

50. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium

September, 19-23, 2005

**Maschinenbau
von Makro bis Nano /
Mechanical Engineering
from Macro to Nano**

Proceedings

Fakultät für Maschinenbau /
Faculty of Mechanical Engineering

Startseite / Index:

<http://www.db-thueringen.de/servlets/DocumentServlet?id=15745>

Impressum

- Herausgeber: Der Rektor der Technischen Universität Ilmenau
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. habil. Peter Scharff
- Redaktion: Referat Marketing und Studentische Angelegenheiten
Andrea Schneider
- Fakultät für Maschinenbau
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Kurtz,
Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. med. (habil.) Hartmut Witte,
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Linß,
Dr.-Ing. Beate Schlütter, Dipl.-Biol. Danja Voges,
Dipl.-Ing. Jörg Mämpel, Dipl.-Ing. Susanne Töpfer,
Dipl.-Ing. Silke Stauche
- Redaktionsschluss: 31. August 2005
(CD-Rom-Ausgabe)
- Technische Realisierung: Institut für Medientechnik an der TU Ilmenau
(CD-Rom-Ausgabe) Dipl.-Ing. Christian Weigel
Dipl.-Ing. Helge Drumm
Dipl.-Ing. Marco Albrecht
- Technische Realisierung: Universitätsbibliothek Ilmenau
(Online-Ausgabe) [ilmedia](#)
Postfach 10 05 65
98684 Ilmenau
- Verlag:  Verlag ISLE, Betriebsstätte des ISLE e.V.
Werner-von-Siemens-Str. 16
98693 Ilmenau

© Technische Universität Ilmenau (Thür.) 2005

Diese Publikationen und alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt.

ISBN (Druckausgabe): 3-932633-98-9 (978-3-932633-98-0)
ISBN (CD-Rom-Ausgabe): 3-932633-99-7 (978-3-932633-99-7)

Startseite / Index:

<http://www.db-thueringen.de/servlets/DocumentServlet?id=15745>

R. Fetter / S. Heimann / K. Augsburg

Konzeption und Konstruktion eines Ergonomie-Prüfstandes zur Variation der Handbremshebel-Orientierung

ABSTRACT

Einen wesentlichen Aspekt der „Unverwechselbarkeit“ eines Fahrzeuges bilden die Mensch-Maschine-Schnittstellen. Der Begriff bezeichnet alle mechanischen und sensorischen Berührungspunkte zwischen Fahrzeug und Fahrzeugnutzer. Entscheidend bei der Beurteilung der Güte dieser Schnittstellen sind sowohl objektive Messwerte als auch das subjektive Empfinden der bedienenden Personen. Um den Zusammenhang zwischen diesen beiden Größen zu untersuchen, ist der Aufbau von Prüfständen oder Forschungsfahrzeugen sinnvoll. Mit deren Hilfe wird die Durchführung von Testreihen unter standardisierten Bedingungen möglich, um belastbare Aussagen bezüglich des untersuchten Teilelementes der Mensch-Maschine-Schnittstelle zu erhalten.

Ein derartiges Bedienelement ist der Handbremshebel. Die Positionierung und Orientierung des Handbremshebels im Innenraum ist bei der Konstruktion eines Fahrzeuges umso interessanter, als dass es sich beim Parkbremssystem nicht allein um ein komfortrelevantes, sondern auch um ein für die Fahrzeugsicherheit wichtiges Bauelement handelt.

Am FG Kraftfahrzeugtechnik der TU Ilmenau wurde ein Ergonomieprüfstand aufgebaut, mit dem Objektiv-/Subjektiv-Untersuchungen an Teilen der Mensch-Maschine-Schnittstelle möglich sind. Zusätzlich zur freien Positionierung des Bedienelementes bietet der Prüfstand die Möglichkeit, sowohl die Position des Fahrersitzes, als auch die Position und Bewegung der Testperson zu erfassen und auszuwerten.

Mit Hilfe einer Kundenbefragung wurde ein Verfahren entwickelt, das es ermöglicht, zu einer gesicherten Empfehlung für die Positionierung eines Bedienelements im Fahrzeug zu kommen.

EINORDNUNG

Die Entwicklung im Kraftfahrzeugbau hat mit ihrer Konzentration auf die Zuliefererindustrie in den letzten Jahren dazu geführt, dass sich moderne Automobile sowohl technisch als auch optisch immer ähnlicher werden. Deshalb wird es für die Fahrzeughersteller zunehmend schwerer, dem Kunden die „Unverwechselbarkeit“ ihrer Produkte und deren Image näher zu bringen. Daher ist es notwendig, neue Wege zu beschreiten. In diesem Zusammenhang arbeiten die Fahrzeughersteller an Projekten, die der Entwicklung einer markentypischen Fahrqualität von hoher Kundenakzeptanz dienen. Es soll dem Kunden ermöglicht werden, sich in jedem Fahrzeug einer Marke sofort zurechtzufinden und es als Produkt seines Herstellers zu erkennen. So wird ein Instrument zur Kundenbindung geschaffen.

Der heutige Markt für Personenkraftwagen bietet eine Vielzahl verschiedener Fahrzeugklassen, Marken und Modelle. Obwohl es in den letzten Jahren im Bereich der Elektronik und Vernetzung der verschiedensten Fahrzeugkomponenten zahlreiche Anstrengungen gab, dominieren im Bremsenbereich nach wie vor rein mechanisch/hydraulische Systeme. Jedoch sind gerade im Oberklassensegment einige Fahrzeuge im Markt vertreten, die mit elektrischen Parkbremsen ausgestattet sind. Diese Systeme bieten neben der Freiheit der Anordnung der entsprechenden Bedienelemente meist zusätzliche Features, die über Softwaremodule realisiert werden. Obwohl es voraussichtlich den Trend geben wird, diese elektrisch ausgeführten Systeme auch in niedrigeren Fahrzeugklassen zu etablieren, werden sie sich in den nächsten 10 Jahren nach Einschätzung von Experten weder im besonders volumenträchtigen Markt der Klein- und Kompaktwagen, noch im Nutzfahrzeugbereich durchsetzen.

Die Gestalt des Handbremshebels ist bisher in jedem Fahrzeug unterschiedlich. Meist beschränkt sich die Variation aber auf das Design. Griffform, Bewegungsbahnkurve oder Grifforientierung sind dagegen in der Mehrzahl konservativ ausgeführt. Gerade anhand jüngster Fahrzeugmodelle ist hier jedoch der Trend zu mehr Kreativität erkennbar (Abbildung 1). Die Bewertung willkürlich ausgewählter Beispiele zeigt die Komplexität des Themas. Es lassen sich eine Vielzahl von Kriterien finden, die eine Beurteilung des Systems Handbremshebel ermöglichen. Zugleich zeigt sich aber auch die Schwierigkeit, einen bestmöglichen Kompromiss zwischen diesen Kriterien zu finden. Es lässt sich vermuten, dass ein Optimum noch nicht gefunden wurde.



Abbildung 1: Ausgeführte Beispiele von Handbremshebeln in aktuellen Fahrzeugen

Für eine unter ergonomischen Gesichtspunkten richtige Gestaltung eines Bedienplatzes, zu dem auch der Fahrersitz eines Fahrzeuges gehört, spielen zum einen die Kenntnis der möglichen Aktionsräume als auch die maximal erreichbaren Bedienkräfte eine Rolle. Begrenzt werden diese Aktionsräume anatomisch durch maximale Dreh- bzw. Schwenkbereiche oder Beugewinkel („aktive“ und „passive“ „Hemmungen“). Wichtiger als die Extremwerte sind aber neutrale Stellungen, in denen die Muskelaktivität und die Belastung von Sehnen und Bändern gering sind. Dadurch sind im Allgemeinen die subjektiven Bewertungen in diesen neutralen Stellungen am besten. [2] Die maximalen Bedienkräfte lassen sich sowohl individuell berechnen als auch aus Norm ECE-R13 ableiten.

AUFBAU DES ERGONOMIEPRÜFSTANDES

Der Prüfstand basiert auf einer „Sitzkiste“. Sie besteht aus der halben vorderen Karosserie eines aktuellen Mittelklasse-Pkw. Das Fahrzeug ist hinter der B-Säule abgeschnitten. Es sind sowohl die Türen als auch die Motorhaube vorhanden, aber keine Aggregate oder Fahrwerksteile wie z.B. Räder verbaut. Die Inneneinrichtung ist komplett montiert, d.h. sowohl Armaturenbrett als auch Sitze, Verkleidungen sowie alle Bedienelemente sind vorhanden. Auf diese Weise ist der Prüfstand für Testpersonen mit einem realen Fahrzeug vergleichbar, es kommt nicht zu einer klinischen Testumgebung.

Für die Positionierung des Handbremshebels wird ein technisches System benötigt, an das verschiedenste Anforderungen gestellt werden. Diese Anforderungen sind Maximalforderungen, die aus Untersuchungen der Automobilindustrie resultieren, sowie an die speziellen Gegebenheiten, insbesondere die Einbaulage an der Sitzkiste, angepasst sind.

Die Positioniereinheit ist unter der Karosserie verbaut, und gewährleistet eine Verstellung des Bedienelementes in allen drei Koordinatenachsen (Abbildung 2). Dabei wurde besonderer Wert auf große Verfahrswege, kurze Positionierzeiten, hohe Genauigkeit und eine hinreichend große Steifigkeit bei Kräfteinwirkung gelegt.

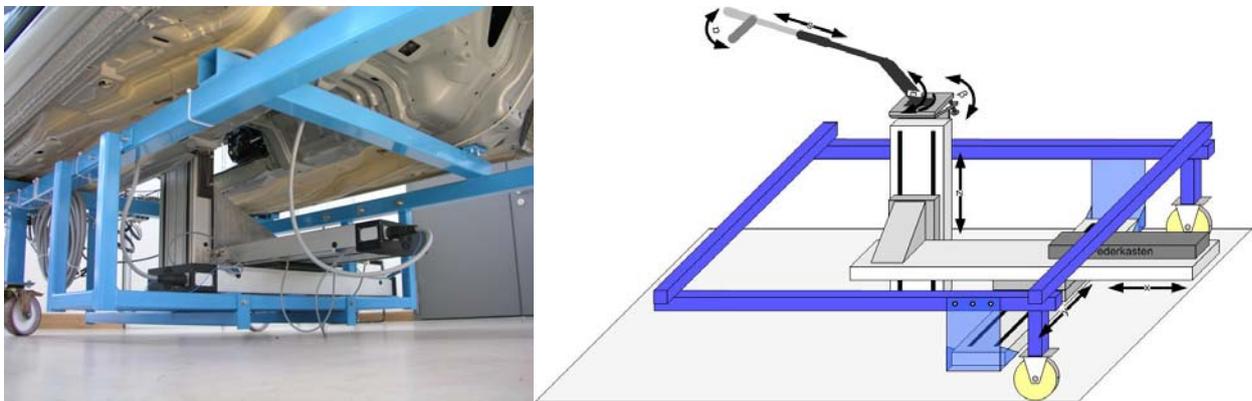


Abbildung 2: Anordnung des Positioniersystems unter der Fahrzeugkarosserie

Um verschiedenen Teststrategien gerecht zu werden, wurden zwei Möglichkeiten zur Betätigung des Positioniersystems vorgesehen. So soll zum einen der Bediener des Prüfstandes außerhalb des Fahrzeuges das Handbremssystem verfahren können, zum anderen ist direkt im Innenraum eine Betätigungsmöglichkeit für die Testperson realisiert worden. Dies war im ersten Schritt ein in den Prüfstand eingebauter Joystick. Der Innenraum des Fahrzeuges sollte jedoch möglichst original erhalten bleiben. Deshalb wurde ein vorhandenes, aber nicht genutztes, Bedienelement umfunktioniert. Die Taster der elektrischen Fensterheber in der Fahrertür erwiesen sich als besonders geeignet. So kann die Testperson mit der linken Hand die Handbremse verfahren und gleichzeitig mit der rechten Hand die eingestellte Position testen (Abbildung 3).



Abbildung 3: Nutzerschnittstelle im Innenraum des Prüfstandes

Das Bedienelement selbst ist eine komplexe Baugruppe und besteht aus dem Handbremshebel mit Griffstück, einem serienmäßig verbauten Hebelsystem mit Rasterung und Klinke, verschiedenen Verstelleinrichtungen und Klemmungen, einem Bauelement zur Betätigung des Lösemechanismus und einem Federpaket zur Realisierung einer Kraft-Weg-Kennlinie bei Betätigung des Handbremshebels (Abbildung 4). Bei der Konstruktion dieses Systems waren diverse Forderungen zu beachten. In einem möglichst kompakten Aufbau sollten Möglichkeiten zum spielfreien Kippen des Hebels um die Fahrzeuglängsachse, zum spielfreien Drehen des Hebels um die Fahrzeughochachse, zur Änderung der Hebellänge sowie zum Austausch des Griffstückes vorgesehen werden. Die Funktion des Löseknopfes sollte erhalten bleiben. Um eine der Realität entsprechende Bedienung der Handbremse zu ermöglichen, musste weiterhin eine Variante zur Umsetzung einer Kraft-Weg-Kennlinie gefunden und ins System integriert werden.



Abbildung 4: Aufbau des eigentlichen Bedienelementes; verschiedene Griffstücke

Um die Funktion des Löseknopfes trotz der Verstellung der Hebellänge und der Austauschbarkeit des Griffstückes zu ermöglichen, wäre ein komplizierter mechanischer oder hydraulischer Aufbau

notwendig gewesen. Um dies zu umgehen, wurde eine elektro-magnetische Variante entwickelt, bei der der Löseknopf einen verdeckt eingebauten Taster betätigt, durch den wiederum ein Hubmagnet betätigt wird, der die Klinke aus der Raste zieht. Wie im realen System ist auch hier ein leichtes Anheben des Hebels notwendig, um die Handbremse zu lösen. Die einzelnen elektrischen Bauelemente sind dabei mit Steckverbindungen versehen, die einen problemlosen Austausch des Hebels ermöglichen.



Abbildung 5: Ergonomieprüfstand (links); Eingebautes Bedienelement im Prüfstand (rechts)

SENSORIK AM PRÜFSTAND

Die Frage nach der Sitzposition der Probanden im Fahrzeug und nach der aufbrachten Kraft am Handbremshebel sowie dessen Winkel, macht die Ausrüstung des Prüfstandes mit Sensoren notwendig. Zusätzlich ist zur Visualisierung der Testpersonen eine Digitalkamera fest am Prüfstand verbaut.

Durch die Kenntnis der Position des Fahrersitzes ist es möglich, die in der Kundenbefragung zu ermittelnden Positionen des Handbremshebels vom festen Koordinatensystem des Fahrzeugs, das die Basis für den Aufbau des Prüfstandes bildet, zu lösen. Es wird möglich, sie fahrzeugunabhängig auf den H-Punkt des Fahrersitzes zu beziehen. Bei diesem Punkt handelt es sich um den Drehpunkt zwischen dem Rumpf und den Oberschenkeln des Fahrers. Er wird auch als vertikaler Hüftpunkt bezeichnet. Bestimmt wird er mit Hilfe einer 3D-SAE-Messeinrichtung und befindet sich in der

Regel in y-Richtung in der Mitte des Fahrersitzes. Der H-Punkt ist ein wichtiger Bezugspunkt bei der Konstruktion eines Fahrzeugs.

Der Prüfstand ist mit einem elektrisch verstellbaren 4-Wege-Sitz ausgestattet. D.h. der Sitz kann in x-Richtung verfahren, die Sitzlehne kann geneigt und die Sitzfläche getrennt voneinander vorn und hinten in ihrer Höhe variiert werden. Zur Messung der genauen Sitzeinstellung eines Probanden müssen vier Messwerte ermittelt werden. Zwei Seilzugpotentiometer dienen der Bestimmung der x- und z-Koordinaten eines festen Punktes der Sitzfläche. Um ausgehend von diesem dann eindeutig bestimmten Punkt die Winkel der Sitzfläche zur x-Achse und den Winkel der Sitzlehne zur z-Achse zu messen, finden zwei Drehpotentiometer Verwendung (Abbildung 6).

Mit Hilfe der zu messenden Seilkraft, die durch die Probanden aufgebracht wird, sowie dem erzielten Hebelwinkel des Handbremshebels stehen zwei zusätzliche objektive Messdaten zur Verfügung, die mit den subjektiven Bewertungen der durchzuführenden Kundenbefragung in Zusammenhang gebracht werden können. Die Kraft, die von den Probanden am Handbremshebel aufgebracht wird, wird am Handbremsseil gemessen. Dazu ist in das Handbremssystem an der Stirnseite des Federpaketes ein Kraftsensor verbaut. Der Winkel des Handbremshebels wird mit Hilfe eines Drehpotentiometers gemessen. Es ist so am Gehäuse des Handbremssystems befestigt, dass die Achse des Potentiometers direkt im Drehpunkt des Handbremshebels montiert ist.

Zur Visualisierung und zum Speichern der Messdaten dient der hinter dem Prüfstand befestigte Laptop, der ebenfalls bei der Ansteuerung des Positioniersystems Verwendung findet. Zur Auswertung der empfangenen Daten wird die Messwerterfassungs- und Steuerungssoftware Diadem 8.0 der Firma National Instruments genutzt.



Abbildung 6: Messsystem zur Erfassung der Sitzposition

Folgende Verstellmöglichkeiten des Handbremshebels im Ergonomieprüfstand sind realisiert:

- Positionierung im Raum mit Verfahrwegen
 - x-Achse: 180 mm
 - y-Achse: 100 mm
 - z-Achse: 230 mm
- Änderung der Orientierung des Handbremshebels und der Hebelbahnkurve
 - Drehung des Hebels um x-Achse – $\Delta\beta = 25^\circ$
 - Drehung des Hebels um z-Achse – $\Delta\varepsilon = 9^\circ$
- Variation der Hebellänge – s (mit realisierten Griffstücken) um 150 mm
- Möglichkeit zum Austausch des Griffstücks
- Zwei Griffstücke mit $\alpha = 0^\circ$ und $\alpha = 90^\circ$

BEWEGUNGSANALYSE

Um den Bewegungsablauf beim Betätigen der Handbremse zu dokumentieren, steht ein Bewegungsanalysesystem der Firma Qualisys zur Verfügung. Um die Bewegungen von Gegenständen, Personen oder einzelnen Körperteilen zu erfassen, werden interessante Punkte mit Markern aus reflektierender Folie beklebt. Bei Untersuchungen am Menschen handelt es sich dabei meist um Gelenkpunkte.

Mit einer kleinen Zahl von Probanden wurde der Bewegungsablauf – Gang einlegen, Handbremse

anziehen, Handbremse lösen – mit selbst eingestellten Sitz- und Handbremsposition aufgezeichnet. Dazu wurden die Testpersonen mit acht Markern an folgenden Gelenkpunkten ausgestattet:

- Knöchel des Zeigefingers rechts (a)
- Knöchel des kleinen Fingers rechts (b)
- Handgelenk (Radius) rechts (c)
- Handgelenk (Ulna) rechts (d)
- Ellenbogen rechts (e)
- Schulterreckgelenkspunkt (Acromion) rechts (f)
- Schulterreckgelenkspunkt (Acromion) links (g)
- Letzter Halswirbel (C7) (h)



Abbildung 7: Verschiedene Testpersonen im Prüfstand

Um die Bewegungen der einzelnen Gelenkpunkte auch im Standbild sichtbar zu machen, können die Bewegungstrajektorien der Marker angezeigt werden. Zur Symbolisierung der Knochen können die Marker mit Strecken verbunden werden (Abbildung 9). Auf diese Weise werden die Bewegungsabläufe einzelner Körperteile sichtbar.

Die Abbildungen 10 und 11 zeigen eine Testperson beim Betätigen des Handbremshebels. In der Abbildung 10 hält die Hand den gelösten Handbremshebel, in der Abbildung 11 ist die Handbremse angezogen. Es ist deutlich die Änderung des Winkels zwischen Ober- und Unterarm zu erkennen. Der Ellenbogen befindet sich nach dem Anziehen hinter der Schulter. Betrachtet man nur die beiden an den Schulterreckgelenkspunkten (f, g) befestigten Marker, so wird eine Bewegung im Bereich des Schultergürtels deutlich. Während sich vor dem Betätigungsvorgang die rechte Schulter wenig vor und über der linken befindet, ist sie nach dem Anzugsvorgang stärker über und hinter der linken Schulter sichtbar. Die Ursache dafür liegt darin, dass der Proband die Bewegung nicht nur aus dem

Arm heraus ausführt, sondern weitere Muskelgruppen beansprucht werden, so dass es zu einer Drehung der Testperson im Sitz kommt. Abhängig sind diese Ausgleichsbewegungen vom Körperbau und der Anordnung des Bedienelements im Fahrzeug. Da der Körperbau der Fahrzeugnutzer nicht veränderlich ist, wäre es wünschenswert, den Handbremshebel so im Fahrzeug zu positionieren, dass die Ausgleichsbewegungen für alle relevanten Personen so gering wie möglich ausfallen.

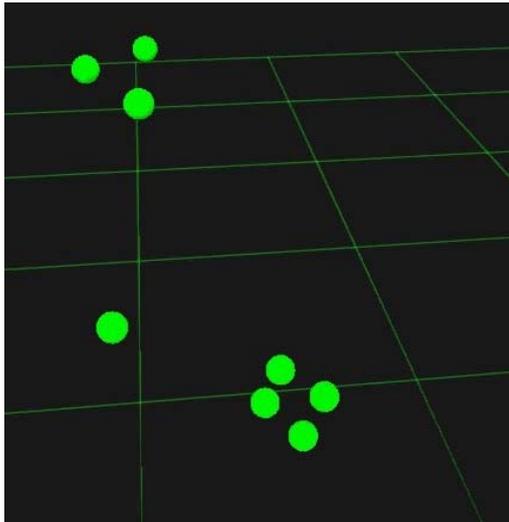


Abbildung 8:
3D-Ansicht Marker (Blick von der Beifahrerseite)

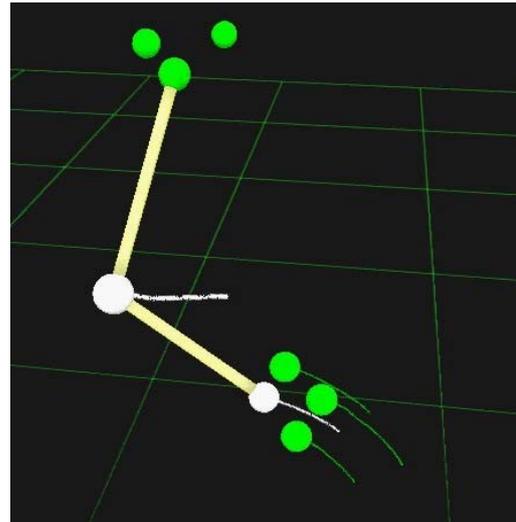


Abbildung 9:
3D-Ansicht Marker mit Bewegungstrajektorien und stilisierten Oberarm- und einem Unterarmknochen (Blick von der Beifahrerseite)

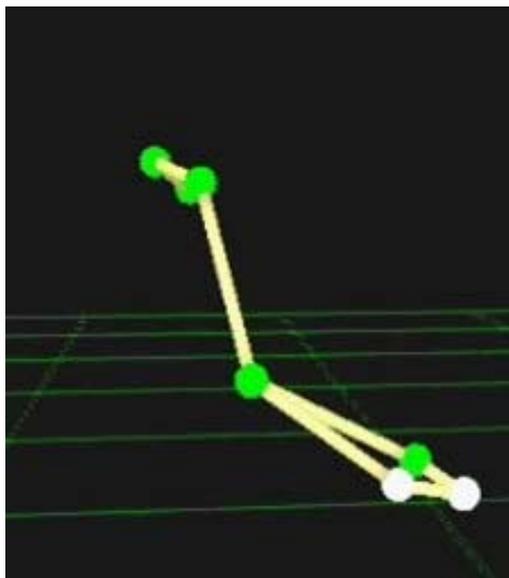


Abbildung 10:
3D-Ansicht Marker mit stilisierten Knochen Handbremse gelöst (Blick von der Beifahrerseite)

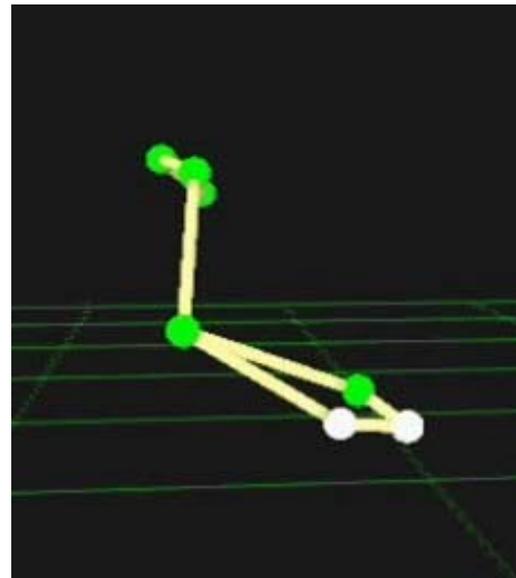


Abbildung 11:
3D-Ansicht Marker mit stilisierten Knochen Handbremse angezogen (Blick von der Beifahrerseite)

In der Abbildung 12 ist der zeitliche Verlauf des Winkels zwischen Schultergürtel (Strecke zwischen f und g) und dem gesamten Arm (Strecke zwischen f und c) dargestellt. Die rote Kurve zeigt eine große männliche, die blaue Kurve eine kleine weibliche Testperson. Während beim Mann beim Anziehen der Handbremse nur eine Winkeländerung von knapp 2° auftritt, ändert sich der Winkel bei der Frau um ca. 5° . Dieser quantitative Unterschied deutet ebenfalls auf eine stärkere Bewegung im Oberkörper der Frau hin. Unterstützt wird diese These bei Betrachtung des qualitativen Verlaufs dieser Kennlinie und dem Vergleich mit Abbildung 13. Den Testpersonen sind im zweiten Diagramm dieselben Farben zugeordnet. Zusätzlich sind weitere Probanden untersucht. Während bei der kleinen Frau der Winkel zwischen Ober- und Unterarm in den ersten ca. 50 ms relativ konstant bleibt, ändert sich der Winkel zwischen Schultergürtel und Arm sprungartig, um nach einer Verminderung um ca. $2,5^\circ$ mit geringerer Steigung weiter abzusinken. Zu diesem Zeitpunkt fällt aber nun die Kurve in Abbildung 13 sehr stark ab, um nach ca. 200 ms ebenfalls mit geringerer Steigung weiter abzufallen. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass die Bewegung beim Anziehen der Handbremse bei der kleinen weiblichen Testperson erst aus der Schulter und danach aus dem Arm erfolgt.

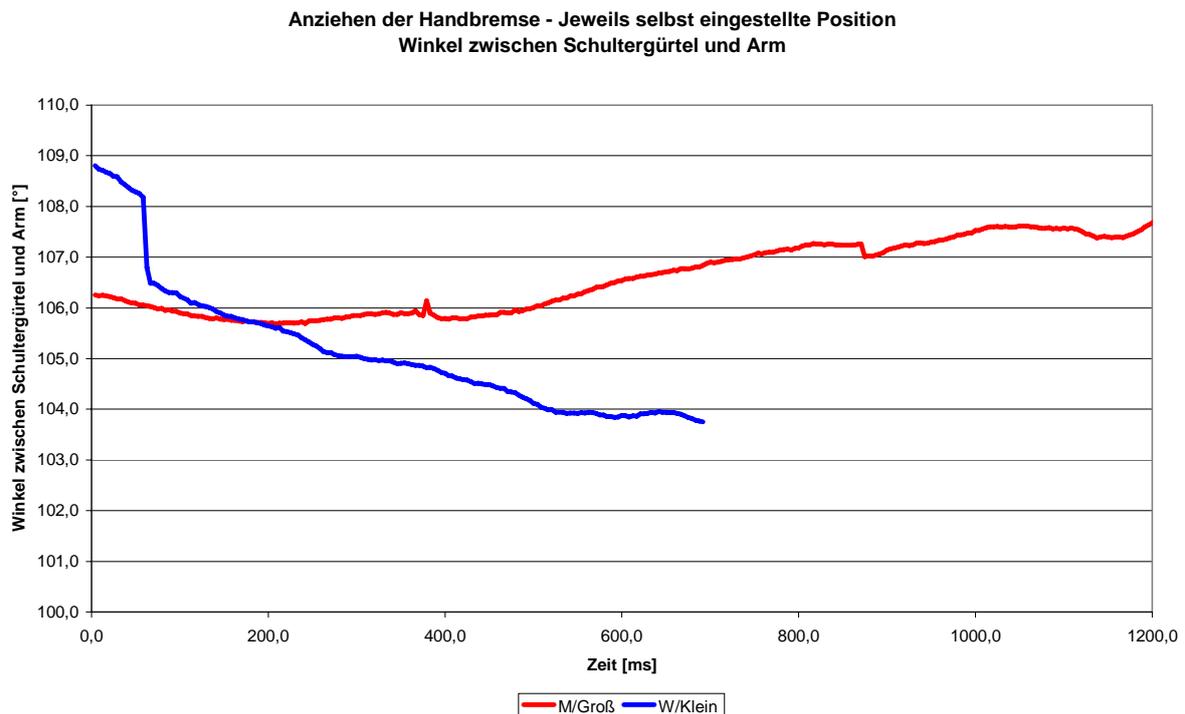


Abbildung 12: Kennlinie des Winkelverlaufs zwischen Schultergürtel und Arm

Anziehen der Handbremse - Jeweils selbst eingestellte Position
Winkel zwischen Ober- und Unterarm

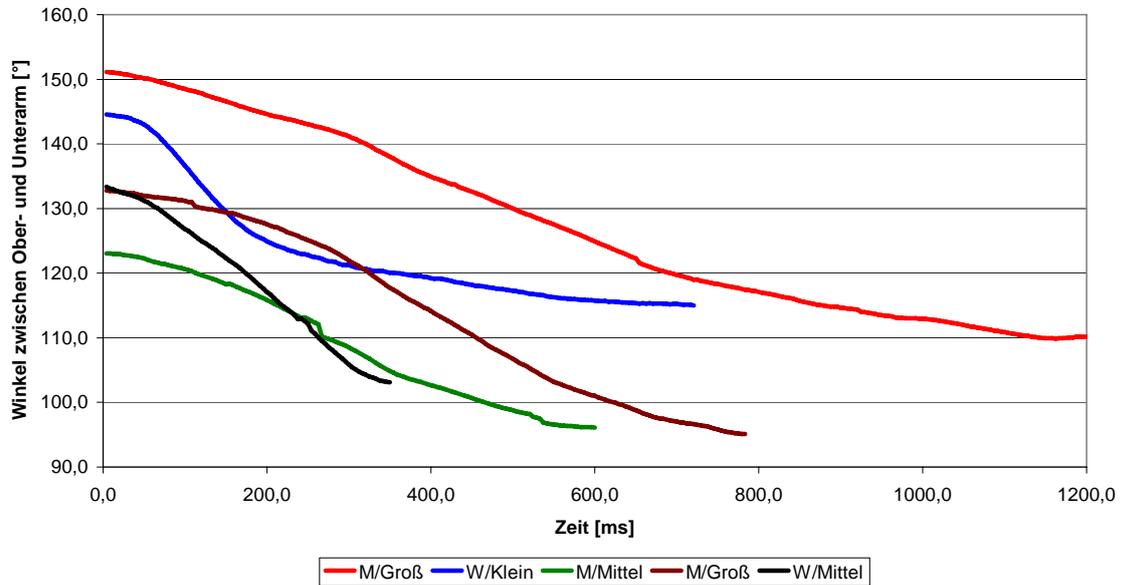


Abbildung 13: Kennlinie des Winkelverlaufs zwischen Ober- und Unterarm

Ein weiterer Unterschied im Vergleich zum untersuchten großen männlichen Probanden ist das deutlich kürzere Zeitintervall, das die Frau benötigt, um die Handbremse zu betätigen. Sie versucht die geringere Muskelkraft durch eine höhere Anzugsgeschwindigkeit auszugleichen.



Abbildung 14:
Betätigung der Handbremse - weibl. Testperson
Zwei übereinander gelegte halbtransparente
Fotos



Abbildung 15:
Betätigung der Handbremse - männl. Testperson
Zwei übereinander gelegte halbtransparente
Fotos

Als zusätzliche Visualisierung der o.g. Ausgleichsbewegung sind in den Abbildungen 14 und 15 zwei halbtransparente Fotos übereinander gelegt, die die in den Diagrammen beschriebenen Probanden jeweils vor und nach Betätigung der Handbremse zeigen. In den rot eingekreisten Bereichen sind die Marker f zu erkennen (mit roten Punkten gekennzeichnet). Während bei der männlichen Testperson fast keine Abweichung zu erkennen ist, sind bei der Frau deutliche Positionsunterschiede der Marker zu sehen.

DURCHFÜHRUNG DER KUNDENBEFRAGUNG

Zur Ermittlung von ergonomisch günstigen Bereichen zur Anordnung des Handbremshebels im Fahrzeug wurden mit dem zuvor beschriebenen Prüfstandes die grundlegenden Daten im Rahmen einer Kundenbefragung erfasst. Diese Daten beinhalteten sowohl subjektive Empfindungen der Testpersonen als auch objektive Messwerte. Um die späteren Testergebnisse der Objektiv-/Subjektiv-Untersuchungen besser einordnen zu können und einen Zusammenhang zwischen einzelnen Körpermaßen und der Handbremshebelposition zu finden, wurden 15 Körpermaße der Testteilnehmer ermittelt.

Für Objektiv-/Subjektiv-Untersuchungen zur Position des Handbremshebels sind zwei verschiedene Testverfahren denkbar. Eine erste Möglichkeit besteht darin, die Testpersonen selbstständig eine ihnen angenehme Position des Handbremshebels einstellen zu lassen. Dies kann entweder durch das in der Fahrertür eingebaute Bedienpanel erfolgen oder durch Kommandos von dem hinter der Testperson stehenden und das Positioniersystem bedienenden Versuchsleiter geschehen. Nach dem Einstellen der persönlich als optimal empfundenen Position werden weitere Positionen angefahren und mit Hilfe eines Fragebogens durch die Probanden bewertet. Die Auswahl der zusätzlichen Positionen kann nach verschiedenen Kriterien erfolgen. Der grundsätzliche Nachteil dieses Testverfahrens liegt in der für die Probanden ungewöhnlichen Möglichkeit, den Handbremshebel im Fahrzeug verfahren zu können. Das hat zur Folge, dass die eingestellte Position nicht aussagekräftig genug ist.

Eine bessere Möglichkeit, die persönlich optimale Position des Handbremshebels für jeden Probanden zu bestimmen, besteht im Anschluss an das zweite denkbare Testverfahren. Bei diesem werden die Extremwerte eines möglichen Verstellbereiches ausgewählt und den Testpersonen vorgestellt. Die Bewertung erfolgt für jede Position nach verschiedenen Kriterien. Um die Probanden nicht zu überfordern, sollte die Anzahl der einzustellenden Positionen auf ca. 10 begrenzt sein. Aber selbst bei dieser Anzahl von Bewertungen kann es zu Ermüdungs- oder

Lerneffekten kommen. Um dies nicht in die Auswertung einfließen zu lassen, empfiehlt es sich, die Reihenfolge der angefahrenen Positionen bei jedem Probanden zu tauschen. Zusätzliche Sicherheit, diese Effekte ausschließen zu können, bringen die Wiederholung einzelner Positionen und der Vergleich der jeweiligen Bewertungen. Dadurch, dass es sich bei den eingestellten Positionen um Extremwerte und keinesfalls Optimalpositionen handelt, tritt bei den Probanden eine Sensibilisierung für die Probleme beim Finden einer möglichst optimalen Position des Handbremshebels auf. Deshalb ist es im Anschluss an die Bewertungen möglich, die Testteilnehmer mit Hilfe des Versuchsleiters eine ihnen als optimal erscheinende Position einstellen zu lassen. Die erzielbaren Ergebnisse sind dabei deutlich aussagekräftiger als beim zuvor vorgestellten Testverfahren.

Mit Hilfe des für die durchgeführte Kundenbefragung ausgearbeiteten Fragebogens sollen die subjektiven Eindrücke der Testpersonen bei der Bewertung der Position des Handbremshebels erfasst werden. Gleichzeitig dient er dem Versuchsleiter als Messprotokoll. Dazu ist der Fragebogen in drei Abschnitte unterteilt. Teil eins und drei sind durch den Teilnehmer auszufüllen, der zweite Teil durch den Versuchsleiter. Den Testpersonen wird vor Versuchsbeginn eine fortlaufende Nummer zugeordnet. Diese wird auf allen Seiten des Fragebogens eingetragen. Auf diese Weise kann es nicht zu Vertauschungen kommen und die anonymisierte Auswertung der Versuche ist sichergestellt. Alle Ergebnisse und Messdaten werden getrennt von der Probandenzuordnung verwaltet.

Der Bewertungsteil des Fragebogens wird durch die Probanden selbst ausgefüllt. Für jede zu bewertende Position des Handbremshebels wird eine Seite mit jeweils vier Fragen verwendet. Die beiden ersten Fragen zielen dabei auf die Positionsbewertung im gelösten Zustand sowie bei der Betätigung der Handbremse ab. Der Proband soll, unterteilt in die drei Fahrzeugachsen, einschätzen, ob ihm die Handbremse zu weit vorn/hinten, links/rechts, oben/unten angeordnet ist. Es wird eine 5-stufige Skala verwendet, wobei die Mittelposition jeweils der optimalen Stellung entspricht. Die Antwortmöglichkeit von 1 bis 5 erlaubt dabei eine hinreichend genaue Differenzierung unter Verwendung einer Mittelstellung. Dadurch ist der Teilnehmer nicht gezwungen, sich für eine Tendenz zu entscheiden. Durch die verbale Benennung der Extrema der Wertungsskalen ist es für die jeweilige Person einfacher, sich mit einer Antwortmöglichkeit zu identifizieren. Mit den beiden letzten Fragen soll die notwendige Kraft bewertet werden, die der Proband beim Anziehen bzw. Lösen der Handbremse aufbringen muss. Es sind auf einer Ratingskala wiederum fünf Antwortmöglichkeiten vorhanden. Die Extremwerte stehen dabei für

Kraftaufwand zu hoch bzw. zu niedrig. Die mittlere Bewertungsmöglichkeit geht von einem als optimal empfundenen Kraftaufwand aus.

Um statistisch gesicherte Ergebnisse zu erhalten, wurde eine Mindestzahl von 30 Personen festgelegt, die an der Kundenbefragung teilnehmen sollten. Dabei war die Auswahl der Probanden hinsichtlich der Repräsentativität der Untersuchungen entscheidend. Um eine möglichst relevante Zielgruppe abzudecken, wurde festgelegt, die Teilnehmer in vier Gruppen einzuordnen:

- Gruppe 1, 2,5%-Frau d.h. kleiner als 160 cm
- Gruppe 2, 50%-Frau d.h. 160 .. 168 cm
- Gruppe 3, 50%-Mann d.h. 170 .. 182 cm
- Gruppe 4, 97,5%-Mann d.h. 182 .. 194 cm

Die Testpersonen sollten mit ihrer Altersstruktur einen möglichst großen Bereich abdecken, um die Validität der Ergebnisse auf eine breite Basis stellen zu können. Dies ist in besonderem Maße auch deshalb angebracht, da es sich um Ergonomieveruche handelt und sich die Bewegungsmöglichkeiten des Menschen mit zunehmendem Alter verändern.

Dieser Beitrag soll dabei allerdings nicht auf die spezifischen Probleme bestimmter Altersgruppen eingehen, sondern möglichst allgemeine Ergebnisse liefern. Die Methodik der Versuchsdurchführung sowie der Prüfstands Aufbau sollten aber geeignet sein, um auch Untersuchungen gezielt an bestimmten Alters- oder Bevölkerungsgruppen durchführen zu können.

Nach der Messung der Körpermaße konnten die Probanden im Prüfstand Platz nehmen. Es folgte eine Einweisung durch den Versuchsleiter. Dabei wurde darauf geachtet, jedem Teilnehmer die gleichen Informationen und Anweisungen mit der gleichen Wortwahl vorzugeben. Dies ist wichtig, um mögliche Beeinflussungen des Probanden durch den Versuchsleiter auszuschließen. Die erste Aufgabe für die Testteilnehmer bestand darin, sich den Fahrersitz entsprechend ihrer persönlichen Gewohnheiten einzustellen. Der Versuchsleiter machte dafür die Probanden mit den Einstellmöglichkeiten des elektrisch verstellbaren Sitzes vertraut. Die Probanden wurden aufgefordert, sich Zeit zu nehmen und alle Verfahrmöglichkeiten des Sitzes auszuprobieren, um eine den individuellen Ansprüchen gerecht werdende Sitzposition zu erreichen. Zu diesem Zweck wurde ein der Realität nachempfundenen Pedalgefühl im Kupplungspedal realisiert. Dieses Bedienelement bildet zusammen mit der ebenfalls simulierten Schaltkulisie des Getriebeschalthebels eine Orientierung für die Einstellung des Fahrersitzes. Abschließend wurden

die Teilnehmer aufgefordert den Sicherheitsgurt anzulegen. Der Versuchsleiter notierte die eingestellte Sitzposition im Messprotokoll.

Die nächste Aufgabe für die Probanden bestand in der Bewertung der 11 Handbremspositionen. Dazu wurden zu jeder Position vier Fragen vorgegeben. Die erste Frage richtete sich auf das Bewerten der Handbremsposition im gelösten Zustand des Handbremshebels. Es sollte für Fahrzeuglängs-, -quer- und -hochrichtung die Positionierung mit Hilfe einer 5-stufigen Skala bewertet werden, bei der die mittlere Stufe für eine jeweils optimale Positionierung steht. Um vergleichbare Ergebnisse zu erzielen, wurde als Bewegungsablauf das möglichst „blinde“ Greifen vom Schalthebel zum Handbremshebel vorgegeben. Da es sich bei den angefahrenen Positionen um Extremwerte handelte und die Probanden beim Verfahren des Positioniersystems aufgefordert wurden, den Positionierungsvorgang nicht zu beobachten, kam es häufig zu einem „Danebengreifen“ der Testpersonen. Dadurch wurde es für die Probanden einfacher zu beurteilen, welche Achse bzw. Achsen für eine subjektiv schlechte Position verantwortlich waren.

Frage zwei unterschied sich dadurch zur ersten, als dass hier die Hand am Handbremshebel bleiben sollte. Die Handbremse konnte so oft wie gewünscht angezogen und gelöst werden. Die Positionsbewertung erfolgte dabei nach demselben Schema wie bei Frage eins.

Für die Beantwortung der Fragen drei und vier wurden die Probanden aufgefordert, sich die Situation vorzustellen, dass sie ihr Fahrzeug an einem sehr steilen Hügel sicher abstellen müssen. Dazu sollte die Handbremse angezogen werden. Anschließend war zu notieren, wie die notwendige Kraft am Handbremshebel empfunden wurde. Die dritte Frage zielte dabei auf den Kraftaufwand beim Anzugs-, die vierte auf den Kraftaufwand beim Lösevorgang. Zur Beantwortung stand wiederum eine 5-stufige Skala zur Verfügung, bei der auch hier die mittlere Stufe eine als optimal empfundene Bewertung erlaubte.

Abschließend wurde für jede Position eine Messung von Seilkraft und Hebelwinkel für einen Anzugsvorgang durchgeführt. Dazu sollten die Probanden den Handbremshebel wie für Frage drei und vier beschrieben auf Kommando betätigen. Der Versuchsleiter startete gleichzeitig eine Messung mit einer festen Dauer von zwei Sekunden. Dieser Zeitabschnitt war ausreichend um das Betätigen der Handbremse mit einer Abtastrate von 70 Hz dynamisch aufzuzeichnen. Danach konnte die nächste Position des Handbremshebels in einer vorgegebenen Reihenfolge angefahren werden. Die Koordinaten der neun verwendeten Positionen waren dazu mit Hilfe der verwendeten

Software abgespeichert worden, so dass eine schnelle Bedienung ohne Unterbrechungen möglich war.

Den Abschluss eines Versuches bildete das Einstellen einer von den Testpersonen als optimal empfundenen Position des Handbremshebels. Dazu gaben die Probanden dem Versuchsleiter Kommandos, in welche Richtung das Handbremssystem verfahren werden sollte. Auch hier gab es die Aufforderungen, sich für die Positionierung Zeit zu lassen und alle Richtungen durchzutesten. Das Notieren der eingestellten Position durch den Versuchsleiter bildete gleichzeitig den Abschluss der jeweiligen Versuchsreihe.

Die durchgeführte Kundenbefragung führte zu einer großen Zahl von Messdaten und Bewertungen. Es wurden je Proband 121 Daten aufgenommen. Diese Zahl setzt sich zusammen aus:

- 15 Körpermaßen
- 4 Messwerten zur Beschreibung der Sitzposition
- 7 allgemeinen Angaben
- 8 Bewertungen je eingestellter Handbremsposition
- 11 angefahrenen Handbremspositionen
- 3 Messwerten zur Beschreibung der selbst eingestellten optimalen Position des Handbremshebels
- Dynamischer Messdatenerfassung bei einem Anzugsvorgang für Seilkraft- und Hebelwinkelverlauf (2s; 70 Hz)
- 1 Foto vom Probanden in Handbremsposition M

AUSWERTUNG DER KUNDENBEFRAGUNG

Als erster Teil der Auswertung wurde, um die Validität der ermittelten Bewertungen zu überprüfen, die Wiedererkennung einer bereits angefahrenen Position untersucht. Während der Kundenbefragung ist eine mittlere Position drei Mal im Verlauf eines Versuchsdurchgangs angefahren worden. Entscheidend bei dieser Art von Tests ist, dass die Wiederholung unbemerkt von den Testpersonen geschieht. Um dies sicherzustellen wurden zwischen den Wiederholungen jeweils vier andere Positionen eingestellt. Selbst wenn der unwahrscheinliche Fall eintritt, dass eine Testperson bemerkt, dass es sich um eine bereits bewertete Position handelt, ist es für sie durch die Art der Testdurchführung nicht mehr nachvollziehbar, welche Bewertung zuvor vorgenommen wurde.

Zu Beginn ist die Frage zu klären, wie die Wiedererkennung von drei Positionen definiert wird. In dieser Auswertung wurden zwei Arten unterschieden. Bei beiden wurden die acht Bewertungen, die je Position von den Probanden getroffen wurden, aufgesplittert. Das bedeutet, dass nur jeweils die einzelnen Bewertungen miteinander verglichen wurden und nicht ihre Gesamtheit. Die Referenz für die Vergleiche war immer die mittlere Position. Auf diese Weise erhielt man pro Testteilnehmer zwei mal acht Pärchen, die auf eine Wiedererkennung getestet wurden. Die Unterscheidung zwischen den beiden ausgewerteten Arten der Wiedererkennung liegt in der Genauigkeit. Im ersten Fall ist eine genaue Erkennung derselben Bewertungsstufe notwendig, im zweiten Fall ist ein Unterschied von einer Bewertungsstufe erlaubt. Das heißt Fall eins ist eine Untermenge von Fall zwei. In den Tabellen 1 und 2 sind die Erkennungsquoten für beide Arten abgebildet.

Fall 1 - Genaue Erkennung	
Gruppe 1	29%
Gruppe 2	54%
Gruppe 3	41%
Gruppe 4	28%
W	41%
M	36%
Gesamt	38%

Tabelle 1:
Wiedererkennungsquote mit
genauer Erkennung
(rot – Maximalwert, blau –
Minimalwert)

Fall 2 – Max. eine Bewertungsstufe Unterschied	
Gruppe 1	84%
Gruppe 2	95%
Gruppe 3	91%
Gruppe 4	92%
W	89%
M	91%
Gesamt	91%

Tabelle 2:
Wiedererkennungsquote mit einer
Bewertungsstufe Unterschied
(rot – Maximalwert, blau –
Minimalwert)

Die absoluten Zahlen für die Wiedererkennung einer bereits zuvor eingestellten Position sind, wenn man die Gesamtheit aller Probanden betrachtet, relativ hoch. Mit einer Erkennungsquote von 38% für eine exakt identische Bewertung und über 90% bei maximal einer Bewertungsstufe Unterschied wird ein Ergebnis erreicht, das als sehr gut bezeichnet werden kann. Es lässt darauf schließen, dass das Testverfahren für die Mehrzahl der Probanden geeignet war, da nur dann eine ähnliche Bewertung erzielt wird, wenn sowohl die Aufgabenstellung als auch der zur Verfügung stehende Prüfstand eine wiederholbare Bewertung ermöglichen.

Eine genauere Betrachtung der Erkennungsquoten der einzelnen Personengruppen führt zu der Vermutung, dass die beiden Gruppen mit extremen Körpermaßen, d.h. sowohl die kleinen Frauen (Gruppe 1) als auch die großen Männer (Gruppe 4) größere Probleme haben, wiederholbare Ergebnisse zu erzielen. Im Gegensatz dazu sind die Erkennungsquoten in der Gruppe der „normal großen“ Frauen (Gruppe 2) mit 54% und 95% sehr hoch. Auf eine genauere Untersuchung der

Ursachen soll an dieser Stelle verzichtet werden. Für eine tiefer gehende Betrachtung empfiehlt es sich, die statistische Basis der Ergebnisse zu verbreitern.

Um eine Empfehlung für die Anordnung des Handbremshebels im Fahrzeug für zukünftige Fahrzeuge geben zu können, wurden zwei statistische Verfahren zur Berechnung einer optimalen Position mit den Ergebnissen der Positionsermittlung der von den Probanden selbst eingestellten Position verglichen.

Es zeigt sich, dass die Unterschiede zwischen der selbst eingestellten Position und den beiden numerischen Verfahren jeweils sehr gering ausfallen. Da diese Werte völlig unabhängig voneinander bestimmt wurden, kann der Vergleich als Gütekriterium für die angewendeten Berechnungsverfahren angesehen werden. Zusätzlich zu den subjektiven Bewertungen wurde mit der Seilkraft ein objektiver Messwert bestimmt. Zur Auswertung der Daten wurde auch hier ein rechnerisches Verfahren entwickelt, dessen Basis die erzielte Maximalkraft im Verlauf des zwei-sekündigen Messintervalls bildet. Erreicht wird diese beim Anziehen des Handbremshebels kurz bevor der Hebel zum Einrasten losgelassen wird.

Ein grundsätzliches Problem bei Betrachtung der aufgebrauchten Kräfte ist das nicht näher definierte Anzugsverhalten der Probanden. Die für alle Testpersonen gleiche Aufgabenstellung verlangte das sichere Abstellen des Fahrzeugs an einem sehr steilen Hügel. Allerdings fehlt dafür die Rückwirkung des Fahrzeugs, die die Probanden gewohnt sind. Deshalb wäre es sinnvoll, vor weiteren Untersuchungen den Ausbau des Prüfstandes zum Simulator vorzunehmen. Weiterhin spielt die Gewohnheit der Versuchspersonen, und damit das eigene Fahrzeug, eine entscheidende Rolle. So war zu beobachten, dass Probanden mit älteren Fahrzeugen die Handbremse grundsätzlich stärker angezogen haben, als solche mit neueren Pkws. Ebenfalls höhere Kräfte brachten Testpersonen auf, die häufig am Berg parken.

Um die bestimmte optimale Position wird ein (grüner) Bereich gebildet, in dem die Anordnung des Handbremshebels nach Auffassung der Verfasser empfohlen wird. Sollte die Positionierung in diesem grünen Bereich nicht möglich sein, so kann, mit Abstrichen, der Handbremshebel in einem weniger günstigen (gelben) Bereich angeordnet werden. In der Abbildung 16 sind sowohl die nach den verschiedenen Verfahren ermittelten Optimalpositionen erkennbar als auch die o.g. Bereiche dreidimensional dargestellt. Eine Angabe der Werte für die angegebenen Empfehlungen in Fahrzeugkoordinaten oder der Bezug auf den H-Punkt ist jederzeit möglich.

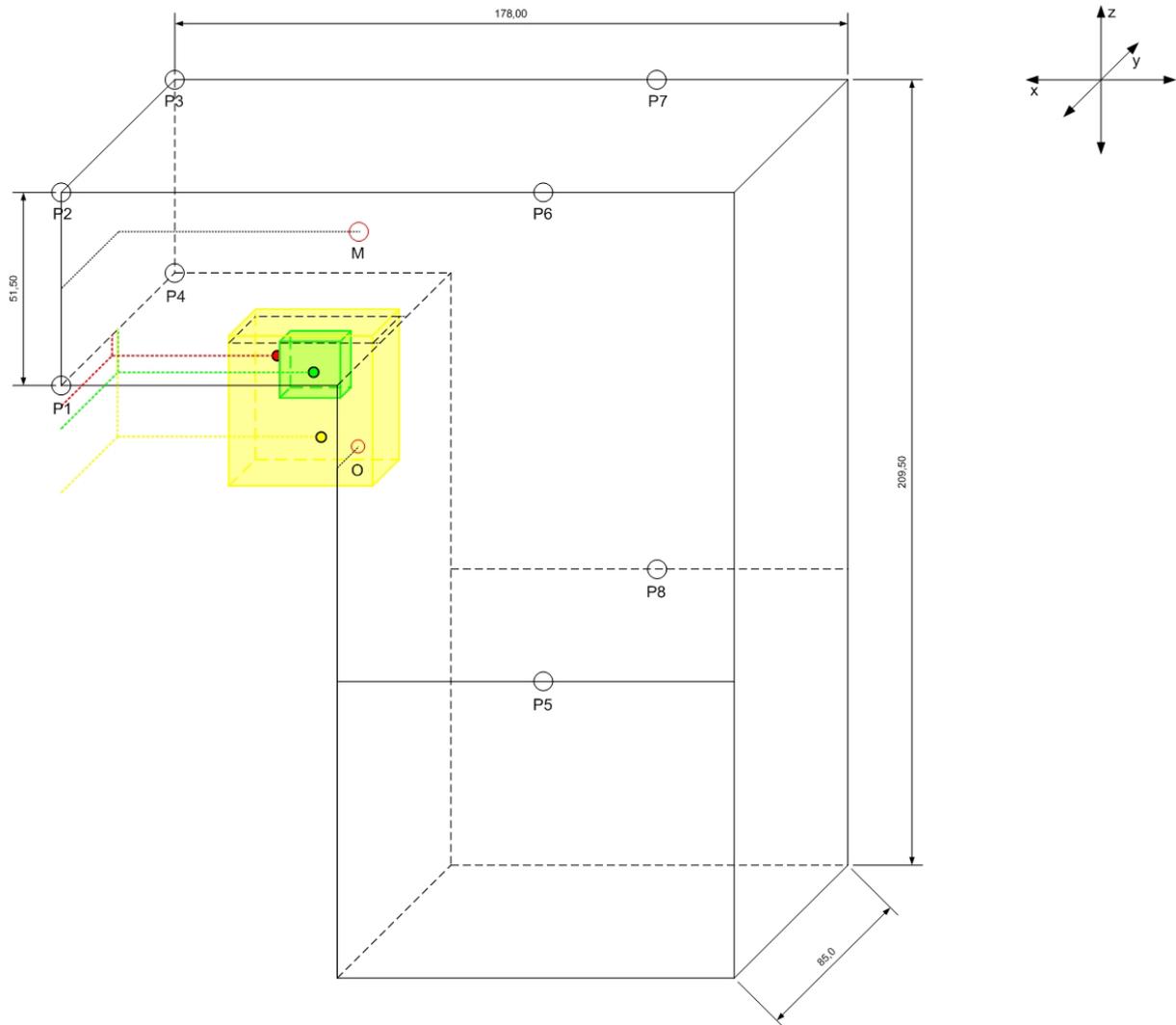


Abbildung 16:
 Empfehlung für Handbremshebelpositionierung - **Grün** – Optimaler Bereich, **Gelb** – Möglicher Bereich (**Grüner Punkt** – Selbst eingestellte Position, **Gelber Punkt** – Position nach numerischer Auswertung 1, **Roter Punkt** – Position nach numerischer Auswertung 2)

ZUSAMMENFASSUNG

Im vorliegenden Beitrag wurden die Projektierung, die Konstruktion sowie der Aufbau eines Ergonomieprüfstandes für ein Bedienelement als Teil der Mensch-Maschine-Schnittstelle beschrieben. Im Rahmen einer Kundenbefragung wurde der Funktionsnachweis sowohl für den Prüfstand als auch die angewendeten Auswertungsverfahren erbracht. Dadurch war es möglich, sowohl eine Empfehlung für eine optimale Position als auch möglich Bereiche zur Anordnung des Handbremshebels auszusprechen.

Es hat sich gezeigt, dass die Auflösbarkeit des Menschen für Positionsänderungen des Handbremshebels deutlich unter den kleinsten Einstellmöglichkeiten des Prüfstandes liegt. Dies ist

eine wichtige Voraussetzung, um Objektiv-/Subjektiv-Untersuchungen vornehmen zu können.

Bei den vorab getroffenen Überlegungen hat sich gezeigt, dass nicht nur die Position, sondern auch die Bewegungsbahnkurve des Hebels sowie die Orientierung des Griffstücks in die subjektive Bewertung einfließen. Die Auflösung dieser Fragestellung ist beim Aufbau des Prüfstandes durch Umsetzung der entsprechenden Verstellmöglichkeiten berücksichtigt worden. Allerdings konnte im Rahmen der Kundenbefragung nicht näher auf dieses Problem eingegangen werden. Ebenso wenig wurde der Einfluss des Kraft-Weg-Verhaltens des Handbremshebels sowie des Löseknopfes untersucht. Auch hierfür ist der Prüfstand jedoch geeignet.

Abschließend ist festzustellen, dass sich sowohl der Prüfstand als auch die eingesetzten Verfahren zur Ermittlung und Auswertung subjektiver Eindrücke bewährt haben. Das gesamte Testverfahren ist somit auch auf weitere Bedienelemente übertragbar.

DANKSAGUNG

Die Autoren danken dem Leiter des Fachgebietes Biomechatronik der TU Ilmenau Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. med. (habil.) Hartmut Witte und seiner Mitarbeiterin Frau Dipl.-Biol. Danja Voges für die Bereitstellung und Einweisung in das Bewegungsanalysesystem.

Literatur- bzw. Quellenhinweise:

- [1] Fetter, R.: Konzeption und Konstruktion eines Ergonomie-Prüfstandes zur Variation der Handbremshebel-Orientierung, unv. Diplomarbeit, TU Ilmenau, 2004
- [2] Bullinger, H.-J.: Ergonomie Produkt- und Arbeitsplatzgestaltung, B. G. Teubner, Stuttgart, 1994

Autorenangaben:

Dipl.-Ing. Robert Fetter
Dipl.-Wirtsch.-Ing. Stefan Heimann
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Augsburg

Technische Universität Ilmenau
Fakultät für Maschinenbau
Fachgebiet Kraftfahrzeugtechnik
Gustav-Kirchhoff-Platz 2
98693 Ilmenau

Tel.: 0 36 77 / 69 38 43
Fax: 0 36 77 / 69 38 40
E-mail: klaus.augsburg@tu-ilmenau.de