# 1 Einleitung

## *1.1 Motivation und Problemstellung*

Sitze üben einen großen Einfluss auf das Komfortempfinden im Fahrzeug aus. Um für eine große Variationsbreite der Kunden optimale Bedingungen bereitstellen zu können, besitzen Fahrzeugsitze eine Reihe von Einstellmöglichkeiten. Mit ihnen kann der Sitz an die individuellen anthropometrischen Bedürfnisse angepasst werden. Im Laufe der Zeit wurden mehr und mehr Funktionen zur Sitzanpassung entwickelt. Moderne Fahrzeugsitze besitzen aktuell bis zu zwölf Sitzeinstellfunktionen, siehe Abbildung 1-1.

1 Sitzlängseinstellung
2 Sitzhöheneinstellung
3 Lehnenneigungseinstellung
4 Sitzflächenneigung
5 Sitztiefe
6 Lehnenkopf
7 Lordosenhöhe
8 Lordosenweite (Intensität)
9 Sitzseitenwangen
10 Lehnenseitenwangen
11 Kopfstützenhöhe
12 Kopfstützenlängsposition

**Abbildung 1-1 Sitzeinstellfunktionen (Quelle: Audi AG)**

Allerdings werden die vorhandenen Sitzeinstellfunktionen häufig nicht genutzt. Sacher (2008) untersuchte das Bedienverhalten von Fahrzeugfunktionen. In der Untersuchung nahmen nur 20% der Probanden vor Beginn der ersten Fahrt eine Sitzlängs- und Sitzhöheneinstellung vor. Ein Sitzeinstellassistent könnte dem Fahrer die aufwändige Anfangskonfiguration des Fahrzeugs erleichtern und Unsicherheiten im Umgang mit den Funktionen zur Sitzeinstellung reduzieren (Sacher, 2008).

Mit der Einstellung der Sitzfunktionen übt der Nutzer Einfluss auf den Sitzkomfort aus. Der Sitzkomfort ist damit nicht nur abhängig von der vom Automobilhersteller



Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

bestimmten technischen Qualität des Sitzes, sondern auch von der vom Nutzer durchgeführten Sitzeinstellung. Bei unvollständiger Sitzeinstellung bleibt das Komfortpotenzial des Sitzes ungenutzt und kann so nicht zur gewünschten Kundenzufriedenheit führen. Eine ungünstige Einstellung kann zudem Diskomfort zur Folge haben (Mergl, 2006; Zenk, 2008).

Im Rahmen dieser Arbeit werden Verfahren entwickelt und untersucht, welche den Nutzer bei der Aufgabe der Sitzeinstellung des Fahrersitzes unterstützen. Dies erleichtert den Einstellvorgang und optimiert durch eine verbesserte Sitzeinstellung den Sitzkomfort. Im Folgenden wird dazu zunächst der Begriff Sitzkomfort definiert und bestehende Verfahren zur Unterstützung bei der Sitzeinstellung vorgestellt. Auf Basis einer Modellierung des Sitzeinstellens werden die Möglichkeiten zur Assistenz analysiert. Darauf aufbauend wird die Zielsetzung präzisiert und die Vorgehensweise der Arbeit vorgestellt.

## *1.2 Definition Sitzkomfort*

Die Empfindungen bezüglich des Sitzkomforts lassen sich nach Zhang et al. (1996) in zwei unterschiedliche Arten einteilen. In einer Cluster-Analyse an Begriffen zum Komfortempfinden identifizierten sie zwei unabhängige Gruppen. Die eine Gruppe beschreibt Aspekte des Gefallens und die andere Gruppe Aspekte des Erleidens. Der Gruppe des Gefallens wiesen sie den Begriff Komfort (comfort), der Gruppe des Erleidens den Begriff Diskomfort (discomfort) zu. Nach dem Modell von Zhang et al. (1996) handelt es sich dabei nicht um das jeweilige Gegenteil und damit nicht um die gegenpoligen Extrema einer kontinuierlichen Skala, sondern um eigenständige Dimensionen, deren Achsen senkrecht zueinander stehen (siehe Abbildung 1-2).

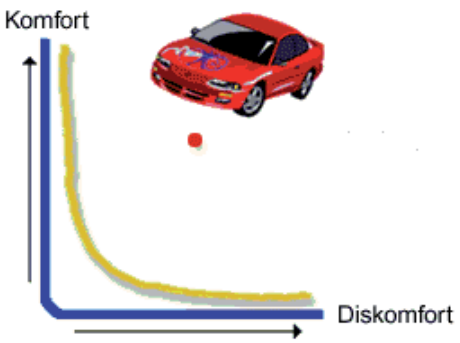


**Abbildung 1-2 Komfort-Diskomfort Modell von Helander et Zhang (Mergl, 2006)**



Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Komfort und Diskomfort können zur selben Zeit empfunden werden (Helander et Zhang, 1997). Ein Beispiel für das gleichzeitige Auftreten dieser beiden Empfindungen ist die Fahrt mit einem Sportwagen (Mergl, 2006). Während der Fahrt kann der Gefallensaspekt (Komfort) sehr hoch sein, obwohl gleichzeitig hohe Diskomforteinflüsse wirken. Diese können beispielsweise die Schwingungen durch das hart gefederte Sportfahrwerk sein.

Komfort wird von vielen subjektiven Einflussfaktoren und Erwartungen geprägt und vor allem durch Design und Ästhetik bestimmt. In objektiven Beurteilungen ist Komfort kaum zugänglich, wohingegen sich Diskomfort größtenteils mit den Methoden der Psychophysik[1] objektivieren lässt (Hartung, 2006). Die vorliegende Arbeit ist auf den Bereich des Diskomforts fokussiert.

Die Unterscheidung zwischen Komfort und Diskomfort erfolgt in der Literatur bisher noch nicht einheitlich (Hartung, 2006). Der Begriff Komfort beschreibt einerseits den Aspekt des Gefallens, andererseits dient er auch als Oberbegriff. In dieser Arbeit findet die Definition von Zhang et al. (1996) Anwendung. In der Literatur etablierte Begriffe wie das Wort „Sitzkomfort“ und „Komfortempfindung“ werden allerdings entsprechend des Allgemeinen Sprachgebrauchs als Oberbegriffe für Gefallen *und* Erleiden verwendet.

Nach der Zeitdauer lässt sich Sitzkomfort in Ansitzkomfort, Kurzzeitkomfort und Langzeitkomfort untergliedern (Hartung, 2006). Ansitzkomfort beschreibt die Empfindungen während des Hinsetzens und der ersten Sekunden auf dem Sitz. Der Bereich des Kurzzeitkomforts umfasst die folgenden 15 bis 30 Minuten. Anschließenden folgt der Langzeitkomfort.

Sitzkomfort setzt sich im Fahrzeug aus statischen und dynamischen Komponenten zusammen (Ebe et Griffin, 2000; Kolich, 2008) und beruht auf mehreren Dimensionen (Mergl, 2006): Der Haltungskomfort bezeichnet die Einflüsse der Körperhaltung. Das Mikroklima hängt vor allem von der Wasserdampfdurchlässigkeit des Sitzes ab. Der Schwingungskomfort wird durch die Schwingungseigenschaften von Fahrwerk und Sitz festgelegt. Der Seitenhalt des Sitzes wird von der seitlichen Unterstützung des Insassen durch den Sitz bestimmt. Die Druckverteilung bezeichnet die sich zwischen Insasse und Sitz wirkenden Druckverhältnisse.

[1] Die Psychophysik beschreibt eine Empfindung als eine Funktion eines Reizes.



Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Von diesen Dimensionen werden vor allem die Körperhaltung und die Druckverteilung durch die Sitzeinstellung beeinflusst. Die Sitzeinstellung gibt zusammen mit den primären Bedienelementen des Fahrzeugs die Körperhaltung vor. Sie verändert außerdem die unterstützende Wirkung des Sitzes und modifiziert damit die Druckverteilung. Über den Anlagedruck in den seitlichen Körperbereichen wird auch der Seitenhalt beeinflusst. Körperhaltung und Druckverteilung stellen demnach Einflussgrößen für eine optimale Sitzeinstellung dar.

### 1.2.1 Körperhaltung

Von besonderem Interesse hinsichtlich der Körperhaltung sind Fahrersitze, da sie neben der eigentlichen Abstützung des Fahrers die Voraussetzungen zum komfortablen und sicheren Führen des Fahrzeugs erfüllen müssen. Die Körperhaltung wird durch die Lage der primären Bedienelemente und durch die Sichtanforderungen beeinflusst. Im Rahmen dieser Restriktionen optimiert der Insasse seine Körperhaltung durch die Einstellung von Sitz und Lenkrad. Dabei werden Körperwinkel angestrebt, die zu einer möglichst entspannten Körperhaltung führen. Weicht ein Gelenkwinkel von seinem Optimalbereich ab, so ist eine Verschlechterung des Komfortempfindens zu erwarten (Estermann, 1999). In der Literatur finden sich Angaben zu optimalen Körperwinkeln, im Allgemeinen Komfortwinkel genannt (siehe Tabelle 1-1).

**Tabelle 1-1 Komfortwinkel in der Literatur (in Grad)**

| | Torso-neigung | Schulter-gelenk | Ellbogen-gelenk | Hüftgelenk | Kniegelenk | Sprung-gelenk |
|---|---|---|---|---|---|---|
| RAMSIS Neutrale Haltung | 27 | 22 | 127 | 99 | 119 | 103 |
| Kahlmeier et Marek (2000) | 15 - 25 | 15 - 35 | 85 - 110 | 85 - 110 | 95 - 120 | 85 - 95 |
| DIN 33408 | - | 38 | 120 | 95 | 125 | 90 |
| Dupius (1983) | - | - | - | 105 - 115 | 110 - 120 | - |
| HdE (1989) | - | - | - | 110 | 145 | 100 |
| Rebiffé (1969) | - | 0 - 25 | 80 - 120 | 95 - 120 | 95 - 135 | 90 - 110 |
| Wallentowitz (1995) | 20 - 30 | 28 | 105 - 115 | 100 - 105 | 110 - 130 | 90 |



Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Komfortwinkel werden in der Entwicklung zur Auslegung des Fahrerarbeitsplatzes verwendet. Früher wurden sie auf zweidimensionale Schablonen angewendet. Mittlerweile erfolgt die ergonomische Innenraumgestaltung mit Hilfe digitaler, dreidimensionaler Menschmodelle. Es existieren zahlreiche kommerzielle Menschmodelle. Eine hohe Verbreitung, insbesondere in der deutschen Automobilindustrie, besitzt das Programm RAMSIS (Rechnergestütztes Anthropologisch-Mathematisches System zur Insassen Simulation). Es wurde im Auftrag der Forschungsvereinigung Automobiltechnik (FAT), Audi, BMW, Ford, Mercedes-Benz, Opel, Porsche, VW und den Sitzherstellern Keiper-Recaro und Naue zur Simulation von realistischen Körperhaltungen im Fahrzeug entwickelt.

Das Menschmodell besteht aus einem kinematischen Skelett und einer Körperoberfläche. Die Körperhaltung eines Manikins[2] wird am kinematischen Skelett mit Gelenkwinkeln manipuliert. Die Körperoberfläche wird durch Scheiben gebildet, die um das Skelett angeordnet sind. Die Abmessungen des Modells sind mit einer anthropometrischen Datenbank verknüpft (Geuß, 1993). Die Haltungssimulation beruht auf einem probabilistischen Haltungsmodell. In einem Mockup wurden Untersuchungen zur Körperhaltung beim Fahren, beim Erreichen von Zielobjekten und beim Umblicken durchgeführt (Geuß, 1993; Seidl, 1994; Krist, 1993). Aus den auftretenden Körperhaltungen entwickelte Seidl (1994) für jeden Freiheitsgrad eines jeden Gelenks eine Verteilungsfunktion. Eine Verteilungsfunktion gibt für alle Winkel die zugehörige Wahrscheinlichkeit für ihr Auftreten an. Unter Vorgabe fahrzeugspezifischer Restriktionen, wie Kontaktpunkte der Füße an den Pedalen und Hände am Lenkrad, wird auf Basis der Verteilungsfunktionen der einzelnen Körpergelenke die Körperhaltung mit der größten Gesamtwahrscheinlichkeit berechnet (Seidl, 1994). Es ergibt sich die für eine Person mit den Körpermaßen des simulierten Menschmodells wahrscheinlichste Körperhaltung und Sitzposition.

Krist (1993) entwickelte für RAMSIS ein Modell zur Prognose des Haltungskomforts von simulierten Körperhaltungen. Damit lassen sich unterschiedliche Körperhaltungen miteinander vergleichen und Fahrzeugkonfigurationen optimieren. Das Komfortprognosemodell von Krist (1993) basiert auf Bewertungen des Komfortempfindens zu unterschiedlichen Körperhaltungen in einer Probandenuntersuchung

[2] In RAMSIS werden die virtuellen CAD-Modelle als Manikins bezeichnet.



Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

in einem Fahrzeugmockup. Estermann (1999) ergänzte Fahrversuche und entwickelte das Komfortmodell weiter. Die Untersuchungen von Krist (1993) und Estermann (1999) weisen einen Zusammenhang zwischen Komfortempfinden und Gelenkwinkeln nach. Bei Abweichungen von optimalen Gelenkwinkeln steigt der Diskomfort. Es zeigen sich allerdings auch Grenzen des Komfortmodells. Insbesondere die Auswirkungen kleinerer Unterschiede in der Sitzposition lassen sich in der Nähe einer optimalen Haltung kaum bewerten.

Einen anderen Ansatz zur Simulation von Körperhaltungen mit einem Menschmodell stellt das sogenannte, ebenfalls in RAMSIS implementierte Krafthaltungsmodell dar. Hier wird für jedes Gelenk die auftretende Momentenbelastung berechnet. Einflussgrößen für statische Simulationen stellen die vom Menschen aufgebrachten aktiv und passiv wirkenden Kräfte, die Restriktionen der Kontaktbedingungen, die Massenkräfte von Körperteilen und die Gleichgewichtsbedingungen dar (Marach, 1999). Die Momente werden in jedem Gelenk mit den möglichen maximal ausführbaren Gelenkmomenten verglichen. In der Haltungssimulation wird die Gesamtbeanspruchung unter Berücksichtigung der definierten Restriktionen minimiert.

Estermann (1999) berechnete in seiner Untersuchung auch die Gelenkmomente. Er konnte keine Zusammenhänge zwischen den Gelenkmomenten und dem Komfortempfinden feststellen und vermutet die Ursache in den geringen Gelenkmomenten im Sitzen. Sabbah (2010) untersuchte für den Einstiegsvorgang Zusammenhänge zwischen Gelenkwinkeln, Gelenkmomenten und Diskomfortbeurteilungen. Dabei konnte er stärkere Zusammenhänge zwischen dem Diskomfort und den Gelenkwinkeln finden als zwischen dem Diskomfort und den Gelenkmomenten. Fröhmel (2010) führte eine Validierung des in RAMSIS implementierten Krafthaltungsmodells in einem variablen Fahrzeugmockup durch. Sie konnte insgesamt keine wesentliche Verbesserung der Haltungsprognose gegenüber dem RAMSIS Wahrscheinlichkeitsmodell feststellen.

Ein weiterer Ansatz zur Prognose von Sitzposition und Körperhaltung ist eine direkte Berechnung der Sitzposition aus Körpermaßen und Fahrzeugparametern anhand von experimentell ermittelten Korrelationen. Reed et al. (2002) stellen eine statistische Methode zur Prognose der Sitzposition aus den anthropometrischen Werten der Körperhöhe und dem Body Mass Index sowie den Fahrzeugparametern



Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

H30-Maß[3], der Höhe des Lenkrads und dem Neigungswinkel der Sitzfläche vor. Die Berechnung beruht nicht auf der Optimierung der Körperhaltung, sondern auf einem empirischen Sitzpositionsmodell. In die Berechnung fließen die Proportionen des Insassen nicht ein, die Einflüsse der Stammlänge auf die Sitzhöheneinstellung werden nicht berücksichtigt.

Bei allen Ansätzen zur Prognose der Körperhaltung führen Simulationen in einem Fahrzeug bei Verwendung gleicher Körpermaße immer zur gleichen Körperhaltung und Sitzposition. In der Realität nehmen Personen mit ähnlichen Körpermaßen jedoch häufig sehr unterschiedliche Körperhaltungen ein (vergleiche Reed et al., 2002; Kolich, 2008).

Auch Fröhmel (2010) stellt große Streuungen der individuellen Sitzeinstellungen von Probandengruppen gleicher Anthropometrie fest. Exemplarisch sind in Abbildung 1-3 die absoluten Häufigkeiten des linken Kniewinkels von Versuchspersonen des 50. Perzentils in einem BMW Z4 dargestellt. Die Abbildung zeigt eine weite Spanne individuell bevorzugter Kniewinkel. Hinweise für eine große Variationsbreite der Gelenkwinkel finden sich unter anderem auch bei Seidl (1994), Krist (1993) und Estermann (1999), ohne konkret thematisiert zu werden. Die Häufigkeitsverteilungen zu den Gelenkwinkeln weisen sehr breite Bereiche auf.

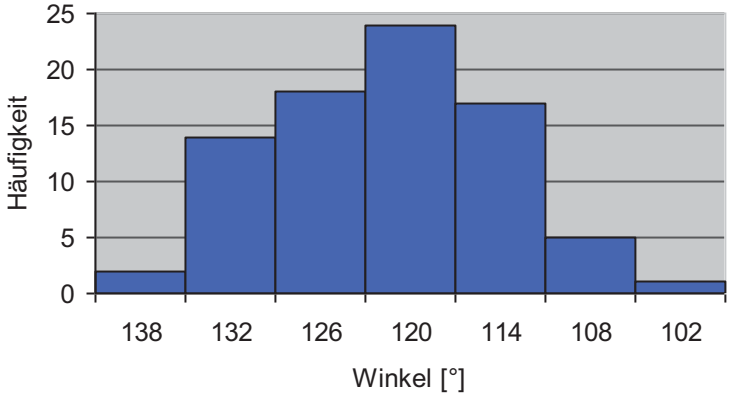


**Abbildung 1-3 Häufigkeitsverteilung des Kniewinkels nach Fröhmel (2010)**

Öffnungswinkel linkes Knie, 50. Perzentil Mann bei individuellen Sitzpositionen in einem BMW Z4

In der Komfortuntersuchung von Krist (1993) bewerteten die Versuchspersonen drei Körperhaltungen. Diese waren die Körperhaltung der individuellen Sitzeinstellung des Probanden selbst, sowie eine von dieser abgeleitete flachere und eine steilere

[3] Höhe des Sitzreferenzpunktes über der Fersenebene



Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Körperhaltung, die durch Sitzeinstellung vorgegeben wurde. Ein zufriedenstellender direkter Zusammenhang zwischen den Gelenkwinkeln und den Komfortwertungen lag zunächst nicht vor. Krist (1993) konnte einen deutlichen Zusammenhang finden, als sie die Wertungen für jeden Probanden auf die jeweilige Optimalhaltung des Probanden normierte. Dieses Komfortmodell beschreibt damit die Verschlechterung des Komfortempfindens bei zunehmender Abweichung von der jeweiligen individuellen Optimalhaltung.

Die mit einem Menschmodell prognostizierte Körperhaltung stellt trotz möglicher individueller Abweichungen eine geeignete Haltung dar. Im Straßenverkehr lassen sich gelegentlich individuelle Extremhaltungen beobachten, die nur eingeschränkt zum sicheren Fahren geeignet scheinen. Aufgabe eines Assistenzsystems ist es nicht, die individuelle Sitzposition eines Nutzers genau wiederzugeben, sondern eine objektiv geeignete Sitzposition zu erzeugen. Eine Untersuchung zur Akzeptanz und subjektiven Bewertung einer durch ein Menschmodell nach objektiven Kriterien prognostizierten Sitzposition ist derzeit in der Literatur nicht zu finden.

Neben der interindividuellen Streuung tritt auch eine intraindividuelle Streuung auf. Mehrmalige Sitzeinstellung durch ein und dieselbe Person führt zu unterschiedlichen Sitzpositionen. In einer Voruntersuchung im Rahmen dieser Arbeit wurde diese Streuung in einem Audi A6 ermittelt. 36 Versuchspersonen stellten sich dazu dreimal hintereinander den elektrisch verstellbaren Sitz und das Lenkrad ein. Zwischen den Einstellungen verließen die Versuchspersonen das Fahrzeug kurz und der Sitz wurde in eine einheitliche Grundposition verfahren. Der Versuch wurde eine Woche später wiederholt. Aus den Sitzeinstellungen wurde für jeden Probanden die Standardabweichung der Sitzpositionen berechnet und diese dann über das Kollektiv gemittelt. Tabelle 1-2 gibt die ermittelten Streuungen der Sitzeinstellung an. Die intraindividuelle Streuung der Sitzpositionen aus beiden Versuchstagen beträgt 12 mm beziehungsweise 7 mm und beinhaltet tagesabhängige Unterschiede.

**Tabelle 1-2 Intraindividuelle Streuung der Sitzeinstellung**

| | x-Richtung (mm) | z-Richtung (mm) |
|---|---|---|
| Tag 1 | 9 | 5 |
| Tag 2 | 9 | 5 |
| Tag 1 und Tag 2 | 12 | 7 |



Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Im Oberkörper wird die Körperhaltung durch die Form der Wirbelsäule bestimmt. Durch ihren Aufbau aus harten Wirbelkörpern und flexiblen Bandscheiben ermöglicht die Wirbelsäule flexible Oberkörperhaltungen. Nachemson (1966) und Wilke et al. (1999) untersuchten die Auswirkungen unterschiedlicher Oberkörperhaltungen auf die Belastung der Bandscheiben. Die Messungen von Nachemson (1966) zeigen bei nicht durch eine Lehne unterstützter, gekrümmter Oberkörperhaltung eine Erhöhung der Bandscheibeninnendrücke gegenüber einer aufrechten Oberkörperhaltung. Die Untersuchungen von Wilke et al. (1999) weisen eine Reduzierung der Drücke in den Bandscheiben bei angelehnter, leicht nach hinten geneigter Oberkörperhaltung nach. Durch die Abstützung an der Lehne wird die Wirbelsäule entlastet. Allgemein gilt vor allem ein Wechsel zwischen unterschiedlichen Haltungen als vorteilhaft.

**Zusammenfassung**

Die Körperhaltung beeinflusst das Komfortempfinden. Komfortwinkel können als Basis für eine Diskomfortreduzierung verwendet werden. Mit einem Menschmodell kann eine objektive Körperhaltung und damit eine geeignete Sitzpositionen einer Person prognostiziert werden. Eine subjektive Bewertung und Akzeptanz-untersuchung von Sitzpositionen, die mit Menschmodellen erzeugt wurden, ist nicht bekannt.

### 1.2.2 Druckverteilung

In der Literatur finden sich zahlreiche Untersuchungen, die auf einen Einfluss der Druckverteilung auf das Komfortempfinden hinweisen.

Shen et Galer (1993) zeigen signifikante Korrelationen des Komfortempfindens mit den Parametern mittlerer Druck, maximaler Druck und maximaler Gradient. Milivojevich et al. (2000) fanden Zusammenhänge zwischen den Drücken unter Sitzbeinhöckern und Oberschenkeln mit Diskomfortbewertungen. Ebe et Griffin (2001) weisen ebenfalls einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Last im Bereich der Sitzbeinhöcker und dem Sitzkomfort nach. Oudenhuijzen et al. (2003) fanden für die Druckverteilung als Ganzes einen Einfluss auf das Komfortempfinden. De Looze et al. (2003) untersuchten in einer Literaturrecherche den Zusammenhang zwischen Komfort beziehungsweise Diskomfort und objektiven Messgrößen. Für die Druckverteilung fanden sie in der Literatur den deutlichsten Zusammenhang zu subjektiven Bewertungen, insbesondere dem Diskomfort.



Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.