

Raphael Zenk

**Objektivierung des Sitzkomforts
und seine automatische Anpassung**



Herbert Utz Verlag · München

Zugl.: Diss., München, Techn. Univ., 2008

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

Titelbild: © activista | werbeatelier – fotolia.com

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH · 2009

ISBN 978-3-8316-0870-6

Printed in Germany
Herbert Utz Verlag GmbH, München
089-277791-00 · www.utzverlag.de

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	5
2	Aktueller Forschungsstand	9
2.1	Literaturüberblick zur Begriffsdefinition von Komfort / Diskomfort.....	9
2.2	Komfortmodelle	11
2.2.1	Zhangsches Komfortmodell	11
2.2.2	Diskomfortpyramide nach Krist.....	13
2.2.3	Komfortmodell nach de Looze	15
2.2.4	Emocard.....	16
2.3	Physiologische Grundlagen.....	18
2.3.1	Simultane Raumschwelle	18
2.3.2	Hautrezeptoren.....	19
2.3.3	Sensitivität von Oberschenkel und Gesäß	21
2.3.4	Bewegungsmuster des Menschen	22
2.4	Objektivierung des Sitzkomforts mittels Druckverteilung	24
2.4.1	Parameter des Sitzkomforts	24
2.4.2	Ideale Druckverteilung.....	25
3	Validierung des Modells mittels Bandscheibendruckmessungen	28
3.1	Medizinische Zusammenhänge	29
3.2	Literaturüberblick zur In-vivo-Bandscheibendruckmessung	32
3.3	Zielsetzung.....	35
3.4	Versuchskonzept.....	36
3.4.1	Methode	36
3.4.2	Versuchsperson	36
3.4.3	Versuchsequipment.....	36
3.5	Operative Vorbereitung des Versuchs	41
3.5.1	Implantierung der Messsonden	41

Inhaltsverzeichnis

3.5.2	Platzierung der Messsonden	43
3.6	Versuchsdurchführung	45
3.7	Ergebnisse	48
3.8	Diskussion der Ergebnisse	50
3.8.1	Abgleich zu bisherigen Studien	50
3.8.2	Abgleich zu Alltagstätigkeiten	53
3.8.3	Abgleich zur bisherigen Diskomfortbewertung	54
4	Identifizierung der relevanten Körperregionen	56
4.1	Versuchsdesign	56
4.2	Versuchsdurchführung	57
4.3	Ergebnisse	59
4.4	Diskussion	60
5	Entwicklung der automatischen Sitzkomfoteinstellung	62
5.1	Technische Grundlagen und Voruntersuchungen	63
5.1.1	Anforderungsadäquate Sensorik	63
5.1.2	Platzierung der Sensorik	65
5.1.3	Sitzaufbau	66
5.1.4	Abgleich zur idealen Druckverteilung	67
5.1.5	Sitzverstellmöglichkeiten und ihre Auswirkungen	69
5.1.6	Reihenfolge der Sitzverstellmöglichkeiten	70
5.2	Regelung und Steuerungsalgorithmus	73
5.2.1	Hardware für Regelung	73
5.2.2	Modell der Regelung	74
5.2.3	Verstellalgorithmus	77
5.2.4	Umsetzung der Regelung	79
5.2.5	Bedienoberfläche	80
5.3	Statische Akzeptanzuntersuchung der automatischen Sitzkomfoteinstellung	81

Inhaltsverzeichnis

5.3.1	Versuchsdesign.....	81
5.3.2	Versuchsdurchführung	84
5.3.3	Ergebnisse	85
5.3.4	Abgleich der automatisch erzeugten Druckverteilungen zur idealen Druckverteilung.....	88
5.4	Eruiierungsuntersuchung der automatischen Sitzkomforteinstellung	90
5.4.1	Versuchsdesign.....	90
5.4.2	Versuchsdurchführung	92
5.4.3	Ergebnisse	92
6	Entwicklungsperspektiven	95
6.1	Ausblick für serientaugliche Anwendung	95
6.1.1	Miniaturisierung.....	95
6.1.2	Gestaltungsregeln	95
6.1.3	Weitere Ausbaustufen	97
6.2	Übertragbarkeit von Fahrer- auf Beifahrerseite.....	98
6.2.1	Beifahrerkörperhaltungen nach Zhang	98
6.2.2	Überprüfung durch Feldstudie	100
6.2.3	Ergebnisse und Diskussion	101
7	Zusammenfassung	102
8	Literatur	104
9	Anhang.....	115

Abkürzungsverzeichnis

ALBV :	Aktive Lehnenbreitenverstellung
ASCA :	Automatic Seat Comfort Adjustment (= Automatische Sitzkomfoteinstellung)
BI :	Bewertungsindex
EMG :	Elektromyogramm
HWS :	Halswirbelsäule
I-Drive :	Fahrzeugbediensystem; mittels eines Dreh-Drück-Stellers, der auf der Mittelkonsole angebracht ist, lassen sich unterschiedlichste Funktionen auf dem zentral befindlichen Display ansteuern
KT :	Körperteil
LBV :	Lehnenbreitenverstellung
LHV :	Lehnenhöhenverstellung
LKV :	Lehnenkopfverstellung
LVN :	Lehnenneigungsverstellung
LTV :	Lehnentiefenverstellung
M. :	Muskulus
MFS :	Multifunktionssitz
Mock-Up :	„Mock-Up“ (englisch) = Attrappe; hier: Bezeichnung für einen Versuchsträger
OC :	occupant classification (= Insassen Klassifizierung)
SA :	Sonderausstattung
SHV :	Sitzhöhenverstellung
SLV :	Sitzlängsverstellung
SNV :	Sitzneigungsverstellung
VP :	Versuchsperson

1 Einleitung

Der Sitzkomfort wird in der Automobilindustrie zu einem immer bedeutsameren Faktor: In unserer Mobilitätsgesellschaft verbringen die Menschen zunehmend mehr Zeit sitzend im Automobil.

So ist es nicht verwunderlich, dass sich der Sitz, die entscheidende Schnittstelle zwischen Fahrzeug und Mensch, in der Entwicklungsgeschichte des Automobils technisch von Grund auf gewandelt hat.

Die geschwungene Karosserieform der repräsentativen Limousine des BMW 502 (Bauzeit von 1954 bis 1961) beispielsweise wurde bald unter dem Namen „Barockengel“ bekannt (Abbildung 1). Wie deutlich an den zwei Verstellhebeln zu erkennen ist, verfügte er bereits damals über eine Sitzlängen- und eine Lehnenneigungsverstellung; die Sitzverstellmöglichkeiten waren aber eher niedrig einzustufen.



Abbildung 1: Historischer BMW 502 (Bj. 1957) im Vergleich mit BMW 760i (Bj. 2006)

Aufgrund der ansteigenden Komfortbedürfnisse der Kunden wurde der Sitz von den führenden Automobilherstellern mittlerweile von einer Konstruktion mit sehr wenigen Sitzverstellmöglichkeiten zu einem 20-fach verstellbaren Multifunktionssitz weiterentwickelt (vgl. Abbildung 1). Dabei lassen sich Sitzlänge, -höhe, -neigung und -tiefe elektrisch verändern; an der Lehne können die Neigung, die Breite, der Lehnenkopf variiert werden, Lordosenhöhen- und -tiefenverstellung kommen hinzu. Zuletzt bleibt noch eine Kopfstützenhöhen- und -tiefenverstellung. Darüber hinaus sind noch eine Massagefunktion sowie Aktivheizung und -belüftung im Sitz verbaut. Diese hochfunktionellen Sitze werden von bis zu neun Motoren bewegt. Die Sitzmotoren können so viele Parameter verstellen, dass man mit Veränderung einer Sitzverstellung weitere Komponenten mitvariiert. Kombinatorisch ergibt sich hierbei eine Anzahl von über 200 Millionen möglicher Einstellungen des Sitzes.

Diese scheinbar erfreuliche Entwicklung hat allerdings ihre Schattenseiten: Eine so komplexe Konstruktion wie der Multifunktionssitz von BMW ist nur sehr schwer manuell zu bedienen. Viele Fahrer scheuen die Zeit und die Mühe, die eine exakte Einstellung erfordern würde, und belassen den Sitz in einer Position, die kein physiologisch gesundes Sitzen erlaubt. Die paradoxe Folge ist, dass der Sitzkomfort durch die Optimierungsversuche der Industrie in praxi mitunter sogar verringert wird.

Zur Lösung dieses Problems sind zwei Fragen zu klären: Zunächst ist zu bestimmen, welche Sitzposition für den Fahrer eines Kraftfahrzeugs ideales, d.h. dauerhaft komfortables Sitzen ermöglicht. Zum anderen muss ein System entwickelt werden, das diese Einstellung automatisch vornimmt, sobald der Fahrer im Fahrzeug Platz genommen hat.

Das Ziel der mit vorliegender Arbeit dokumentierten Forschungen ist es, eine solche automatische Sitzkomfoteinstellung zu generieren, die den Insassen eines Fahrzeugs unterstützt, die mannigfaltigen Einstellmöglichkeiten des Sitzes in den Griff zu bekommen, ohne die geschaffenen Verstellmöglichkeiten zu reduzieren.

Nur auf diese Weise kann bei hohem Bedienkomfort für den Fahrer ein optimales physiologisches Sitzen ermöglicht werden.

In Abbildung 2 ist der Weg dargestellt, der hierfür beschritten werden muss.

Zunächst ist klar zu bestimmen, unter welchen Bedingungen eine Sitzeinstellung als optimal gelten kann. Hierfür wird auf der Grundlage einer Klärung der Begrifflichkeiten Komfort und Diskomfort über grundlegende Faktoren des Sitzkomforts und die physiologischen Grundlagen reflektiert (s. Kap. 2).

Für die subjektive Empfindung des Sitzkomforts muss hiervon ausgehend eine objektive Größe gefunden werden, die Werte zur Einstellung einer automatischen Sitzeinstellung liefern könnte. Den Forschungen zur idealen Druckverteilung fehlt bislang eine medizinische Validierung, bevor sie als Grundlage für ein neues Sitzkonzept herangezogen werden können. Hierfür soll eine intradiskale Druckmessung durchgeführt werden, bei der durch einen endoskopischen Eingriff am lebenden Menschen zwei Druckaufnehmer in die Bandscheiben im unteren Rückenbereich implantiert werden. Eine solche In-vivo-Bandscheibendruckmessung kann einen objektiven Messwert liefern, der bestimmend für die Forschung des Sitzkomforts ist (s. Kap. 3).

Anschließend sollen im Hinblick auf eine automatische Sitzkomfoteinstellung Körperregionen identifiziert werden, die ausschlaggebend für das Komfortempfinden stehen, um gezielt auf diese Regionen eingehen zu können (s. Kap.4).

Auf dieser Basis kann sodann der zweite Teil des Projekts erfolgen: die technische Umsetzung der medizinischen Erkenntnisse in die Konstruktion einer Apparatur zur automatischen Einstellung des Sitzes nach physiologischen Gesichtspunkten. Die Funktionsweise dieses Systems soll in ihren einzelnen Entwicklungsschritten nachvollziehbar gemacht werden (s. Kap. 5).

Eine umfangreiche statische Probandenstudie und erste Eruierungsuntersuchungen im Alltagsgebrauch der automatischen Sitzkomfoteinstellung sollen der Validierung der Funktionsweise des Systems und der idealen Druckverteilung dienen (s. Kap. 6).

Stellt sich das Konzept der Automatisierung auf Basis der idealen Druckverteilung als stimmig heraus, kann durch diese Arbeit der Kreis der Objektivierung des Sitzkomforts geschlossen werden.

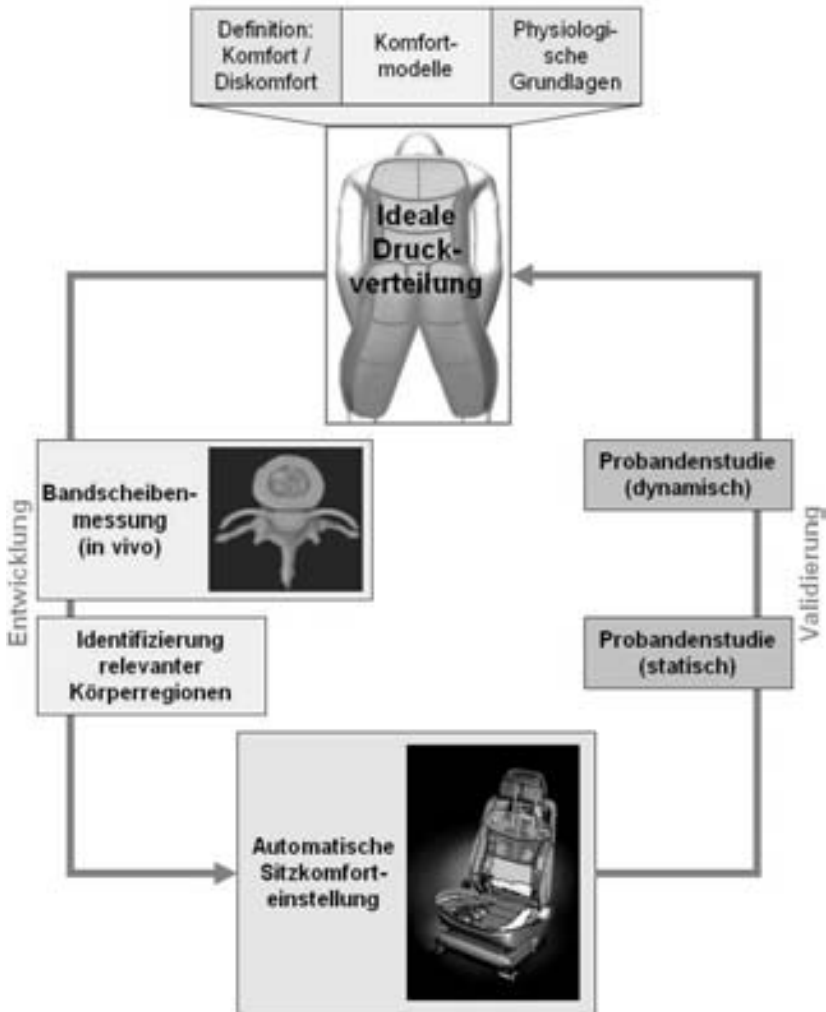


Abbildung 2: Veranschaulichung des Vorgehens zur automatischen Sitzkomfoteinstellung

2 Aktueller Forschungsstand

Um eine Basis für die weitere Arbeit zu schaffen, wird der Stand der aktuellen Forschung zur Objektivierung des Sitzkomforts anhand eines Literaturüberblicks dargestellt.

2.1 Literaturüberblick zur Begriffsdefinition von Komfort / Diskomfort

Slater (1985) versucht den Begriff Komfort in eine wissenschaftliche Definition zu packen: „Komfort sei ein angenehmer Zustand von physiologischer, psychologischer und physikalischer Harmonie zwischen dem Menschen und der Umgebung.“

Branton (1996) gibt zu bedenken, dass Komfort nicht notwendigerweise einen positiven Effekt zur Folge haben müsse.

Kempfert (1999) beschreibt Komfort als ein subjektives Erleben eines Individuums innerhalb eines komplexen, heterogenen Bewertungskonglomerats. Daher differenziert er „Komfort“ in drei verschiedene Ebenen:

Auf der ersten Ebene stehen hierbei die Reaktionen auf einzelne Sinnesempfindungen, die von den meisten Personen ähnlich erlebt und gewichtet werden. Bewertungen sind in diesem Zusammenhang hauptsächlich durch physische Unterschiede und das individuelle Anspruchsniveau zu erklären. Dies erfolgt spontan und kann unverzüglich verbalisiert werden. Zu beachten ist hierbei, dass sich die Komfortempfindung bei längerer Reizexposition verändern kann.

Die nächste Ebene wird von Aspekten der Bequemlichkeit und Belastungsreduktion gebildet. Diese Stufe ist von der individuellen Gewohnheit einer Person abhängig und tritt erst bei längeren Benutzungszeiträumen auf.

Die dritte Ebene des Komfortkonglomerats bilden die handlungs- und aufgabenbezogenen Bewertungen, die in starker Abhängigkeit von individuellen Bedürfnissen stehen. Daher sind hier sehr große Unterschiede von Individuum zu Individuum zu erwarten.

De Looze (2002) betont daher dreierlei: Komfort ist ein Konstrukt von subjektiver, persönlich definierter Natur; Komfort wird von unterschiedlichen Faktoren (physikalisch, physiologisch und psychologisch) beeinflusst; und Komfort ist eine Reaktion auf die Umwelt.

Vink (2002) unterscheidet in Bezug auf Komfort drei Zustände: Ein Vorhandensein von Diskomfort, der aufgrund der physikalischen Störung der Umwelt erlebt wird. An zweiter Stelle lässt sich der Zustand „Kein Diskomfort“ anführen. Als dritten möglichen Zustand führt Vink an, dass Komfort aktiv wahrgenommen wird. Man fühlt sich komfortabel, wenn man wahrnehmbar mehr Komfort erlebt, als man erwartet hat.

Bubb (2003) weist darauf hin, dass Komfort gemäß dem allgemeinen Sprachgebrauch mit Begriffen wie Behaglichkeit, Bequemlichkeit, Zufriedenheit und Luxus verbunden ist. Das Webster's Third New International Dictionary of the English Language (1981) gibt folgende Auskunft: „Komfort ist ein Zustand der Entlastung (relief), der Unterstützung (encouragement) und des Gefallens (enjoyment).“

Oben angeführte Studien haben gezeigt, dass Diskomfort hauptsächlich in Verbindung mit physiologischen und biomechanischen Faktoren zu sehen ist, während Komfort besonders mit der Ästhetik in Verbindung gebracht wird.

Komfort und Diskomfort sind also keine Antonyme im eigentlichen Sinne. Tatsächlich sind sie zwei unterschiedliche Größen, die von verschiedenen unterschiedlichen Variablen beeinflusst werden.

Knoll (2007) stellt fest, dass Stühle als komfortabler wahrgenommen, wenn sie besser gefallen. Das Design lässt sich gezielt zur Komfortsteigerung einsetzen. Dieser Einfluss nimmt allerdings mit zunehmender Zeit im Vergleich zum rein visuellen Kontakt ab. Daraus lässt sich vermuten, dass die physikalische Beschaffenheit des Stuhles in den Vordergrund tritt, je länger die Sitzdauer ist.

Für den Sitzentwickler bedeutet dies, dass Diskomfort durch physikalisch gut ausgelegte Produkte reduziert werden muss. Weitaus herausfordernder ist aber die Rolle des Komforts, die deutlich über eine physikalische Optimierung hinausgeht. Dabei sind dem Endbenutzer eine Erzeugung von Gefühlen der Sicherheit, ein Übertreffen der Erwartungen oder selbst provozierende „Wow-Sensations“ wichtig.

2.2 Komfortmodelle

Zum besseren Überblick soll der Komfortbegriff nun in anschaulichen Modellen erörtert werden.

2.2.1 Zhangsches Komfortmodell

Zhang, Helander und Drury zeigen 1996 auf (vgl. Abbildung 3), dass Komfort und Diskomfort zwei unterschiedliche Dimensionen darstellen und nicht, wie ursprünglich in der Arbeitswissenschaft angenommen, zwei Extreme auf ein und derselben Skala subjektiven Empfindens bilden. Diskomfort ist vor allem mit physiologischen und biomechanischen Faktoren verbunden, während Komfort hauptsächlich mit Aspekten der Ästhetik zusammenhängt. Diese Definition hebt hervor, dass Komfort ein facettenreiches, von mehreren Faktoren beeinflusstes Konstrukt ist – und nicht lediglich das Gegenteil von Diskomfort.

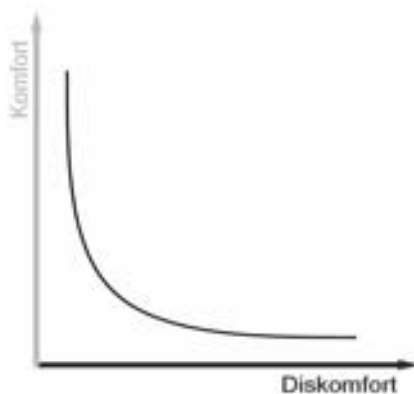


Abbildung 3: Zhangsche Komfortmodell (1996)

Bubb (2003) unterscheidet klar zwischen den zwei Konzepten von Komfort und Diskomfort, die als zwei Orthogonalen zueinander gesehen werden können. Dabei wird der Diskomfort mit „Erleiden“, Komfort mit „Gefallen“ in Verbindung gebracht. Nur das Feld des Diskomforts kann mit Methoden der Psycho-Physik untersucht werden, während der Aspekt des Komforts in enger Verbindung mit der Ästhetik und dem Industrial Design steht.

Diskomfort wird mit biomechanischen Faktoren in Verbindung gebracht (Gelenkwinkel, Muskelanspannung, Druckverteilung), die Gefühle von Schmerz, Taubheit, Steifigkeit etc. hervorrufen. Eindrücke von Diskomfort steigen über die Dauer der Aufgabe und mit der Ermüdung an.

Komfort wird in Verbindung mit Gefühlen von Entspannung und Wohlbefinden gebracht. Zusätzlich kann der Sinneseindruck von Komfort durch das ästhetische Design erweitert werden. Man denke an das Beispiel des „rassigen“ Sportwagens mit unbequemer Sitzposition, bei der die Macht des Gefallens eine entscheidende Rolle spielt. Auch hier lehrt die Erfahrung, „dass der Mensch bereit ist, für Schönheit zu leiden“ (Bubb, 2004).

Um sprachliche Verwirrung zu vermeiden, definiert Knoll (2006) „Komfort“ als Resultat aus den beiden Variablen „Gefallen“ und „Nicht-Erleiden“. Schematisch könnte ein Zusammenhang bestehen, wie ihn Abbildung 4 zeigt. Dabei geben die Geraden Kombinationen gleichen Komfortgefühls an; mit zunehmendem Abstand vom Koordinatenursprung wächst der Komfort.

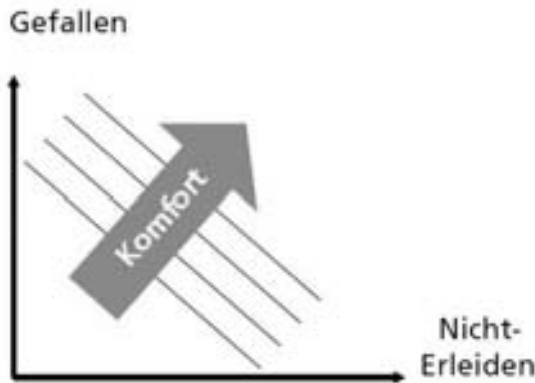


Abbildung 4: Komfort als Ergebnis aus Gefallen (Designqualität) und Nicht-Erleiden (ergonomische Qualität) (Knoll, 2006)

Man würde die Macht des Gefallens überschätzen, wenn man erwartet, dass es alle ergonomischen Nachteile kompensieren kann – dies dürfte nur zu einem gewissen Grad möglich sein, ab dem das durch die Nachteile hervorgerufene Erleiden wieder wahrnehmbar wird und das Wohlbefinden beeinträchtigt.

Umgekehrt heißt das aber auch, dass sich der Komfort aufgrund ohnehin guter ergonomischer Qualität (hohes Maß an Nicht-Erleiden) durch das Gefallen weiter steigern lässt. Diese Sprachregelung und die zugehörige Darstellung kann als alternative Form des Zhangschen Modells angesehen werden.

Eine deutliche Korrelation zwischen Komfortempfinden und Gefallen stellte Knoll (2006) anhand von drei Bürostühle mit gleichermaßen guten ergonomischen

3 Validierung des Modells mittels Bandscheibendruckmessungen

Nordin (2004) beschreibt, dass über viele Jahre hinweg das Sitzen als einer der Hauptrisikofaktoren für Rückenschmerzen angesehen wurde. In einer umfassenden Literaturrecherche über den Zusammenhang zwischen Sitzen und Rückschmerzen stellt sie demgegenüber fest, dass das Sitzen allein keine erhöhte Korrelation mit Rückenschmerzen zeigt; erst in Kombination mit anderen Koexpositionen wie Ganzkörpervibration oder Zwangshaltungen löst das Sitzen Rückenschmerzen aus.

Bei der Fahraufgabe muss eine solche Zwangshaltung eingenommen werden, da bei dieser Tätigkeit beide Hände am Lenkrad und die Füße auf der Pedalerie verharren. Insofern kann das Sitzen auf dem Fahrzeugsitz auf längere Dauer durchaus Rückenschmerzen verursachen. In diesem Kapitel sollen verschiedene Haltungen des Fahrers näher betrachtet und bezüglich ihrer physiologischen Auswirkungen analysiert werden.

Als zentrales Untersuchungsmittel diene dabei eine In-vivo-Bandscheibendruckmessung, also die Messung des Bandscheibendrucks an einer lebenden Person in unterschiedlichen Sitzpositionen.

Auf den ersten Blick erscheint es fraglich, ob eine solche Untersuchung des Bandscheibendrucks überhaupt geeignet für Aussagen über den Rückenschmerz ist. Der Bandscheibendruck selbst nämlich ist nicht die Ursache für Rückenschmerzen, da die Bandscheibe nicht mit Gefäßen versorgt ist (Neidlinger-Wilke, 2004). Rückenschmerzen entstehen fast immer aufgrund von Fehlbelastungen und Fehlhaltungen, was zu einer Dauerbelastung der beanspruchten Muskeln im Bereich der Wirbelsäule und somit zu einer Muskelverspannung führt. Auch unter psychischer Unzufriedenheit und Anspannung lässt sich erhöhte Muskelanspannung im Rücken- und insbesondere im Nackenbereich feststellen. Nichtsdestotrotz ist der Bandscheibendruck aber nachweislich ein Indikator für eine erhöhte Muskelanspannung im Rückenbereich (Nachemson, 1966), die ihrerseits wiederum den Rückenschmerz verursacht. Für die durch Bandscheibenfehlbelastungen ausgelösten Muskelverspannungen und die hierdurch bedingten Rückenschmerzen bieten In-vivo-Untersuchungen daher sehr aussagekräftige Untersuchungsergebnisse, da lebensnahe und natürliche physiologische Verhältnisse vorliegen.

3.1 Medizinische Zusammenhänge

Für die Untersuchung der Bandscheibendruckmessung ist es entscheidend, die anatomischen Einflüsse der Wirbelsäule in Betracht zu ziehen. Die Druckveränderungen der Bandscheibe in der Lendenwirbelsäule können auf unterschiedlichste Einflüsse zurückgeführt werden. Als erstes lässt sich ein allgemein bekannter Grund anführen: Um eine Körperhaltung – egal welche – einzunehmen, muss in irgendeiner Körperregion eine Muskelanspannung erfolgen, wodurch der Druck in der Bandscheibe ansteigt. Eine weitere Möglichkeit der Erklärung für eine Druckveränderung durch Wirbelsäulenbewegungen kann die anatomische Beschaffenheit um den Wirbelkörper herum sein.

Eine wichtige Rolle für die Druckveränderung spielen die Ligamente (Kapandji, 1985). Einige von ihnen haben eine überwiegend bewegungslimitierende Funktion (Hüfte); aber ansonsten für die Bewegungsführung eine untergeordnete Bedeutung. Andere Ligamente, etwa das vordere und hintere Kreuzband, haben eine überwiegend bewegungsführende Funktion. Ein dritter Typ von Ligamenten hat die Funktion, verbundene Knochenanteile in ihrer funktionellen Kongruenz über den gesamten Bewegungsbereich in der Funktionsstellung zu halten, so wie die Wirbelkörper der Wirbelsäule. Dementsprechend werden die Wirbelgelenke durch die Bandverbindungen stabilisiert.

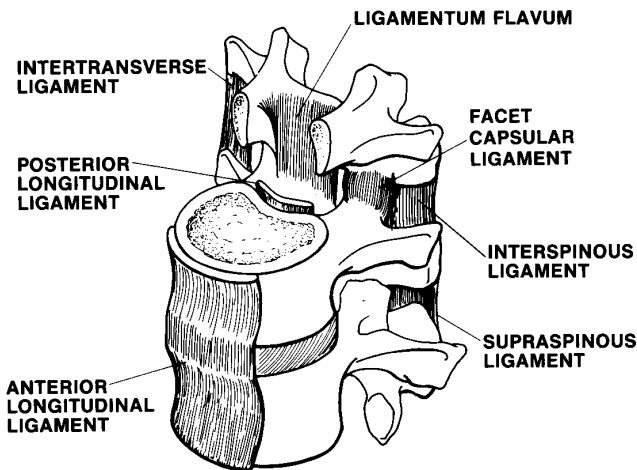


Abbildung 15: Ansicht (ventrolateral) zweier Wirbelkörper mit Bandapparat (White, Panjabi, 1978)

Bereits ohne Belastung besteht ein geringer Druck in der Bandscheibe. Dieser wird durch die elastische Vorspannung der Bänder, die das Wirbelgelenk überbrücken, verursacht (Brinckmann, 2004). White und Panjabi (1978) beschreiben detailliert (vgl. Abbildung 15), dass die Ligamenta flava – zwischen den Wirbelbögen ausgespannt – auch im Ruhezustand unter Spannung stehen. Bei Beugung der Wirbelsäule werden diese stärker gedehnt, überwiegend wird aber die Bandscheibe komprimiert, da der Bandapparat aufgrund seiner Vorspannung eher bewegungslimitierend wirkt.

Im Ruhezustand produzieren die Ligamente – besonders das Ligamentum flavum – einen Ruhedruck auf die Bandscheiben und gewährleisten so die Stabilität des Rückgrats. Falls die Wirbelsäule – insbesondere die Lendenwirbelsäule – eine neutrale Körperhaltung verlässt, beispielsweise bei Bewegung des Beckens, steigt der Druck in der Bandscheibe an.

Alle Wirbelkörper sind mit Facetten verbunden. White und Panjabi (1978) zeigen, dass der Bereich L4-L5 und L5-S1 dem höchsten Druck ausgesetzt ist und zudem dazu neigt, die meiste Bewegung zu leisten. Untersuchungen von Wilke (2004) haben gezeigt, dass Druckveränderung in den Bandscheiben bei unterschiedlichen Körperhaltungen auftreten. So liegt es nahe, dass auch in unterschiedlichen Fahrzeugsitzpositionen der Druck in der Bandscheibe variiert.

White, Panjabi (1978) und Kendall (2001) beschreiben, dass für eine Druckveränderung in der Bandscheibe der Musculus iliopsoas (Lenden-Darmbeinmuskel) – insbesondere der Musculus psoas major (großer Lendenmuskel) – verantwortlich sein muss (vgl. Abbildung 16).

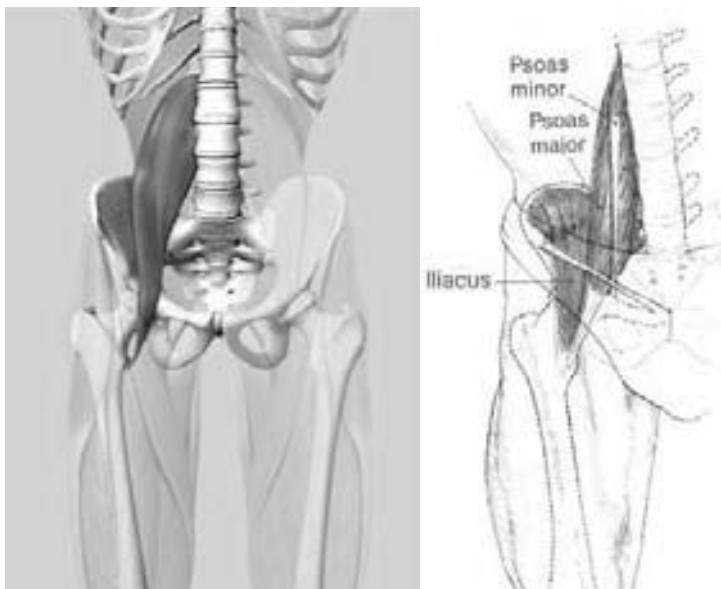


Abbildung 16: Musculus iliopsoas (Psoas minor, Psoas major, Iliacus) – Kendall (2001)

Die Ansatzstellen des Muskels sind die lateralen Seiten des Wirbelkörpers und die der Bandscheiben L1-L5. Seinen Ursprung hat der Muskel an der Spitze des Oberschenkelhalses auf der Innenseite, dem sog. Trochanter minor (kleiner Rollhügel). Der Musculus psoas major ist der stärkste Hüftbeuger des Menschen. Des Weiteren bewirkt er bei beidseitiger Anspannung eine Beugung in der Wirbelsäule. Durch das Abkippen des Beckens bei kyphotischem Sitzen muss dieser Muskel Haltearbeit leisten, was auf Dauer Rückenschmerzen verursachen kann. Darüber hinaus ist bekannt, dass die Form der Lendenwirbelsäule durch die Kontraktion des Musculus iliopsoas verändert wird (Kendall, 2001). Jede Flexion der Wirbelsäule führt zu einer Druckveränderung in der Bandscheibe.

Der Grund für einen Druckanstieg ist folglich eine Kombination aus Verbiegung und Stabilisation der Wirbelsäule durch Muskelkontraktion und ein Zusammenhalten durch die Ligamente. Wenn die Sitzposition nicht optimal ist,

wird eine höhere Muskelaktivität für die Stabilisierung gefordert, was zu einem deutlich höheren Druck in der Bandscheibe führt. In diesem Fall ist der Muskel Iliopsoas angespannt, da er statische Haltearbeit leisten muss, um die Oberschenkel in einer komfortablen Position zu halten. In einer Studie von Franz (2008) wurde die Muskelspannung des Musculus erector spinae („Aufrichter der Wirbelsäule“) mit einem EMG in unterschiedlichen Sitzpositionen gemessen. Dabei war die Muskelanspannung in von der „idealen“ Sitzposition abweichenden Körperhaltungen signifikant höher. In einer gut unterstützten Sitzhaltung mit einer „optimalen“ Lastverteilung – so wie in Kapitel 3.3 beschrieben – ist die Muskelaktivität gering, so dass auf die Bandscheiben eine geringere Last wirkt.

3.2 Literaturüberblick zur In-vivo-Bandscheibendruckmessung

Lange galten die intradiskalen Druckmessungen von Nachemson und seinen Mitarbeitern aus den 60er und 70er Jahren als hochgradig zuverlässig. Ihre Messmethode bestand darin, bei freiwilligen Probanden eine Kanüle mit einem integrierten Messsensor in den Gallertkern (Nukleus pulposus) der Bandscheibe L3-L4 oder L4-L5 einzustechen und auf diese Weise den lokalen Druck bei verschiedenen Körperhaltungen zu bestimmen. Die Untersuchungen ergaben, dass der Druck im Sitzen um ca. 40% höher ist als im Stehen.

Da es sich bei der intradiskalen Druckmessung um eine invasive Methode handelt, war eine Wiederholung dieser Versuche schwer möglich, da diese nur in Ausnahmefällen mit Freiwilligen durchgeführt werden können. Die Interpretation dieser Messergebnisse hat deshalb die zum Teil bis heute gültige Lehrmeinung über die Belastung der Bandscheibe stark geprägt. Besonders abgeraten wird seither vom längeren Sitzen in konstanten Positionen. Gleichzeitig wird ein aufrechtes Sitzen propagiert, am besten mit Unterstützung der Lendenlordose, um ein lordosiertes Stehen zu simulieren. Diese Empfehlungen wie auch die Ansicht, dass ein asymmetrischer Bandscheibendruck zu deren Verschiebung und zu einem Druck auf den Nervenstrang führe, was Ursache für Rückenschmerzen sei, sind heute überholt. Wilke (2004) gibt zu bedenken, dass die Bandscheibe von Natur aus ausgelegt wurde, um belastet und bewegt zu werden. Höherer Druck in der Bandscheibe braucht deshalb nicht schädlich zu sein. Bubb (2004) gibt daher an, dass das bisherige, sich auf physiologische Untersuchungen stützende ergonomische Credo einer gleichmäßig belasteten Bandscheibe infrage zu stellen ist. Möglicherweise ist die Ursache für Rückenschmerzen ohnedies eher in verspannter Muskulatur zu suchen, der am besten durch Bewegung vorzubeugen ist.

4 Identifizierung der relevanten Körperregionen

Bei technischen Konstruktionen ist es von Vorteil, Systeme zu entwickeln, die mit einem möglichst geringen Aufwand maximale Erfolge erzielen. Insofern ist es speziell im Hinblick auf eine automatische Sitzkomfoteinstellung erstrebenswert, vorab Körperregionen auszumachen, die ausschlaggebend für die Komfortbeurteilung sind und denen daher besonderes Augenmerk gelten sollte.

Im Folgenden soll deshalb die entscheidende Frage beantwortet werden, wie der Gesamtdiskomfort sich aus den einzelnen Körperteilbeurteilungen zusammensetzt und welche Größe letztendlich ausschlaggebend ist (vgl. Zenk, 2007).

4.1 Versuchsdesign

Die Testreihe des Verfassers basierte auf insgesamt 84 Probanden und über 500 Messwerten, welche sich in die drei Kategorien Sitzfläche, Lehnenfläche und Seitenhalt aufteilen lassen. Zum Zusammenhang von Einzeldiskomfortempfinden in einem bestimmten Körperteil und Gesamtdiskomfortempfinden sind drei unterschiedliche Theorien denkbar:

1. Mittelwert aus der Diskomfortbeurteilung:

Hier wird der Gesamtdiskomfort aus dem Mittelwert der Diskomfortbewertungen eines jeden einzelnen Körperteiles über die ganze Body Map (KT1–KT17) errechnet.

2. Maximalwert der Diskomfortbeurteilung:

Hierbei wird angenommen, dass der Gesamtdiskomfort durch den maximalen Diskomfort in einem der 17 Körpersegmente erzeugt wird. Nur der Körperteil mit der höchsten Diskomfortbeurteilung bestimmt den Gesamtdiskomfortwert.

3. Regressionsmodell:

Ein weiterer Ansatz, eine Korrelation für die gesamte Diskomfortbeurteilung zu erhalten, ist eine multiple Regression von Diskomfortbewertungen ganzer Körperpartien oder einzelner Körperteile.

Das zugrunde liegende angewendete Schema war bei allen Probandenstudien gleich. Der Proband hatte an der Body Map mit Hilfe der CP50-Skala (Hartung, 2006) für jeden einzelnen Körperbereich einen Diskomfortwert zu nennen. Nachdem alle Körperteile durchgegangen waren, war die Versuchsperson aufgefordert, einen Gesamtkomfortwert für die Sitzkonfiguration zu nennen, wie in

Abbildung 35 dargestellt. Diese Werte wurden anschließend miteinander in Korrelation gestellt.



Abbildung 35: Versuchsdesign zur Gesamtdiskomfort-Beurteilung

4.2 Versuchsdurchführung

Für alle Probanden waren die Testbedingungen gleich, da die Testreihen auf einem Mockup im Versuchslabor stattfanden.

Der Fokus der ersten Untersuchung (Klendauer, 2004) lag auf der Sitzfläche. Sechs unterschiedliche Sitzflächenvariationen wurden von 20 Probanden beurteilt, so dass am Ende 120 einzelne Diskomfortbewertungen vorlagen.

Um ein möglichst großes Spektrum an Lastverteilungen zu erzeugen, sind zwei unterschiedliche Mercedesitze (M-Klasse [W 163], SLK [R 170]) gewählt worden, die durch unterschiedlichen Hartplastik- und Weichschaum modifiziert wurden. Die Versuchspersonen wurden aufgefordert, für jeden Körperbereich gemäß der Body Map – beginnend von den Schultern über das Gesäß bis zu den vorderen Oberschenkeln (KT1-KT17) – eine Diskomfortbewertung anhand der CP50-Skala vorzunehmen. Abschließend wurden sie gebeten, den Gesamtdiskomfort für die Druckempfindung zu beurteilen.

5 Entwicklung der automatischen Sitzkomferteinstellung

Mittlerweile besitzt ein Sitz eines Oberklassefahrzeugs (Abbildung 39) mehr als zehn verstellbare Funktionen, wobei vier Verstellmöglichkeiten in der Sitzfläche (Sitzlängs-, Sitzhöhen-, Sitztiefen-, Sitzneigungsverstellung) und drei in der Lehne (Lehnenneigungs-, Lehnenkopf-, Lehnenbreitenverstellung) stecken.

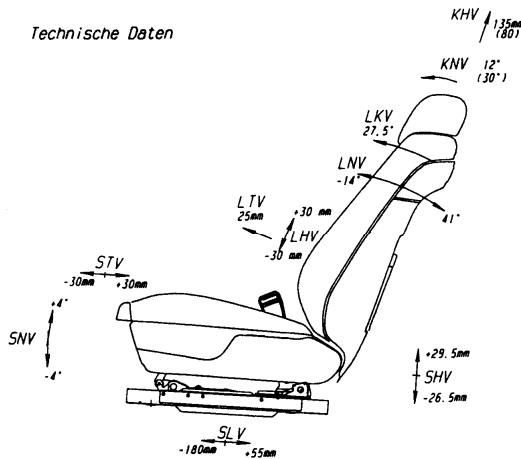


Abbildung 39: Schematische Skizze eines BMW 7er - Multifunktionssitzes (E65)

Wenn man die einzelnen Einstellschritte⁹ der vier Verstellmöglichkeiten auf der Sitzfläche (SLV [44], SHV [25], SNV [18], STV [11]) mit den drei Verstellmöglichkeiten für die Lehne (LNV [60], LKV [13], LBV [12]) kombiniert, erhält man eine Zahl von insgesamt 203.860.800 unterschiedlichen Einstellungen, die theoretisch mit diesem Sitz möglich sind. Nicht berücksichtigt ist dabei noch die Lordosenhöhen-, die Lordosentiefenverstellung sowie die Kopfstützenhöhen- und Kopfstützentiefeneinstellung. Jede einzelne Sitzverstellung für sich beeinflusst eine andere. Daher ist es sehr schwer, die Sitzhaltung auf manuellem Wege perfekt, d.h. mit minimaler Muskelanspannung und somit minimalem Bandscheibendruck einzustellen. Nur so aber kann über längere Zeit Sitzkomfort gewährleistet werden. Aus diesem Grund soll auf Basis der idealen Druckverteilung (siehe Kap. 2.4) eine automatische Sitzkomferteinstellung (ASCA = Automatic Seat Comfort Adjustment) geschaffen werden.

⁹ Hier durch [...] gekennzeichnet.

5.1 Technische Grundlagen und Voruntersuchungen

Damit die ASCA im Automobil praktisch realisiert werden kann, muss der betreffende Fahrzeugsitz zwei Kriterien erfüllen: Zum einen muss es möglich sein, den Sitz gemäß der idealen Druckverteilung einzustellen. Dies ist nach Mergl (2005) mit einem 7er-BMW-Sitz (Multifunktion) erreichbar, da sich dieser sehr individuell verstellen lässt. Zum anderen muss der Sitz über eine sensible Drucksensorik verfügen, da exakte Messwerte die Voraussetzung für alle folgenden Einstellungsschritte darstellen. Diese Drucksensorik muss im Sitz selbst verbaut werden.

5.1.1 Anforderungsadäquate Sensorik

Die für die ASCA infrage kommende Technik muss zwei Anforderungen Genüge tun:

Der erste Faktor ist das Ausbleiben von Komforteinbußen. Die Drucksensoren müssen möglichst dünn und flach zwischen Mensch und Sitzstruktur ausgelegt werden; idealerweise sollten sie selbst flexibel sein.

Die zweite entscheidende Größe ist die Messgenauigkeit. Schon kleinste Veränderungen der Druckverteilung sollten aufgelöst werden. Dabei ist der Absolutwert weniger entscheidend als die Relativwerte aufgrund der prozentualen Lastverteilung.

Generell können für die automatische Sitzkomferteinstellung unterschiedliche Sensorsysteme in Betracht gezogen werden:

OC-Matten (OC = occupant classification), die die Sitzbelegung überprüfen, werden auf der Beifahrerseite bereits in Serie verbaut, da sie für die Airbagaktivierung nötig sind. Die Versuche, eine OC-Matte auf der Fahrerseite des 7er BMWs als Druckmessmatte einzusetzen, schlugen jedoch fehl: Die hier verwendete Sensorik lässt lediglich die duale Bestimmung zu, ob Last auf diesem Sensor anliegt oder nicht. Einen kalibrierten, aussagekräftigen Messwert, der mit anderen in Vergleich gebracht werden soll, kann die OC-Matte nicht liefern.

Exakte Messergebnisse sind hingegen mit der Kraftmessdose möglich. Allerdings kann ihre feste Ummantelung zu Komforteinbußen führen. Da für die Sitzkomferteinstellung der Druck an exponierten Stellen, beispielsweise unter den Schulterblättern oder unter den Sitzbeinhöckern, untersucht werden muss, wäre eine solche Projektierung sehr nachteilig.

Druckmessmatten (kapazitiv oder resistiv) können eine sehr hohe Auflösung liefern und sind so flexibel, dass kaum Komforteinbußen entstehen. Den Anforderungen im dauerhaft dynamisch belasteten Bereich – im Sitz selbst – sind Druckmessmatten allerdings auf Dauer nicht gewachsen, so dass es in der Praxis häufig zu Ausfällen kommen könnte. Zudem ist eine so hohe Auflösung, wie sie durch Druckmessmatten möglich ist, für die Anwendung in der ASCA gar nicht vonnöten. Angesichts der vergleichsweise hohen Kosten ist also auch diese Methode als eher ungeeignet einzustufen.

Die Entscheidung fiel daher auf pneumatische Sensoren. Zwar weist auch dieses System einige nachteilige Eigenschaften auf. Als die wichtigste ist der Umstand zu nennen, dass die pneumatischen Sensoren nur dann einen Messwert liefern können, wenn zuvor ein Blasenvordruck aufgebaut wurde. Dies kann evtl. zu akustischen Beeinträchtigungen während des Luftauffüllens bzw. -ablassens führen. Zudem bedarf es einer Pumpe, die den Vorgang des Luftbefüllens übernimmt, und Ventile, über die die Befüllung und das Ablassen geregelt werden. Nichtsdestotrotz überwiegen die Vorteile dieser Sensortechnik. Der wichtigste Vorteil dieses Systems besteht darin, dass es erstaunlich sensibel ist und sehr schnell anspricht, so dass schon ein leichtes Streichen über die Blasenelemente einen sichtbaren Druckunterschied erzeugt. Zudem sind pneumatische Systeme in Bezug auf ihre Verkopplung untereinander einfach in der Handhabung. So können beispielsweise zum Ausgleich von Asymmetrien von linker und rechter Sitzhälfte beide Druckblasen durch direkte Kopplung über Schläuche miteinander verknüpft werden. Im Vergleich zu elektronischen Sensoren bedarf es hier keiner eigenen Software, die für eine Zusammenkopplung von mehreren Messstellen sorgt.

Mit ausschlaggebend war auch, dass man auf diese Blasenelemente bereits in Form eines Übernahmeteils zurückgreifen kann.¹⁰ Diese Pneumatikelemente wurden für den Serieneinsatz bezüglich ihrer Dauerhaltbarkeit erprobt. Auch gegen Scherkräfte sind sie im Vergleich zu Kraftmessdosen oder Druckmessmatten resistent.

¹⁰ Ab Ende 2008 wird ein Massagesystem bei BMW im Rücksitz als Sonderausstattung angeboten, der über zwölf pneumatische Hubelemente in der Rückenlehne verfügt.

5.1.2 Platzierung der Sensorik

Beim Einbau der Sensorik in den Sitz stellt sich zunächst die Frage der Platzierung. Die Drucksensoren müssen sich zwischen dem Menschen und der metallischen Sitzstruktur befinden. Eine Positionierung der Sensoren direkt auf der Sitzoberfläche wäre jedoch unschön und würde das Design des Sitzes zerstören. Auch ein Einfügen der Sensoren direkt unter dem Bezug ist nicht möglich, da dies zu Komforteinbußen führen könnte, weil die Sensoren dann noch deutlich spürbar wären. Somit bleibt als einzige praktikable Lösung eine Einbringung der Drucksensoren zwischen die Sitzstruktur bzw. die Befederung und den Schaumteil.



Abbildung 40: Übertragung der Druckverteilung und Einbaulage der „Pneumatiksensoren“

Die Sensoren sind so im Sitz angeordnet, dass sie die exponierten Stellen der menschlichen Druckverteilung ideal abdecken (vgl. Abbildung 40). Gemäß der Bodymap (Hartung, 2006) sind dabei sechs Lastbereiche entscheidend: Schulterblätter, oberer Rücken, Lordosenbereich, Gesäß, mittlerer Oberschenkel- und vorderer Oberschenkelbereich.

Für den Rückenbereich sind also drei Sensoren erforderlich, die je einen Druckwert für die Körperbereiche Schulterblätter, oberer Rücken und Lordosebereich erzeugen. Zur Umsetzung werden immer vier Hubelemente der Massagematte durch eine pneumatische Kopplung zu einer Sensoreinheit zusammengefasst. In der Sitzfläche sind Sensoren unter dem Gesäß und unter den vorderen Oberschenkeln in der Sitztiefenverstellung notwendig.

5.1.3 Sitzaufbau

Mit einem Multifunktionssitz der 7er-Baureihe bei BMW (E65), wie er derzeit erhältlich ist, lässt sich eine ideale Druckverteilung erzielen. In Sitzfläche und Lehne wird weder der Maximaldruck noch der Gradient überschritten, d.h. unzulässig starke Kantensprünge sind in diesem Sitz nicht vorhanden. Bei der Sitzeinstellung durch den Fahrer liegt das Hauptaugenmerk daher auf der richtigen prozentualen Lastverteilung, die sich mittels der hohen Anzahl an Verstellmöglichkeiten (SLV, SHV, SNV, LNV, LKV, LTV, LHV, LBV, KHV) ideal einstellen lässt.

Für den Aufbau der automatischen Sitzkomfoteinstellung wurde ein Multifunktionssitz mit Aktivsitzfunktion¹¹ herangezogen, der über eine 10-fach elektrische Sitzverstellung verfügt. Zusätzlich zu diesem Serienstand wurde eine Massagematte (Sonderausstattung für 7er-BMW ab EZ 10/2008 [F01]; Rücksitz) zwischen die Struktur (Flexmatte) und das Schaumteil der Rückenlehne eingefügt. Darüber hinaus ist in der Sitztiefenverstellung ein weiteres Hubelementpaar untergebracht. Die eingebauten Blasen fungieren in dieser Anordnung lediglich als Drucksensoren und werden nicht als Konturverstellelemente genutzt. Sobald der Druck registriert und der Sitz eingestellt ist, wird der Blasenvordruck wieder abgelassen. So treten die Blasenelemente wieder in den Hintergrund und können erneut in ihrer ursprünglichen Funktion, der Aktivierung des menschlichen Körpers durch Massage und somit der Trophikförderung der Bandscheiben, aktiv werden.

Die Einbaulage der Hubelemente, welche als Drucksensoren fungieren, ist auf einem Multifunktionssitz (E65) in Abbildung 41 zu erkennen.

¹¹ Ein Aktivsitz weist Blasenelemente unter den Sitzbeinhöckern auf, die durch abwechselndes Auf- und Ablassen eine Trophikförderung in der Bandscheibe erzielen sollen.

6 Entwicklungsperspektiven

Im Folgenden sollen Möglichkeiten und Potentiale für die Weiterentwicklung der automatischen Sitzkomfoteinstellung aufgezeigt werden.

6.1 Ausblick für serientaugliche Anwendung

Damit der entwickelte Prototyp in Serie gehen kann, stellen sich noch verschiedene Aufgaben.

6.1.1 Miniaturisierung

Der im Prototyp verwendete Aufbau einer automatischen Sitzkomfoteinstellung (siehe Kapitel 6.2) ist in dieser Form nicht für eine serientaugliche Anwendung nutzbar, da er zu viel Platz im Fahrzeuginnenraum ausfüllt. Daher besteht der erste Schritt für einen serientauglichen Einsatz in einer Miniaturisierung der Mess- und Regelelektronik. Der jetzige Aufbau (vgl. Abbildung 51) war ein erster Lösungsansatz, um eine direkte Ansteuerung über das Sitzsteuergerät zu umgehen. Zukünftig könnten die Relaisbox, der Messrechner mit Bildschirm, die IO-Karten und die Spannungswandler verschwinden, wenn direkt auf die im Serienfahrzeug vorhandenen Rechner und Bedienoberflächen zugegriffen würde. Idealerweise bietet sich hier eine Implementierung dieses Regelalgorithmus zur automatischen Sitzkomfoteinstellung ins Sitzsteuergerät an. Eine Ansteuerung, die über eine Verknüpfung zum I-Drive ermöglicht werden sollte, würde einen erheblichen Schritt zur Miniaturisierung des Systems beitragen.

6.1.2 Gestaltungsregeln

Für eine serientaugliche Anwendung im Fahrzeug ist es außerdem wichtig, auf einige grundlegende Gestaltungsregeln zu achten.

Aufgrund der Ergebnisse aus den Fragebögen (vgl. Anhang 2) muss der herkömmliche Sitzverstellungsschalter bestehen bleiben. Ein Wegfall würde zu Irritationen und gleichsam zu einer Bevormundung der Insassen führen, was sich zugleich in einer unterbewussten Komforteinbuße widerspiegeln würde.

Ein weiterer entscheidender Faktor, der sich bei den Befragungen ergeben hat, ist, dass eine Mehrheit der Probanden keine automatische Aktivierung wünscht, sondern das System bewusst selbst starten will.

Dies hat vermutlich zwei Gründe: Zum einen möchte der Fahrer immer Herr über das Geschehen sein und die Einstellung des Sitzes nicht gänzlich einer

Fremdsteuerung überlassen. Zum anderen stellt sich die Frage, wozu bei jedem Einsitzen von Neuem eine automatische Einstellung vorgenommen werden sollte, da die ergonomischen Parameter des Fahrers doch konstant sind. Nur wenn ein anderer Fahrer auf dem Fahrer- oder Beifahrersitz Platz nimmt, ist eine erneute Anpassung sinnvoll.

Diese Gestaltungsregeln könnten für das Serienmodell ohne Schwierigkeiten berücksichtigt werden.

Konkret wäre folgender Ablauf beim Einstellvorgang denkbar (vgl. Abbildung 60): Der Fahrer nimmt im Fahrzeug Platz. In den ersten Sekunden erscheint auf dem zentralen Bildschirm automatisch eine Meldung: „Wünschen Sie eine automatische Sitzkomferteinstellung?“ Wenn dies durch Drücken des I-Drive-Buttons bestätigt wird, stellt sich der Sitz individuell ideal ein. Wird der Knopf innerhalb von zehn Sekunden nicht gedrückt, verschwindet die Nachricht wieder vom Monitor; es wird keine Funktion ausgeführt.

Eine Alternative wäre, dass die automatische Sitzkomferteinstellung in der I-Drive-Steuerung unter dem Oberbegriff „Sitz“ hinterlegt ist. Sie ließe sich dann durch gezieltes Anwählen dieser Funktion starten.



Abbildung 60: Mögliche Umsetzung in der Bedienoberfläche des I-Drives

Da extreme Sitzpositionen, die nicht unbedingt komforttauglich, sondern stark durch individuelle Vorlieben bedingt sind, muss ein Sitzverstellschalter erhalten bleiben. So ist z.B. eine Fahrposition, bei der der Fahrer sehr dicht gedrängt hinter dem Lenkrad sitzt, um auch bei extremen Lenkbewegungen den Schulterkontakt zur Lehne nicht zu verlieren, in der automatischen Sitzeinstellung nicht vorgesehen, da diese in erster Linie auf den Komfortaspekt, auch für längere Fahrten, abzielt. Auch eine Schlafposition mit völlig flach gestellter Rückenlehne, wie es beispielsweise für eine Rast an einer Autobahnraststätte günstig ist, muss dem Insassen ermöglicht werden.

6.1.3 Weitere Ausbaustufen

Ausgehend von den beschriebenen Erfolgen könnte man in einer zukünftigen Ausbaustufe noch mehr Verstellungsmöglichkeiten in die Regelung implementieren und dadurch automatisieren, z.B. eine Lehnbreiten- oder Sitztiefenverstellung. Auch eine Kopfstützentiefenverstellung könnte, mit einem pneumatischen System ausgestattet, automatisiert werden. Eine noch etwas weiter gehende Vision würde eine optische Erkennung der Insassen ermöglichen und könnte so gezielt die Sitzlängsverstellung automatisch ansteuern. Somit könnte eine komplette Sitzautomatisierung erzielt werden.

Ein weiterer Ansatzpunkt, der sich aus den Versuchen mit dem Realaufbau gezeigt hat, ist die Konzeptidee, den Sitz durch Druckbe- oder -entlastung zu steuern. So könnte beispielsweise durch Abstemmen gegen das Lenkrad der Druck in der Rückenlehne erhöht werden, so dass diese nach hinten wegfahren würde. Dieser Vorgang funktioniert ebenso umgekehrt. Eine solche Funktion könnte in Zukunft einen Sitzverstellschalter überflüssig machen.

Welche Weiterentwicklungen am ASCA vorgenommen werden, ist letztlich wohl ganz wesentlich vom Kundenstamm des Fahrzeugherstellers abhängig. Der entwickelte Prototyp stellt aber in jedem Fall ein nach vielen Seiten ausbaufähiges System dar.

7 Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war es, dem Fahrer eine Automatisierung der Sitzeinstellung zur Seite zu stellen, um die Komplexität eines vielfach verstellbaren Fahrzeugsitzes zu beherrschen, ohne die geschaffenen Verstellmöglichkeiten zu reduzieren.

Dabei war die Klärung einer komfortablen Sitzposition für Kurz- und Langzeit von großer Bedeutung. Der optische Eindruck spielt für das Komfortempfinden eine große Rolle (vgl. Knoll, 2006), tritt aber bei längerer Dauer in den Hintergrund. Den Großteil der Sitzkomfortbewertung macht dann der „Erleidensaspekt“ – der Diskomfort – aus. Mergl hat hierzu ein Modell zur Prognostizierung des Sitzdiskomforts entwickelt, dass sowohl für Kurz- als auch für Langzeit validiert worden ist. Ein messbarer, objektiver Wert stand aber bislang noch aus.

Im Rahmen der vorliegenden Studie ist eine medizinische Validierung der idealen Druckverteilung mittels intradiskaler Druckmessung erfolgt. Durch einen endoskopischen Eingriff konnte diese Untersuchung am lebenden Menschen durchgeführt werden. Dabei wurden zwei flexible Druckaufnehmer in den Gallertkern der Bandscheiben im unteren Rückenbereich implantiert, die bei Bandscheibenleiden am häufigsten betroffen sind. Erstmals in der ergonomischen Forschung wurde eine In-vivo-Bandscheibendruckmessung für unterschiedliche Sitzeinstellungen im Fahrzeug durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungsreihe bestätigen die theoretischen Annahmen: Bei einer Sitzeinstellung gemäß der idealen Druckverteilung stellt sich der mit Abstand geringste Bandscheibendruck ein. Dieser ist ein Indikator für die Muskelspannung, die zu einem Großteil ausschlaggebend für die Rückenschmerzen ist.

Auf dieser Basis konnte die technische Umsetzung der medizinischen Erkenntnisse in die Konstruktion einer Apparatur zur automatischen Einstellung des Sitzes nach physiologischen Gesichtspunkten erfolgen. Durch den Aufbau einer automatischen Sitzkomforteinstellung konnte eine Anwendung des Modells der idealen Druckverteilung geschaffen werden. Das System reduziert die Komplexität des Einstellungsvorgangs, ohne die Einstellungsmöglichkeiten zu beeinträchtigen, und schafft gleichzeitig eine optimale physiologische Sitzposition.

Umfangreiche statische Probandenstudie und erste Eruierungsuntersuchungen im Alltagsgebrauch haben gezeigt, dass ASCA akzeptiert und von über 95% der Versuchspersonen als sehr gut befunden wird. Äußerst bejahende Aussagen von Probanden – insbesondere jener mit Bandscheibenvorfällen und anderen Rückenleiden – bestätigen deutlich diesen positiven Eindruck. Zudem haben erste

8 Literatur

- Beermann, F. Sitze im Automobil. Euro-Forum-Konferenz, Recaro GmbH & Co. KG, Stuttgart 2003
- Bortz, J. Lehrbuch der Statistik für Sozialwissenschaftler - Zweite, vollständig neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York Tokyo 1985
- Brinckmann, P. Vergleich der Belastung der Wirbelsäule im Sitzen und Stehen, ergo mechanics, Interdisziplinärer Kongress Wirbelsäulenforschung, S. 52-67, 2004
- Bubb, H. Skriptum zur Vorlesung Produktergonomie, Lehrstuhl für Ergonomie der TU München, 2003
- Bubb, H. Quality of Work and Products in Enterprise of the Future, Product Ergonomics, pp.3-6, ergonomia Verlag oHG, Stuttgart 2003
- Bubb, H. Ergonomie und Sitzgestaltung, ergo mechanics, Interdisziplinärer Kongress Wirbelsäulenforschung, S. 120-137, 2004
- Bubb, H. Komfortabel Sitzen, Konstruiert und bewertet mit RAMSIS, Lehrstuhl für Ergonomie der TU München, Ramsis User Conference, Stuttgart 2007
- Bubb, H.; Estermann, S. Influence of Forces on Comfort Feeling in Vehicles, SAE Digital Human Modeling Conference 2000, SAE No. 2000-01-2171, 2000

Zacher, I.; Bubb, H.

Strength Based Discomfort Model of Posture and Movement, SAE Digital Human Modeling Conference 2004, SAE No. 2004-01-2139, 2004

Zenk, R.; Mergl, C.; Hartung, J.; Sabbah, O.; Bubb, H.

Objectifying the Comfort of Car Seats, SAE Conference 2006, SAE No. 2006-01-1299, 2006

Zenk, R.; Mergl, C.; Hartung, J.; Bubb, H.

Predicting overall seating discomfort based on body area ratings, SAE Conference 2007, SAE No. 2007-01-0346, 2007

Zenk, R.; Franz, M.; Bubb, H.

Spine load in the context of automotive seating, SAE Digital Human Modeling Conference 2007, SAE No. 2007-01-2485, 2007

Zenk, R.; Franz, M.; Bubb, H.

Emocard – An Approach to bring more Emotion in the Comfort Concept, SAE Conference 2008, SAE No. 2008-01-0890, 2008

Zhang, L.; Helander, M.G.; Drury, C.G.

Identifying Factors of Comfort and Discomfort in Sitting, Human Factors, Vol. 38, No. 3, pp. 377-389, 1996

Zhang, L.; Chen, L.; Vertiz, A.; Balci, R.

Survey of Front Passenger Posture Usage in Passenger Vehicles, SAE Conference 2004, SAE No. 2004-01-0845, 2004

9 Anhang

Anhang 1: Abbildungen

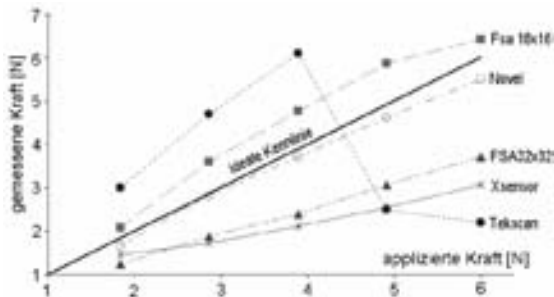


Abbildung 63: Linearitäten der Druckmesssysteme FSA, Novel, Tekscan und Xsensor (Kruise, 2001)

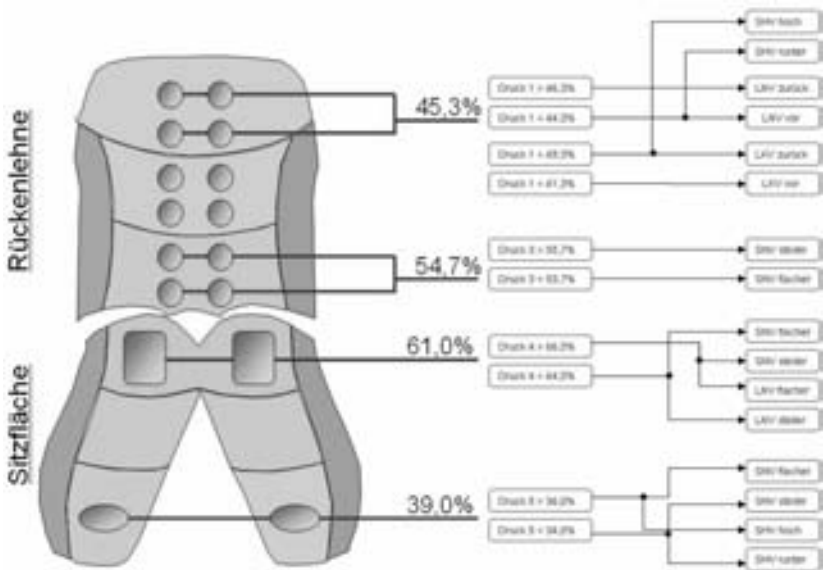


Abbildung 64: Zielwerte der „idealen“ Druckverteilung überführt auf Sitzkonstellation (E65); Idealdruck in den Druck-/Sensorblasen und Aktion der Sitzmotoren bei Abweichung vom Idealbereich