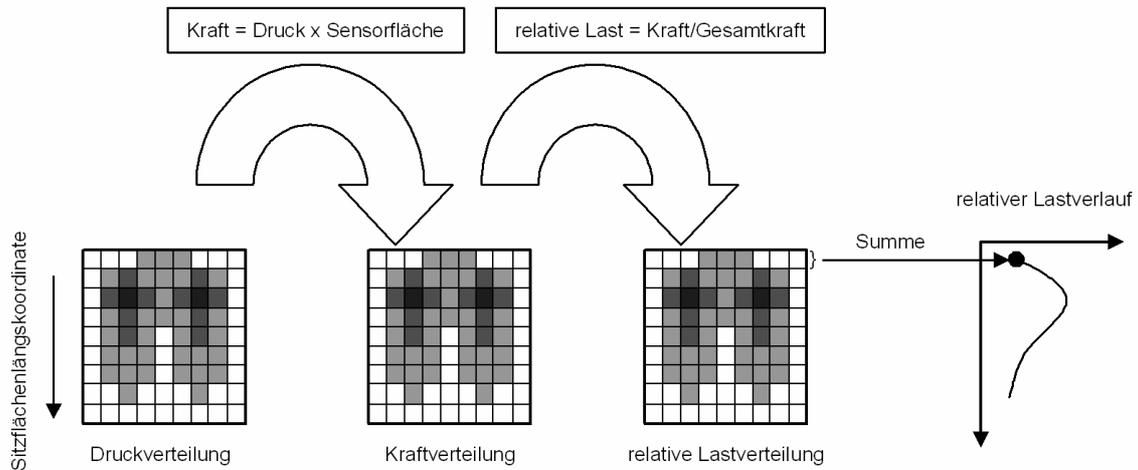


Abbildung 33: Ableitung des relativen Lastverlaufes aus einer Druckverteilung

2.6.4.2 Ergebnis

Die Betrachtung der prozentualen Lastverläufe längs der Sitzfläche zeigt den Trend auf, dass ein Lastverlauf, der von den Lastverläufen mit 0-Diskomfort abweicht, mit höherem Diskomfort bewertet wird.

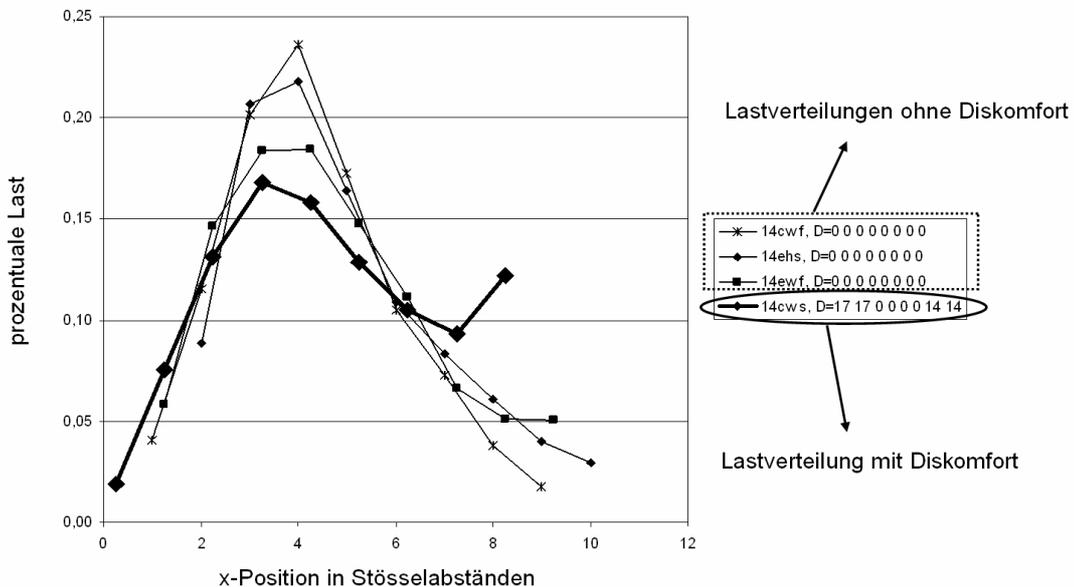


Abbildung 34: Beispiel für die Betrachtung der Lastverläufe längs der Sitzfläche, Codierung des Diskomforts in der Legende: Gesäß (links, rechts), Oberschenkel seitlich (links), Oberschenkel mitte (links, rechts), Oberschenkel seitlich (rechts), Oberschenkel vorne (links, rechts)

Dieser Trend ist allerdings nur sehr schwach ausgeprägt, was wahrscheinlich darauf zurückzuführen ist, dass die Diskomfortwertungen insgesamt fast ausschließlich in den Bereichen „sehr geringer Diskomfort“ bis „geringer

Hauptuntersuchung

Diskomfort“ liegen. Ein ausgewähltes Beispiel für eine solche Abweichung von den 0-Diskomfortverläufen ist in Abbildung 34 zu sehen. Die Kurven in diesem Diagramm stellen Lastverläufe längs zur Sitzfläche dar. Dargestellt sind hier drei Kurven von Lastverläufen, die mit „0 Diskomfort“ bewertet wurden und ein Lastverlauf mit Diskomfortwertungen größer null. Die Lastverteilungen wurden so ausgerichtet, dass die Maxima, welche in etwa der Position der Sitzbeinhöcker entsprechen, übereinander liegen. Es ist zu erkennen, dass der Lastverlauf bei empfundenem Diskomfort von denen ohne Diskomfort deutlich abweicht.

Es scheint somit tendenziell möglich zu sein aus den Verläufen der Last auf den Diskomfort zu schließen.

2.6.5 „Optimale“ Lastverteilungen für definierte Körperbereiche

2.6.5.1 Auswertung

Wie bereits beschrieben, weisen die Versuchsergebnisse eine hohe Anzahl von Wertungen mit „0 Diskomfort“ in den einzelnen Körperregionen auf (vergleiche Abschnitt 2.6.1.1). Fasst man die dabei ermittelten Lastwerte durch Mittelwertbildung zusammen, so lässt sich für jede Körperregion eine „optimale“ Last bei „0 Diskomfort“ herleiten.

2.6.5.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind in Abbildung 35 und Abbildung 36 dargestellt.

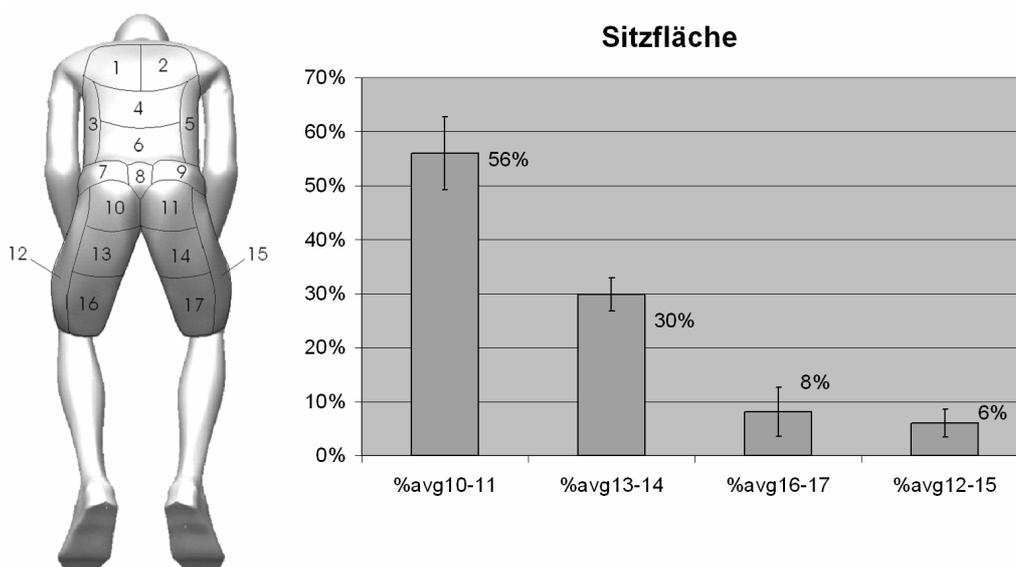


Abbildung 35: Mittlere Lastverteilung mit Standardabweichung auf der Sitzfläche bei „0 Diskomfort“, ermittelt aus den Versuchen mit den ersten 28 Versuchspersonen

Hauptuntersuchung

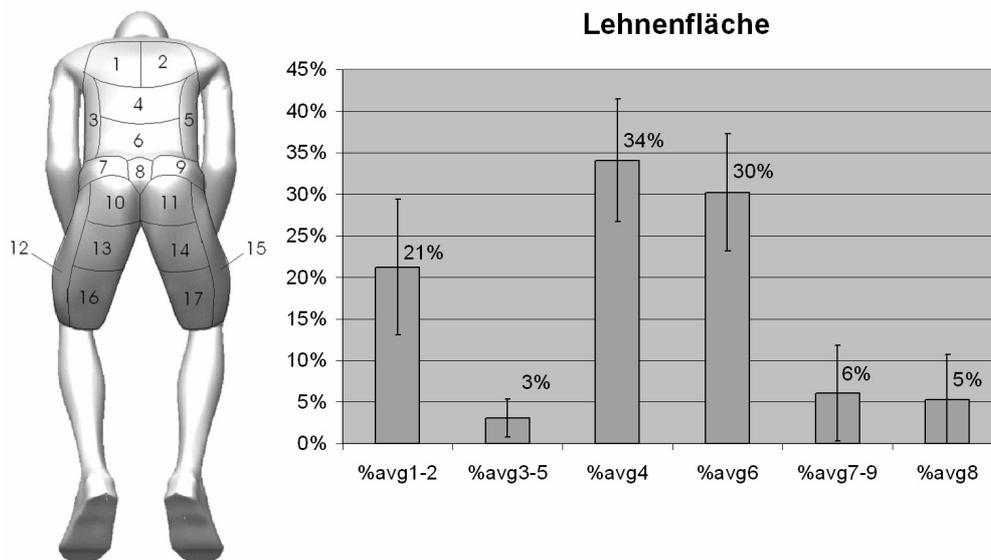


Abbildung 36: Mittlere Lastverteilung mit Standardabweichung auf der Lehnenfläche bei „0 Diskomfort“, ermittelt aus den Versuchen mit den ersten 28 Versuchspersonen

Berücksichtigt man bei den dargestellten Lastwerten die geometrischen Abmessungen längs der Sitzfläche, so nehmen bei der „optimalen“ Lastverteilung die Lastwerte annähernd linear ab ($R^2=0,9977$) ab. Ein geringer Betrag der Last wird über den Seitenbereich der Oberschenkel übertragen. Am Rücken ist zu beobachten, dass die Lastwerte sowohl von oben, wie auch von unten, hin zum mittleren Rücken und Lordosenbereich, zunehmen. Tendenziell wird die Hauptlast ab dem Lordosenbereich nach oben übertragen. Seitenwangen, Steißbein und hinterer Gesäßbereich tragen nur wenig zur Lastaufnahme bei.

2.6.5.3 Diskussion

Deutlich zu erkennen ist, dass die Standardabweichungen der Lasten am Rücken wesentlich größer sind als am Gesäß. Dies ist einerseits darauf zurückzuführen, dass die absoluten Kräfte im Rücken sehr klein sind, so dass bereits eine kleine Kraftänderung zu einer höheren Laständerung führt. Andererseits unterliegen am Rücken die Möglichkeiten zur Krafteinbringung auf den Sitz nicht so engen physikalischen Restriktionen, wie dies beim Gesäß der Fall ist. Um die Verteilung der Krafteinbringung auf die Sitzfläche wesentlich zu ändern, müssen erheblich größere Muskelkräfte aufgebracht bzw. Haltungsänderungen durchgeführt werden als dies zur Änderung der Krafteinbringung am Rücken erforderlich ist.

Die ermittelten „optimalen“ Lastverteilungen gelten zunächst nur für den Bereich, der durch die Versuchspersonen und die Versuchsbedingungen abgedeckt wurde. Allerdings konnten *Mergl (2005) et al.* in späteren Versuchen zeigen, dass der Gültigkeitsbereich wesentlich weiter zu fassen ist.

2.6.6 „Optimale“ 3D-Lastverteilungen

2.6.6.1 Auswertung

Als Erweiterung der vorangegangenen Betrachtungen ist es das Ziel dieser Auswertung eine dreidimensionale „optimale“ Lastverteilung abzuleiten, die als Richtlinie für zukünftige Sitzauslegungen herangezogen werden kann.

Prinzipiell sollte für die Ableitung dieser „optimalen“ Lastverteilung eine Mittelung über alle Druckverteilungen erfolgen, bei denen die Versuchspersonen in allen Körperregionen des Rückens bzw. des Gesäßes „0 Diskomfort“ gewertet haben. Diese Vorgehensweise hätte allerdings einen erheblichen Teil der Versuche und der Versuchspersonen ausgeschlossen. Aufgrund der geringen Anzahl von Versuchspersonen würde dadurch die Allgemeingültigkeit der Ergebnisse stark eingeschränkt werden. Aus diesem Grund erschien es sinnvoll, die Grenze für die noch akzeptierte Diskomfortwertung von „0 Diskomfort“ auf den Bereich „sehr geringer Diskomfort“ anzuheben. Dies geht konform mit den Automobilherstellern, die einen „sehr geringen Diskomfort“ als noch akzeptabel ansehen. Wie bereits früher erwähnt, lässt sich dies auch mit den Erkenntnissen von *Fanger (1973)* zitiert in *Schmidtke (1986)* begründen (siehe hierzu Abschnitt 2.6.1.1).

In Tabelle 9 ist eine Übersicht über die Anzahl der für die Auswertung verwendeten Druckverteilungen und Anzahl der Versuchspersonen, von denen die Druckverteilungen stammen, dargestellt.

Tabelle 9: Anzahl der verwendeten Druckverteilungen und der damit berücksichtigten Versuchspersonen für die Ableitung der „optimalen“ Lastverteilungen

	PKW, Rücken, Mann	PKW, Rücken, Frau	PKW, Gesäß Mann	PKW, Gesäß, Frau	Bus, Rücken	Bus, Gesäß	LKW, Rücken	LKW, Gesäß
Anzahl verwendeter Druckverteilungen	209 von 432	136 von 432	216 von 432	220 von 432	32 von 72	42 von 72	30 von 72	36 von 72
Anzahl berücksichtigter Versuchspersonen	21 von 24	21 von 24	22 von 24	21 von 24	10 von 12	10 von 12	8 von 12	10 von 12

Um eine „optimale“ Lastverteilung berechnen zu können, müssen die gemessenen Druckverteilungen so aufbereitet werden, dass eine Berechnung des Mittelwertes für die einzelnen Messstellen einer Druckverteilung zulässig ist. Damit dies gewährleistet ist, müssen die gemessenen, sitzbezogenen Druckverteilungen in menschenbezogene umgewandelt werden (Abbildung 37).

Hauptuntersuchung

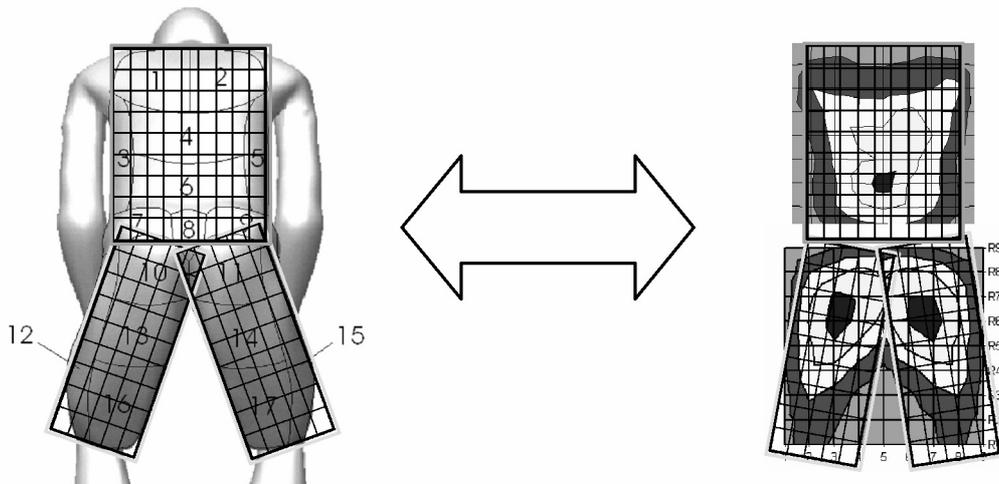
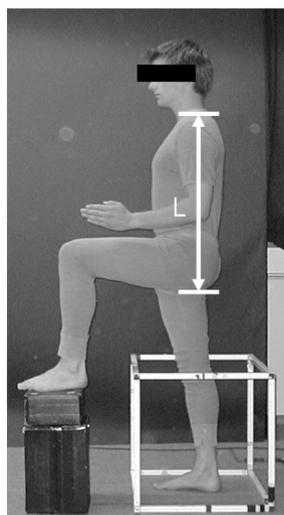


Abbildung 37: Umwandlung der sitzbezogenen Druckverteilungen in menschebezogene Druckverteilungen mit Hilfe des Bodygrid-Programmes

Durch diese Transformation wird erreicht, dass die auf dem Sitz gemessenen Drücke Stellen am menschlichen Körper zugeordnet werden können. Dadurch werden alle Variationen in den Druckverteilungen kompensiert, die sich durch die Tatsache ergeben, dass sich Versuchspersonen im Sitz, vorwiegend in Längsrichtung, unterschiedlich positionieren oder sich mit unterschiedlichen Beinöffnungswinkeln auf die Sitze setzen.

Um die Auswertung individuell für jede Versuchsperson durchführen zu können, werden Rücken- und Beinlänge der Versuchspersonen vermessen. Rücken- und Beinlänge sind wie in Abbildung 38 und Abbildung 39 dargestellt definiert.



Individuelle Auswertung der Druckverteilungen

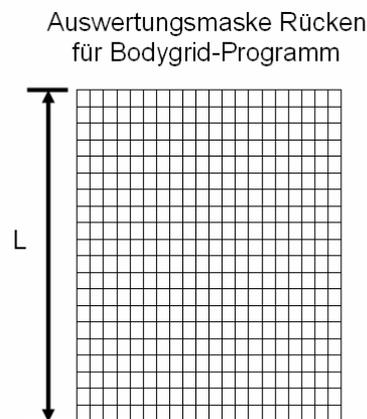
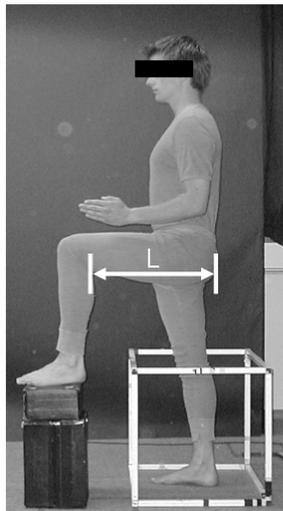


Abbildung 38: Bestimmung der Rückenlänge

Hauptuntersuchung



Individuelle Auswertung der Druckverteilungen

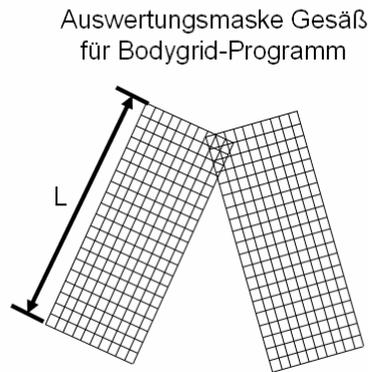


Abbildung 39: Bestimmung der Beinlänge

Die Transformation von sitzbezogenen Druckverteilungen in menschenbezogene Druckverteilungen erfolgt mit Hilfe des am Lehrstuhl für Ergonomie entwickelten „Body-Grid“-Programms. Dieses Programm erlaubt es, ein rechteckiges Gitter mit einstellbarer Verdrehung, Länge, Breite sowie Anzahl der Zellen in vertikaler und horizontaler Richtung über der Druckverteilung zu positionieren (siehe Abbildung 40). Auf Basis dieses Gitters wird dann die Druckverteilung neu gesampelt (Abbildung 41).

Auswertung der Sitzfläche

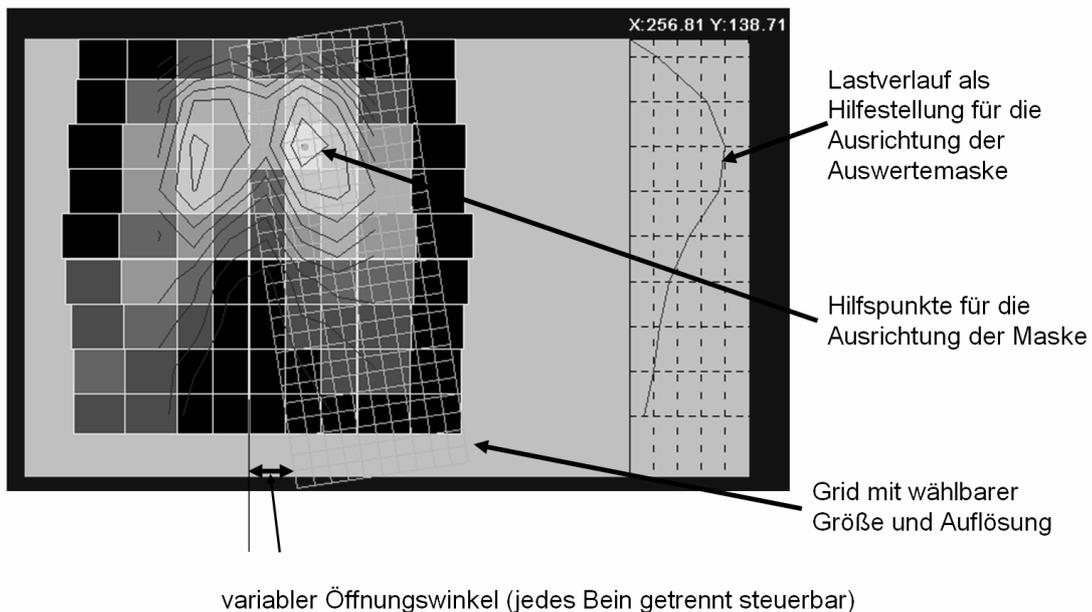
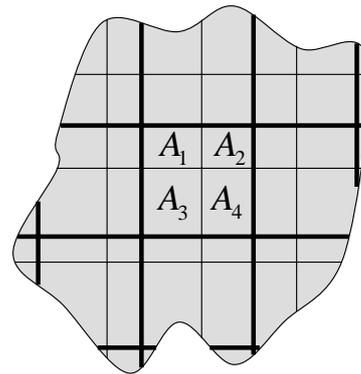


Abbildung 40: Bestimmung der körperbezogenen Lastverteilungen für die Beine mit dem Bodygrid-Programm

Hauptuntersuchung

$$F_{neu} = \frac{F_1 \cdot A_1 + F_2 \cdot A_2 + F_3 \cdot A_3 + F_4 \cdot A_4}{A_{neu}}$$

$$A_{neu} = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$$



— Neue Rasterung

— Alte Rasterung

A_1, A_2, A_3, A_4 Teilflächen aus Überlagerung der Raster

F_1, F_2, F_3, F_4 Kräfte in den Zellenflächen des alten Rasters

A_{neu} Zellenfläche des neuen Rasters

F_{neu} Kraft in Zellenfläche A_{neu}

Abbildung 41: Prinzip der Neuberechnung der Kraft beim Resampeln auf das neue Raster

Für die Auswertung der Sitzfläche wird eine konstante Breite des Gitters von 400 mm festgelegt, da keine Daten über die verformte Geometrie der Oberschenkel während des Sitzens vorliegen. Die Annahme einer konstanten Breite wird auch durch die enge Auswahl der Versuchspersonen um das 50. Perzentil unterstützt. Die Länge des Gitters wird bei gleich bleibender Anzahl der Gitterpunkte individuell auf die Länge des Beines der Versuchsperson angepasst. Je nach Oberschenkelöffnung erfolgt eine entsprechende Drehung des Gitters. Die Positionierung des Gitters quer zur Sitzfläche wird über den als konstant angenommenen Abstand zwischen den beiden Sitzbeinhöckern vorgenommen. Der verwendete Abstand der Sitzbeinhöcker ist der Mittelwert aus dem 50. Perzentil von Ramsis und zwei am Lehrstuhl verfügbaren Skeletten. Die Positionierung des Gitters in Längsrichtung erfolgt, indem eine Markierung, die die ungefähre Lage des Sitzbeinhöckers repräsentiert, auf Höhe des Maximums der Lastverteilung längs der Sitzfläche gebracht wird. Die Einstellung der Verdrehung des Gitters zur Korrektur des Beinöffnungswinkels erfolgt auf Basis einer optischen Einschätzung bei der Überlagerung mit der Druckverteilung. Bei schwierig zu interpretierenden Druckverteilungen werden Kameraaufnahmen aus den Versuchen herangezogen. Ein Beispiel für die Auswertung der Sitzfläche ist in Abbildung 40 dargestellt.

Für die Auswertung der Rückenlehne wird die Gitterbreite auf 500 mm festgelegt. Die Einstellung der Gitterhöhe erfolgt individuell entsprechend der Rumpflänge der Versuchsperson bei konstanter Anzahl der Gitterpunkte. Das Gitter wird

Hauptuntersuchung

anhand der Kameraaufnahmen aus der Versuchsdurchführung positioniert. Eine Verdrehung des Gitters erfolgt nicht.

Das Ergebnis dieser Auswertung stellen relative Lastverteilungen bezogen auf die jeweilige Gesamtkraft für die Lehnenfläche und das linke Bein dar. Das linke Bein wurde ausgewählt, da in den Versuchen dieses Bein im Vergleich zum rechten mehr Freiheit hat eine angenehme Position mit einer angenehmen Lastverteilung zu wählen. Das rechte Bein ist mit der Restriktion belegt, das Gaspedal zu bedienen.

Durch die individuelle Anpassung der Gitter auf die Rücken- bzw. Beinlänge bei konstanter Anzahl an Gitterpunkten in Längs- bzw. Querrichtung sind die Lastverteilungen direkt vergleichbar, wie dies Abbildung 42 verdeutlicht.

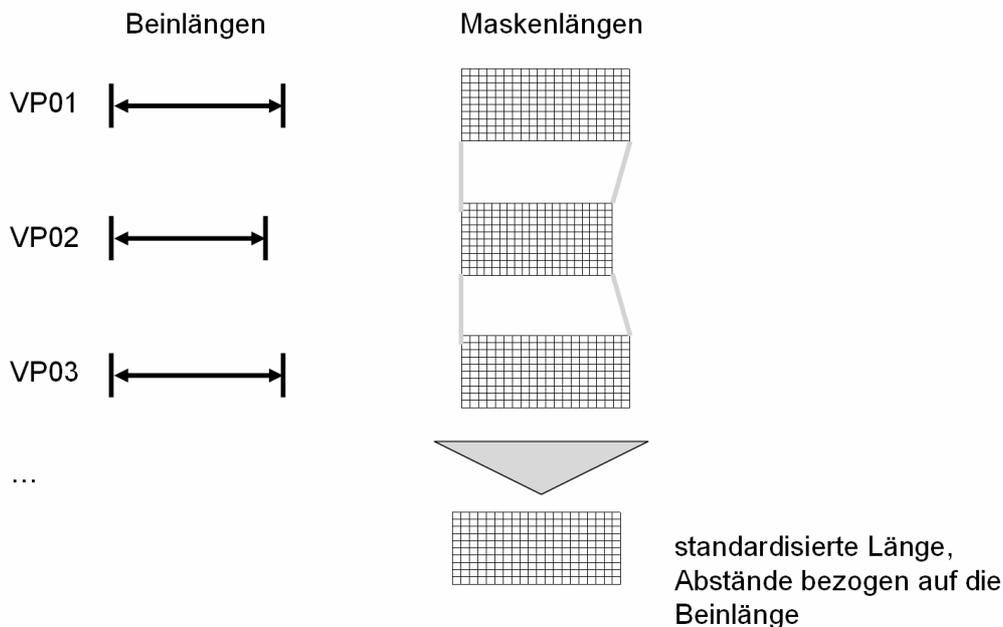


Abbildung 42: Zusammenführung der Lastverteilungen

Aus den auf diese Weise ermittelten menschenbezogenen Lastverteilungen werden für jede Messstelle Mittelwert und Standardabweichung berechnet. Diese Mittelung ist allerdings nur dann zulässig, wenn es an einer Messstelle nicht mehrere Maxima in der Häufigkeitsverteilung der Messwerte gibt. Eine optische Überprüfung der Werteverteilungen ergibt, dass diese eingipflig sind und somit ein eindeutiges Optimum abgeleitet werden kann. Diese Betrachtung wird nur für die PKW-Lastverteilungen durchgeführt. Eine Betrachtung der LKW- und Bus-Lastverteilungen diesbezüglich ist aufgrund der geringen Anzahl von Messwerten nicht sinnvoll.

Hauptuntersuchung

Bei der Lastverteilung am Rücken zeigen sich geringe Unterschiede zwischen der rechten und linken Seite. Diese könnten durch die gewählten Versuchsbedingungen, wie zum Beispiel der leichte Versatz der Lenkräder aus der Mittellinie oder die asymmetrische Anordnung von Gaspedal und Fußstütze, hervorgerufen werden. Aufgrund der bis auf geringe Abweichungen symmetrischen äußeren Form des Menschen wird die Annahme getroffen, dass eine „optimale“ Lastverteilung auch symmetrisch sein sollte. Deshalb werden die Lastverteilungen für den Rücken symmetriert.

Die oben angeführten Auswertungen werden ausschließlich für die auf dem Forschungsstuhl gemessenen Druckverteilungen durchgeführt. Bereits im Laufe der Hauptversuche zeigte sich, dass die Druckmessungen auf den Realsitzen mit der Novel-Druckmessmatte für eine Auswertung nicht verwendet werden können. Dies bestätigt sich auch in zeitlich parallel laufenden Projekten. Die Messmatte liefert auf Polstersitzen Druckmessungen, die, wahrscheinlich aufgrund von Knickungen, eine hohe Anzahl von Artefakten aufweisen. Diese Knickungen resultieren daraus, dass die relativ steife Messmatte nicht der Verformung der Oberfläche des Sitzes folgen kann.

Weiterhin wurde in einem anderen Zusammenhang die Reliabilität der verwendeten Vorgehensweise bei der Druckmessung mit der Messmatte überprüft (*Hartung 2004*). Es zeigte sich, dass durch das Aufstehen und wieder Hinsetzen der Versuchsperson die Druckverteilungen stark variieren (vergleiche hierzu auch *Bader und Hawken 1986*).

Aufgrund der dargestellten Fakten ist in Zweifel zu ziehen, dass die Versuchspersonen bei der subjektiven Bewertung das bewerten, was später über die Messmatte gemessen wird. Deshalb werden die Ergebnisse der Messungen auf den Realsitzen nicht in die Ermittlung der „optimalen“ Lastverteilungen miteinbezogen.

Als Fazit lässt sich festhalten, dass bei Druckmessungen mit einer Druckmessmatte stets eine annähernd gleichzeitige Messung der Druckwerte und der subjektiven Bewertung der Versuchsperson erfolgen muss. Außerdem sollte die Versuchsperson zwischen Druckmessung und Befragung keine Änderung in ihrer Haltung und ihrer Position auf dem Sitz vornehmen. Für eine praktische Umsetzung bedeutet dies, dass die Versuchsperson bei der Abgabe der subjektiven Wertungen auf der Druckmessmatte bzw. auf dem Druckmesssystem sitzen muss.

Hauptuntersuchung

Beim Forschungsstuhl tritt die oben dargelegte Problematik nicht auf, da das Messsystem in die Sitz- bzw. Lehnefläche integriert ist und somit die bei der Befragung herrschende Druckverteilung erfasst werden kann.

Die Auswertungen bezüglich der „optimalen“ Lastverteilung werden für die PKW-Sitze, den LKW-Sitz und den Bussitz getrennt durchgeführt. Zudem erfolgt bei den PKW-Sitzen eine weitere Unterteilung nach Männern und Frauen.

2.6.6.2 Ergebnisse

Die gewählte Vorgehensweise über Mittelung eine „optimale“ Lastverteilung zu bestimmen ist nur zulässig, wenn die Daten normal verteilt sind. Die Betrachtung der Lastwerte an den einzelnen Messstellen der Lastverteilungen zeigt, dass die Lastwerte fast ausschließlich normal verteilt sind. Somit ist die Vorgehensweise als zulässig anzusehen.

T-Tests zwischen den einzelnen Messstellen der Lastverteilungen von Männern und Frauen zeigen, dass diese sich signifikant ($p < 0,05$) unterscheiden. Deshalb werden im Folgenden die Lastverteilung für Männer und Frauen getrennt dargestellt und diskutiert.

Die aus den Einzellastverteilungen über Mittelung berechneten „optimalen“ relativen Lastverteilungen für die PKW-Sitze, den LKW-Sitz und den Buspassagiersitz werden im Folgenden in Diagrammen dargestellt. Jeder Gitterpunkt in diesen Diagrammen stellt dabei einen Datenpunkt dar, der durch Auswertung mit dem Bodygrid-Programm bestimmt wurde.

Bei der Rückenlehne repräsentiert die Höhe des Gitters 100% der gemessenen Rückenlänge. Die Breite des Gitters entspricht 500mm.

Bei der Sitzfläche entsprechen die Zeilen 5-32 100% der Beinlänge. Zeile 1-4 und 33-36 wurden für die Auswertung zusätzlich hinzugezogen. Die in Zeile 1-4 sichtbaren Messwerte entstehen dadurch, dass sich bei der Versuchsperson das Becken nach hinten neigt. Dadurch verlängert sich die Fläche, die mit dem Sitz in Kontakt tritt über die Beinlänge hinaus. Die Zellen 33-36 dienen lediglich zu Kontrollzwecken bei der Auswertung. Die Breite des Messgitters beim Gesäß beträgt 400 mm. Der grau hinterlegte Bereich gehört bereits zu dem anderen Bein. Die Messwerte vom anderen Bein sind in der Darstellung sichtbar, da die Breite des Gitters für die Auswertung im Bodygrid wesentlich größer gewählt wurde als die tatsächlichen Beinbreiten. Die Neigung der Trennlinien ergibt sich aus dem mittleren Beinöffnungswinkel für jeden Sitz. Durch eine Spiegelung um diese Trennlinie erhält man die komplette Lastverteilung für das Gesäß.

Um die Interpretation der dargestellten Lastverteilungen zu erleichtern, wurden in Abbildung 43 und Abbildung 44 beispielhaft zwei Lastverteilungen ausführlich beschriftet.

Hauptuntersuchung

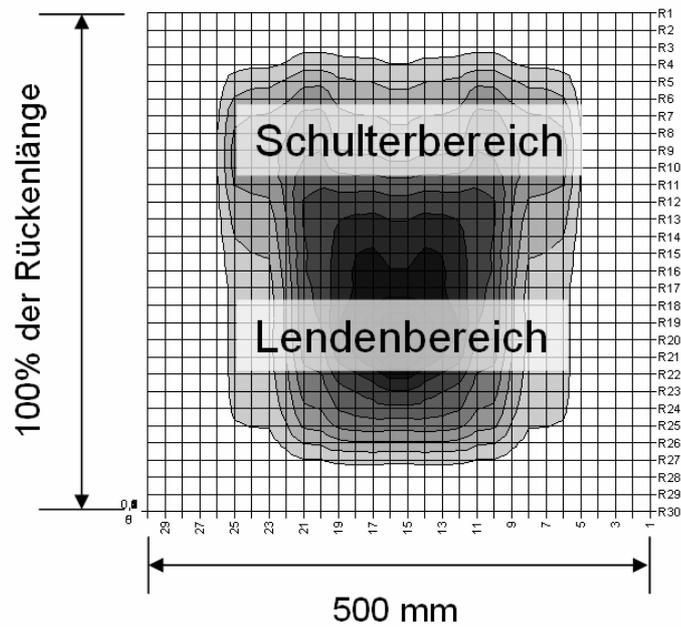


Abbildung 43: Erläuterung für die „optimale“ relative Lastverteilung für den Rücken

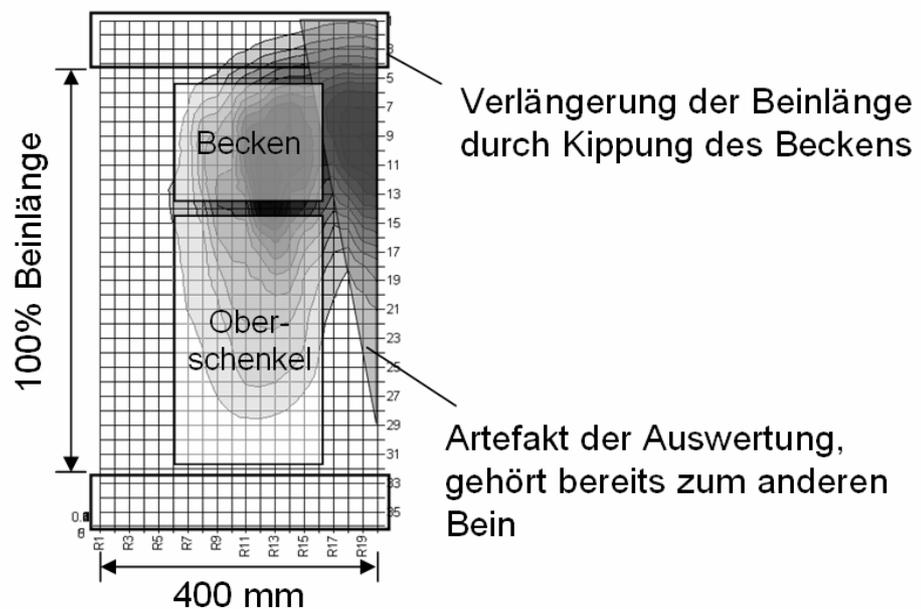


Abbildung 44: Erläuterung für die „optimale“ relative Lastverteilung für das Gesäß

Hauptuntersuchung

„Optimale“ Lastverteilung PKW - Männer - Rücken

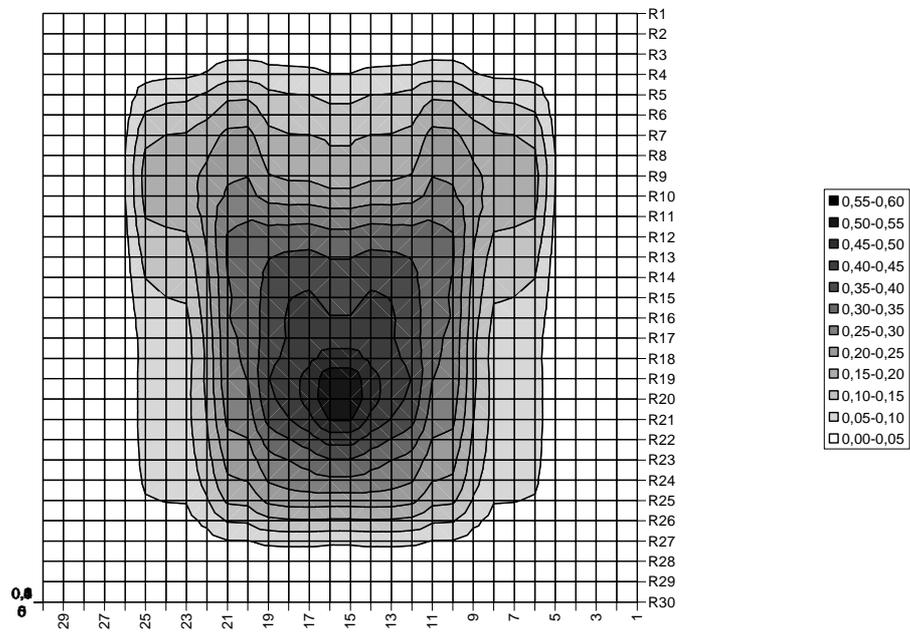


Abbildung 45: „Optimale“ relative Lastverteilung für den Rücken (Männer), bestimmt aus den PKW-Sitzversuchen auf dem Forschungsstuhl (Zahlenwerte in Prozent der Gesamtlast auf die Lehnenfläche)

„Optimale“ Lastverteilung PKW - Männer - Gesäß

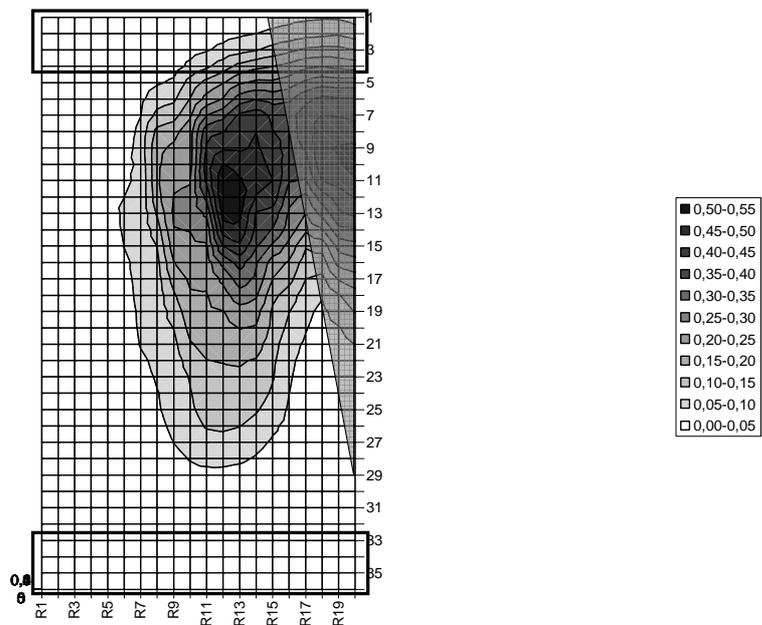


Abbildung 46: „Optimale“ relative Lastverteilung für linke Gesäßhälfte und Oberschenkel (Männer), bestimmt aus den PKW-Sitzversuchen auf dem Forschungsstuhl (Zahlenwerte in Prozent der Gesamtlast auf die Sitzfläche)

Hauptuntersuchung

„Optimale“ Lastverteilung PKW - Frauen - Rücken

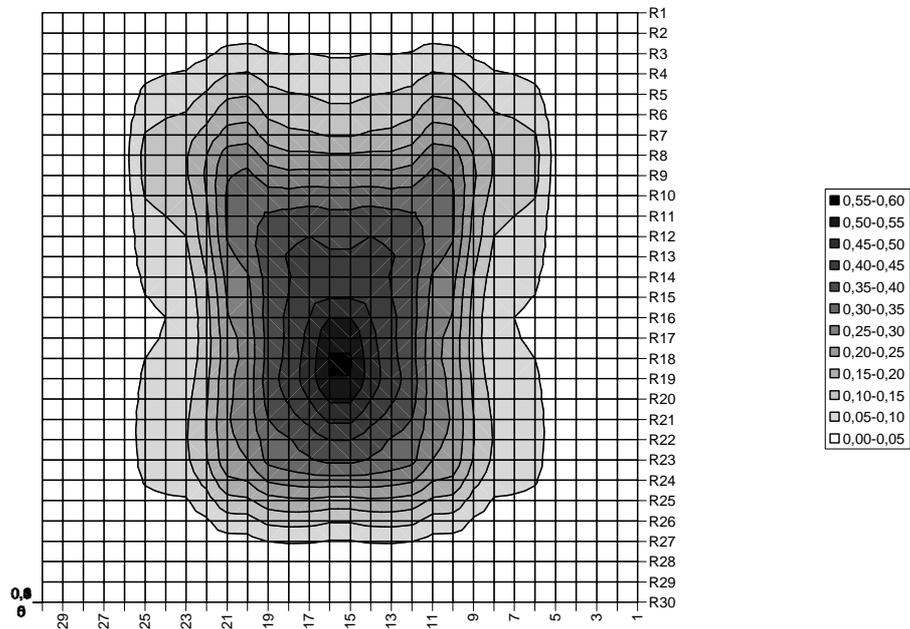


Abbildung 47: „Optimale“ relative Lastverteilung für den Rücken (Frauen), bestimmt aus den PKW-Sitzversuchen auf dem Forschungsstuhl (Zahlenwerte in Prozent der Gesamtlast auf die Lehnenfläche)

„Optimale“ Lastverteilung PKW - Frauen - Gesäß

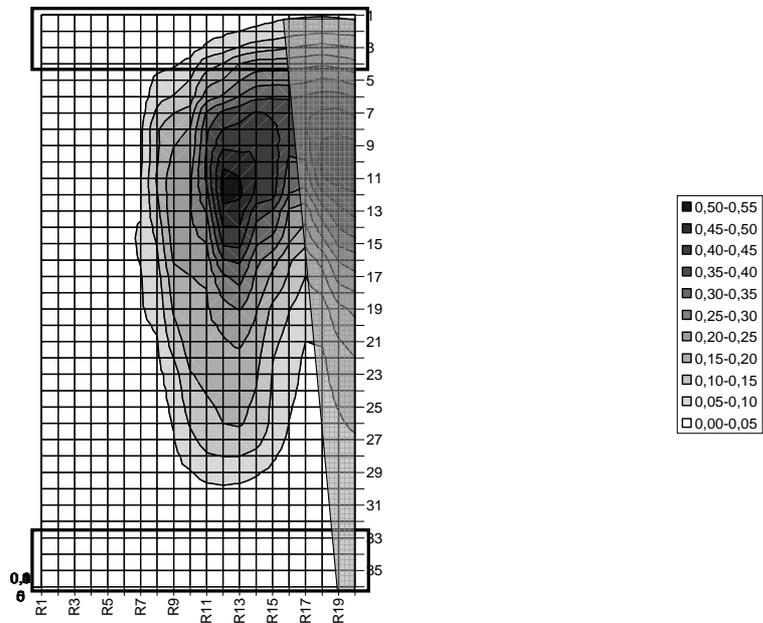


Abbildung 48: „Optimale“ relative Lastverteilung für linke Gesäßhälfte und Oberschenkel (Frauen), bestimmt aus den PKW-Sitzversuchen auf dem Forschungsstuhl (Zahlenwerte in Prozent der Gesamtlast auf die Sitzfläche)

Hauptuntersuchung

„Optimale“ Lastverteilung LKW – Männer - Rücken

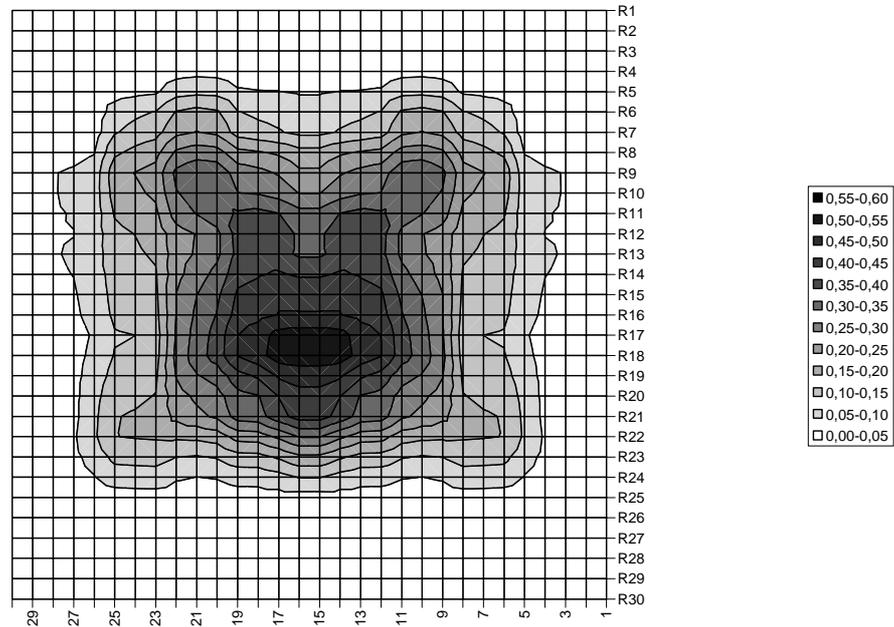


Abbildung 49: „Optimale“ relative Lastverteilung für den Rücken (Männer), bestimmt aus den LKW-Sitzversuchen auf dem Forschungsstuhl (Zahlenwerte in Prozent der Gesamtlast auf die Lehnenfläche)

„Optimale“ Lastverteilung LKW - Männer - Gesäß

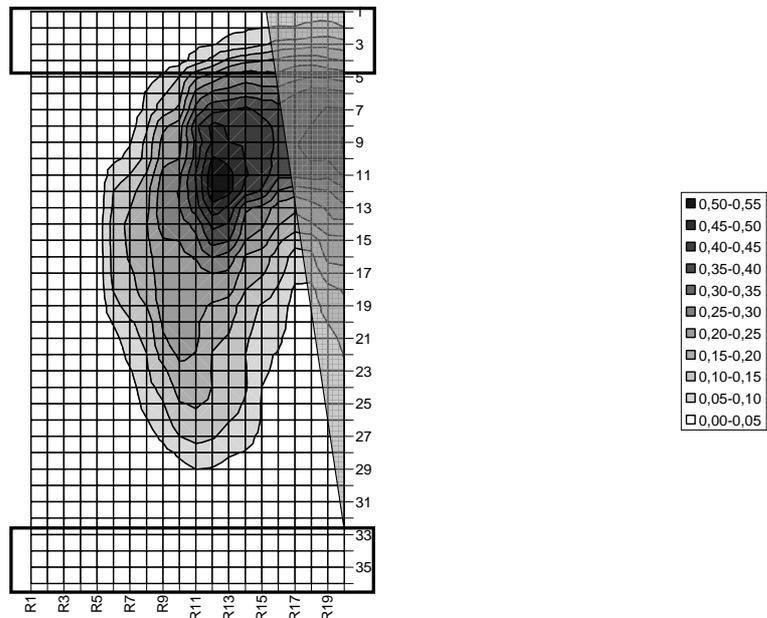


Abbildung 50: Optimale relative Lastverteilung für linke Gesäßhälfte und Oberschenkel (Männer), bestimmt aus den LKW-Sitzversuchen auf dem Forschungsstuhl (Zahlenwerte in Prozent der Gesamtlast auf die Sitzfläche)

Hauptuntersuchung

„Optimale“ Lastverteilung Bus-Passagiersitz - Männer - Rücken

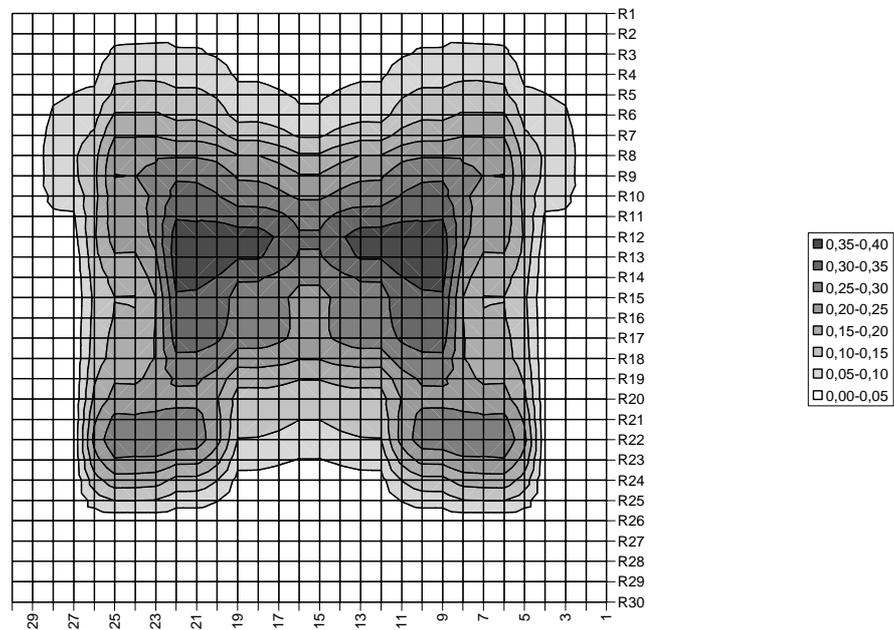


Abbildung 51: „Optimale“ relative Lastverteilung für den Rücken (Männer), bestimmt aus den Bus-Sitzversuchen auf dem Forschungsstuhl (Zahlenwerte in Prozent der Gesamtlast auf die Lehnenfläche)

„Optimale“ Lastverteilung Bus-Passagiersitz - Männer - Gesäß

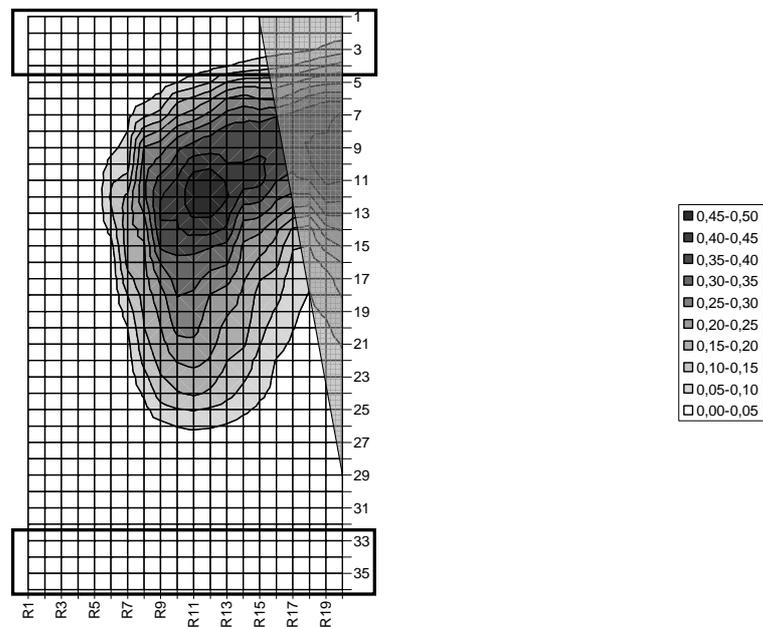


Abbildung 52: „Optimale“ relative Lastverteilung für linke Gesäßhälfte und Oberschenkel (Männer), bestimmt aus den Bus-Sitzversuchen auf dem Forschungsstuhl (Zahlenwerte in Prozent der Gesamtlast auf die Sitzfläche)

Hauptuntersuchung

Aus den oben dargestellten Lastverteilungen lassen sich weitere Ergebnisse, wie zum Beispiel der Lastverlauf längs oder quer zur Sitzfläche, der Gradientenverlauf, die Standardabweichung der Lastverteilungen an jedem Messpunkt, usw. ableiten. Die exakten Zahlenwerte sind im Anhang dargestellt.

2.6.6.3 Diskussion der Ergebnisse

Generell ist zu beachten, dass die „optimalen“ Lastverteilungen aus Forschungsstuhldruckverteilungen abgeleitet werden, die für Lehnen- und Sitzfläche jeweils ein Messraster von 9x9 Sensoren aufweisen. Die Neurasterung mit dem Bodygrid-Programm erfolgt mit einem Raster von 20x36 Zellen für jedes Bein (vgl. auch Abbildung 40, Seite 79) bzw. von 30x30 Zellen für die Rückenfläche. Diese feineren Rastereinteilungen werden verwendet, um die Verfälschung der Daten durch die Neurasterung zu minimieren. Ein gröberes Raster hätte, aufgrund der bei der Neurasterung durchgeführten Berechnungen, eine zu starke Glättung der Daten zur Folge. Berücksichtigt man die Auflösung der Ausgangsdaten (Forschungsstuhllastverteilungen), kann eine gesicherte Aussage nur für eine niedrigere Auflösung als für die des dargestellten Rasters gemacht werden. Basierend auf bisherigen Erkenntnissen ist allerdings anzunehmen, dass die Lastverläufe in Gesäß und Rücken keine Sprünge aufweisen und somit auch die im feineren Raster dargestellten Werte verwendet werden können. In Bezug auf die Rasterung könnten sich hier nur die Regionen um die Sitzbeinhöcker und hervorstehender knöcherner Strukturen am Rücken als kritisch erweisen. Dort können so hohe Änderungen in der Last zwischen Weichteilen und knöcherner Struktur auftreten, dass das Messsystem des Forschungsstuhls, aufgrund der Mittelung über die Messfläche eines Stößels, zu niedrige Werte angibt. Bei Analysen bezüglich der Lastverteilungen in der Nähe dieser Strukturen sollte der beschriebene Sachverhalt immer berücksichtigt werden.

Diskussion der Ergebnisse der PKW-Sitze

Vergleicht man die „optimalen“ Lastverteilungen des Gesäßes für Männer und Frauen, so fällt auf, dass die Kontaktfläche längs des Beines bei Frauen etwas größer ist als bei Männern. Es kann hier jedoch keine Aussage darüber gemacht werden, ob dies einen systematischen Unterschied zwischen Männern und Frauen darstellt oder dieser Unterschied aus dem Versuchsdesign durch das vorgegebene Package und den beim 50. Perzentil unterschiedlichen Beinlängen für Männer und Frauen resultiert.

Hauptuntersuchung

Ansonsten sind die Lastverteilungen bei Männern und Frauen ähnlich ausgeprägt. Es ergibt sich ein Maximum nahe den Sitzbeinhöckern. Ausgehend von diesem Maximum fallen die Lastverteilungen in alle Richtungen stetig bis auf null ab.

Die Betrachtung der Standardabweichungen der Lastverteilungen für Rücken und Gesäß macht deutlich, dass die Schwankungsbreite für die „optimale“ Lastverteilung für den Rücken wesentlich größer ist als für das Gesäß. Dies ist zu erwarten, da am Rücken wesentlich geringere Kräfte auftreten als am Gesäß, das einen Großteil des Körpergewichtes tragen muss. Somit ergibt sich am Rücken aus einer gleichgroßen Änderung der relativen Last eine wesentlich kleinere absolute Kraftänderung als am Gesäß.

Ein weiterer Grund für diese große Schwankungsbreite könnte aus verschiedenen Abstützungsstrategien der Versuchspersonen am Rücken resultieren. *Andreoni et al. (2002)* unterscheiden hierbei drei Abstützungsstrategien. Das Abstützen erfolgt hierbei entweder im oberen, im mittleren oder im unteren Rücken. Um zu überprüfen, ob auch hier verschiedene Sitzstrategien auftreten, werden die Schwerpunktlagen der Kräfteverteilung am Rücken für Männer und Frauen berechnet. Der mit SPSS durchgeführte Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest zeigt, dass die Schwerpunktlagen bei Männern wie auch bei Frauen normalverteilt sind. Es lassen sich somit keine unterschiedlichen Abstützungsstrategien erkennen. Dies könnte unter Umständen auch darauf zurückzuführen sein, dass in diesem Projekt nur Versuchspersonen um das 50. Perzentil Körperhöhe ausgewählt wurden. Infolge dessen können durch unterschiedliche Anthropometrien induzierte Abstützungsstrategien nicht zum tragen kommen. Zusätzlich wurde überprüft, ob sich die Mittelwerte der Schwerpunktlagen auf der Lehnenfläche für Männer und Frauen unterscheiden. Auf dem 5%-Niveau kann keine Aussage über einen Unterschied bzw. eine Gleichheit der Verteilungen von Männern und Frauen gemacht werden ($0,05 < p < 0,25$).

Verteilung der Last auf dem Sitz

Die in den Versuchen ermittelten „optimalen“ Lastverteilungen werden im Folgenden mit bisherigen Erkenntnissen aus der Literatur bezüglich einer „guten“ Lastverteilung verglichen.

Oudenhuijzen et al. (2003) haben einen Zusammenhang zwischen dem Verlauf der Last am Rücken und dem Diskomfort gefunden. Ein Zusammenhang zwischen der absoluten Höhe des Druckes und dem Diskomfort konnte von ihnen nicht ermittelt werden. Dies stützt die in dieser Arbeit getroffene Schlussfolgerung,

Hauptuntersuchung

dass das „Druckbild“, und damit die Lastverteilung, ausschlaggebend für den empfundenen Diskomfort ist. Weiterhin kommen *Oudenhuijzen et al. (2003)* zu dem Schluss, dass eine gleichmäßige Verteilung des Druckes am Rücken günstig ist. Auch diese Feststellung steht in Einklang mit den in dieser Arbeit gefundenen „optimalen“ Lastverteilungen für den Rücken. Weiter konstatieren sie, dass der Druck im unteren und mittleren Rücken in etwa gleich hoch sein und im oberen Rücken bis hin zum Nacken auf null abfallen soll. Der hier gefundene „optimale“ Lastverlauf entlang des Rückens erfüllt weitestgehend diese Forderungen und geht damit konform mit den Erkenntnissen von *Oudenhuijzen et al. (2003)*.

Die Untersuchungen von *Ebe und Griffin (2001)* zeigen, dass die Last unter den Sitzbeinhöckern einen hohen Einfluss auf die Komfortbewertung hat. Je höher die Last ist, desto schlechter wird der Komfort bewertet. Da für die anderen Körperbereiche keine Korrelationen zwischen Last und Komfort gefunden wurden, lässt sich keine optimale Verteilung zwischen Sitzbeinhöcker und den anderen Körperbereichen herleiten. Somit kann kein Vergleich mit den Ergebnissen von *Ebe und Griffin (2001)* durchgeführt werden.

Grieco (1986), zitiert von *Andreoni et al. (2002)*, spricht von einem von Sitzentwicklern akzeptierten Komfortkriterium für Automobilsitze: eine niedrige und gleichmäßige Druckverteilung ohne größere lokale Maxima, die eine Unterbindung des Blutflusses bewirken könnten. Diese nur vage Formulierung lässt viel Beurteilungsspielraum bei der Bewertung der gefundenen Lastverteilung. Allerdings kann übereinstimmend mit dieser Forderung gesagt werden, dass größere Druckspitzen nur lokal an den Sitzbeinhöckern auftreten und dass ansonsten die Lastverteilungen eine gleichmäßige Verteilung über der Lehnen- und Sitzfläche aufweisen. Die gefundenen Lastverteilungen gehen somit konform mit den Ausführungen von *Andreoni et al. (2002)*.

Es gibt weitere Autoren, die die qualitativen Aussagen treffen, einerseits die Last auf eine möglichst große Fläche zu verteilen (*Garret et al. 2001, Treaster und Marras 1987*), andererseits der natürlichen Tendenz von höheren Drücken im Sitzbeinhöckerbereich zugunsten der Last in den Oberschenkeln nachzugeben (*Garret et al. 2001; Floyd und Roberts 1958* zitiert in *Goonetilleke 1998, Sanders und McCormick 1987* zitiert in *Goonetilleke 1998, Tichauer 1978* zitiert in *Treaster und Marras 1987*). Die in dieser Studie gefunden Ergebnisse gehen somit, soweit dies auf Basis dieser qualitativen Aussagen beurteilt werden kann, weitestgehend konform mit den vorgenannten Autoren.

Des Weiteren wurden von *Mergl et al. (2005)* Versuche auf Realsitzen mit der in diesem Projekt erarbeiteten Befragungsmethodik durchgeführt. Die wesentlich

Hauptuntersuchung

stärkere Variation der Versuchsbedingungen bei den Versuchen von *Mergl et al. (2005)* erlaubte es, Regressionsmodelle zwischen den Diskomfortwertungen und der Lastverteilung abzuleiten. Die dabei gefundenen Optima für die Sitzfläche stimmen sehr gut mit den „optimalen“ Lasten für die einzelnen Körperbereiche überein (Tabelle 10, vergleiche auch Abbildung 35).

Tabelle 10: Vergleich der „optimalen“ Lastwerte mit den empfohlenen Werten nach *Mergl et al. (2005)*

	Prozent der Gesamtlast auf die Sitzfläche \pm Standardabweichung (Hartung)	Prozent der Gesamtlast auf die Sitzfläche (Mergl)
Gesäß	56 \pm 7	49 bis 57
mittlere Oberschenkel	30 \pm 3,5	< 28
vordere Oberschenkel	8 \pm 4,4	< 6

Weiterhin zu erwähnen sind noch die Erkenntnisse von *Goonetillike (1998)*, der herausfand, dass es unterhalb eines bestimmten Schwellenwertes bezüglich des Diskomfortempfindens günstiger zu sein scheint, die Last möglichst gleichmäßig zu verteilen. Oberhalb dieses Schwellenwertes scheint es günstiger, die Last auf viele kleine Flächen zu verteilen. Er erklärt dies über die Summationstheorie nach *Hardy und Oppel (1937)*, wonach die Stärke der Sensorenantwort von der Größe der gereizten Fläche abhängt. Allerdings wurden die Versuche durch Eindrücken von zylinderförmigen Prüfkörpern mit unterschiedlichem Durchmesser an der Oberseite des Fußes durchgeführt. Zudem wurden Druckniveaus verwendet, die auf PKW-Sitzen in dieser Höhe bei weitem nicht auftreten. Somit ist fraglich, ob diese Ergebnisse auf das Diskomfortempfinden beim Sitzen im PKW von praktischer Bedeutung sind.

Michida et al. (2001) beschreibt auf Basis seiner Untersuchungen den Mechanismus der Ermüdung im Oberkörper bei langem Fahren. Dabei hält er folgende drei Einflussfaktoren auf den Langzeitdiskomfort fest: unzureichende Unterstützung im lumbalen Bereich, exzessive wie auch unzureichende Unterstützung im Bereich des Thorax. Vergleicht man diese Forderungen mit den in dieser Arbeit gefundenen „optimalen“ Lastenverteilung am Rücken, so kann man erkennen, dass im lumbalen Bereich eine örtliche Erhöhung des Druckes zu finden ist. Auch wird der Rücken im Bereich des Thorax gleichmäßig unterstützt.

Hauptuntersuchung

Somit gehen die gefundenen Ergebnisse dieser Studie, soweit dies qualitativ beurteilt werden kann, konform mit den Erkenntnissen von *Michida et al. (2001)*.

Ng et al. (1995) ermittelten mit ihrem intelligenten Sitzsystem Lastverteilungen, die besser als ein Standardsitz bewertet wurden. In wieweit diese Werte ein Optimum darstellen bleibt unklar. Es erwies sich als nicht möglich die von *Ng et al. (1995)* definierten Lastbereiche in objektiver Weise auf die Daten dieser Arbeit zu übertragen. Der Hauptgrund liegt darin, dass die in dieser Arbeit ermittelten Werte menschenbezogen und nicht, wie die Werte von *Ng et al. (1995)*, sitzbezogen sind. Für einen objektiven Vergleich fehlt somit der Ankerpunkt zwischen Mensch und Sitz.

Park et al. (1998) geben auch Verhältnisse zwischen Drücken in bestimmten Körperbereichen und dem Druck auf die jeweilige Sitzfläche für verschiedene Sitze an. Betrachtet man die Ergebnisse von *Park et al. (1998)*, so ergeben diese nur dann einen Sinn, wenn man annimmt, dass hierbei die Verhältnisse der Lasten berechnet wurden. Leider geben sie keine ausführliche Beschreibung der Berechnung der dargestellten Ergebnisse an. Aufgrund der Unsicherheit darüber, was genau von *Park et al. (1998)* untersucht wurde, werden die Ergebnisse nicht zum Vergleich herangezogen.

Auch *Thakurta et al. (1995)* berechneten die Lasten in verschiedenen Körperbereichen, geben aber nicht an, wie die Körperbereiche definiert wurden. Somit ist auch hier kein sinnvoller Vergleich der Daten möglich.

Reed et al. (1991) berichten, dass bei höherem Druck im lumbalen Bereich höherer Diskomfort empfunden wurde. Allerdings machen sie nur diese qualitative Aussage und stellen dies nicht als abgesicherte Aussage, sondern nur als Beobachtung dar.

Verteilung des Druckes auf dem Sitz

Multipliziert man die gefundenen Lastverteilungen mit den jeweiligen Mittelwerten der Gesamtkräfte und berücksichtigt man zudem die mittlere Bein- und Rückenlänge der Versuchspersonen, so lassen sich daraus entsprechende mittlere „optimale“ Druckverteilungen herleiten. Im Folgenden wird versucht, die so ermittelten Druckverteilungen mit Werten aus der Literatur zu vergleichen. Hierbei ist anzumerken, dass ein quantitativer Vergleich aufgrund unterschiedlichster Messsysteme und Auswertemethoden nur sehr schwer und nur unter Annahme von bestimmten Voraussetzungen (zum Beispiel der Bezugsfläche bei der Ermittlung der Druckwerte) möglich ist. Weiterhin muss bei den in dieser Arbeit ermittelten Druckwerten die Auflösung des Forschungsstuhls

Hauptuntersuchung

berücksichtigt werden. Das heißt die betrachteten Druckwerte sind immer als ein Mittelwert über eine quadratische Fläche von 16 cm² anzusehen. Daraus folgt, dass an exponierten Stellen mit hohem Druckgradienten die maximalen Drücke unterschätzt werden.

Milivojevič et al. (2000) schlagen einen Sitzbeindruck von 0,78 N/cm² und einen Oberschenkeldruck von 0,35 N/cm² vor. Diese Werte beziehen sich auf ein Feld der Größe von 12 x 12 Sensoren einer Tekscan-Druckmessmatte. Über die Herstellerangaben zum Messsystem kann die Größe der betrachteten Fläche abgeleitet werden. Die Positionierung der Felder kann aus der grafischen Darstellung der Veröffentlichung von *Milivojevič et al. (2000)* nur ungefähr ermittelt werden. Für die betrachteten Flächen ergeben sich in der vorliegenden Arbeit für Männer ein Sitzbeindruck von 0,64 N/cm² und ein Oberschenkeldruck von 0,27 N/cm², für Frauen ein Sitzbeindruck von 0,51 N/cm² und ein Oberschenkeldruck von 0,25 N/cm². Die Abweichung zu *Milivojevič et al. (2000)* könnten einerseits durch die unterschiedlichen Versuchspersonenkollektive (in dieser Arbeit nur Versuchspersonen um das 50. Perzentil, bei *Milivojevič et al. (2000)* wesentlicher größerer Streubereich) wie auch durch die Ungenauigkeiten bei der Übertragung der Ergebnisse erklärt werden (Positionierung der betrachteten Fläche, Auflösungsvermögen des Forschungsstuhls). Anzumerken sei hierbei, dass die Korrelationen, aus denen *Milivojevič et al. (2000)* die Druckempfehlungen ableiteten, über die Mittelwerte der 12 Versuchspersonen berechnet wurden. Somit erfolgte keine Berücksichtigung der Streubreite der betrachteten Variablen. Zudem geht aus dem Artikel die genaue Herleitung der als optimal dargestellten Werte nicht hervor. Für die Rückenlehne schlagen *Milivojevič et al. (2000)* keine optimalen Druckwerte vor.

Nach *Diebschlag (1984)* sollen die Drücke unter den Sitzbeinhöckern 1-3 N/cm² betragen, um sicheren Halt des Fahrers im Fahrzeug zu gewährleisten. Die Drücke im weiteren Bereich um die Sitzbeinhöcker sollen 0,8-1,5 N/cm² betragen (keine Angabe von Gründen). Drücke zu einer guten hinteren Beckenkammstützung dürfen je nach Fahrzeugtyp 1-3 N/cm² betragen. Im übrigen Lehnen- und Sitzbereich, einschließlich der Vorderkante und der seitlichen Backen empfiehlt *Diebschlag (1984)* Drücke von etwa 0,2-0,8 N/cm². Es ist nicht angegeben, ob es sich hierbei um maximale oder mittlere Drücke handelt. Aus der Höhe der Drücke kann aber angenommen werden, dass es sich hierbei um maximale Drücke in diesen Bereichen handelt. Dabei ist weiterhin unklar, auf welche Wirkflächen sich diese Drücke beziehen. Betrachtet man die in dieser Arbeit gefundenen Drücke, so kann man konstatieren, dass alle unter den von *Diebschlag (1984)* angegebenen Werten liegen. Da *Diebschlag* die empfohlenen

Hauptuntersuchung

Werte hauptsächlich mit Aspekten der stabilen Abstützung begründet, wären die in dieser Arbeit als „optimal“ ermittelten Druckwerte für eine optimale Abstützung als zu niedrig anzusehen.

Ng et al. (1995) haben mit ihrem intelligenten Sitzsystem eine optimierte Lastverteilung auf Automobilsitzen ermittelt. Aus den dazu korrespondierenden Druckmessungen können im Sitzbeinhöckerbereich Drücke von 0,68-0,75 N/cm² abgelesen werden. Diese Drücke liegen somit nur knapp über den Drücken, die in dieser Arbeit für Männer gefunden wurden (Mittelwerte von Gewicht und Körperhöhe der Versuchspersonen bei *Ng et al. (1995)* entsprechen dem 50. Perzentil männlich). Mittelwerte für die Drücke im Oberschenkelbereich lassen sich aufgrund der Inhomogenitäten in der Druckverteilung nur unzureichend aus der Darstellung bei *Ng et al. (1995)* ermitteln und werden deshalb hier nicht betrachtet.

Congleton et al. (1988) erhielten bei einer Untersuchung mit Männern die niedrigsten Diskomfortwertungen auf der Sitzfläche für einen mittleren Druck von 18,19 mmHg bzw. 0,24 N/cm², wobei sich mit zunehmendem mittlerem Druck ein Anstieg im Diskomfort zeigte. Nimmt man die Sitzflächengröße aus der vorliegenden Untersuchung und teilt die mittlere Gesamtkraft durch die Abmessungen der Sitzfläche so erhält man für Männer einen mittleren Druck von 0,22 N/cm². Die mittleren Drücke in dieser Arbeit liegen somit im gleichen Bereich wie bei der komfortabelsten Konfiguration bei *Congleton et al. (1988)*. Anzumerken ist hierbei allerdings, dass der Versuchsstand sich nicht an Automobilsitzen, sondern eher an Bürostuhl orientierte. Somit ist der Vergleich der Ergebnisse mit Vorbehalt zu betrachten.

Cooper (1964) zitiert in *Coermann und Kroemer (1968)*, gibt an, dass auf guten Sitzen auf der Sitzfläche maximale Drücke von 0,07 kp/cm² bis 0,12 kp/cm² und auf der Lehnenfläche von 0,02 kp/cm² herrschen. Dies entspricht 0,69 N/cm² bis 1,18 N/cm² für die Sitzfläche und 0,2 N/cm² für die Lehnenfläche. In der vorliegenden Arbeit ergeben sich aus der „optimalen“ Lastverteilung Maximaldrücke von 0,51 N/cm² für Frauen bzw. 0,64 N/cm² für Männer auf der Sitzfläche und von 0,2 N/cm² für Frauen bzw. 0,25 N/cm² für Männer an der Lehnenfläche. Die Drücke aus der „optimalen“ Lastverteilung liegen somit im Bereich der Drücke, die *Cooper (1964)* auf guten Sitzen gefunden hat. Zu berücksichtigen ist hierbei das bereits erwähnte Auflösungsvermögen des Forschungsstuhls, so dass die gemessenen Maximaldrücke an exponierten Knochenpunkten etwas zu niedrig im Vergleich zu den tatsächlich auftretenden Drücken sind.

Hauptuntersuchung

Bei *Kamijo et al. (1983)* werden als Beispiel je eine Druckverteilung für Sitz und Lehne von nur einer Versuchsperson dargestellt, die auf komfortablen und unkomfortablen Sitzen auftreten. Aufgrund der Singularität dieser Messungen und der in diesem Projekt beobachteten Schwankungsbreite von komfortablen Druckverteilungen zwischen den Versuchspersonen, scheint ein aussagekräftiger Vergleich nicht möglich.

Hontschik und Schmid (1972) zitiert in *Haldenwanger (1982)* geben Drücke von 0,67-0,7 N/cm² für die Sitzbeinhöcker, 0,15-0,56 N/cm² für die Oberschenkel (abfallend von hinten nach vorne) und 0,25 N/cm² für den Lordosenbereich an. Es werden keine Angaben darüber gemacht, ob diese optimale Werte darstellen. Unterstellt man dies, so liegen die in der vorliegenden Arbeit berechneten „optimalen“ Drücke im gleichen Bereich.

Zusammenfassung

Zur besseren Übersicht sind die im Vorangegangenen ausgeführten Betrachtungen nochmals in Tabelle 11 zusammengestellt.

Tabelle 11: Vergleich der Druckwerte aus der vorliegenden Arbeit mit Literaturwerten

Autor	Kriterium	empfohlene Werte Autor	empfohlene Werte Hartung
<i>Milivojević et al. (2000)</i>	Sitzbeindruck	0,78 N/cm ²	0,64 N/cm ² (Männer) 0,51 N/cm ² (Frauen)
	Oberschenkeldruck	0,35 N/cm ²	0,27 N/cm ² (Männer) 0,25 N/cm ² (Frauen)
<i>Diebschlag (1984)</i>	Sitzbeindruck	1-3 N/cm ²	0,64 N/cm ² (Männer) 0,51 N/cm ² (Frauen)
	Druck im Bereich um die Sitzbeinhöcker	0,8-1,5 N/cm ²	0,3-0,5 N/cm ² (Männer) 0,25-0,45 N/cm ² (Frauen)
	übriger Lehnen- und Sitzbereich	0,2-0,8 N/cm ²	bis 0,3 N/cm ² (Männer) bis 0,25 N/cm ² (Frauen)
<i>Ng et al. (1995)</i>	Sitzbeindruck	0,68-0,75 N/cm ²	0,64 N/cm ² (Männer) 0,51 N/cm ² (Frauen)
<i>Congleton (1988)</i>	mittlerer Druck auf der Sitzfläche	0,24 N/cm ²	0,22 N/cm ²
	maximaler Druck auf der Sitzfläche	0,69-1,18 N/cm ²	0,64 N/cm ² (Männer) 0,51 N/cm ² (Frauen)
	maximaler Druck auf der Lehnenfläche	0,2 N/cm ²	0,25 N/cm ² (Männer) 0,2 N/cm ² (Frauen)
<i>Hontschik und Schmid (1972)</i>	Sitzbeindruck	0,67-0,7 N/cm ²	0,64 N/cm ² (Männer) 0,51 N/cm ² (Frauen)
	Druck Oberschenkel	0,15-0,56 N/cm ²	0,27 N/cm ² (Männer) 0,25 N/cm ² (Frauen)

Hauptuntersuchung

Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Anthropometrien

Die in den Versuchen ermittelten „optimalen“ Lastverteilungen wurden nur für Frauen und Männer um das 50. Perzentil bestimmt. Es stellt sich nun die Frage, in wie weit diese Ergebnisse auf andere Personengruppen übertragbar sind.

Grundsätzlich lässt sich sagen, dass der physiologische Aufbau von anderen Personengruppen denen des 50. Perzentils ähnlich ist. Somit sollten die physiologischen Auswirkungen von Druck auf den Körper ähnlich sein. Da sich die Körperformen und Körpermassen ggf. von denen des 50. Perzentils unterscheiden, werden bei Vermessungen auf Sitzen andere Drücke auftreten. Ob diese höheren bzw. niedrigeren Drücke eine andere optimale Verteilung als die des 50. Perzentil aufweisen, ist nur durch weiterführende Versuchsreihen zu klären.

Weiterhin muss auch berücksichtigt werden, dass heutzutage Fahrzeugsitze immer einen Kompromiss für eine große Streubreite an Personengruppen darstellen, wobei die Auslegung der Sitze generell eine Tendenz zur Mitte, das heißt zum 50. Perzentil, aufweist. Da aber auch Personengruppen mit extremen Ausprägungen von Körpermaßen diese Sitze benutzen, könnte sich bei diesen eine Gewöhnung eingestellt haben. Dadurch werden die eigentlich nicht „passenden“ Sitze auch von diesen Personengruppen als komfortabel empfunden. Ein solcher Gewöhnungseffekt konnte zum Beispiel von *Bubb und Kain (1986)* hinsichtlich bevorzugter Tischhöhen aufgezeigt werden. Sie stellten fest, dass unabhängig vom Perzentil der Körperhöhe die allgemein gebräuchliche Tischhöhe gewählt wurde. Die Annahme eines Gewöhnungseffektes bei Sitzen müsste in weiteren Forschungsvorhaben noch geprüft werden.

Wie bereits erwähnt, decken sich die gefundenen Lastverteilungen für die Sitzfläche gut mit einer weiterführenden Studie von *Mergl et al. (2005)*. Das in dieser Studie verwendete Versuchspersonenkollektiv streute hinsichtlich der Körperhöhe und der Korpulenz wesentlich stärker. Dies legt nahe, dass die gefundenen Ergebnisse, zumindest für die Sitzfläche, auch auf andere Perzentile übertragbar sind.

Übertragbarkeit der Ergebnisse auf den Langzeitdiskomfort bezüglich Druck

Einige Autoren (zum Beispiel *Barkla 1964*) weisen darauf hin, dass Diskomfortwertungen, die in Kurzzeitversuchen gefunden wurden, nicht auf längere Sitzzeiten übertragen werden können. Im Gegensatz dazu haben andere Autoren (*Estermann 1999, Shackel et al. 1969, Wachslar 1960*) einen Zusammenhang zwischen Langzeitdiskomfort und Kurzzeitdiskomfort gefunden.

Hauptuntersuchung

Die Versuchsergebnisse von *Mergl et al. (2005)* weisen auf, dass die in Kurzzeitversuchen gefundene „optimale“ Verteilung der Last in den Körperregionen des Gesäßes auch für den Langzeitdiskomfort als optimal anzusehen ist.

Diskussion der Ergebnisse für den LKW-Sitz

Die Anzahl der für die Auswertung verwendeten Druckverteilungen ist beim LKW-Sitz zu gering, um eine allgemeingültige Lastverteilung aufstellen zu können. Die dargestellten Lastverteilungen können deshalb nur als grober Richtwert angesehen werden.

Die „optimalen“ Lastverteilungen der Sitz- und Lehnenfläche weisen Ähnlichkeiten mit denen der PKW-Sitze auf. Der belastete Bereich längs der Lehnenfläche ist etwas kleiner als bei den PKW-Sitzen. Dies könnte dadurch erklärt werden, dass durch die geringere Lehnen- und Sitzflächenneigung weniger Last auf die Lehne aufgebracht wird als bei PKW-Sitzen und somit eine kleinere Abstützfläche zur Aufnahme der Kräfte ausreichend ist.

Die abweichende Form der Lastverteilung auf der Sitzfläche resultiert wahrscheinlich aus Unterschieden in der geometrischen Gestaltung zwischen der Sitzfläche des LKW-Sitzes und der Sitzfläche der PKW-Sitze. Die Sitzfläche des LKW-Sitzes ist zu den Seitenwangen hin wesentlich enger geschnitten als bei den PKW-Sitzen. Somit ergibt sich eine größere Auflagefläche an der Außenseite der Oberschenkel.

Diskussion der Ergebnisse für den Bus-Passagiersitz

Auch beim Bus-Passagier-Sitz ist die Anzahl der Druckverteilungen zu gering, um eine allgemeingültige Lastverteilung aufstellen zu können. Die dargestellten Lastverteilungen können deshalb ebenfalls nur als grober Richtwert angesehen werden.

Bei der Betrachtung der Lastverteilungen für den Rücken fällt auf, dass sich diese stark von den PKW-Lastverteilungen unterscheiden. Die Lehne des Bus-Sitzes weist quer zur Lehne eine konkave Wölbung über die ganze Fläche auf. Bei den PKW-Sitzen ist dieser Bereich annähernd eben. Diese Wölbung in Kombination mit der Form des Rückens könnte zu den beobachteten Lastverteilungen führen, bei denen die Last in den Randbereichen des Rückens gegenüber den PKW-Lastverteilungen stark erhöht ist.

Hauptuntersuchung

Zusätzlich lässt sich sagen, dass die ungewöhnliche Form der Rückenlehne die Ergebnisse der „optimalen“ Lastverteilung für die Lehne in Frage stellt. Die integrierte Kopfstütze zwang die Versuchspersonen in eine stark kyphosierte Haltung. Diese starke Restriktion der Körperhaltung durch die Sitzform lässt den Versuchspersonen nur wenig Spielraum die Druckverteilung an der Rückenlehne zu variieren. Es wird deshalb empfohlen, diese Lastverteilung nicht als Zielrichtung für eine Optimierung zu verwenden, sondern sich dabei eher an der Lastverteilung der PKW-Sitze zu orientieren.

Die „optimale“ Lastverteilung für die Sitzfläche des Buspassagiersitzes ähnelt der „optimalen“ Lastverteilung auf den PKW-Sitzen. Allerdings ist die in Sitzlängsrichtung unterstützte Fläche geringer. Dies resultiert vermutlich daraus, dass die Sitzfläche des Bussitzes kürzer ist als die der PKW-Sitze. Dadurch sind alle gemessenen Lastverteilungen auf diesem Sitz zwangsweise kürzer, was sich dann auch in der „optimalen“ Lastverteilung fortsetzt.

Fazit

Die gefundenen „optimalen“ Lastverteilungen für PKW-Sitze fügen sich gut in das Gesamtbild der bisherigen Erkenntnisse aus der Literatur ein. Die Aussagekraft der „optimalen“ Lastverteilungen für den LKW- und den Bus-Passagiersitz ist aufgrund der geringen Versuchszahl als gering einzustufen.

3 Validierungsuntersuchung

Die aus den Forschungsstuhlversuchen abgeleiteten „optimalen“ Lastverteilungen für PKW-Sitze sollen als Richtlinie für zukünftige Sitzauslegungen dienen. Es muss nun bestätigt werden, dass eine Abweichung von den aus den Versuchdaten durch Mittelung hergeleiteten Lastverteilungen auch auf Realsitzen zu einer Erhöhung des Diskomforts führt. Hierzu wurden entsprechende Validierungsversuche durchgeführt, die im Folgenden dargelegt werden.

3.1 Versuchsdesign

Die Validierungsversuche werden mit 6 Versuchspersonen (3 männliche, 3 weibliche) durchgeführt, die nicht an der Hauptuntersuchung teilgenommen haben. Die Auswahl der Versuchspersonen erfolgt wie in der Hauptversuchsphase so, dass das Alter zwischen 18 und 29 und die Körperhöhe und das Gewicht möglichst nahe dem 50. Perzentil liegt.

Wichtig bei den Validierungsversuchen ist es, möglichst alle Versuchsbedingungen bis auf die Lastverteilung und den Gradientenverlauf konstant zu lassen, um einen Einfluss durch weitere Parameter auszuschließen. Eine Trennung von Lastverteilung und Gradientenverlauf ist aufgrund der direkten Abhängigkeit dieser beiden Größen nicht möglich.

Für die Versuche wird das Focus-Realsitzmockup verwendet. Das Mockup wird dahingehend modifiziert, dass Lenkrad und Pedale entfernt und eine Abstellfläche für die Füße montiert wird. (siehe auch Abbildung 55, Seite 103)

Der Focussitz wird in die standardisierte Einstellung gebracht, die auch in der Hauptversuchsphase verwendet wurde. Um eine Variation des Parameters Lastverteilung zu erreichen, wird der Focussitz durch Auflage eines Schaumstoffstreifens von ungefähr gleicher Härte wie die des Sitzes modifiziert. Die Abmessungen des Streifens betragen circa 330 mm x 150 mm x 30 mm. Der Schaumstoffstreifen wird nacheinander an jeweils 3 verschiedenen Positionen quer auf der Sitzfläche und der Lehnenfläche angebracht, um eine Variation in der Lastverteilung zu erreichen. Somit ergeben sich sechs Versuche mit Sitzmodifikationen. Zum Vergleich werden zwei Versuche auf dem unmodifizierten Sitz durchgeführt, mit dem Ziel, den berechneten „optimalen“ Lastverteilungen möglichst nahe zu kommen. Die dabei gemessenen Lastverteilungen werden im Folgenden als „optimierte“ Lastverteilungen bezeichnet. Um zu vermeiden, dass die Versuchsperson alleine über die Optik auf

Validierungsuntersuchung

die Sitzmodifikationen schließen kann, wird der gesamte Sitz mit einem dünnen Tuch bedeckt, so dass jeder Sitz von der äußeren Anmutung nahezu identisch ist.

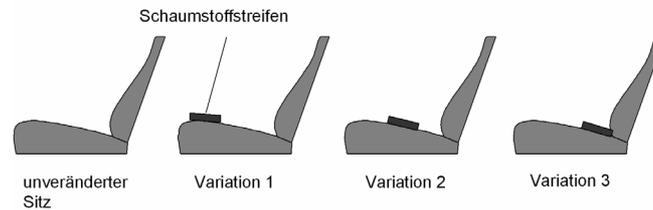


Abbildung 53: Position des Schaumstoffstreifens auf der Sitzfläche

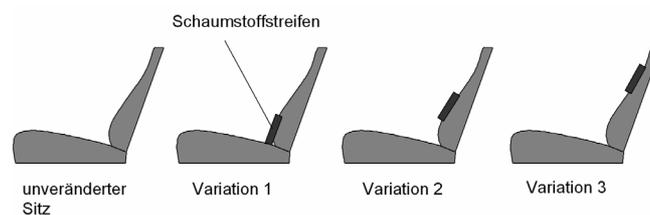


Abbildung 54: Position des Schaumstoffstreifens auf der Lehnenfläche

Zu Beginn der Versuche muss die Versuchsperson den bereits in der Hauptversuchsphase verwendeten Fragebogen zur Erfassung von persönlichen Daten und Gewohnheiten ausfüllen.

Danach wird die Versuchsperson angewiesen, sich auf den bereits vorbereiteten Sitz ohne Modifikationen zu setzen. Der Sitz soll nun von der Versuchsperson so eingestellt werden, dass die Füße bequem auf der Fußablage abgestellt werden können. Bei der Sitzhaltung ist darauf zu achten, dass der Rücken die Lehne möglichst vollständig berührt. Die Hacke soll am Übergangspunkt von Fußablage zur Bodenplatte zum liegen kommen. Außerdem soll die Einstellung so gewählt werden, dass die Oberschenkel locker auf der Sitzfläche aufliegen, so dass weder ein Spalt zwischen Oberschenkel und Sitz entsteht, noch der Schaum im vorderen Bereich der Sitzfläche zu stark zusammengedrückt wird. Vorversuche haben gezeigt, dass diese Anordnung auf diesem Sitz recht nahe an die hergeleitete „optimale“ Druckverteilung kommt. Das Ergebnis der Sitzeinstellung wird mit der Druckmessmatte qualitativ überprüft und falls notwendig entsprechend korrigiert.

Damit die Versuchsperson keine Kenntnis von der Art der Modifikation erhält, muss sie zwischen den Versuchen den Raum verlassen. Nach der Modifikation des Sitzes kann sich die Versuchsperson wieder in den voreingestellten Sitz setzen. Es gelten wiederum die Restriktionen für Hacke und Rücken, soweit dies am Rücken durch die Modifikation möglich ist.

Validierungsuntersuchung

Für die Bewertung des Diskomfortindrucks wird nicht ein komplettes Diskomfortinterview wie in der Hauptphase durchgeführt. Die Versuchspersonen werden aufgefordert, sich nur hinsichtlich des Gesamtdiskomforts im Rücken und im Gesäß zu äußern.

Nach Durchlauf aller Modifikationen erfolgt eine Bewertung des Sitzes ohne Modifikation. Mit Hilfe der Druckmessmatte wird zusätzlich durch kleine Positionsveränderungen der Versuchsperson versucht eine Lastverteilung, die möglichst nahe an der „optimalen“ Lastverteilung liegt, einzustellen. Danach werden wiederum Diskomfortwertungen für Rücken und Gesäß von der Versuchsperson abgeben.

Die Versuche erfolgen jeweils nacheinander und immer in der gleichen Reihenfolge (Sitz: Variation 3, 2, 1, unverändert; Lehne: Variation 3, 2, 1, unverändert). Eine vollständige Permutation der Versuchsbedingungen ist aufgrund der geringen Versuchspersonenzahl nicht möglich.

3.2 Versuchsdurchführung

Die Versuche wurden von Mai bis Juni 2003 in der Versuchshalle des Lehrstuhles für Ergonomie der TU-München durchgeführt. Abbildung 55 zeigt den dabei verwendeten Versuchsaufbau mit Versuchsperson.



Abbildung 55: Beispiel für die Durchführung der Validierungsversuche

Während der Versuchsdurchführung zeigte sich, dass es sich als äußerst schwierig gestaltet, die gewünschten Abweichungen in den Lastverteilungen zu erreichen. Hauptgrund dafür war, dass die Versuchspersonen dazu neigten, der in

den Sitz eingebrachten Störung auszuweichen. Dies zeigte sich besonders stark bei den Versuchen am Rücken.

Ebenfalls als schwierig erwies es sich, auf dem unmodifizierten Sitz am Rücken die „optimale“ Lastverteilung zu erreichen, da hier im Gegensatz zum Gesäß kleinste Haltungsänderungen einen großen Einfluss auf die Lastverteilung haben.

3.3 Auswertung

Für die Auswertung werden die mit dem FSA-System gewonnen Druckverteilungen so konvertiert, dass sie mit dem Bodygrid-Programm verarbeitbar sind. Im Bodygrid-Programm (vgl. auch Abbildung 37, Seite 78 und Abbildung 39, Seite 79) erfolgt die Auswertung der Druckverteilungen mit den gleichen Gittereinstellungen wie bei den Druckverteilungen aus den Hauptversuchen. Dieser Schritt gewährleistet, dass die Lastverteilungen aus der Hauptphase, die auf dem Forschungsstuhl gewonnen wurden, mit den Lastverteilungen aus der Validierungsphase direkt vergleichbar sind.

Zunächst erfolgt ein qualitativer Vergleich der zweidimensionalen Lastverläufe längs der Sitz- und Lehnenfläche.

Als numerisches Maß für die Güte der dreidimensionalen Lastverteilungen wird die absolute Differenz zwischen der Validierungslastverteilung und der „optimalen“ Lastverteilung herangezogen. Das heißt, für jede Messstelle wird die Differenz zwischen „optimaler“ Lastverteilung und gemessener Lastverteilung gebildet. Im Anschluss werden die Absolutwerte dieser Differenzen über alle Messstellen aufsummiert. Die Auswahl dieses numerischen Maßes dient als erste Näherung. Es ist anzunehmen, dass je nach Höhe und Ort einer Abweichung, diese auch unterschiedlich zu gewichten ist und somit ein komplexeres Maß für die Abweichung notwendig ist. Um diese Gewichtungsfaktoren zu bestimmen, sind weder die Versuchsdaten aus der Hauptversuchsphase noch die Daten aus der Validierungsphase geeignet bzw. ausreichend.

Für die Bestimmung der Unterschiede der Gradienten längs und quer zu den Lastverteilungen wird ebenfalls das oben beschriebene numerische Maß herangezogen.

3.4 Ergebnisse

3.4.1 Diskomfortwertungen

Die Untersuchung der Mittelwerte der Diskomfortwertungen für die verschiedenen Versuchsbedingungen zeigt, dass der Diskomfort bei optimierter Lastverteilung signifikant ($p < 0,05$; korrigiert nach Bonferroni) kleiner ist als bei den Sitzvariationen 1-3. Dies zeigt sich für sowohl am Rücken als auch am Gesäß. Mittelwerte und Standardabweichungen der Diskomfortwertungen für die verschiedenen Versuchsbedingungen sind in Abbildung 56 und Abbildung 57 dargestellt.

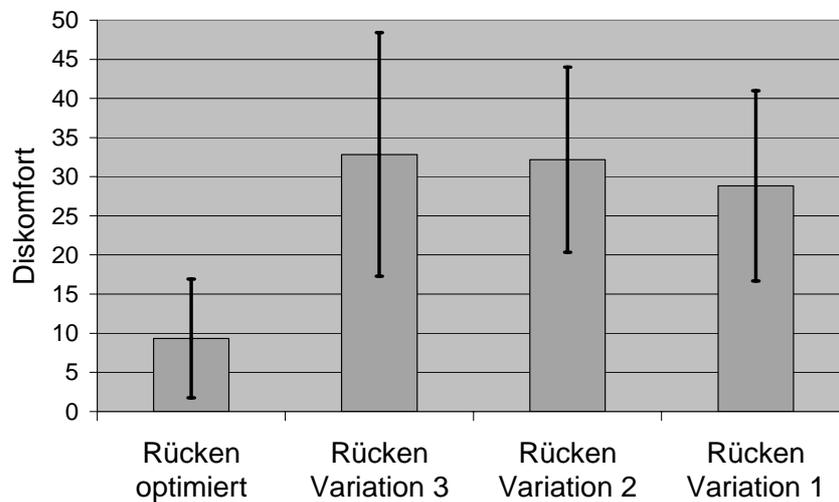


Abbildung 56: Mittelwerte und Standardabweichungen der Diskomfortwertungen für die optimierte Lastverteilung und die Lastverteilungen der Sitzvariationen 1-3, Rücken

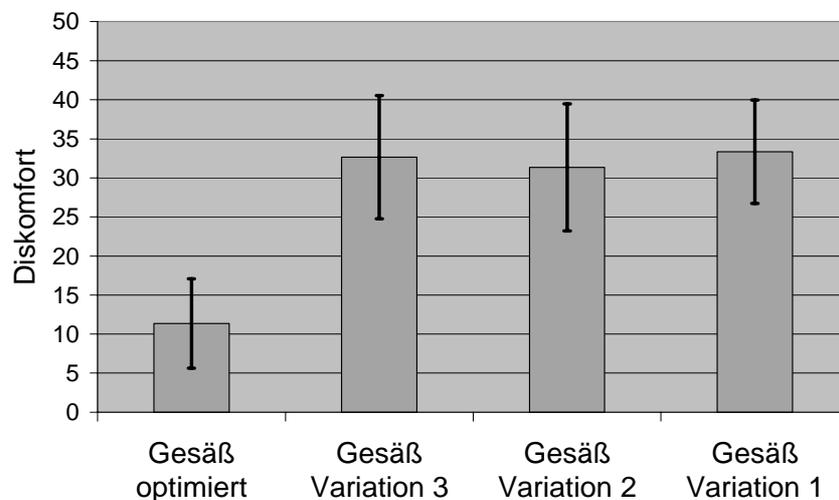


Abbildung 57: Mittelwerte und Standardabweichungen der Diskomfortwertungen für die optimierte Lastverteilung und die Lastverteilungen der Sitzvariationen 1-3, Gesäß

3.4.2 Lastverläufe längs der Sitzfläche (2D)

Die qualitative, zweidimensionale Betrachtung der Validierungslastverteilungen längs der Sitzfläche im Vergleich zu den „optimalen“ Lastverteilungen zeigt unter Berücksichtigung der Diskomfortwertungen eindeutig, dass eine starke Abweichung von der optimalen Lastverteilung längs der Sitz- bzw. Lehnenfläche auch entsprechende Diskomfortwertungen zur Folge hat. Umgekehrt haben Lastverteilungen, die nahe an der „optimalen“ Lastverteilung liegen, niedrigere Diskomfortwertungen zur Folge. In Abbildung 58 ist ein Beispiel für diese Beobachtung dargestellt.

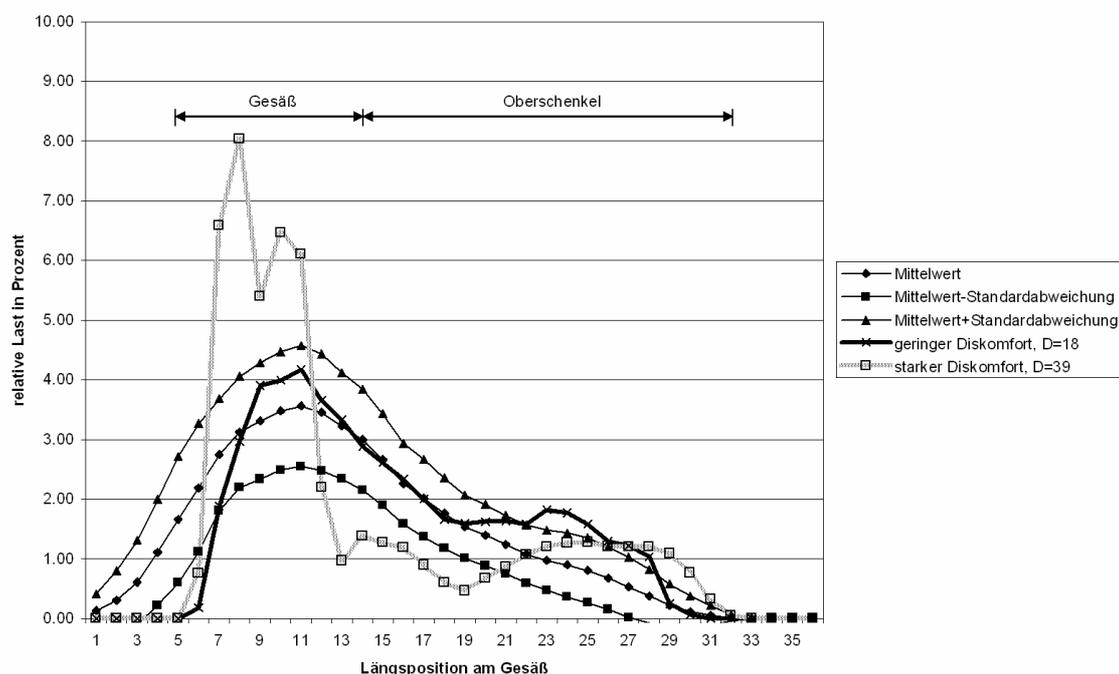


Abbildung 58: Lastverteilungen längs der Sitzfläche mit geringem Diskomfort und hohem Diskomfort von einer Versuchsperson; „Mittelwert“ bezeichnet den „optimalen“ Lastverlauf längs der Sitzfläche

3.4.3 Lastverteilungen (3D)

Die Betrachtung des numerischen Maßes für die Abweichung von der „optimalen“ Lastverteilung ergibt, dass die „optimierten“ Lastverteilungen in 100% der Fälle näher an der „optimalen“ Lastverteilung liegen als die Lastverteilungen der Sitzvariationen. Die „optimierten“ Lastverteilungen werden wiederum in 100% der untersuchten Fälle mit niedrigeren Diskomfortwertungen bewertet als die Lastverteilungen der Sitzvariationen. Dies zeigt sich in gleicher Tendenz für alle Versuchspersonen, allerdings mehr oder weniger stark ausgeprägt. Diese unterschiedlich starke Ausprägung könnte durch die interindividuell

verschiedenen inneren Maßstäbe der Versuchspersonen bei der Bewertung von Diskomfort erklärt werden.

Zudem sind bei den Gesäßlastverteilungen die Zusammenhänge deutlicher erkennbar als bei der Lehnenfläche. Dies ist allerdings zu erwarten, da die Kräfte an der Lehnenfläche deutlich geringer sind als auf der Sitzfläche. Somit führt eine gleichgroße Änderung in der Lastverteilung am Rücken zu einer wesentlich geringeren Kraftänderung als am Gesäß. Dies geht konform mit den relativ großen Standardabweichungen, die bei der Ermittlung der „optimalen“ Lastverteilungen für den Rücken gefunden wurden. Innerhalb gewisser Grenzen scheint es am Rücken möglich zu sein, die Last zu verschieben, ohne dass sich eine Erhöhung des Diskomforts ergibt.

Weiterhin muss erwähnt werden, dass die Summe der absoluten Differenzen zwischen den Lastverteilungen den qualitativen Eindruck der Stärke der Abweichung bei Betrachtung der Lastverteilungsdiagramme nicht widerspiegelt. Dies könnte, wie bereits erwähnt, daran liegen, dass die Position und die Höhe der Abweichung in der Lastverteilung einen Einfluss auf die Diskomfortwertungen haben. Der genaue Zusammenhang zwischen Höhe und Position der Abweichungen von den „optimalen“ Lastverteilungen und dem Diskomfortempfinden könnte nur durch eine größere Versuchsreihe geklärt werden, die auf diesen Aspekt abgestimmt ist.

3.4.4 Fazit

Die Ergebnisse der Validierungsversuche zeigen eindeutig, dass Lastverteilungen, die von den gefundenen „optimalen“ Lastverteilungen für PKW-Sitze stark abweichen mit höherem Diskomfort bewertet werden als Lastverteilungen, die Nahe an diesem „Optimum“ liegen.

Zusammenfassend lässt sich daraus ableiten, dass die ermittelten „optimalen“ Lastverteilungen für Rücken und Gesäß als Zielvorgabe für eine Minimierung des Sitzdiskomforts auf Automobilsitzen als geeignet erscheinen.

4 Zusammenfassung der Ergebnisse

4.1 Analyse der Diskomfortwertungen

Die Analysen der Diskomfortwertungen aus den Sitzversuchen zeigen, dass die verwendeten Sitze und Sitzvariationen bei den Versuchspersonen vorwiegend Diskomfort im Bereich „kein Diskomfort“ bis „sehr geringer Diskomfort“ hervorrufen. Zudem weisen die Diskomfortwertungen bei den verschiedenen Versuchsbedingungen statistisch keine Unterschiede auf. Trotz der starken Variation in der Sitzsteifigkeit bleiben die Bewertungen der Sitze im unteren Diskomfortbereich angesiedelt und unterscheiden sich nicht voneinander. Die Veränderung der Gesamtsteifigkeit des Sitzes scheint somit nicht die geeignete Methodik hinsichtlich einer signifikanten Veränderung der subjektiven Sitzbewertung. Als Alternative wäre hier vorzuschlagen in zukünftigen Projekten Variationen nur in Teilbereichen der Sitzflächen durchzuführen (zum Beispiel vorne weich, hinten hart). Diese Empfehlung wurde von *Mergl et al. (2005)* bereits berücksichtigt und ermöglichte die Ableitung von Korrelationen zwischen Diskomfort und Parametern der Druckverteilungen.

Der statistische Vergleich der Diskomfortwertungen auf Realsitzen mit den Wertungen auf den entsprechenden mit dem Forschungsstuhl simulierten Sitzen belegt, dass diese sich hinsichtlich ihrer subjektiven Bewertung nicht unterscheiden. Die Gültigkeit dieser Aussage erstreckt sich hierbei nur auf Kurzzeitversuche.

Weitere Analysen zeigen, dass sich die Diskomfortwertungen für Männer und Frauen in verschiedenen Körperregionen signifikant voneinander unterscheiden. Allerdings war es nicht möglich zu klären, ob die Unterschiede geschlechtsspezifisch sind oder aus den in diesem Projekt unterschiedlich vorgegebenen Anthropometrien für Männer und Frauen resultieren.

Die Untersuchung der Zusammensetzung des Gesamtdiskomforts aus den Wertungen für die einzelnen Körperregionen ergibt, dass sich für ein einfaches Modell ($r=0,695$) der Mittelwert aus allen Diskomfortwertungen eignet. Eine multiple Regression mit schrittweiser Hinzunahme der Parameter resultiert in einem linearen Modell ($r=0,75$), das sich aus den Werten fast aller beteiligten Körperbereiche (außer Steißbeinbereich) mit entsprechenden Koeffizienten summatorisch zusammensetzt.

Zusätzliche Einflussfaktoren auf die Diskomfortwertungen wurden bei der Analyse der Fragebögen nicht gefunden.

4.2 Zusammenhang Druck – Druckbewertung

Die Korrelationen zwischen den subjektiven Druckwertungen und den Druckwerten in den Körperregionen zeigen auf, dass in Körperregionen mit hohem Druck dieser auch hoch bewertet wird, umgekehrt wird in Körperregionen mit niedrigem Druck dieser als niedrig bewertet. Bei Korrelation der Druckmessungen mit den Druckbewertungen innerhalb einer Körperregion konnte kein solcher Zusammenhang gefunden werden. Dies ist wahrscheinlich auf die zu geringe Variationsbreite der Versuchsbedingungen zurückzuführen (siehe Abschnitt 4.1).

4.3 Regressionsmodell zwischen Diskomfort und objektiven Druckparametern

Aus den Analysen ergeben sich nahezu keine statistisch signifikanten Korrelationen zwischen den objektiven Druckparametern (maximaler Druck, mittlerer Druck, Druckgradient) in einzelnen Körperregionen und den korrespondierenden Diskomfortwertungen. Dies ist selbst nach einer Separierung der Daten nach unterschiedlichen Gründen für den Diskomfort (zu hoher Druck, zu wenig Unterstützung) nicht der Fall. Dieses Ergebnis kann mit dem insgesamt sehr niedrigen Niveau der Diskomfortwertungen und den nicht vorhandenen Unterschieden bei der Bewertung der verschiedenen Versuchsbedingungen erklärt werden.

4.4 Lastverteilungen

4.4.1 Herleitung

Die Betrachtung der Lastverläufe längs der Sitzfläche zeigt, dass Lastverläufe, die mit „0 Diskomfort“ bewertet werden, sich ähneln. Lastverläufe, die mit höherem Diskomfort bewertet werden, weisen Abweichungen von diesen „0 Diskomfort“-Verläufen auf.

Aus der Mittelung der Lastverteilungen, die eine subjektive Bewertung von „0 Diskomfort“ für die gesamte Sitz- bzw. Lehnenfläche aufweisen, ergeben sich spezifische Angaben über eine „optimale“ Verteilung der Last in definierten Körperregionen.

Zusammenfassung der Ergebnisse

Durch Verfeinerung dieser Methodik ergeben sich für Rücken und Gesäß so genannte „optimale“ Lastverteilungen, die die Mittelwerte aller Lastverteilungen mit einer Diskomfortwertung zwischen „0 Diskomfort“ und „sehr geringer Diskomfort“ darstellen. Diese Lastverteilungen beschränken sich nicht nur auf Mittelwerte in definierten Körperregionen, sondern berücksichtigen jeden bei den Versuchen gemessenen Druckwert im Einzelnen.

Diese Lastverteilungen können mit ihrer Standardabweichung und ihrem Gradientenverlauf als Richtwert für zukünftige Sitzentwicklungen und als Maßstab für bestehende Sitzkonzepte im PKW dienen.

Wichtig anzumerken ist, dass im Gegensatz zu früheren Untersuchungen die Lastverteilungen personenbezogen und nicht sitzbezogen ermittelt wurden. Das heißt, die Druckwerte sind Punkten am menschlichen Körper zugeordnet und nicht Punkten auf dem Sitz.

4.4.2 Validierung

Die Validierungsuntersuchung zeigt auf, dass Lastverteilungen, die den „optimalen“ Lastverteilungen ähnlich sind, signifikant besser bewertet werden als Lastverteilungen, die den „optimalen“ Lastverteilungen unähnlich sind. Obwohl das Ergebnis eindeutig ist, ist zu bemängeln, dass die zur Beurteilung der Ähnlichkeit verwendete Maßzahl den subjektiven Eindruck der Abweichung der Lastverteilungen voneinander nur unzureichend widerspiegelt. Die Daten ermöglichen keine Modellierung hinsichtlich dieser Fragestellung aufgrund der insgesamt sehr niedrigen Diskomfortwertungen.

Eine Validierung der körperbereichspezifischen „0-Diskomfort“-Lastwerte wurde nicht durchgeführt. Allerdings unterstützen die von *Mergl et al. (2005)* durchgeführten Versuche die gefundenen Lastwerte für die einzelnen Körperregionen.

4.4.3 Gültigkeitsbereich

Der Gültigkeitsbereich der Ergebnisse resultiert aus dem Versuchsdesign der Hauptversuche und der Validierungsversuche und erstreckt sich somit streng genommen nur auf die untersuchten Bevölkerungsgruppen (vgl. Abschnitt 2.5.1.1), auf das Spektrum der untersuchten Sitze (vgl. Abschnitt 2.5.1.2) und eine begrenzte Versuchsdauer (circa 20 Minuten). Es ist allerdings zu erwarten, dass geringe Abweichungen sowohl bezüglich der Spezifikationen der Bevölkerungsgruppen, als auch der verwendeten Sitze ähnliche optimale Lastverteilungen liefern. Für stärkere Abweichungen müssen die ermittelten

Zusammenfassung der Ergebnisse

„optimalen“ Lastverteilungen zuerst durch weitere Validierungsversuche bestätigt werden.

Allerdings ist hierbei anzumerken, dass Untersuchungen von *Mergl et al. (2005)* Hinweise darauf liefern, dass die oben gemachten Einschränkungen hinsichtlich Sitzdauer und Bevölkerungsgruppe unbedeutend sind. Dies gilt allerdings nur für die Ergebnisse, die sich auf die Last in definierten Körperregionen beziehen. Weiterhin können die Einschränkungen nur für die Sitzfläche außer Acht gelassen werden, da von *Mergl et al. (2005)* für den Rücken nur begrenzt Aussagen hinsichtlich der Verteilung der Last gemacht werden konnten.

4.4.4 Anwendung

Um die Ergebnisse anwenden zu können, sind zunächst Messungen von Druckverteilungen auf den zu untersuchenden Sitzen notwendig. Diese können dann mit den „optimalen“ Lastverteilungen verglichen werden. Da - wie schon beschrieben - die Lastverteilungen bei Personen trotz annähernd gleicher Randbedingungen erheblich schwanken können (*Hartung 2004*), wäre es wünschenswert, eine reproduzierbare Messmethodik für Druckverteilungen einzuführen. Dies könnte zum Beispiel durch einen mit Drucksensoren ausgestatteten Sitzdummy, wie von *Mergl (2005)* beschrieben, geschehen.

Die für Sitz- bzw. Lehnenfläche gemessenen Druckverteilungen müssen auf die Gesamtkraft in der jeweiligen Fläche bezogen werden. Dadurch erhält man relative Lastverteilungen. Diese sitzbezogenen Lastverteilungen müssen dann in menschenbezogene Lastverteilungen umgewandelt werden. Dies kann manuell oder durch ein Programm, ähnlich dem am Lehrstuhl für Ergonomie verwendeten Bodygrid-Programm, geschehen. Bei einer manuellen Umwandlung kann wie folgt vorgegangen werden. Zunächst müssen in eine maßstabsgetreue Darstellung der Druckmessmatte die Messwerte der Druckmessung eingetragen werden. Dann wird das Messgitter für die Neurasterung mit dem entsprechenden Beinöffnungswinkel darüber gezeichnet (analog Abbildung 40, Seite 79). Das Gitter für die Neurasterung ist 20 Zellen breit, was einer Breite von 400 mm entspricht. Die Länge des Gitters für die Neurasterung beträgt 28 Zellen, deren Längsabmessung entsprechend der individuellen Beinlänge der Person skaliert wird. Das Gitter wird jeweils um 4 Zellreihen nach vorne und nach hinten verlängert. Somit ergeben sich 36 Zellen in Längsrichtung. Für jede Zelle des neuen Rasters kann nun ein darunter liegender Wert des Ausgangsrasters ermittelt werden. Da bei dieser manuellen Vorgehensweise keine Mittelung für die Zellen des Rasters (vergleiche hierzu auch Abbildung 41, Seite 80) erfolgt, die sich nur teilweise mit dem Ausgangsraster überschneiden, entsteht ein

Zusammenfassung der Ergebnisse

geringfügiger Fehler bei der Neurasterung. Dieser Fehler kann allerdings bei der praktischen Anwendung unter Berücksichtigung der Auflösung der ermittelten „optimalen“ Lastverteilungen (s.a. Abschnitt 2.6.6.3) und deren Streubreite vernachlässigt werden.

Die so transformierten Lastverteilungen können nun direkt mit den ermittelten „optimalen“ Lastverteilungen verglichen werden. Dies kann entweder manuell erfolgen oder über eine entsprechende Software realisiert werden.

Im ersten Schritt sollten die zweidimensionalen Lastverteilungen längs der Sitz- bzw. Lehnenfläche betrachtet werden. Zeigen sich hier bereits deutliche Abweichungen vom optimalen Lastverlauf, so ist es nicht sinnvoll eine weitergehende Analyse durchzuführen, da die Abweichung in der dreidimensionalen Lastverteilung mindestens so groß ist wie in der zweidimensionalen Betrachtung. In diesem Fall muss der Lastverlauf längs des Sitzes weiter optimiert werden. Als relatives Maß für die Stärke der Abweichung können die Standardabweichungen der „optimalen“ Lastverteilungen an den einzelnen Messstellen herangezogen werden.

Ist der erste Schritt befriedigend gelöst, kann eine weitergehende Analyse mit den dreidimensionalen Lastverteilungen durchgeführt werden.

Analog zur obigen Vorgehensweise können, um Abweichungen festzustellen, die dreidimensionalen Lastverteilungen zunächst optisch verglichen werden. Vereinfacht werden kann dies, indem man Längs- bzw. Querschnitte durch die dreidimensionalen Lastverteilungen legt und die daraus resultierenden zweidimensionalen Lastverteilungen auf Abweichungen voneinander überprüft. Als Maß für die Güte der Annäherung an die „optimale“ Lastverteilung eignet sich der „3D-Lastverteilungsschlauch“, der sich aus der Standardabweichung der Messwerte vom Mittelwert ergibt. Innerhalb dieses Schlauches liegen circa 68% aller Messwerte der „0-Diskomfort“-Lastverteilungen.

Zusammenfassung der Ergebnisse

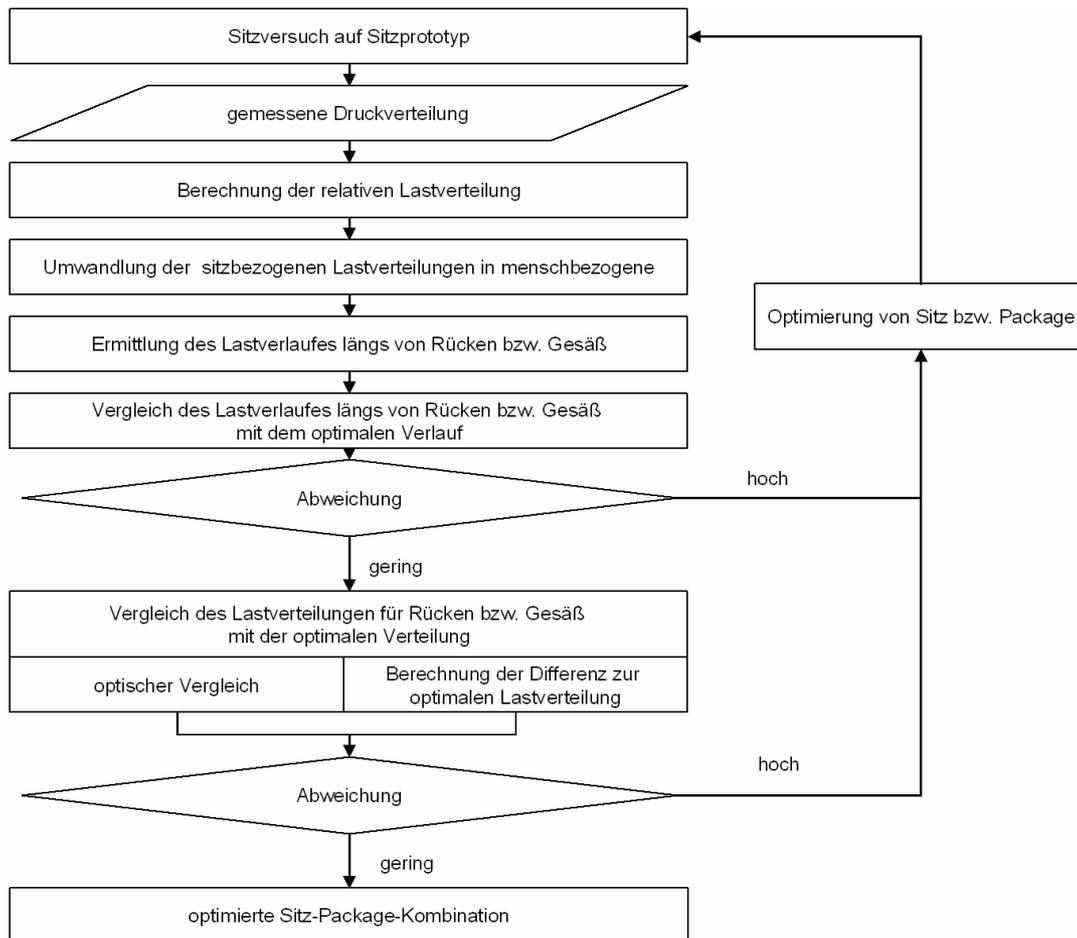


Abbildung 59: Ablauf bei der Anwendung der Ergebnisse zur Optimierung eines Sitzes bzw. Packages

Weiterhin kann als numerische Größe der Unterschied zwischen der gemessenen Lastverteilung und der „optimalen“ Lastverteilung ermittelt werden, indem für jede Messstelle die Differenz zwischen „optimaler“ und gemessener Lastverteilung gebildet wird. Die Summe der Absolutwerte der Differenzen stellt dann ein qualitatives Maß für die Abweichung von der „optimalen“ Lastverteilung dar. Analog dazu können diese Kennwerte auch für die Gradienten längs und quer zur Sitzfläche berechnet werden.

Zeigen sich in der detaillierten Betrachtung der Lastverteilung noch Abweichungen, können weitere Optimierungszyklen durchgeführt werden, bis keine Verbesserung mehr zu erreichen ist.

Bei der oben beschriebenen Vorgehensweise sollten immer die in Abschnitt 2.6.6.3 gemachten Aussagen bezüglich der Auflösung der Lastverteilungen Berücksichtigung finden.

Zusammenfassung der Ergebnisse

Zur Übersicht ist die oben beschriebene Vorgehensweise in Abbildung 59 nochmals als Flussdiagramm und anschaulich in den Abbildung 60 und Abbildung 61 dargestellt.

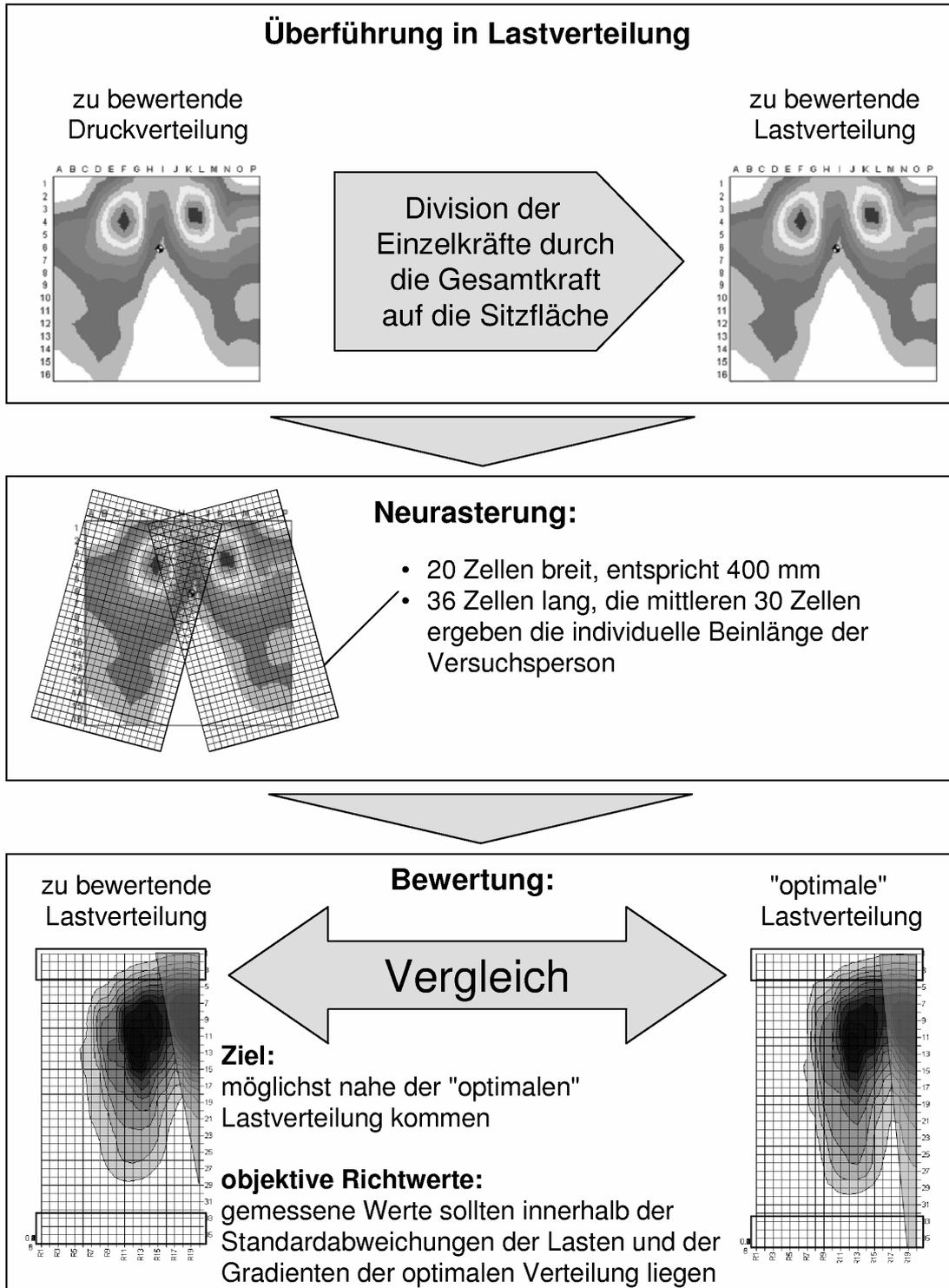


Abbildung 60: Praktische Anwendung der „optimalen“ Lastverteilungen

Zusammenfassung der Ergebnisse

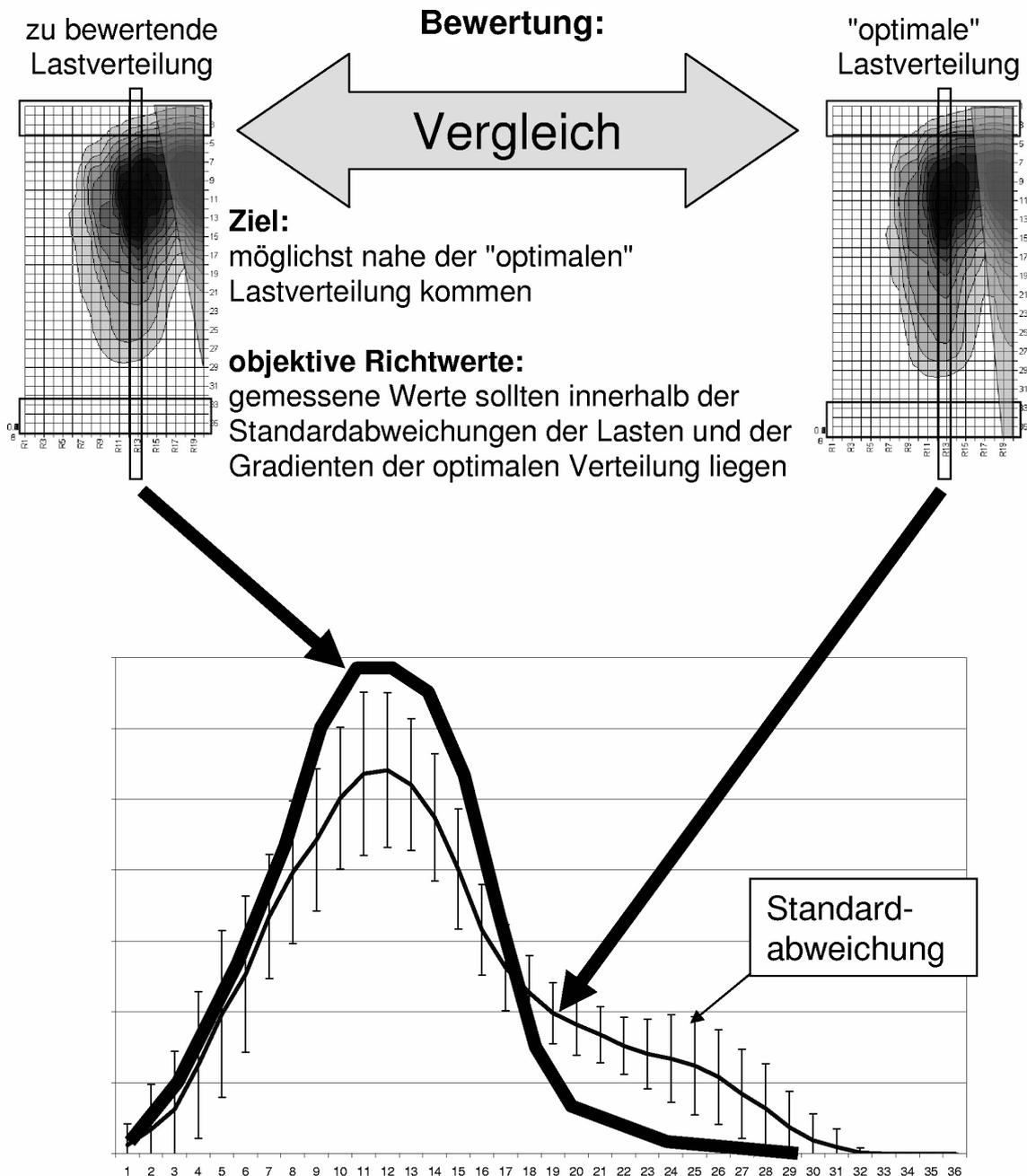


Abbildung 61: Praktische Vorgehensweise beim Vergleich von einer zu bewertenden Lastverteilung und der „optimalen“ Lastverteilung

Die Daten und Tabellen, die benötigt werden, um die oben aufgeführten Schritte ausführen zu können, sind im Anhang dargestellt.

5 Zusammenfassung

In den letzten Jahrzehnten rückte bei der Fahrzeugsitzgestaltung der Gesichtspunkt des Diskomforts immer stärker in den Vordergrund. Ein wichtiger Teilaspekt hierbei ist der Diskomfort durch die Kräfteverteilung zwischen Mensch und Sitz bei statischer Belastung. Dieser Aspekt soll in einer Versuchsreihe genauer untersucht werden. Primäres Ziel ist die Ableitung eines Regressionsmodells, das es erlaubt, aus objektiven Parametern der Kräfteverteilung zwischen Mensch und Sitz die subjektiven Aussagen eines Probandenkollektivs zu prognostizieren.

Den Ausgangspunkt dieser Arbeit bildet eine Literaturbetrachtung zum Stand der Forschung im Bereich des statischen Sitzkomforts, zur Physiologie der Mechanorezeption und der Komfort-/Diskomfortmodellierung.

Die Aufteilung des Gesamtprojektes in eine Vor- und eine Hauptversuchsphase dient dem Zweck, die Versuchsmethodik zunächst an einem kleineren Versuchspersonenkollektiv zu testen und diese dann, basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen, zu optimieren.

In der Hauptphase nehmen 48 Versuchspersonen an insgesamt 1.344 Sitzversuchen teil. Die 24 männlichen und 24 weiblichen Versuchspersonen sind dabei so gewählt, dass ihre Körperhöhe und ihre Korpulenz zwischen dem 40. und dem 60. Perzentil liegen. Zum Einsatz kommen drei PKW-Sitze aus verschiedenen Fahrzeugklassen und zwei Nutzfahrzeugsitze. Durch Vermessung und der anschließenden Simulation der Sitze mit dem Forschungsstuhl 2000 ist es möglich, für jeden der Sitze jeweils drei Sitzvarianten zu erstellen, die sich in der Federsteifigkeit unterscheiden. Um auf Fahrzeuge übertragbare Ergebnisse zu erzielen, werden Mockups eingesetzt, die die wichtigsten Packagemaße der Fahrzeuge wiedergeben. Die subjektiven Eindrücke der Versuchspersonen werden über eine Befragung ermittelt.

Bei der Auswertung werden zunächst nur die subjektiven Wertungen betrachtet. Die Versuchspersonen verspüren auf den verwendeten Sitzen meist nur sehr geringen bis keinen Diskomfort. Aus diesen Daten ergeben sich Regressionsmodelle, über die aus den Einzeldiskomfortwertungen der Körperregionen der Gesamtdiskomfort prognostizieren werden kann. Außerdem weist die detaillierte Betrachtung der Daten Unterschiede zwischen Männern und Frauen hinsichtlich der Diskomfortwertungen auf.

Zusammenfassung

Im Weiteren erfolgt die Einbeziehung der objektiven Daten in die Analyse. Durch Aufteilung der gemessenen Druckverteilungen in einzelne Körperregionen können körperbereichspezifisch die objektiven Parameter mittlerer Druck, maximaler Druck und Druckgradient bestimmt werden. Die Korrelation dieser gemessenen Parameter mit den entsprechenden Diskomfortaussagen ergibt keine verwertbaren Ergebnisse. Die Ableitung eines Regressionsmodells zur Prognose des Diskomforts auf Basis der Kräfteverteilung zwischen Mensch und Sitz ist somit in diesem Projekt nicht möglich.

Weitere Analysen zeigen den Trend, dass Druckverteilungen mit sehr niedrigen Diskomfortwertungen ähnlich sind. Basierend auf dieser Erkenntnis werden „optimale“ Lastverteilungen für Rücken und Gesäß abgeleitet, die den Mittelwert der Lasten für sehr niedrige Diskomfortwertungen darstellen. Besonders zu betonen ist hierbei, dass die Lastverteilungen menschenbezogen ermittelt werden und nicht wie sonst üblich sitzbezogen. Der Vergleich der ermittelten Lastverteilungen mit Literaturwerten hinsichtlich einer zu empfehlenden Last- und Druckverteilung auf Sitzen zeigt, dass sich die gefundenen Ergebnisse sehr gut in die bisherigen Erkenntnisse einfügen.

Die Validierungsuntersuchung mit sechs weiteren Versuchspersonen und jeweils vier Varianten für Lehne und Sitzfläche belegt, dass Lastverteilungen, die den „optimalen“ Lastverteilungen ähnlich sind, besser bewertet werden als solche, die diesen unähnlich sind. Die Ergebnisse lassen somit den Schluss zu, dass die ermittelten „optimalen“ Lastverteilungen als Richtwert für die Sitzentwicklung von PKWs eingesetzt werden können.

Anhand einer kurzen Anleitung wird gezeigt, wie die praktische Umsetzung der Ergebnisse für die Sitzoptimierung erfolgen kann.

Somit steht nun ein objektives Verfahren zur Verfügung, das es ermöglicht, Sitze hinsichtlich des durch die Kontaktkräfte zwischen Mensch und Sitz hervorgerufenen Diskomforts zum optimieren.

6 Ausblick

Im Rahmen dieser Arbeit wurde mit der Ableitung von „optimalen“ Lastverteilungen bereits ein entscheidender Schritt für die Bewertung und Optimierung von Automobilsitzen getan.

Allerdings gibt es noch eine Vielzahl ungelöster Fragestellungen, die in weiteren Projekten betrachtet werden könnten.

Die ermittelten Lastverteilungen gelten vorerst nur für das untersuchte Probandenkollektiv mit den ausgewählten Körpermaßen um das 50. Perzentil. Im Weiteren wäre zu überprüfen, ob sich die Untersuchungsergebnisse auch auf andere Perzentile bezüglich Körpergröße und Gewicht übertragen lassen. Ebenfalls zu untersuchen ist, ob die Wahl der Altersgruppe einen Einfluss auf die „optimale“ Lastverteilung ausübt. Erste Ergebnisse von *Mergl et al. (2005)* sprechen allerdings für einen wesentlich breiteren Gültigkeitsbereich hinsichtlich Körperabmessungen und Alter.

Auf Basis der in diesem Projekt gewonnenen Daten kann die Aussage gemacht werden, dass bei Abweichungen von der „optimalen“ Lastverteilung Diskomfort auftritt. Über den Zusammenhang zwischen der Höhe der Abweichungen und einer Gesamtdiskomfortnote bzw. der Diskomfortnote in einem bestimmten Körperbereich kann aber keine Aussage gemacht werden. Gegenstand weiterer Untersuchungen könnte deshalb die Fragestellung sein, in welchen Körperbereichen eine Abweichung oder eine Kombination von Abweichungen als besonders störend empfunden werden.

Im Hinblick auf die Entwicklung einer objektiven Messmethode für den Diskomfort auf PKW-Sitzen sollte ein Messwerkzeug konstruiert werden, das es erlaubt, menschenbezogene Lastverteilungen beim Sitzen reproduzierbar zu erzeugen. Dies könnte durch einen deformierbaren Sitzdummy realisiert werden, der an der Hautoberfläche mit Sensoren ausgestattet ist. Die so gewonnen Messwerte könnten dann zur Prognose des Diskomforts mit den „optimalen“ Lastverteilungen verglichen werden. Erste Ansätze für eine solche Vorgehensweise liefert *Mergl (2005)*.

Im Laufe dieses Projektes hat sich gezeigt, dass die gewählten Sitze nicht unterschiedlich genug sind, um ein Regressionsmodell für den Zusammenhang zwischen Diskomfortempfinden und gemessenem Druck ableiten zu können. Es besteht allerdings weiterhin die Annahme, dass die Ableitung eines solchen Regressionsmodells möglich ist, wenn die Unterschiede zwischen den Sitzen

Ausblick

extremer gewählt werden. Diese Annahme wird gestützt durch die auf dieser Arbeit aufbauende Untersuchung von *Mergl et al. (2005)*. Es ist allerdings fraglich, ob eine solche Vorgehensweise überhaupt sinnvoll ist, da man sich mit einer stärkeren Variation der Sitze weit von den bestehenden, annähernd optimalen Sitzen entfernt.

Pilotversuche zeigen, dass die Körperhaltung einen entscheidenden Einfluss auf die Lastverteilung und damit auf den Diskomfort hat. Im Hinblick auf eine Optimierung der Lastverteilung sollte systematisch untersucht werden, wie die Körperhaltung die Lastverteilung beeinflusst. Diese Fragestellung ist besonders wichtig für das Zusammenspiel zwischen Packageauslegung und Sitzgestaltung.

Die oben aufgeführten Beispiele für weitere Forschungsansätze stellen nur einen kleinen Ausschnitt aus den noch offenen Fragestellungen dar. Aufgrund seiner hohen Komplexität wird das Sitzen und der damit verbundene Diskomfort noch Gegenstand zahlreicher Untersuchungen sein müssen, um alle Zusammenhänge aufzudecken.

7 Literatur

Anderson et al. (1978):

ANDERSSON, MURPHY, ÖRTENGREN, NACHEMSON: The Influence of Backrest Inclination and Lumbar Support on Lumbar Lordosis. Spine, 1978

Andreoni et al. (2002):

ANDREONI G., SANTAMBROGIO G.C., RABUFFETTI M., PEDOTTI A.: Method for the analysis of posture and interface pressure of car drivers. Applied Ergonomics 33, 2002, Seite 511-522

Australien wound Management Association (2001):

AUSTRALIAN WOUND MANAGEMENT ASSOCIATION, PRESSURE ULCER INTEREST SUB-COMMITTEE: Clinical Practice Guidelines for the Prediction and Prevention of Pressure Ulcers, 2001

Bader und Hawken (1986):

BADER D.L., HAWKEN M.B., Pressure distribution under ischium normal subjects, J. Biomed. Eng., Vol. 8, 1986, Seite 353-357

Balzulat (2000):

BALZULAT, J.: Ein holistischer Versuchsansatz zum Sitzverhalten. Dissertation am Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München, 2000

Barkla (1964):

BARKLA D. M.: Chair angles, duration of sitting and comfort ratings. Ergonomics, Vol. 7, 1964, 297-304

Bennett et al. (1979):

BENNETT L., KAVNER D., LEE B.K., TRAINOR F.A.: Shear vs Pressure as Causative Factors in Skin Blood Flow Occlusion, Arch Phys Med Rehabil Vol. 60, July, 1979, Seite 309-314

Literatur

Bhatnager et al. (1985):

BHATNAGER V., DRURY C.G., SCHIRO S.G.: Posture, postural discomfort and performance. Human Factors Vol. 27, No. 2, 1985, Seite 189-199

Bortz 1979:

BORTZ J.: Lehrbuch der Statistik, Korrigierter Nachdruck der ersten Auflage, Springer, 1979

Boucsein (1989):

BOUCSEIN W., Psychophysiologische Meßmethoden in: GRAF S., HOLLING H. & NICHOLSON N. (Hsg.), Arbeits- und Organisationspsychologie, Internationales Handbuch in Schlüsselbegriffen, München: Psychologie Verlags Union, 1989 Seite 389- 396

Branton (1969):

BRANTON P.: Behaviour, Body Mechanics and Diskomfort. Ergonomics, Vol. 12, No. 2, 1969, Seite 316-327

Branton (1984):

BRANTON P.: Backshapes of seated persons-how close can the interface be designed?, Applied Ergonomics, June, 1984, 105-107

Bubb (2003):

BUBB, H.; Skriptum zur Vorlesung Produktergonomie, Lehrstuhl für Ergonomie der TU München, 2003

Bubb (2000):

BUBB H., Ergonomie und Verkehrssicherheit. Lehrstuhl für Ergonomie der TU München, Herbert Utz Verlag München, 2000, ISBN 3-89675-934-5, Seite 141-148

Bubb und Kain (1986):

BUBB H., KAIN V.: Untersuchung über die realitätsbezogene Handhabung von Zeichenschablonen der menschlichen Gestalt. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, Nr. 40, 1982

Literatur

Coelho und Dahlman (1999):

COELHO D. A., DAHLMAN S., A pilot evaluation of car seat side support: Leading to a redefinition of the problem, *Int. Journal of Industrial Ergonomics*, 24, 1999, Seite 201-210

Coermann und Kroemer (1968):

COERMANN R., KROEMER K. H. E.: Ergonomische Gesichtspunkte beim Entwurf von Kraftfahrzeugen. In: *Handbuch der Verkehrsmedizin*, Springer, 1968, Seite 784-818

Congleton et al. (1988):

CONGLETON J.J., AYOUB M.M., SMITH J.L.: The determination of pressures and patterns for the male human buttocks and thigh in sitting utilizing conductive foam. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2, 1988, Seite 192-202

Cooper (1964)

COOPER F.D.: Investigation of pressure distributions on car seats. Paper presented at M.I.R.A. to the Ergonomics Research Society – Industrial Sect., 6 March, 1964

Corlett und Bishop (1976):

CORLETT E. N., BISHOP R. P.: A technique for measuring postural discomfort. *Ergonomics*, 9, 1976, Seite 175-182.

De Looze et al. (2003):

DE LOOZE M. P., KULIT-EVERS L. F. M., VAN DIEEN J.: Sitting comfort and discomfort and the relationships with objective measures. *Ergonomics*, August, 2003, Vol. 46, No. 10, Seite 985 – 997

Demontis und Giacoletto (2002):

DEMONTIS S., GIACOLETTO M.: Prediction of car seat comfort from human-seat interface pressure distribution. SAE Paper No. 2002-01-0781, Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, 2002

Literatur

Diebschlag (1984):

DIEBSCHLAG W., Anatomisch-physiologische Formgebung und Polsterung von Fahrzeugsitzen, 1984, Seite 54 –69.

Diebschlag et al. (1992):

DIEBSCHLAG W., HEIDINGER F., DUPUIS H., HARTUNG E., MEILLER H., Ergonomie des Sitzens: Arbeitsmedizinische und technische Aspekte Sitzgestaltung (Die Bibliothek der Technik Band 68), Verlag Moderne Industrie, 1992, ISBN 3-478-93067-7

Diebschlag und Heidinger:

DIEBSCHLAG W., HEIDINGER F.: Sitzkomfort in Kraftfahrzeugen (Kfz), Umdruck Lehrstuhl, Seiten 1-9

Diebschlag:

DIEBSCHLAG W.: Skriptum zur Vorlesung Arbeitsmedizin von Prof. Dr. med. Dr. Ing. Wilfried Diebschlag, LfE (Lehrstuhl für Ergonomie) der TU München

Diebschlag et al. (1988):

DIEBSCHLAG, W., HEIDINGER, F., KURZ, B., AND HEIBERGER, R.: Recommendation for ergonomics and climatic physiological vehicle seat design, SAE 880055. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, Inc., 1988

Dien et al. (2001):

DIEN J.H., DE LOZE M.P., HERMANS V.: Effects of dynamic office chairs on trunk kinematics, trunk extensor EMG and spinal shrinkage. Ergonomics, Vol. 44, No. 7, 2001, Seite 739-750

Ebe und Griffin (2001):

EBE K., GRIFFIN M.J.: Factors affecting static seat cushion comfort, Ergonomics, Vol. 44, No. 10, 2001, Seite 901-921

Literatur

Ebe und Griffin (2000,1):

EBE K., GRIFFIN M.J.: Qualitative models of seat discomfort including static and dynamic factors, Ergonomics, Vol. 43, No. 6, 2000, Seite 771-790

Ebe und Griffin (2000,2):

EBE K., GRIFFIN M.J., Quantitative prediction of overall seat discomfort, Ergonomics, Vol. 43, No. 6, 2000, Seite 791-806

Estermann (1999):

ESTERMANN S.: Komfortmodellierung für den 3D-Softdummy RAMSIS unter realen Fahrbedingungen. Dissertation am Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München, 1999

Fanger (1973):

FANGER P.O.: Thermal Comfort. Analysis and Applications in Environmental Engineering. New York, 1973

Fenety et al. (2000):

FENETY P.A., PUTNAM C., WALKER J.M.: In-chair movement: validity, reliability and implications for measuring sitting discomfort. Applied Ergonomics, Vol.31, 2000

Floyd und Roberts (1958):

FLOYD W. F. AND ROBERTS D. F.: Anatomical and physiological principles in chair and table design. Ergonomics, Vol. 2, Seite 1-16.

Garret et al. (2001):

GARRET T.K., NEWTON K., STEEDS W., The motor vehicle 13th edition, Reed Educational and Professional Publishing Ltd, Artikel 36.21-Seating & 36.22-The pedal controls, 2001, Seite 952-955

Geuß (1994):

Geuß H.: Entwicklung eines anthropometrischen Meßverfahrens für das CAD-Menschmodell RAMSIS. Dissertation am Lehrstuhl für Ergonomie, 1994

Literatur

Goonetilleke (1998):

GOONETILLEKE R.S.: Designing to minimize discomfort, Ergonomics in Design, Vol. 6, No. 3, July, 1998, Seite 12-19

Goonetilleke und Eng (1994):

GOONETILLEKE R.S., ENG T.J., Contact area effects on discomfort, Proceedings of the human factors and ergonomics society 38 th annual meeting, Santa Monica, CA:Human Factors Society, 1994, Seite 688-690

Gonnetilleke und Heizhou (2001):

GOONETILLEKE R.S., FEIZHOU S., A methodology to determine the optimum seat depth, International Journal of Industrial Ergonomics, 27, 2001, Seite 207-217

Goosens (1994):

GOOSENS R.H.M.: Biomechanics of body support: A study of load distribution, shear, decubitus risk and form of the spine. Dissertation an der Erasmus Universität Rotterdam, ISBN 90-9006806-6, 1994

Grieco (1986):

GRIECO A.: Sitting posture: an old problem and a new one. Ergonomics 29 (3), 1986, Seite 345-362

Gyi und Porter (1999):

GYI D. E., PORTER J. M.: Interface pressure and the prediction of car seat discomfort. Applied Ergonomics, 30, 1999, Seite 99-107

Habsburg und Middendorf:

HABSBURG S., MIDDENDORF L.: Calibrating Comfort: Systematic Studies of Human Responses To Seating, Generals Motors Design Stuff, G.M. Technical Center, Warren, Michigan 48090-9030, USA, Seite 214-222

Haldenwanger (1982):

HALDENWANGER H.-G.: Entwicklung und Erprobung von Sitzen für Personenkraftwagen. Automobiltechnische Zeitschrift 84, 1982

Literatur

Hardy und Oppel (1937):

HARDY J.D., OPPEL T.W.: Studies in temperature sensation. The sensitivity of the body to heat and the spatial summation of the end organ responses. *Journal of Clinical Investigation*, 16, 1937, Seite 533-540

Hartung (2004):

HARTUNG J.; MERGL C.; BUBB H.: Reliability of Pressure Measurement on Car Seats. SAE Paper No. 2004-01-2167, DHMS 2004

Hatta et al. (1985):

HATTA K., UENO Y., NAGASHIMA H.: Study on the cushion characteristics of automobile seats (part 1) – Preference survey in static conditions. *Japanese Journal of Ergonomics*, 23(3), 1987, Seite 173-180 (in Japanisch, englischer Abstract)

Hertzberg (1958):

HERTZBERG H.T.E.: Seat comfort. In R. Hansen, *Annotated Bibliography of Applied Physical Anthropology in Human Engineering* (S. 279-300). Dayton, Ohio, 1958

Hiroshi et al. (1997):

HIROSHI U., TAKAOKI T., SHINICHI U., FUMITAKA Y., EIJI I., YOSHIHISA Y., NOBUHIRO H., AKIHIKO K., KUNIHARU N., HIDEKI U., Low back load in two car driver seats, *Int. Journal of Industrial Ergonomics*, 1997, 20, Seite 215-222

Hontschik und Schmid (1972):

HONTSCHIK H., SCHMID I.: Der Sitz als Verbindungselement von Mensch und Kraftfahrzeug. *ATZ* 74, 4, 1972, Seite 155-161

Inagaki et al. (2000):

INAGAKI H., TAGUCHI T., YASUDA E., IIZUKA Y.: Evaluation of Riding Comfort: From the Viewpoint of the Interaction of the Human Body and Seat for Static, Dynamic, Long Time Driving, *Human Factors in 2000: Driving, Lighting, Seating Comfort, and Harmony in Vehicle Systems*. Society of Automotive Engineers, Warrendale, Pennsylvania, USA,

Literatur

Publication No.SP-1539. Available from American Technical Publishers, Hitchin, Hertfordshire, 2000, ISBN: 0-7680-0589-2, Seite 197-201

Kamijo et al. (1983):

KAMIJO K., TSUJIMURA H., OBARA H., KATSUMATA M.: Evaluation of seating comfort, SAE-Paper-No. 820761, Society of Automotive Engineers, 1983

Krist (1993):

KRIST R.: Modellierung des Sitzkomforts - eine experimentelle Studie. Inaugural-Dissertation an der Philosophisch-Pädagogischen Fakultät der Katholischen Universität Eichstätt, 1993

Lee und Ferraiuolo (1993):

LEE J., FERRAIUOLO P.: Seat Comfort, Ford Company, SAE Technical Paper No. 930105, 1993

Lim et al.:

LIM S., CHUNG M. K., JUNG J., NA S. H., The effect of lumbar support prominence on drivers comfort and body pressure distribution, Department of Industrial Engineering, Pohang University of Science and Technology, Pohang, Republic of Korea

Maslow (1978):

MASLOW A.H.: Motivation und Persönlichkeit. Olten und Freiburg im Breisgau. Walter Verlag, 1978

Mergl (2005):

unveröffentlichte Dissertation am Lehrstuhl für Ergonomie, 2005

Mergl et al. (2005):

MERGL C.; KLENNDAUER M., MANGEN C., BUBB H.: Predicting long term riding comfort in cars by contact forces between human and seat. SAE Paper No. 2005-01-2690, DHMS 2005

Literatur

Michida et al. (2001):

MICHIDA N., OKIYAMA H., NISHIKAWA K., NOUZAWA T.: A study of driver's fatigue mechanisms during long hour driving. SAE Technical Paper Series, Paper No. 2001-01-0381, 2001

Milivojevich et al. (2000):

MILIVOJEVICH A., STANCIU R., RUSS A., BLAIR G.R., VAN HEUMEN J.D.: Psychometric and body pressure distribution to automotive seating comfort, SAE Technical Paper Series, Paper No. 2000-01-0626, 2000

Millet und Pigède (2001):

Millet G., Pignéde D.: The Soft & Firm Seat: How Innovation in Automotive Seating Can Improve the User's Well Being. In: Human Factors in Automotive Design. SAE Technical Paper Series, Paper No. 2001-01-0383, 2000

Moes (2000a):

MOES N.C.C.M.: Distance between the points of maximum pressure for sitting subjects International Design Conference – Design 2000, Dubrovnik, 23.-26. Mai 2000

Moes (2000b):

MOES N.C.C.M.: Pressure distribution and ergonomics. International Design Conference – Design 2000, Dubrovnik, 23.-26. Mai 2000

Moes und Horvath:

MOES N.C.C.M., HORVÁTH I.: Ergonomics considerations for the conceptualization of the shape of body supports, Delft University of Technology, Subfaculty of Industrial Design Engineering, Jaffalaan 9, 2628BX Delft, Netherlands

Müller und Vetter (1954):

MÜLLER E.A., VETTER K.L.: Der Einfluß der Druckbelastung auf die Hautdurchblutung. Z. Arbeitsphysiologie 15, 1954, Seite 295-304

Literatur

Ng et al. (1995):

NG D., CASSAR T., GROSS M.: Evaluation of an intelligent seat system. Applied Ergonomics, Vol. 26, No. 2, 1995, Seite 109-116

Oudenhuijzen et al. (2003):

OUDENHUIJZEN A., TAN K., MORSCH F.: The relationship between seat pressure and comfort. SAE Paper No. 2003-01-2213, 2003

Park et al. (1998):

PARK S., YOUNG S., NAHM Y., LEE J., KIM J.: Seating physical characteristics and subjective comfort: design considerations. SAE Technical Paper Series, Paper No. 980653, 1998

Ranhart (2002):

RANHART, M.: Statischer Sitzkomfort. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München, 2002

Reed et al. (1991):

REED M.P., LEE N.S., SAITO M. KAKISHIMA Y., SCHNEIDER L.W.: An Investigation of Driver Discomfort and Related Seat Design Factors in Extended-Duration Driving, SAE-Paper No. 910117, 1991

Reddy et al. (1981):

REDDY N.P., COSHRAN G.V.B., KROUSKOP T.A., Interstitial fluid flow as a factor in decubitus ulcer formation, J. Biomech., 1981, 14, Seite 879-881

Reddy et al. (1982):

REDDY N.P., PATEL H.D, COSHRAN G. V. B., BRUNSKI J., Model experiments to study the stress distributions in a seated buttock, Journal of Biomechanics, Volume 15, No. 7, Seite 493-504, 1982

Rieck (1969):

RIECK A.: Über die Messung des Sitzkomforts von Autositzen. Ergonomics, Vol. 12, No. 2, 1969, Seite 206-211

Literatur

Riley und Bader (1998):

RILEY S. BADER D.L., Biomechanical measurements of back shape and interface pressures in unsupported sitting, Clin. Biomech., 3, No. 2, 1988

Rühmann (1996):

RÜHMANN H., Ergonomie I (für MW), Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München, Juli, 1996

Sanders und McCormick (1987):

SANDERS M. S., MCCORMICK E. J.: Human Factors in Engineering Design. New York: McGraw Hill, 1987

Schmidt (1977):

SCHMIDT R.F.: Grundriss der Sinnesphysiologie. 3. Auflage, ISBN 3-540-08308-1, Springer, 1977

Schmidt (2001):

SCHMIDT R.F., SCHAIBLE H.: Neuro- und Sinnesphysiologie, 4. Auflage. Springer-Verlag, ISBN 3-540-41347-2, 2001

Schmidt und Thews (1987):

SCHMIDT R., THEWS G.: Psychologie des Menschen, 23. Auflage. Springer-Verlag, ISBN 3-540-16685-8, 1987

Schmidtke (1993):

SCHMIDTKE H.: Ergonomie. Carl Hanser Verlag München, ISBN 3-446-16440-5, 1993

Schmielau (1987):

SCHMIELAU F.: Einführung in die Sinnesphysiologie. Teubner, Stuttgart, ISBN 3-519-03612-6, 1987

Schneider (1971):

SCHNEIDER M.: Einführung in die Physiologie des Menschen. 16. Auflage, Springer-Verlag, ISBN 3-540-05243-7, 1971

Literatur

Shackel et al. (1969):

SHACKEL B., CHIDSEY K. D., SHIPLEY P.: The assessment of chair comfort. *Ergonomics*, Vol. 12, No. 2, 1969, Seite 269-306

Shen und Galer (1993):

SHEN W., GALER I.A.R.: Development of a pressure related assessment model of seating discomfort. *Proceedings of the human factors and ergonomics society 37th annual meeting*, 1993, Seite 831-835

Shen und Parsons (1997):

SHEN W., PARSONS K.C., Validity and reliability of rating scales for seated pressure discomfort, *Int. Journal of Industrial Ergonomics*, 1997, 20, Seite 441-461

Seitz et al. (2000):

Seitz T., Balzulat J., Bubb H: Anthropometry and measurement of posture and motion. *Int. J. of Industrial Ergonomics* 25, Seite 447-453, 2000

Thakurta et al. (1995):

THAKURTA K., KOESTER D., BUSH N., BACHLE S.: Evaluating Short and Long Term Seating Comfort, *SAE Technical Paper Series*, SAE Paper-No.: 950144, 1995

Thomas et al. (1991):

THOMAS R.E. Jr. , CONGLETON J.J., HUCHINGSON R.D., WHITELEY J.R., RODRIGUES C.C., An investigation of relationships between driver comfort, performance and automobile seat type during short term driving tasks, *Int. Journal of Industrial Ergonomics*, 1991, 8, Seite 103-114

Tichauer (1978):

TICHAUER E.R.: *The biomechanical basis of ergonomics*. New York: Wiley, 1978

Treaster und Marras (1987)

TREASTER D., MARRAS W.S.: Measurement of seat pressure distributions, *Human Factors*, 29 (5), 1987, Seite 563-575

Literatur

Uenishi et al. (2000):

UENISHI K., FUJIHASHI K., IMAI H.: A seat ride evaluation method for transient vibrations. SAE Paper No. 2000-01-0641. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, 2000

Vergara und Page (2002)

VERGARA M., PAGE Á., Relationship between comfort and back posture and mobility in sitting-posture, Applied Ergonomics 33 (2002), Seite 1-8, 2002

Wachsler (1960):

WACHSLER R.A., LEARNER D.B.: An analysis of some factors influencing seat comfort. Ergonomics Vol. 3, 1960, Seite 315-320

Wei (2004):

WEIß, C.: "Epidemiologie" im Rahmen des kologischen Kurses 23. Juni 2004. Institut für Med. Statistik, Universitätsklinikum Mannheim, 2004

Wound Care Association (2000):

WOUND CARE ASSOCIATION OF NEW SOUTH WALES INC., Pressure Ulcer Prevention Guidelines – an Expert Consensus Statement, August 2000, www.clininfo.health.nsw.gov.au/wcansw/

Wu et al. (1999):

WU X., RAKHEJA S., BOILEAU P.-É., Distribution of human-seat interface pressure on a soft automotive seat under vertical vibration, Int. Journal of Industrial Ergonomics, 20, 1999, Seite 545-557

Wu et al. (1998):

WU X., RAKHEJA S., BOILEAU P.-É., Study of human-seat interface pressure distribution under vertical vibration, Int. Journal of Industrial Ergonomics, 21, 1998, Seite 433-449

Yamazaki (1992):

YAMAZAKI N.: Analysis of sitting comfortability of driver's seat by contact shape, Ergonomics, Vol. 35 (5/6), 1992, Seite 677-692

Literatur

Zhang et al. (1996):

ZHANG L., HELANDER M.G., DRURY C.G., Identifying factors of comfort and discomfort in sitting, Human Factors, 38 (3), 1996, Seite 377-389

Zhao et al. (1994):

ZHAO L.Q, XIA Q.S, WU X.T.: Study of sitting comfort of automotive seats. SAE Paper No. 945243, Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, 1994

Anhang

A Fragebögen

A.1 Fragebogen zur Erfassung persönlicher Daten und Gewohnheiten

A.2 Fragebogen zur Beurteilung der äußeren Anmutung der Sitze

A.3 Fragebogen zur Erfassung der Einflussfaktoren am Versuchstag

A.4 Fragebögen zur Erfassung der Einflussfaktoren beim Versuch

A.4.1 Forschungsstuhl

A.4.2 Realsitz

A.5 Anleitung zur Unterscheidung zwischen Diskomfort- und Druckempfindung

A.6 Interviewfragebogen

A.7 Bodymaps

A.8 Fragebogen zur Befragung zum Versuch

B Tabellen der „optimalen“ Lastverteilungswerte

B.1 Lehne

B.1.1 Mittelwerte

B.1.2 Standardabweichungen

B.2 Sitzfläche

B.2.1 Mittelwerte

B.2.2 Standardabweichungen

A Fragebögen

A.1 Fragebogen zur Erfassung persönlicher Daten und Gewohnheiten

VP-Nummer _____ Versuchscode _____ Datum _____

*Im Folgenden werden Ihnen einige Fragen zu Ihrer Person und Ihren Gewohnheiten gestellt.
Die hier gemachten Angaben werden selbstverständlich anonym behandelt und nur zum Zwecke der Auswertung dieser Untersuchung eingesetzt.*

BITTE KREUZEN SIE DIE ZUTREFFENDE AUSSAGE ODER ANTWORT AN. BEI OFFENEN FRAGEN SCHREIBEN SIE IHRE ANTWORT BITTE AUF DIE DAFÜR VORGEGEBENE LINIE.

Geburtsjahr _____

Geschlecht _____

Größe _____

Gewicht _____

1. In welchem Jahr haben Sie den Führerschein der Klasse 3 gemacht ? _____

2. Wieviele Kilometer fahren Sie jährlich mit dem Auto ? Kreuzen Sie bitte die entsprechende Zahl an.

- | | |
|--------------------------|---------------------|
| <input type="checkbox"/> | weniger als 5000 km |
| <input type="checkbox"/> | 5.000 - 10.000 km |
| <input type="checkbox"/> | 10.000 - 15.000 km |
| <input type="checkbox"/> | 15.000 - 20.000 km |
| <input type="checkbox"/> | 20.000 - 25.000 km |
| <input type="checkbox"/> | mehr als 25.000 km |

3. Haben Sie ein eigenes Auto ?

- ja, eines
- ja, mehrere
- nein

Wenn ja, welche(s) ? _____

4. Ich fahre ein anderes Auto

- nie
- gelegentlich
- häufig

Wenn ja, welche(s) ? _____

Falls Sie kein eigenes Fahrzeug besitzen, beantworten Sie bitte die nachfolgenden fünf Fragen für das Fahrzeug, das Sie aktuell benutzen.

5. Wie zufrieden sind Sie mit dem Sitz in Ihrem aktuellen Fahrzeug ?

- sehr zufrieden
- zufrieden
- weniger zufrieden
- überhaupt nicht zufrieden

6. Was stört Sie an Ihrem aktuellen Fahrzeugsitz ?

7. Was gefällt Ihnen an Ihrem aktuellen Fahrzeugsitz ?

8. Wie oft fahren Sie selbst ein Kraftfahrzeug ?

- täglich
- mehrmals die Woche
- selten

9. Ich fahre überwiegend (mehrere Antworten möglich) ...

- in der Stadt.
- auf Landstraßen.
- auf Autobahnen.

10. Als welchen Fahrertyp würden Sie sich einstufen ?

- sportlich
- eher sportlich
- teils-teils
- eher komfortorientiert
- komfortorientiert

11. Welchen Beruf oder Haupttätigkeit üben Sie aus ?

12. Welche sportlichen Aktivitäten üben Sie wie oft aus ?

_____ Stunden/Woche: _____

_____ Stunden/Woche: _____

_____ Stunden/Woche: _____

13. Welche Ernährungsgewohnheiten haben Sie ? (Mehrfachantworten möglich)

- | | |
|--------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> | Ich esse viel Fleisch. |
| <input type="checkbox"/> | Ich esse viel Obst. |
| <input type="checkbox"/> | Ich esse viel Gemüse. |
| <input type="checkbox"/> | Ich esse viel Fisch. |
| <input type="checkbox"/> | Ich esse viel Milchprodukte |
| <input type="checkbox"/> | Ich esse viel Getreideprodukte |
| <input type="checkbox"/> | Ich ernähre mich ausgewogen. |
| <input type="checkbox"/> | Ich ernähre mich rein vegetarisch. |
| <input type="checkbox"/> | Ich bin Veganer. |
| <input type="checkbox"/> | Ich ernähre mich nach einer speziellen Diät: _____ |

14. Auf welcher Art von Sitzen sitzen Sie im Laufe des Tages am meisten ? (Mehrfachantworten möglich)

- | | | |
|--------------------------|---------------------|------------------------|
| <input type="checkbox"/> | Fahrzeugsitz | ca. Stunden/Tag: _____ |
| <input type="checkbox"/> | ungepolsteter Stuhl | ca. Stunden/Tag: _____ |
| <input type="checkbox"/> | gepolsterter Stuhl | ca. Stunden/Tag: _____ |
| <input type="checkbox"/> | Couch | ca. Stunden/Tag: _____ |
| <input type="checkbox"/> | Sessel | ca. Stunden/Tag: _____ |
| <input type="checkbox"/> | Bürodrehstuhl | ca. Stunden/Tag: _____ |
| <input type="checkbox"/> | andere: _____ | ca. Stunden/Tag: _____ |

15. Welchen Sitzhärte bevorzugen Sie bei Fahrzeugsitzen ?

- | | |
|--------------------------|------------|
| <input type="checkbox"/> | weich |
| <input type="checkbox"/> | eher weich |
| <input type="checkbox"/> | mittel |
| <input type="checkbox"/> | eher hart |
| <input type="checkbox"/> | hart |

16. Was erwarten Sie von einem guten Fahrzeugsitz ?

A.2 Fragebogen zur Beurteilung der äußeren Anmutung der Sitze

VP-Nummer _____ Versuchscode _____ Datum _____ Uhrzeit _____:_____

Im Folgenden werden Ihnen einige Fragen zum aktuellen Versuchsaufbau gestellt. Diese Fragen sind notwendig, um zu untersuchen, ob andere (nicht im Untersuchungsgegenstand liegende) Umwelteinflüsse einen Effekt auf die Untersuchungsergebnisse haben.

BITTE KREUZEN SIE DIE ZUTREFFENDE ANTWORT AN. BEI OFFENEN FRAGEN SCHREIBEN SIE IHRE ANTWORT BITTE AUF DIE DAFÜR VORGEGEBENE LINIE.

1. Wie gefällt Ihnen die Farbe des Sitzes ?

- gut
- eher gut
- mittelmäßig
- eher schlecht
- schlecht

2. Wie gefällt Ihnen die Form des Sitzes ?

- gut
- eher gut
- mittelmäßig
- eher schlecht
- schlecht

3. Wie gefällt Ihnen der Sitzbezug ?

- gut
- eher gut
- mittelmäßig
- eher schlecht
- schlecht

4. Wie gefällt Ihnen der Sitz insgesamt ?

<input type="checkbox"/>	gut
<input type="checkbox"/>	eher gut
<input type="checkbox"/>	mittelmäßig
<input type="checkbox"/>	eher schlecht
<input type="checkbox"/>	schlecht

5. Wie schätzen Sie dem Komfort des Sitzes ein ?

<input type="checkbox"/>	bequem
<input type="checkbox"/>	eher bequem
<input type="checkbox"/>	teils-teils
<input type="checkbox"/>	eher unbequem
<input type="checkbox"/>	unbequem

6. Wie schätzen Sie die Härte des Sitzes ein ?

<input type="checkbox"/>	weich
<input type="checkbox"/>	eher weich
<input type="checkbox"/>	mittel
<input type="checkbox"/>	eher hart
<input type="checkbox"/>	hart

7. Welchem Sitztyp würden Sie diesen Sitz zuordnen ?

<input type="checkbox"/>	Sportsitz
<input type="checkbox"/>	Komfortsitz
<input type="checkbox"/>	Standardsitz

8. Was fällt Ihnen noch negativ oder positiv an diesem Sitz auf ?

negativ fällt auf: _____

positiv fällt auf: _____

A.3 Fragebogen zur Erfassung der Einflussfaktoren am Versuchstag

VP-Nummer _____ Versuchscode _____ Datum _____ Uhrzeit _____:_____

Im Folgenden werden Ihnen einige Fragen zu Ihrem aktuellen Befinden gestellt. Diese Fragen sind notwendig, um zu untersuchen, ob Ihr aktuelles Befinden eine Auswirkung auf die Untersuchungsergebnisse hat.

BITTE KREUZEN SIE DIE ZUTREFFENDE AUSSAGE ODER ANTWORT AN. BEI OFFENEN FRAGEN SCHREIBEN SIE IHRE ANTWORT BITTE AUF DIE DAFÜR VORGEGEBENE LINIE.

1. Wie haben Sie letzte Nacht geschlafen ?

- gut
- eher gut
- mittelmäßig
- eher schlecht
- schlecht

2. Ich bin um _____ Uhr aufgestanden.

3. Welche Tätigkeit(en) haben Sie bevor Sie hierher gekommen sind ausgeführt (ca. in der letzten Stunde) ?

4. Haben Sie gesundheitliche Probleme, die Sie momentan beeinträchtigen ?

- ja
- nein

5. Wann haben Sie zuletzt gegessen ?

ca. vor _____ Stunden _____ Minuten

6. Was haben Sie zuletzt gegessen ?

7. Welche Bekleidungsstücke tragen Sie am Oberkörper ? (Mehrfachantworten möglich)

- | | |
|--------------------------|---------------|
| <input type="checkbox"/> | Pulli |
| <input type="checkbox"/> | T-Shirt |
| <input type="checkbox"/> | Träger-Shirt |
| <input type="checkbox"/> | Kleid |
| <input type="checkbox"/> | Body |
| <input type="checkbox"/> | Hemd |
| <input type="checkbox"/> | andere: _____ |

8. Welche Bekleidungsstücke tragen Sie am Unterkörper ? (Mehrfachantworten möglich)

- | | |
|--------------------------|----------------|
| <input type="checkbox"/> | Gürtel |
| <input type="checkbox"/> | Stoffhose |
| <input type="checkbox"/> | Stoffhose kurz |
| <input type="checkbox"/> | Jeans |
| <input type="checkbox"/> | Kleid |
| <input type="checkbox"/> | Rock |
| <input type="checkbox"/> | andere: _____ |

A.4 Fragebögen zur Erfassung der Einflussfaktoren beim Versuch

A.4.1 *Forschungsstuhl*

VP-Nummer _____ Versuchscode _____ Datum _____ Uhrzeit _____:_____

Im Folgenden werden Ihnen einige Fragen zu Ihrem aktuellen Befinden gestellt. Diese Fragen sind notwendig, um zu untersuchen, ob andere Umwelteinflüsse einen Effekt auf die Untersuchungsergebnisse haben.

BITTE KREUZEN SIE DIE ZUTREFFENDE AUSSAGE ODER ANTWORT AN. BEI OFFENEN FRAGEN SCHREIBEN SIE IHRE ANTWORT BITTE AUF DIE DAFÜR VORGEGEBENE LINIE.

1. Ich fühle mich ...

- müde
- eher müde
- eher wach
- wach

2. Ich fühle mich gerade ...

- hungrig
- etwas hungrig
- gesättigt
- voll

3. Ich fühle mich ...

- sehr durstig.
- durstig.
- etwas durstig.
- überhaupt nicht durstig.

4. Ich fühle mich gerade ... (Mehrfachantworten möglich)

- angespannt.
- entspannt.
- wütend.
- traurig.
- nervös.

5. Insgesamt fühle ich mich ...

- gut
- eher gut
- mittelmäßig
- eher schlecht
- schlecht

6. Wie empfinden Sie die aktuelle Körperhaltung insgesamt ?

- angenehm
- eher angenehm
- teils-teils
- eher unangenehm
- unangenehm

7. Wie fühlt sich der Sitzbezug an ?

- angenehm
- eher angenehm
- teils-teils
- eher unangenehm.
- unangenehm

8. Wie empfinden Sie die Temperatur auf der Sitzfläche ?

- zu warm.
- eher zu warm.
- weder zu warm noch zu kalt.
- eher zu kalt.
- zu kalt.

9. Wie empfinden Sie die Temperatur auf der Lehnenfläche ?

- zu warm.
- eher zu warm.
- weder zu warm noch zu kalt.
- eher zu kalt.
- zu kalt.

10. Wie empfinden Sie die Umgebungsgeräusche ?

- stören mich nicht
- sind akzeptabel
- sind unangenehm

11. Wie empfinden Sie die Bewegungen der Sitzmaschine ?

- stören mich nicht
- akzeptabel
- eher unangenehm
- unangenehm

12. Das Sitzen auf dieser Sitzmaschine ...

- macht mir nichts aus
- ist eher unbehaglich
- ist unbehaglich

13. Wie empfinden Sie das Licht in diesem Raum insgesamt ?

- angenehm
- eher angenehm
- akzeptabel
- eher unangenehm
- unangenehm

14. Wie empfinden Sie die Helligkeit in diesem Raum ?

- zu hell
- eher zu hell
- gerade richtig
- eher zu dunkel
- zu dunkel

15. Fühlen Sie sich durch irgendeine Lichtquelle geblendet ?

- Ich fühle mich geblendet.
- Ich fühle mich nicht geblendet.

16. Wie empfinden Sie die Temperatur insgesamt ?

- zu kalt.
- eher zu kalt.
- weder zu warm noch zu kalt.
- eher zu warm.
- zu warm.

17. Schwitzen Sie auf dem Sitz ?

- Ich schwitze auf diesem Sitz.
- Ich schwitze leicht auf diesem Sitz.
- Ich schwitze nicht auf diesem Sitz.

18. Bitte beschreiben Sie Ihre Empfindung(en) in dem Körperteil, das Ihnen gerade das größte Unbehagen bereitet.

Körperteil: _____

Empfindung(en): _____

A.4.2 Realsitz

VP-Nummer _____ Versuchscode _____ Datum _____ Uhrzeit _____:_____

Im Folgenden werden Ihnen einige Fragen zu Ihrem aktuellen Befinden gestellt. Diese Fragen sind notwendig, um zu untersuchen, ob andere Umwelteinflüsse einen Effekt auf die Untersuchungsergebnisse haben.

BITTE KREUZEN SIE DIE ZUTREFFENDE AUSSAGE ODER ANTWORT AN. BEI OFFENEN FRAGEN SCHREIBEN SIE IHRE ANTWORT BITTE AUF DIE DAFÜR VORGEGEBENE LINIE.

1. Ich fühle mich ...

- müde
- eher müde
- eher wach
- wach

2. Ich fühle mich gerade ...

- hungrig
- etwas hungrig
- gesättigt
- voll

3. Ich fühle mich ...

- sehr durstig.
- durstig.
- etwas durstig.
- überhaupt nicht durstig.

4. Ich fühle mich gerade ... (Mehrfachantworten möglich)

- angespannt.
- entspannt.
- wütend.
- traurig.
- nervös.

5. Insgesamt fühle ich mich ...

- gut
- eher gut
- mittelmäßig
- eher schlecht
- schlecht

6. Wie empfinden Sie die aktuelle Körperhaltung insgesamt ?

- angenehm
- eher angenehm
- teils-teils
- eher unangenehm
- unangenehm

7. Wie fühlt sich der Sitzbezug an ?

- angenehm
- eher angenehm
- teils-teils
- eher unangenehm.
- unangenehm

8. Wie empfinden Sie die Temperatur auf der Sitzfläche ?

- zu warm.
- eher zu warm.
- weder zu warm noch zu kalt.
- eher zu kalt.
- zu kalt.

9. Wie empfinden Sie die Temperatur auf der Lehnenfläche ?

- zu warm.
- eher zu warm.
- weder zu warm noch zu kalt.
- eher zu kalt.
- zu kalt.

10. Wie empfinden Sie die Umgebungsgeräusche ?

- stören mich nicht
- sind akzeptabel
- sind unangenehm

11. Wie empfinden Sie das Licht in diesem Raum insgesamt ?

- angenehm
- eher angenehm
- akzeptabel
- eher unangenehm
- unangenehm

12. Wie empfinden Sie die Helligkeit in diesem Raum ?

- zu hell
- eher zu hell
- gerade richtig
- eher zu dunkel
- zu dunkel

13. Fühlen Sie sich durch irgendeine Lichtquelle geblendet ?

- Ich fühle mich geblendet.
- Ich fühle mich nicht geblendet.

14. Wie empfinden Sie die Temperatur insgesamt ?

- zu kalt
- eher zu kalt
- weder zu warm noch zu kalt
- eher zu warm
- zu warm

15. Schwitzen Sie auf dem Sitz ?

- Ich schwitze auf diesem Sitz.
- Ich schwitze leicht auf diesem Sitz.
- Ich schwitze nicht auf diesem Sitz.

16. Wie beurteilen Sie die Steuerbarkeit der Fahrsimulation ?

- | | |
|--------------------------|----------------|
| <input type="checkbox"/> | schwierig |
| <input type="checkbox"/> | eher schwierig |
| <input type="checkbox"/> | mittel |
| <input type="checkbox"/> | eher einfach |
| <input type="checkbox"/> | einfach |

17. Welche anderen Dinge (persönliche oder im Versuchsumfeld) bereiten Ihnen im Moment Unbehagen ?

18. Bitte beschreiben Sie Ihre Empfindung(en) in dem Körperteil, das Ihnen gerade das größte Unbehagen bereitet.

Körperteil: _____

Empfindung(en): _____

A.5 Anleitung zur Unterscheidung zwischen Diskomfort- und Druckempfindung

Sie sollen im Nachfolgenden eine Beurteilung des Druckes und Diskomforts, den Sie in verschiedenen Körperbereichen empfinden, durchführen.

Wie bewerte ich den Druck ?

Bei der Druckbewertung sollen Sie beurteilen, wie hoch der Druck ist, den Sie in verschiedenen Körperbereichen verspüren. Sie sollen versuchen den Druck objektiv zu bewerten ohne eine angenehme oder unangenehme Empfindung, die eventuell auftritt, zu berücksichtigen. Die reine Druckbewertung ist somit weder mit einer negativen noch einer positiven Empfindung belegt.

Beispiel:

Stellen Sie sich vor, sie werden von einer Person umarmt. Wenn diese Person jemand ist, für den Sie positive Gefühle empfinden, werden Sie die Umarmung als angenehm empfinden. Wenn Sie für diese Person negative Gefühle haben, werden Sie die Umarmung als unangenehm empfinden. Wichtig im Rahmen dieser Untersuchung ist aber, dass in beiden Fällen der Druck objektiv gesehen gleich ist. Um den Druck objektiv beurteilen zu können, müssen Sie versuchen sich von diesen angenehmen oder auch unangenehmen Gefühlen zu lösen.

Merke: Druck ist neutral.

Wie bewerte ich den Diskomfort ?

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 stark unangenehme Empfindung verspüren.

Wenn Sie zum Beispiel längere Zeit in einer bestimmten Haltung stehen, werden Sie nach einiger Zeit in unterschiedlichen Körperteilen unangenehme Empfindungen verspüren und deshalb intuitiv die Haltung wechseln, ohne dass Sie darüber nachdenken, was die Ursache dafür ist.

Merke: Diskomfort ist unangenehm.

A.6 Interviewfragebogen

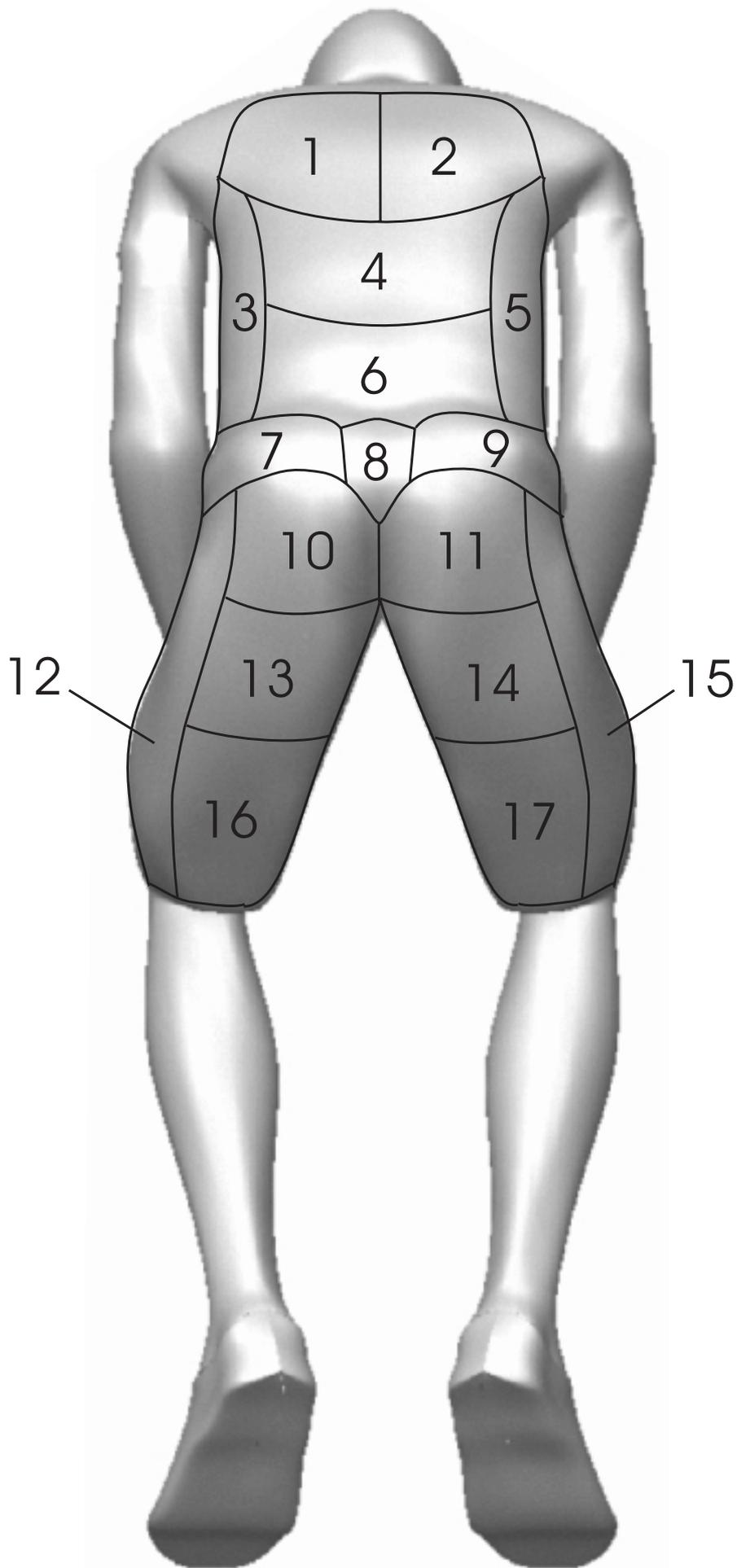
VP-Nummer _____ Versuchscode _____ Datum _____ Uhrzeit _____:

KT	Diskomfort	Akzeptanz 0=akzeptabel 1=eher akzeptabel 2=eher unakzeptabel 3=unakzeptabel	Grund	Druck	Unterstützung
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
insgesamt					

A.7 Bodymaps

Diskomfortbewertung

"Diskomfort ist unangenehm."



	52
	51

	50
	49
	48
	47
	46
sehr starker Diskomfort	45
	44
	43
	42
	41

	40
	39
	38
	37
	36
starker Diskomfort	35
	34
	33
	32
	31

	30
	29
	28
	27
	26
mittlerer Diskomfort	25
	24
	23
	22
	21

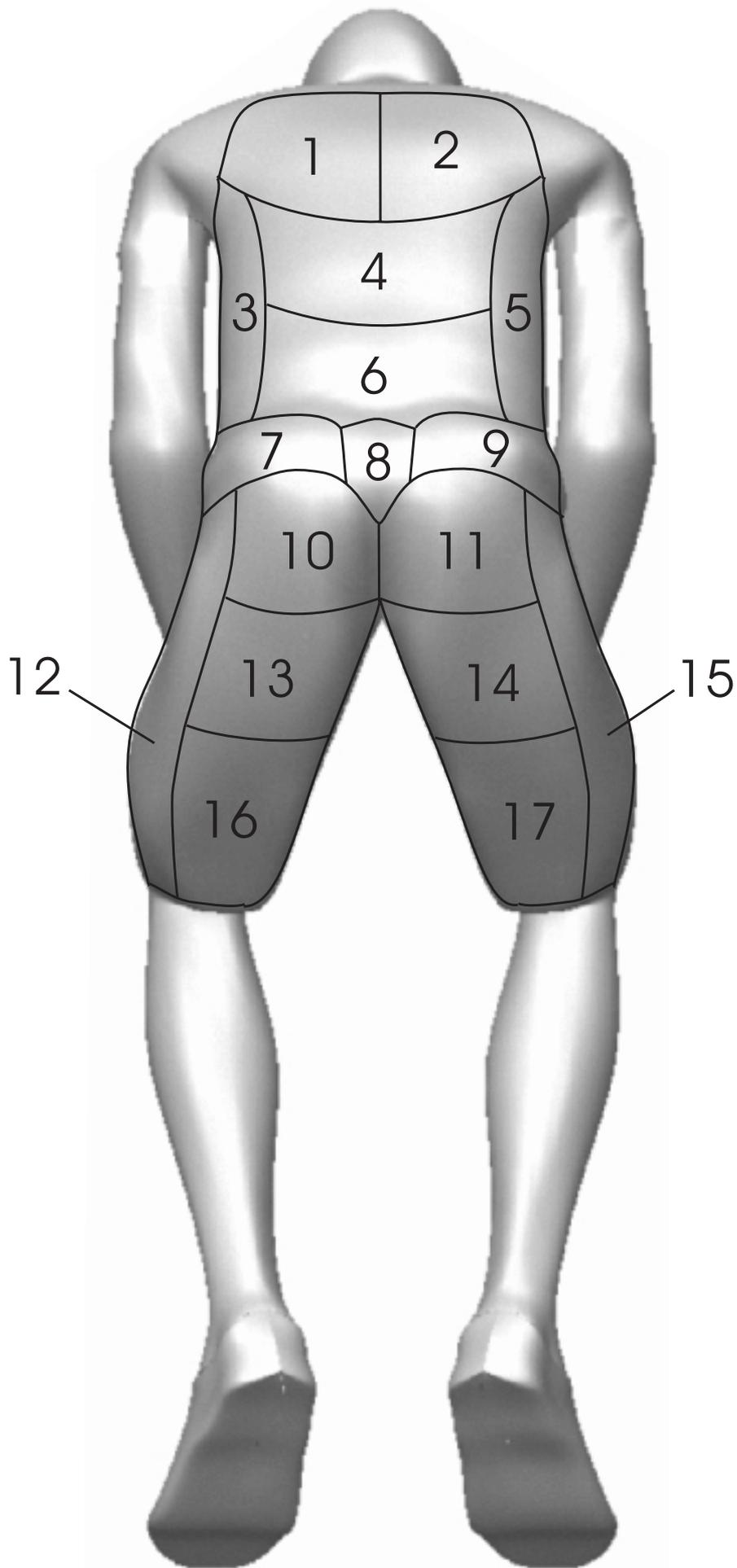
	20
	19
	18
	17
	16
geringer Diskomfort	15
	14
	13
	12
	11

	10
	9
	8
	7
	6
sehr geringer Diskomfort	5
	4
	3
	2
	1

kein Diskomfort	0

Druckbewertung

"Druck ist neutral."



	52
	51

	50
	49
	48
	47
	46
sehr hoher Druck	45
	44
	43
	42
	41

	40
	39
	38
	37
	36
hoher Druck	35
	34
	33
	32
	31

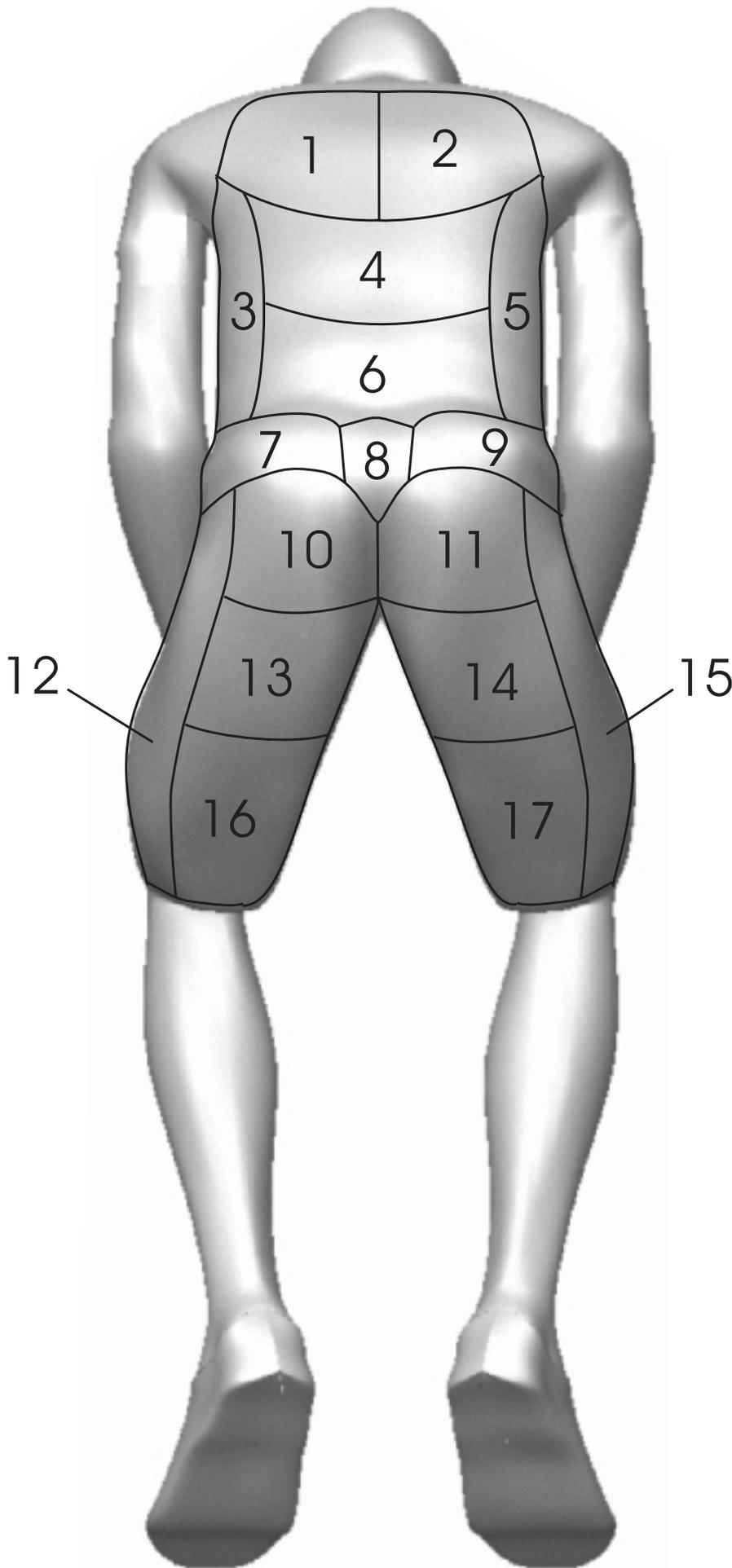
	30
	29
	28
	27
	26
mittlerer Druck	25
	24
	23
	22
	21

	20
	19
	18
	17
	16
niedriger Druck	15
	14
	13
	12
	11

	10
	9
	8
	7
	6
sehr niedriger Druck	5
	4
	3
	2
	1

kein Druck	0

Unterstützung



3 mehr Unterstützung

2

1

0 in Ordnung

-1

-2

-3 weniger Unterstützung

A.8 Fragebogen zur Befragung zum Versuch

VP-Nummer _____ Versuchscode _____ Datum _____ Uhrzeit _____:_____

Nachfolgend haben wir noch einige wichtige Fragen an Sie, die uns bei der Auswertung und Beurteilung der Messdaten weiterhelfen.

BITTE KREUZEN SIE DIE ZUTREFFENDE AUSSAGE/ANTWORT AN. BEI OFFENEN FRAGEN SCHREIBEN SIE IHRE ANTWORT BITTE AUF DIE DAFÜR VORGEGEBENE LINIE.

1. Ich fühlte mich auf dem Forschungsstuhl ...

- sicher
- eher sicher
- eher unsicher
- unsicher

2. Die Aufgabe den **Druck** in den verschiedenen Körperbereichen zu beurteilen empfand ich als ...

- einfach
- eher einfach
- eher schwierig
- schwierig

3. Die Aufgabe den **Diskomfort** in den verschiedenen Körperbereichen zu beurteilen empfand ich als ...

- einfach
- eher einfach
- eher schwierig
- schwierig

4. Die Aufgabe die **Unterstützung des Sitzes** in den verschiedenen Körperbereichen zu beurteilen empfand ich als ...

- einfach
- eher einfach
- eher schwierig
- schwierig

5. Ich bin war mir bei den Beurteilung bzgl. des **Druckes** ...

- sicher
- eher sicher
- eher unsicher
- unsicher

6. Ich bin war mir bei den Wertungen bzgl. des **Diskomforts** ...

- sicher
- eher sicher
- eher unsicher
- unsicher

7. Ich bin war mir bei den Wertungen bzgl. der **Unterstützung des Sitzes** ...

- sicher
- eher sicher
- eher unsicher
- unsicher

8. Die Anzahl der Abstufungen der Bewertungskala für **Druck** war für mich ...

- zu hoch
- eher zu hoch
- genau richtig
- eher zu niedrig
- zu niedrig

9. Die Anzahl der Abstufungen der Bewertungskala für **Diskomfort** war für mich ...

- zu hoch
- eher zu hoch
- genau richtig
- eher zu niedrig
- zu niedrig

10. Die Anzahl der Abstufungen der Bewertungskala für die **Unterstützung des Sitzes** war für mich ...

- zu hoch
- eher zu hoch
- genau richtig
- eher zu niedrig
- zu niedrig

11. Zwischen den Empfindungen Druck und Diskomfort zu unterscheiden war für mich ...

- unmöglich
- schwer
- eher schwer
- eher leicht
- leicht
- überhaupt kein Problem

12. Wie empfanden Sie die Dauer eines Versuches ?

- kurz
- eher kurz
- mittel
- eher lang
- lang

13. Wie war die Sicht auf den Monitor mit der Fahrsimulation ?

- Ich konnte ohne Probleme auf den Monitor sehen.
- Die Sicht auf den Monitor war eingeschränkt.

B Tabellen der „optimalen“ Lastverteilungswerte

B.1 Rücken

B.1.1 Männer

"optimale" Lastverteilung PKW, Rücken, Männer, Mittelwerte

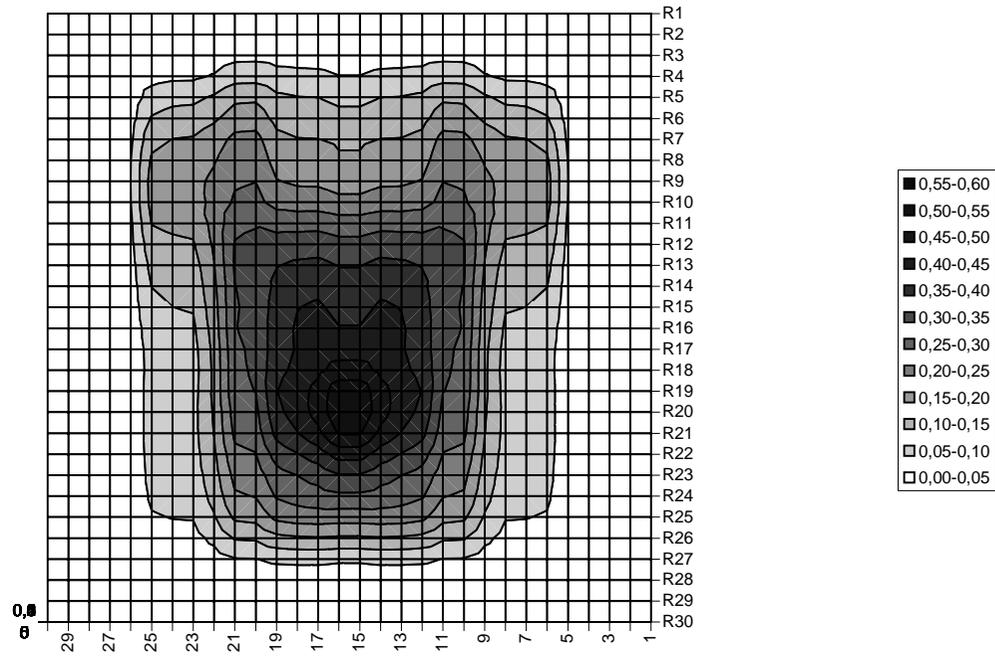
oben																																				
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,03	0,04	0,04	0,05	0,08	0,08	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,08	0,08	0,05	0,04	0,04	0,03	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,07	0,09	0,09	0,11	0,14	0,14	0,11	0,10	0,10	0,09	0,09	0,10	0,10	0,11	0,14	0,14	0,11	0,09	0,09	0,07	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
0,00	0,01	0,02	0,02	0,03	0,10	0,12	0,12	0,14	0,17	0,18	0,13	0,12	0,12	0,11	0,11	0,12	0,12	0,13	0,18	0,17	0,14	0,12	0,12	0,10	0,03	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
0,00	0,01	0,03	0,03	0,04	0,14	0,15	0,15	0,18	0,21	0,22	0,16	0,15	0,15	0,14	0,14	0,15	0,15	0,16	0,22	0,21	0,18	0,15	0,15	0,14	0,04	0,03	0,03	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
0,00	0,01	0,03	0,03	0,05	0,16	0,17	0,18	0,20	0,23	0,23	0,18	0,17	0,17	0,16	0,16	0,17	0,17	0,18	0,23	0,23	0,20	0,18	0,17	0,16	0,05	0,03	0,03	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,01	0,02	0,02	0,05	0,17	0,18	0,19	0,21	0,24	0,25	0,20	0,19	0,19	0,18	0,18	0,19	0,19	0,20	0,25	0,24	0,21	0,19	0,18	0,17	0,05	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,01	0,02	0,02	0,05	0,17	0,18	0,18	0,21	0,26	0,26	0,23	0,23	0,22	0,21	0,21	0,22	0,23	0,23	0,26	0,26	0,21	0,18	0,18	0,17	0,05	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,01	0,02	0,02	0,04	0,15	0,16	0,17	0,21	0,29	0,30	0,28	0,28	0,28	0,27	0,27	0,28	0,28	0,30	0,29	0,21	0,17	0,16	0,15	0,04	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,01	0,02	0,02	0,04	0,13	0,14	0,15	0,21	0,30	0,31	0,32	0,32	0,33	0,32	0,32	0,33	0,32	0,32	0,31	0,30	0,21	0,15	0,14	0,13	0,04	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,01	0,02	0,02	0,03	0,11	0,12	0,13	0,20	0,31	0,31	0,35	0,36	0,36	0,35	0,35	0,36	0,36	0,35	0,31	0,31	0,20	0,13	0,12	0,11	0,03	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,01	0,01	0,01	0,03	0,10	0,11	0,12	0,19	0,30	0,31	0,36	0,38	0,39	0,37	0,37	0,39	0,38	0,36	0,31	0,30	0,19	0,12	0,11	0,10	0,03	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,09	0,10	0,10	0,18	0,30	0,31	0,37	0,40	0,41	0,39	0,39	0,41	0,40	0,37	0,31	0,30	0,18	0,10	0,10	0,09	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,08	0,09	0,09	0,17	0,30	0,31	0,38	0,40	0,41	0,40	0,40	0,41	0,40	0,38	0,31	0,30	0,17	0,09	0,09	0,08	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,07	0,08	0,08	0,16	0,29	0,31	0,38	0,40	0,42	0,43	0,43	0,42	0,40	0,38	0,31	0,29	0,16	0,08	0,08	0,07	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,07	0,07	0,08	0,16	0,29	0,31	0,39	0,41	0,44	0,47	0,47	0,44	0,41	0,39	0,31	0,29	0,16	0,08	0,07	0,07	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,07	0,08	0,08	0,16	0,29	0,30	0,40	0,43	0,47	0,53	0,53	0,47	0,43	0,40	0,30	0,29	0,16	0,08	0,08	0,07	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,07	0,08	0,08	0,16	0,27	0,29	0,39	0,42	0,47	0,54	0,54	0,47	0,42	0,39	0,29	0,27	0,16	0,08	0,08	0,07	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,07	0,08	0,08	0,15	0,26	0,27	0,36	0,40	0,44	0,50	0,50	0,44	0,40	0,36	0,27	0,26	0,15	0,08	0,08	0,07	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,07	0,08	0,08	0,14	0,24	0,25	0,32	0,35	0,38	0,42	0,42	0,38	0,35	0,32	0,25	0,24	0,14	0,08	0,08	0,07	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,07	0,07	0,07	0,13	0,21	0,22	0,28	0,30	0,32	0,35	0,35	0,32	0,30	0,28	0,22	0,21	0,13	0,07	0,07	0,07	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,06	0,06	0,07	0,12	0,19	0,20	0,25	0,27	0,28	0,29	0,29	0,28	0,27	0,25	0,20	0,19	0,12	0,07	0,06	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	0,05	0,05	0,10	0,16	0,17	0,21	0,22	0,23	0,22	0,22	0,23	0,22	0,21	0,17	0,16	0,10	0,05	0,05	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,03	0,06	0,10	0,11	0,14	0,14	0,15	0,14	0,14	0,15	0,14	0,14	0,11	0,10	0,06	0,03	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,03	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,03	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

← 100% Rückenlänge →

unten
← 500 mm →

☐ Werte in % der Gesamtlast auf die Lehnenfläche

"optimale" Lastverteilung PKW, Rücken, Männer, Mittelwerte



"optimale" Lastverteilung PKW, Rücken, Männer, Standardabweichungen

oben																																		
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,05	0,05	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,06	0,07	0,07	0,08	0,11	0,11	0,09	0,09	0,08	0,07	0,07	0,08	0,09	0,09	0,11	0,11	0,08	0,07	0,07	0,06	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,01	0,03	0,03	0,03	0,08	0,09	0,09	0,10	0,12	0,12	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,12	0,12	0,10	0,09	0,09	0,08	0,03	0,03	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,02	0,03	0,03	0,04	0,08	0,09	0,09	0,10	0,12	0,12	0,10	0,09	0,09	0,10	0,10	0,09	0,09	0,10	0,12	0,12	0,10	0,09	0,09	0,08	0,04	0,03	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,02	0,03	0,04	0,04	0,08	0,08	0,08	0,09	0,11	0,11	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,11	0,11	0,09	0,08	0,08	0,08	0,04	0,04	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,02	0,03	0,03	0,05	0,07	0,08	0,08	0,08	0,10	0,11	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,11	0,10	0,08	0,08	0,08	0,07	0,05	0,03	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,02	0,03	0,03	0,05	0,08	0,08	0,08	0,08	0,11	0,11	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,11	0,11	0,08	0,08	0,08	0,08	0,05	0,03	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,02	0,03	0,03	0,04	0,07	0,07	0,07	0,08	0,11	0,12	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,12	0,11	0,08	0,07	0,07	0,07	0,04	0,03	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,02	0,03	0,03	0,04	0,06	0,06	0,06	0,08	0,11	0,12	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,12	0,11	0,08	0,06	0,06	0,06	0,04	0,03	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,01	0,02	0,02	0,03	0,05	0,05	0,06	0,08	0,11	0,11	0,10	0,11	0,11	0,12	0,12	0,11	0,11	0,10	0,11	0,11	0,08	0,06	0,05	0,05	0,03	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,01	0,02	0,02	0,03	0,05	0,05	0,05	0,07	0,10	0,10	0,11	0,13	0,13	0,14	0,14	0,13	0,13	0,11	0,10	0,10	0,07	0,05	0,05	0,05	0,03	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,05	0,05	0,07	0,09	0,10	0,12	0,14	0,14	0,17	0,17	0,14	0,14	0,12	0,10	0,09	0,07	0,05	0,05	0,05	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,05	0,05	0,07	0,09	0,10	0,12	0,14	0,15	0,18	0,18	0,15	0,14	0,12	0,10	0,09	0,07	0,05	0,05	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,04	0,04	0,04	0,07	0,10	0,10	0,13	0,15	0,15	0,20	0,20	0,15	0,15	0,13	0,10	0,10	0,07	0,04	0,04	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,04	0,04	0,04	0,06	0,09	0,10	0,13	0,15	0,16	0,21	0,21	0,16	0,15	0,13	0,10	0,09	0,06	0,04	0,04	0,04	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,04	0,04	0,06	0,09	0,10	0,12	0,14	0,15	0,23	0,23	0,15	0,14	0,12	0,10	0,09	0,06	0,04	0,04	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,04	0,04	0,06	0,09	0,10	0,12	0,14	0,16	0,24	0,24	0,16	0,14	0,12	0,10	0,09	0,06	0,04	0,04	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,05	0,05	0,07	0,10	0,11	0,13	0,16	0,17	0,24	0,24	0,17	0,16	0,13	0,11	0,10	0,07	0,05	0,05	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	0,05	0,05	0,07	0,11	0,11	0,14	0,17	0,17	0,21	0,21	0,17	0,17	0,14	0,11	0,11	0,07	0,05	0,05	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	0,06	0,06	0,08	0,12	0,12	0,16	0,17	0,16	0,18	0,18	0,16	0,17	0,16	0,12	0,12	0,08	0,06	0,06	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	0,06	0,06	0,08	0,12	0,13	0,16	0,18	0,17	0,18	0,18	0,17	0,18	0,16	0,13	0,12	0,08	0,06	0,06	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,05	0,05	0,07	0,12	0,12	0,15	0,16	0,16	0,17	0,17	0,16	0,16	0,15	0,12	0,12	0,07	0,05	0,05	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,03	0,06	0,09	0,09	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,09	0,09	0,06	0,03	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,03	0,05	0,05	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,05	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

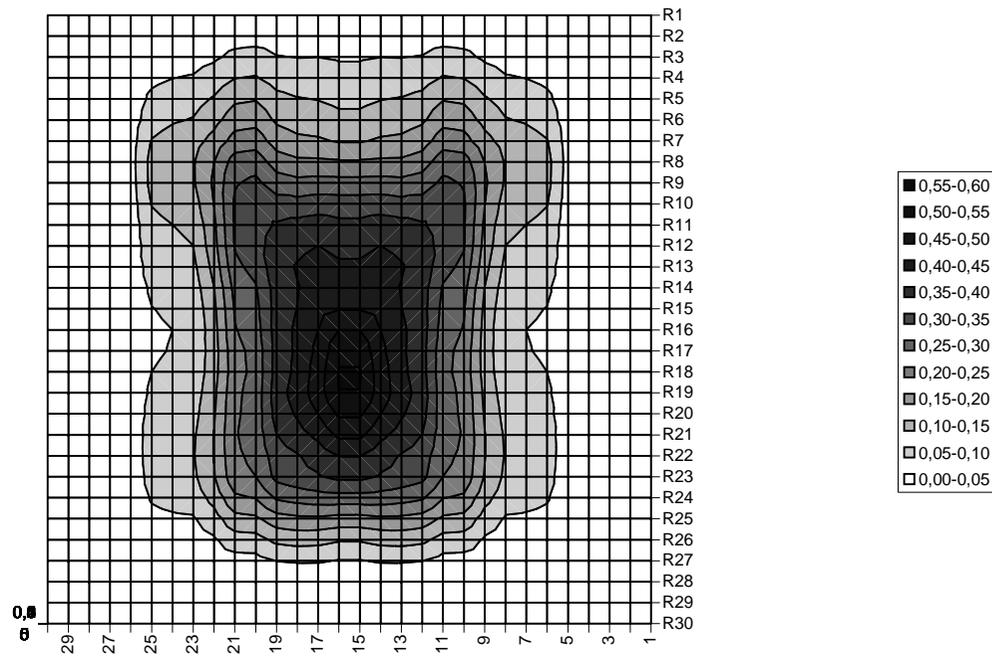
← 100% Rückenlänge →

unten
← 500 mm →

Werte in % der Gesamtlast auf die Lehnenfläche

B.1.2 Frauen

"optimale" Lastverteilung PKW, Rücken, Frauen, Mittelwerte



B.2 Gesäß

B.2.1 Männer

B.2.2 Frauen

"optimale" Lastverteilung PKW, Gesäß, Frauen, Standardabweichungen

hinten																			
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,09	0,09
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,06	0,07	0,10	0,12	0,13	0,15	0,16	0,17	0,16
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,04	0,07	0,13	0,15	0,20	0,22	0,23	0,23	0,24	0,24	0,23
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,06	0,08	0,10	0,18	0,20	0,25	0,28	0,28	0,28	0,29	0,31	0,30	0,28
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,08	0,10	0,12	0,22	0,26	0,30	0,34	0,34	0,34	0,36	0,37	0,37	0,35
0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,11	0,15	0,17	0,31	0,36	0,39	0,40	0,39	0,38	0,39	0,41	0,41	0,39
0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,14	0,19	0,20	0,34	0,40	0,41	0,42	0,41	0,38	0,39	0,43	0,44	0,42
0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,14	0,20	0,21	0,35	0,44	0,43	0,43	0,41	0,37	0,38	0,46	0,47	0,46
0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,04	0,15	0,21	0,22	0,36	0,49	0,48	0,45	0,42	0,34	0,35	0,47	0,49	0,48
0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,04	0,05	0,16	0,23	0,24	0,36	0,52	0,50	0,45	0,43	0,32	0,32	0,45	0,47	0,48
0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,04	0,05	0,15	0,24	0,24	0,33	0,52	0,51	0,44	0,42	0,30	0,28	0,39	0,42	0,44
0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,04	0,05	0,13	0,24	0,25	0,30	0,49	0,48	0,37	0,35	0,24	0,22	0,33	0,39	0,41
0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	0,05	0,12	0,23	0,24	0,27	0,45	0,45	0,34	0,32	0,23	0,19	0,28	0,35	0,38
0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,05	0,10	0,22	0,23	0,25	0,41	0,41	0,31	0,28	0,20	0,16	0,23	0,31	0,33
0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,05	0,09	0,20	0,22	0,23	0,35	0,36	0,26	0,22	0,16	0,12	0,17	0,25	0,28
0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,05	0,08	0,18	0,20	0,21	0,29	0,32	0,24	0,19	0,14	0,10	0,13	0,22	0,24
0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,05	0,07	0,17	0,19	0,20	0,26	0,29	0,23	0,17	0,13	0,08	0,10	0,18	0,20
0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,05	0,06	0,16	0,19	0,19	0,23	0,25	0,20	0,14	0,10	0,06	0,07	0,14	0,16
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,04	0,05	0,14	0,18	0,19	0,21	0,23	0,19	0,12	0,09	0,06	0,06	0,12	0,14
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,04	0,05	0,12	0,17	0,18	0,20	0,21	0,18	0,11	0,08	0,05	0,05	0,10	0,12
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,04	0,10	0,16	0,17	0,18	0,19	0,16	0,10	0,07	0,04	0,04	0,08	0,10
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,03	0,08	0,15	0,16	0,17	0,18	0,16	0,10	0,07	0,04	0,04	0,07	0,09
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,07	0,14	0,15	0,17	0,17	0,15	0,09	0,06	0,04	0,03	0,06	0,08
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,06	0,12	0,14	0,16	0,16	0,14	0,09	0,05	0,03	0,03	0,05	0,07
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,05	0,10	0,13	0,15	0,15	0,14	0,09	0,05	0,03	0,03	0,04	0,06
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,05	0,09	0,12	0,13	0,13	0,12	0,07	0,04	0,02	0,02	0,03	0,04
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,07	0,09	0,10	0,10	0,09	0,06	0,03	0,01	0,01	0,02	0,02
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06	0,07	0,06	0,05	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,04	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

← 100% Oberschenkelänge →

Werte in % der Gesamtlast auf die Sitzfläche
 Werte gehören zum anderen Bein

