

## Leben für die Ergonomie

Prof. Dr. rer. nat. Heiner Bubb

Editorial	1
Prof. Dr. Heiner Bubb als Mitarbeiter am Lehrstuhl für Ergonomie von 1968 bis 1984 und als Lehrbeauftragter von 1985 bis 1992	2
Prof. Dr. rer. nat. Heinz Schmidtke	
Prof. Dr. Heiner Bubb als Lehrer und Chef, 1988 - heute	3
Prof. Dr. Dr. - Ing. Birgit Spanner-Ulmer	
Haptische Interaktion als Grundlage hoch- automatisierten Fahrens	4
Daniel Damböck, Martin Kienle	
Fahrsimulator-Forschungsumgebung am Lehrstuhl für Ergonomie	8
Martin Wohlfarter, Christian Lange	
Parkassistent	17
Christian Doisl	
Welches ist das optimale Bedienelement für eine Funktion?	20
Stefan Müller	
Ergonomisch optimierte Klimasteuergeräte	23
Ulrich Bergmeier	
Problematik der Fahrerassistenzsysteme und Rolle der Fahrermodellierung	27
Marina Plavšić	
Kraftmessung an den Schnittstellen Mensch-Fahrzeug – Auslegung und Reali- sierung der Messtechnik	33
Christin Fröhmel, BMW Group	
Designkriterien, Emotion und Ergonomie	37
Iwona Jastrzebska-Fraczek, Peter Schaefer	
Haptische Konstanzleistung bei Drehstel- lern	40
Jörg Reisinger	

## EDITORIAL

**Liebe Kolleginnen und Kollegen,  
sehr geehrte Leserinnen und Leser,  
liebe Freunde der Ergonomie,**

Sie halten nun das neunte Exemplar dieser Zeitschrift in Ihren Händen. Es wird das letzte Exemplar sein, das von mir als Leiter des Lehrstuhls für Ergonomie der TUM herausgegeben wird, denn zum 1. Oktober 2008 werde ich in Pension gehen. Wie so viele Forschungsergebnisse des Lehrstuhls ist auch diese Zeitschrift eine Idee eines Mitarbeiters, Herrn Dr. Werner Kusch, der damals an meinem Lehrstuhl tätig war und der heute die Staatliche Wirtschaftsschule in Freising leitet. Mit dieser Zeitschrift sollten Sie über die Aktivitäten des Lehrstuhls unterrichtet werden. Mitarbeiter erhielten die Gelegenheit, auf diesem Wege aktuelle Forschungstätigkeiten und -ergebnisse in zitierfähiger Form zu veröffentlichen. Wie ich aus vielen aufmunternden Zuschriften weiß, fiel diese Idee auf fruchtbaren Boden bei den Lesern der Zeitung.

Die Forschungsarbeiten des Lehrstuhls befassten sich traditionell mit der Produktionsergonomie. Im Laufe der Entwicklung drängte sich immer mehr die Ergonomie der Produktgestaltung in den Vordergrund. Dafür kristallisierten sich in den letzten Jahren zwei Hauptrichtungen heraus, die sich unter den Begriffen "anthropometrische Gestaltung" und "systemergonomische Gestaltung" zusammenfassen lassen. Anlässlich des GfA-Frühjahrskongresses 2008 hat sich



die "Ergonomie-aktuell" mit Bezug auf die Pensionierung meines Freundes und lang-jährigen Mitstreiters Prof. Dr. H.-P. Rühmann besonders mit den Aktivitäten zur Produktergonomie befasst. In der vorliegenden Zeitschrift finden Sie nun Abhandlungen, welche die Produktgestaltung und hier besonders unsere Aktivitäten auf dem Automobilsektor beleuchten.

Ich bedanke mich an dieser Stelle für Ihr anhaltendes Interesse an dem Lehrstuhl für Ergonomie. Mir hat die Arbeit dafür viel Spaß gemacht und mein Leben wesentlich ausgefüllt. Ich werde auch künftig dem Lehrstuhl die Treue halten und auf alle Fälle für meine Doktoranden, deren Arbeiten ich auf den Weg gebracht habe, zur Verfügung stehen.

Ich wünsche Ihnen viel Freude beim Lesen und Blättern in dieser Zeitschrift. Meiner Nachfolge wünsche ich eine glückliche Hand in der Fortführung der wichtigen Forschung auf dem Gebiet der Ergonomie, die ja nicht Selbstzweck ist, sondern ihrem Wesen nach dem Wohlergehen des arbeitenden Menschen dienen und für eine menschengerechte Technik sorgen soll.

Ihr  
Heiner Bubb

Wirbelsäulenbelastung im Automobil  
und Ableitung einer automatischen Sitz-  
komforteinstellung

45

R. Zenk

Entwicklung eines Prüfkörpers zur Be-  
wertung des Sitzkomforts

48

Dipl.-Ing. Olaf Sabbah

Bericht vom 54. GfA-Frühjahrskongress  
2008

51

Wolfram Remlinger

Impressum

19

# **Prof. Dr. Heiner Bubb als Mitarbeiter am Lehrstuhl für Ergonomie von 1968 bis 1984 und als Lehrbeauftragter von 1985 bis 1992**

em. Univ.-Prof. Dr.rer.nat.Heinz Schmittke

Auf der Suche nach einer Doktorandenstelle stieß Herr Bubb im Jahre 1968 in der Barbarastraße auf unseren Lehrstuhl. Nach dem Studium der technischen Physik an der TUM schien er mir geeignet, sich mit einem Problemfeld zu befassen, welches mir als begeistertem Autofahrer sehr am Herzen lag, nämlich der Detailfrage, ob es möglich ist, dem PKW-Fahrer Informationen darüber zur Verfügung zu stellen, wie lang der Bremsweg des Autos relativ zu seiner aktuellen Geschwindigkeit und dem Straßenzustand sein wird. Es gelang mir damals, von der Firma BMW ein Versuchsfahrzeug zu akquirieren und von den Militärbehörden die Genehmigung zu erwirken, auf der Start- und Landebahn des Flughafens Neubiberg Versuchsfahrten durchzuführen. Über die Messung der Drehzahlunterschiede zwischen angetriebenen und nicht angetriebenen Rädern konnte Herr Bubb relativ gute Prognosen über den für den jeweiligen Fahrbahnzustand zu erwartenden Bremsweg erstellen. Nach diesem Erkenntnisgewinn stellte sich jedoch die Frage, wie man diese Information optimal an den Fahrer heranbringt. Herr Bubb wählte dazu die bei militärischen Kampfflugzeugen bereits eingeführte Technik des Head-Up-Displays. Mit Sinn für die Grenzen menschlicher Transferprozesse entschied er sich jedoch dagegen, den ermittelten Bremsweg mittels einer Digitalanzeige in Metern anzuzeigen. Vielmehr wählte er eine Darstellung der Fahrbahn im Head-Up-Display, wo der Fahrer eine Marke in der Windschutzscheibe an der Stelle der perspektivisch dargestellten Straße sieht, an der das Fahrzeug bei Vollbremsung zum Stehen kommen wird. Herr Bubb ließ sich dieses Konzept patentieren, übertrug das Patent später an BMW, wo es in den Tiefschlaf verfiel. Erst als japanische Hersteller Autos mit Head-Up-Display-Technik auf den Markt brach-

ten, wachten auch deutsche Hersteller wieder auf. Allerdings wurden hier nicht so relevante Informationen wie sie Herr Bubb im Auge hatte angezeigt, sondern zunächst vergleichsweise nebensächliche Dinge wie z.B. die aktuelle Fahrgeschwindigkeit.

Ein zweites großes Projekt hat Herrn Bubb über viele Jahre hinweg bis in die Gegenwart hinein beschäftigt, nämlich das Projekt RAMSIS. Bei diesem von der deutschen Automobilindustrie ausgeschriebenen Projekt ging es darum, einen anthropometrischen Datenpool zu schaffen, aus dem rechnergenerierte Menschmodelle abzuleiten waren. Wir konnten diesen sehr interessanten Auftrag im zweiten Anlauf requirieren und gemeinsam mit der Firma TECMATH in Kaiserslautern erledigen. Hier hat Herr Bubb gemeinsam mit unserem damaligen Mitarbeiter Dr. Seidl – der inzwischen Geschäftsführer einer Nachfolgefirma ist – Pionierarbeit geleistet mit dem Ergebnis, dass nahezu alle internationalen Autohersteller sich dieses Werkzeuges für die Auslegung ihrer Fahrzeuge bedienen. Damals angedachte Konzepte haben aber in der Folgezeit weit über die Autoindustrie hinaus Beachtung gefunden. So können heute mit sogenannten Bodyscannern in wenigen Sekunden die anthropometrischen Daten eines Menschen erfasst werden für deren Gewinnung man früher viele Minuten benötigte. Mit diesen Daten kann der anthropometrische Datenpool ständig erweitert und aktualisiert werden. Jeder Institutsleiter kann glücklich sein, wenn er wissenschaftliche Mitarbeiter in seinem Arbeitskreis findet, die angefüllt von wissenschaftlichem Eros sich begeistert neuen Problemfeldern zuwenden, hier am Ball bleiben und Projekte zu einem guten Ende führen. Herr Bubb war nicht nur ein solcher Mitarbeiter sondern er war auch ein hochqualifizierter Nachfolger in der Institutsleitung.





# Prof. Dr. Heiner Bubb als Lehrer und Chef, 1988 - heute

Prof. Dr. Dr. - Ing. Birgit Spanner-Ulmer

Vor ziemlich genau 20 Jahren trat ich meine erste Stelle als wissenschaftliche Mitarbeiterin bei Herrn Prof. Bubb an der Professur Arbeitswissenschaft der Katholischen Universität Eichstätt an. Für mich ein Glücksfall gleich in mehrerlei Hinsicht: 1) war die Professur Arbeitswissenschaft, die als Disziplin meist den Ingenieurwissenschaften zugeordnet ist, an der KUE 1985 eingerichtet worden, um die Ausbildung der Hauptschullehrer zu gewährleisten; 2) hatte ich in meinem Studium zur Wirtschaftsingenieurin an der TH Karlsruhe mein großes Interesse für die Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle entdeckt; 3) nach einem 15-minütigen Vorstellungsgespräch bot mir der damalige Leiter der Professur Herr Prof. Bubb an mich einzustellen. Damit begann meine wohl „lebenslange“ Begeisterung für die Ergonomie, die mein ehemaliger Chef „permanent“ förderte.

Dies fing mit dem Besuch seiner Vorlesungen an, die er in einer breiten Vielfalt den Eichstätter Studenten anbot. Unter seiner Anleitung durfte ich zunächst das arbeitswissenschaftliche Labor aufbauen, das es den Studenten und mir ermöglichte „praktische Erfahrungen“ mit der Gestaltung von Arbeitsplätzen und der Arbeitsumgebung zu sammeln. Sein Wissen anderen anschaulich und umfassend zu vermitteln, war damals wie heute eine seiner „Berufungen“. Nicht weniger gilt diese Formulierung für seine Forschungsideen. In den Jahren 1988 -1993, die ich „hautnah“ miterlebte, wurden die Forschungsansätze für das „Aktive Stellteil“, die „Menschliche Zu-

verlässigkeit“ sowie das digitale Menschmodell „RAMSIS“ geboren. In der Zwischenzeit sind mit Unterstützung einer Reihe von Doktoranden und Diplomanden viele wissenschaftliche Erkenntnisse dazu und zu vielen weiteren Themen gewonnen worden, die von hoher nationaler und internationaler Bedeutung sind. So wundert es nicht, dass der gedankliche Vater all dieser und vieler weiterer Ideen ständig auf Kongresse und Tagungen eingeladen wird sowie ein hochgefragter Partner bei Industrievertretern ist.

Mit seiner Fähigkeit ständig neue Lösungsansätze und Ideen zu entwickeln, hat Herr Prof. Bubb nicht nur Fundamentales für die Forschung geleistet, sondern stets auch seine Schüler angeleitet ungewöhnlich und kreativ zu denken.

Eine Eigenschaft, die Herrn Prof. Bubb darüberhinaus auszeichnet, ist seine Hilfsbereitschaft. Ganz gleich ob es um die Unterstützung einer Doktorarbeit, die Teilnahme als Referent bei einer Veranstaltung oder um die Übernahme eines Amtes beispielsweise in der universitären Selbstverwaltung ging, Herr Prof. Bubb war und ist zur Stelle. Bei ihm ist die „menschliche Zuverlässigkeit“ zu 100% ausgeprägt.

So erinnere ich mich nicht nur gerne an die Zeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin bei meinem Chef zurück, sondern bin stolz und dankbar, dass sich diese wertvolle Verbindung bis zum heutigen Tag erhalten hat.



# Haptische Interaktion als Grundlage hochautomatisierten Fahrens

Daniel Damböck, Martin Kienle

## Einführung

Das Fahren eines Kraftfahrzeugs lässt sich als Wechselwirkung zwischen Mensch, Maschine und Umwelt begreifen. Es kann also als klassisches Mensch-Maschine-System (MMS) dargestellt werden. Ein MMS ist definiert als ein System, in dem Mensch und Maschine zur Erreichung eines vorgegebenen Ziels zusammenwirken und zu diesem Zweck Informationen austauschen. Im Fall eines Fahrer-Fahrzeug-Systems besteht das Ziel darin, unter Einhaltung bestimmter Randbedingungen von einem Ort A zu einem Ort B zu fahren (Abb. 1).

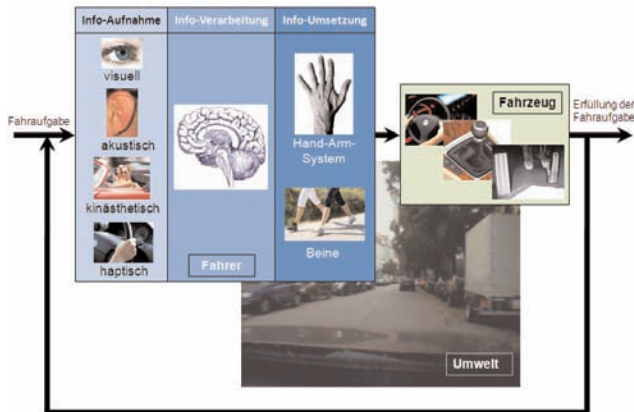


Abbildung 1: Darstellung des Fahrer-Fahrzeug-Regelkreises

Schon seit einiger Zeit beschäftigen sich Automobilhersteller mit der Entwicklung von Assistenzsystemen, die nicht nur - wie bislang üblich - Komfort oder Handhabbarkeit verbessern, sondern tatsächlich aktiv in die Fahrzeugführung und damit in das oben beschriebene Fahrer-Fahrzeug-System eingreifen. Einige Systeme, wie z.B. ACC oder Spurhalteassistenten können dabei bereits jetzt einzelne Teile der primären Fahraufgabe eigenständig ausführen. Auch in der weiteren Entwicklung wird der Grad der Unterstützung für den Fahrer immer weiter steigen und somit ein ständig wachsender Teil der Fahraufgabe von Fahrerassistenzsystemen übernommen werden. Dadurch wird eine wichtige Frage aufgeworfen: Wer oder was wird in Zukunft das Fahrzeug steuern, Mensch oder Automation (Kelsch et al., 2006)?

## Chancen und Risiken hochautomatisierten Fahrens

Wird die Entwicklung konsequent weiter gedacht, so steht am Ende möglicherweise ein Fahrzeug, das sowohl in manuellen, assistierten als auch in höher automatisierten Zuständen gefahren werden kann (Abb. 2).

Im vollautomatischen Zustand wird der Menschen komplett von der Fahraufgabe entbunden. Dass sich die Forschung in diese Richtung bewegt, zeigen Veranstaltungen wie die DARPA Urban Challenge

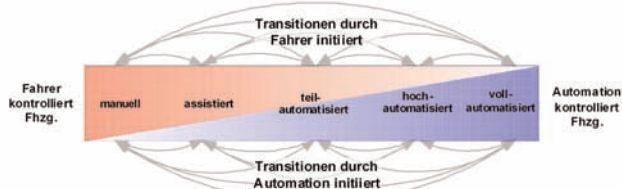


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Automationsspektrums

2007 (Abb. 3). Bei diesem Wettbewerb müssen autonom fahrende Fahrzeuge ihren Weg durch eine künstliche Stadt finden und dabei mit den komplexen Bedingungen von besiedeltem Gebiet interagieren.

Der Mensch wird also zum Passagier im eigenen Fahrzeug und muss nur noch eingreifen, wenn die Regelgrenzen der Automation erreicht sind. Insgesamt bietet diese Entwicklung Chancen aber auch Risiken. Die Vorstellung im eigenen Auto wie in einem Zug zu reisen, mag auf den ersten Blick sehr angenehm wirken. Außerdem besteht auch Sicherheit und Verkehrsfluss betreffend hohes Potential, da Geschwindigkeitsübertretungen und zu dichtes Auffahren der Vergangenheit angehören könnten. Ebenso könnten Staus durch angepasste Geschwindigkeit schneller aufgelöst werden. Bei genauerer Betrachtung zeigen sich aber auch Probleme.

In der Luftfahrt, in der Autopiloten schon seit längerem Verwendung finden, hat sich durch die Entkopplung des Menschen von der Maschine der sogenannte „pilot-out-of-the-loop“-Effekt eingestellt. Die Herausnahme des Menschen aus dem Mensch-Maschine-Regelkreis aufgrund einer Automation, führt zu einem Verlust an Situationsbewusstsein. Der Mensch interagiert nicht mehr mit dem System und kann daher die zur Beurteilung der Situation essentiellen Fragen, was es macht, warum es etwas macht und was es als nächstes macht, nicht mehr beantworten. Es werden hier also grundlegende ergonomische Gestaltungsmaximen verletzt, die verlangen, dass sich der Mensch zu jedem Zeitpunkt über den Systemzustand im Klaren sein muss. Besonders gravierend wirkt sich dieser Informationsmangel aus, wenn die Automation an ihre Regelgrenzen stößt und der Fahrer zu einer plötzlichen Übernahme der Fahraufgabe aufgefordert wird.



Abbildung 3: DARPA Urban Challenge: Fahrzeug des Teams "CarOLO" der Technischen Universität Braunschweig

Zukünftige Fahrzeugsysteme müssen also das Ziel haben, den Menschen auch bei hochautomatisierter Fahrt mit in den Fahrzeugführungsprozess einzubinden und so das Situationsbewusstsein des Fahrers zu stärken. Auf diese Weise kann das Verhalten des Mensch-Maschine-Systems in kritischen Regelbereichen verbessert und darüber hinaus - aufgrund der höheren Transparenz - die Akzeptanz des Systems gesteigert werden.

Im Rahmen eines DFG-Projektes wird in einem Kooperationsprojekt zwischen dem Institut für Verkehrssystemtechnik des DLR e.V. (ITS) und dem Lehrstuhl für Ergonomie der TU München (LfE) untersucht, auf welchem Weg man eine Kommunikation zwischen Fahrer und Fahrzeug herstellen kann, die oben beschriebene Probleme zu reduzieren bzw. zu verhindern vermag.

Grundlage der Forschungen ist die Idee, Informationen - zusätzlich zum visuellen und akustischen Kanal - auch haptisch zu vermitteln. Haptisches Feedback bietet zunächst den Vorteil, dass die auf die



sem Kanal übermittelten Reize schneller verarbeitet werden können. Darüber hinaus ist es möglich, dem Menschen Informationen direkt auf dem Stellteil zu liefern, auf dem eine Reaktion zu erfolgen hat (Schieben et al., 2008). Haptische Interfaces eignen sich daher sehr gut dem Fahrer mitzuteilen, welche Aktionen am Stellteil erforderlich sind („Was ist zu tun?“), während über den visuellen bzw. auditiven Kanal eine Erläuterung der Ursachen erfolgt („Warum ist die Aktion notwendig?“). Es wäre hier z.B. denkbar, dass über ein haptisches Signal ein Eingreifen des Fahrers ausgelöst wird, während er über Warnmeldungen – akustisch oder visuell - über den Grund des Eingreifens informiert wird.

Um das Situationsbewusstsein des Fahrers zu erhöhen kann er durch das Verhalten des Stellteils (Position, Bewegungen, Dynamik) kontinuierlich über den Systemzustand informiert („Was macht das System?“) und somit auch bei hochautomatisierter Fahrt weiter im Regelkreis gehalten werden. In Anbetracht dieser angestrebten Entwicklung hin zu einer haptischen Kommunikation zwischen Fahrer und Fahrzeug müssen auch herkömmliche Bedienelemente kritisch betrachtet und alternative Bedienelemente in die Überlegungen mit einbezogen werden.

### Aktive Bedienelemente

Die Anzahl und die Gestaltung von Bedienelementen, mit denen der Fahrer auf die Fahrzeuggeschwindigkeit und -richtung einwirkt, waren in der Vergangenheit stark durch technische Randbedingungen geprägt. Die Form des Lenkrads im Automobil ergab sich z.B. aus der Notwendigkeit, den Lenkwinkel der Vorderräder über ein Moment am Lenkgetriebe zu variieren. Die Entstehung des Gaspedals ist auf die direkte Steuerung der Drosselklappe über ein Seilzugsystem zurückzuführen, während mit dem Bremspedal durch Aufbringen einer Kraft Bremsdruck erzeugt wird, um das Fahrzeug zu verzögern. Für den Fall eines manuellen Schaltgetriebes erweitert sich die Anzahl der Stellteile noch um ein Kupplungspedal und einen Ganghebel. Für die zweidimensionale Bewegungsaufgabe, die in einem Kraftfahrzeug bewältigt werden muss, sind also aufgrund technischer Gegebenheiten zahlreiche Stellteile notwendig. Dies führt dazu, dass Autofahren keinen intuitiv beherrschbaren Prozess darstellt, sondern erst erlernt werden muss. Aber nicht nur beim Automobil, sondern auch in der Luftfahrt waren die Bedienelemente lange Zeit durch die Beschränkungen der technischen Lösungen bestimmt.

Inzwischen halten jedoch immer mehr „By-wire“-Lösungen Einzug in die Systeme. Insbesondere im Luftfahrtsektor sind sie teilweise bereits zum Stand der Technik zu zählen. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass die mechanische Kopplung von Stellteil und dem zu steuernden Objekt durch eine elektrische ersetzt wird. Auch im Automobilbau werden Bestrebungen unternommen, verstärkt diese Technik zu nutzen. Auf der einen Seite bietet eine Entkopplung des Stellteils von den mechanischen Rahmenbedingungen eine Reihe von Vorteilen: Sie ermöglicht eine völlige Neugestaltung der Schnittstelle zwischen Fahrer und Fahrzeug, nicht mehr auf Grundlage technischer Restriktionen, sondern vielmehr auf Basis ergonomischer Gestaltungsmaximen. Anzahl, Geometrie und Anordnung der Bedienelemente wie auch deren Parametrisierung können hinsichtlich Anthropometrie und Systemergonomie optimiert werden.

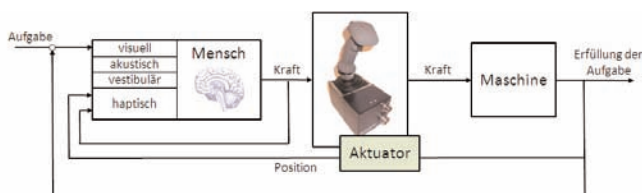


Abbildung 5: Funktionsprinzip eines aktiven Bedienelements mit Positionsrückmeldung



Abbildung 4: Aktive Stellteile für Kraftfahrzeuge: Mercedes-Benz Versuchsträger (Eckstein, 2001)

Auf der anderen Seite führt der Wegfall der mechanischen Kopplung jedoch zu einer erheblichen Reduktion des Informationsflusses. Informationen werden nicht mehr bidirektional sondern nur noch unidirektional vom Menschen an die Maschine übertragen, während eine Rückmeldung des Systemzustands nicht mehr erfolgt. Dies hat sich in der Vergangenheit als problematisch erwiesen, da es dem Menschen dadurch erschwert wird, die Dynamik und das Verhalten des Systems einzuschätzen. Am Lehrstuhl für Ergonomie der TU München werden daher schon seit längerem Bestrebungen unternommen, diesen Informationsmangel auszugleichen, indem Systemrückmeldungen künstlich erzeugt werden. Das Ergebnis dieser Überlegungen war die Entwicklung des aktiven Stellteilprinzips (Bolte, 1991; Penka, 2001; Eckstein 2001 (Abb. 4)).

Allgemein zeichnen sich aktive Stellteile durch die Eigenschaft aus, selbst Kräfte und Bewegungen generieren zu können, die der Mensch am Bedienelement wahrnimmt. Dazu enthalten sie aktive Elemente, wie z.B. Elektromotoren. Durch eine gezielte Ansteuerung des aktiven Bedienelements kann man dem Piloten oder Fahrer Informationen auf dem haptischen Wahrnehmungskanal übermitteln, und damit die Reduktion des Informationsflusses aufgrund der mechanischen Entkopplung kompensieren (Abb. 5).

Aktive Stellteile bieten zudem die Möglichkeit, Signale unterschiedlicher Art zu übermitteln, die über eine Simulation der mechanischen Kopplung hinaus gehen. Beispielsweise können über kontinuierliche Kraft-Weg-Verläufe Steuerempfehlungen gegeben werden. Durch kurze Kraftimpulse kann der Systembediener auf besondere Ereignisse hingewiesen oder durch eine Vibration vor einer Systemgrenze oder einer Gefahr aus der Umwelt gewarnt werden. Zudem steht mit diesen Bedienelementen ein Werkzeug zur Verfügung, welches eine intuitive Kommunikation zwischen Pilot/Fahrer und Assistenzsystem ermöglicht. Je nach Systemauslegung kann der Bediener den Handlungsvorschlägen der Assistenz zustimmen oder diese durch eigene Steuereingaben am Stellteil verändern oder übersteuern. (Müllhäuser et al., 2007)

Diese Arten der haptischen Interaktion mittels aktiver Stellteile werden in heutigen Fahrzeugen in Grundzügen bereits genutzt. Spurverlassenswarner z.B. machen den Fahrer durch Vibrationen auf ein Überschreiten der Fahrspurgrenzen aufmerksam. Einen Schritt weiter gehen Spurhalteassistenten, die aktiv in die Querführung eingreifen, um das Fahrzeug innerhalb der Fahrbahnmarkierungen zu halten. Das zum Lenken notwendige Moment wird über ein aktives Stellteil erzeugt und kann vom Fahrer am Lenkrad wahrgenommen werden. Geht man von der Annahme aus, dass zukünftige Fahrzeuge sowohl in manuellen, assistierten als auch in noch höher automatisierten Zuständen gefahren werden können, so zeigt sich die Notwendigkeit, eine Basis zu schaffen, auf der Mensch und Automation miteinander kommunizieren und das Verhalten des Fahrzeugs „aushandeln“ können.



Abbildung 6: Desktop-Metapher:  
Der Schreibtisch als Vorbild für  
Betriebssysteme



Abbildung 7: H(orse)-Metapher:  
Pferd und Reiter als Vorbild für die Inter-  
aktion zwischen Fahrer und Fahrzeug

## H-Mode als multimodales Fahrzeugführungskonzept

Ziel der Zusammenarbeit zwischen dem ITS und dem LfE im DFG-Projekt H-Mode II ist es, auf Basis einer Designmetapher (H-Metapher), Vibrationen sowie kontinuierliche und diskrete haptische Signale zu einer durchgängigen und intuitiven, haptisch-multimodalen Sprache (H-Mode) zu vereinen (Flemisch et al., 2003). Die H-Metapher dient dazu, das Verhältnis zwischen Mensch und Automation in zukünftigen hochautomatisierten Fahrzeugen zu beschreiben. Ähnlich der Desktopmetapher bei PCs, die einen Schreibtisch als Vorbild für die Bedienoberfläche eines Computers verwendet (Abb. 6), wird hier die Beziehung zwischen Ross und Reiter verwendet, um die Hierarchie und die Interaktionen zwischen Mensch und Automation zu beschreiben (Abb. 7).

Das H in H-Metapher bzw. H-Mode steht dabei sowohl für „Horse“ wie auch für „Haptik“. Zur Vermittlung der haptischen Signale werden derzeit aktive Sidesticks sowie aktiv ansteuerbare Lenkräder und Pedale verwendet. Die haptische Kommunikation wird dabei durch zusätzliche akustische und visuelle Signale angereichert. Ein Kernpunkt der H-Metapher ist das Konzept „Tight Rein/Loose Rein“ (kurze Zügel/ lange Zügel). Hier wird angenommen, dass die Automation in einem Fahrzeug nicht nur an oder ausgeschaltet sein kann. „Tight Rein“ und „Loose Rein“ beschreiben die Stärke mit der der Mensch bzw. die Automation in die Fahrzeugführung eingreift. Autofahren im „Tight Rein“, also mit kurzen Zügeln, würde bedeuten, dass der Mensch die Kontrolle über das Fahrzeug hat, während ihm die Automation auf dem haptischen Kanal Hinweise und Empfehlungen gibt, um ihn bei der Fahraufgabe zu unterstützen. Demgegenüber steht das Autofahren im „Loose Rein“. Die Automation übernimmt hier große Teile der Fahraufgabe selbst. Der Fahrer wird aber durch Stellteilbewegungen haptisch über den Systemzustand und das Systemverhalten informiert. Außerdem kann er weiterhin durch Eingaben am Stellteil seinerseits das Systemverhalten beeinflussen und im Notfall die volle Kontrolle über das Fahrzeug übernehmen.

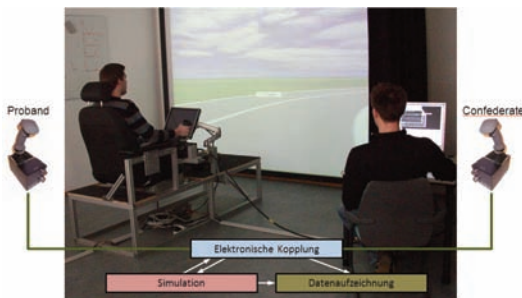


Abbildung 8: Theatersystem am LfE der TU München

## Theatersystem und erwartungsbasiertes Vorgehen

Für die Entwicklung des Interaktionsdesigns zwischen Fahrer und Fahrzeug wird ein Theatersystem eingesetzt (Abb. 8). Kern dieses, auf dem Wizard-of-Oz Prinzip basierenden Systems, sind zwei gekoppelte aktive Eingabemedien, die es erlauben, das Interaktionsde-

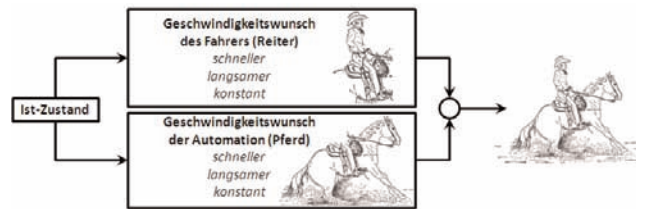


Abbildung 9: Interaktion zwischen Fahrer/Reiter und Fahrzeug/Pferd bei Geschwindigkeitsregelung

sign im Dialog mit Probanden explorativ zu entwickeln und das Design frühzeitig zu testen, indem die Interaktion zunächst von einem Mitglied des Designteams (Confederate) über eines der Eingabemedien eingespielt wird (Kelsch et al., 2006). Die Kopplung der Sticks führt dazu, dass sie sich synchron bewegen. Kräfte und Bewegungen die auf einen Stick aufgebracht werden, sind am anderen deutlich spürbar. Somit ist eine direkte Interaktion zwischen dem Confederate - der die Rolle der Automation übernimmt - und potentiellen Nutzern möglich. Reaktionen auf das Interaktionsdesign sowie Erwartungen der Probanden können auf diese Weise nicht nur abgefragt werden, sondern sind für den Confederate direkt erfühlbar. Des Weiteren ist es durch dieses Vorgehen möglich, die Erwartungen potentieller Nutzer sehr früh in den Designprozess einfließen zu lassen (Schomerus et al., 2006).

## Zielkonflikte und Arbitrierung

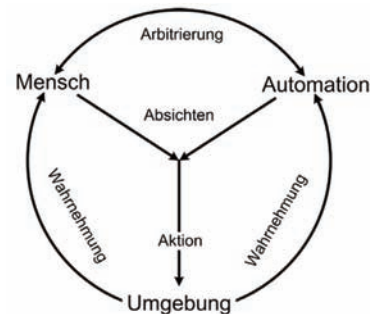


Abbildung 10: Schematische Darstellung der Willensbildung zwischen Mensch und Automation

Die Grundlage für die Entwicklung eines Interaktionsdesigns bildet die Überlegung, welche Zielzustände, ausgehend von einem bestehenden Ist-Zustand angestrebt werden können. Bei der Aufgabe „Geschwindigkeitsregelung“ z.B. entspricht der Ist-Zustand der aktuell gefahrenen Geschwindigkeit. Ihr stehen die drei möglichen Zielzustände höhere, niedrigere aber auch konstante Ge-

schwindigkeit gegenüber. Aus den Zielzuständen lässt sich der Wunsch des Fahrers bzw. der Automation ableiten, das Fahrzeug zu beschleunigen, zu verzögern oder bei konstanter Geschwindigkeit zu halten (Abb. 9).

Über die haptische Schnittstelle werden diese Wünsche dem jeweiligen Partner (Fahrer, Automation/Confederate) mitgeteilt.

Treten aufgrund unterschiedlicher Situationsinterpretationen sich widersprechende Zielvorstellungen des Fahrers und der Automation auf, müssen diese Konflikte schnell aufgelöst werden. Ziel eines haptisch-multimodalen Interaktionsdesigns muss es demnach sein, eine schnelle Arbitrierung (Abb. 10) zu ermöglichen. Unter Arbitrierung (lat. „arbitratus“ für Schiedsspruch) versteht man eine strukturierte Verhandlung zwischen Mensch und Maschine mit dem Ziel, rechtzeitig eine eindeutige, nach Möglichkeit für das Gesamtsystem optimale Willensbildung zu erreichen (Kelsch et al., 2006).

Als Grundlage dafür ist eine hohe Transparenz bezüglich der Absichten des jeweiligen Partners im Mensch-Maschine-System erforderlich. Die haptische Kommunikation muss also derart ausgelegt werden, dass sowohl der Mensch wie auch eine Kognition besitzende Automation die Handlungen des jeweiligen Partners schnell verstehen bzw. richtig interpretieren kann.





Abbildung 11: FASCar: per Sidestick steuerbarer Versuchsträger des DLR

## Zusammenfassung

Durch die Zusammenarbeit zwischen dem ITS und dem LfE wird eine durchgängige Entwicklungskette geschaffen, in der Interaktionsdesigns aufbauend auf grundlegenden Verfahren und Methoden sowie Grundlagen der Systemergonomie entwickelt und über verschiedene Realitätsebenen hinweg implementiert und getestet werden können (Abb. 12).

Interaktionsdesigns werden dabei anhand systemergonomischer Analysen und der erwartungsbasierten Vorgehensweise erstellt. In iterativen Schleifen wird der Realitätsgrad der Anwendung vom generischen Theatersystem, über statische und dynamische Simulatoren hin zu einer Anwendung im Realfahrzeug (Abb. 11) erhöht. Ziel der Forschung ist ein haptisch-multimodales Bedienkonzept, das über alle Automationsstufen hinweg eine effektive und effiziente, aber natürlich auch eine vom Nutzer akzeptierte Kommunikation mit dem Fahrzeug ermöglicht.

## Literatur:

Kelsch et al. 2006

Kelsch, J.; Flemisch, F. O.; Löper, C.; Schieben, A.; Schindler, J.: Links oder rechts, schneller oder langsamer? Grundlegende Fragestellungen beim Cognitive Systems Engineering von hochautomatisierter Fahrzeugführung. In Grandt, M.; Bauch, A. (Hrsg.): Cognitive Systems Engineering i.d. Fahrzeug- und Prozessführung; 48. FAS Anthropotechnik, Karlsruhe, 2006.

Schieben et al. 2008

Schieben, A.; Damböck, D.; Kelsch, J.; Rausch, H.; Flemisch, F.: Haptisches Feedback im Spektrum von Fahrerassistenz und Automation. Tagung "Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz", Garching b. München, 2008.

Bolte 1991

Bolte, U.: Das aktive Stellteil – ein ergonomisches Bedienkonzept. Dissertation an der TU München, 1991.

Penka 2001

Penka, A.: Vergleichende Untersuchung zu Fahrerassistenzsystemen mit unterschiedlichen aktiven Bedienelementen. Dissertation an der TU München, 2001.

Eckstein 2001

Eckstein, L.: Entwicklung und Überprüfung eines Bedienkonzepts und von Algorithmen zum Fahren eines Kraftfahrzeugs mit aktiven Sidesticks. Fortschrittsberichte VDI-Reihe 12, Nr. 471, VDI Verlag, Düsseldorf, 2001.

Müllhäuser et al. 2007

Müllhäuser, M.; Schieben, A.; Flemisch, F.; Grünhagen, W. v.: Simulatorgestützte Studien zur aktiven Steuerung von Luft und Bodenfahrzeugen am DLR. In Grandt, M.; Bauch, A. (Hrsg.): Simulationsgestützte Systemgestaltung, DGLR-Bericht (2007), Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt e.V. Bonn. Fachausschusssitzung Anthropotechnik der DGLR, Hamburg, 2007.

Flemisch et al. 2003

Flemisch, F. O.; Adams, C. A.; Conway, S. R.; Goodrich, K. H.; Palmer, M. T.; Schutte, P. C.: The H-Metaphor as a Guideline for Vehicle Automation and Interaction. Hampton, Virginia: NASA, Langley Research Center, 2003.

Schomerus et al. 2006

Schomerus, J.; Flemisch, F. O.; Kelsch, J.; Schieben, A.; Schmuntzsch, U.: Erwartungsbasierte Gestaltung mit der Theatersystem- / Wizard-of-Oz-Technik am Beispiel eines haptischen Assistenzsystems. AAET, Braunschweig, 2006.

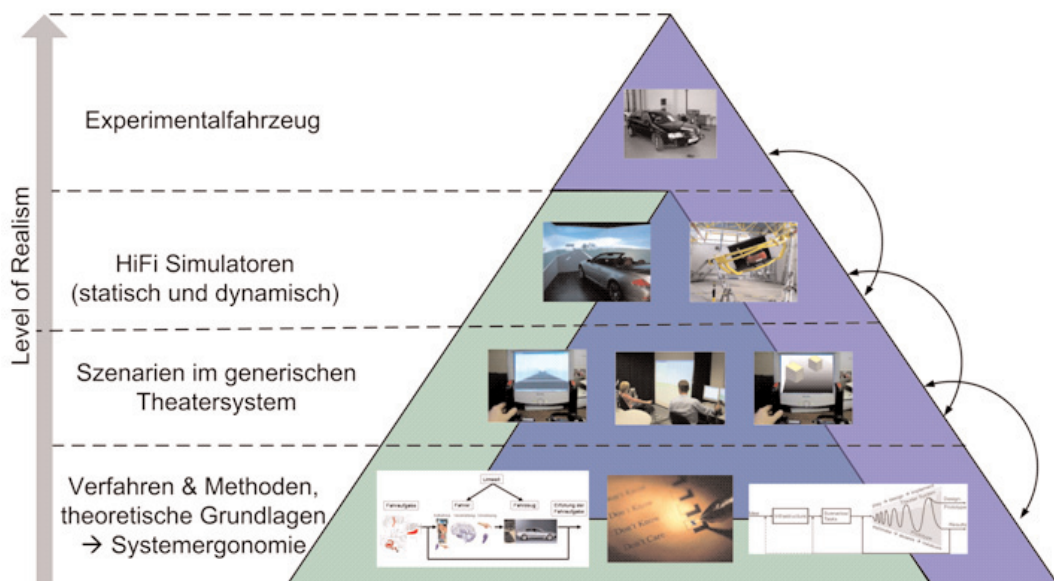


Abbildung 12: Schematische Darstellung der iterativen Prozesskette am LfE und IST

## 1 Anforderungen an die Forschungsumgebung

Der Umfang an Fahrerassistenz- und -informationssystemen im Fahrzeug nimmt stetig zu. Bereits heute befinden sich in den Aufpreislisten der Premiumfahrzeughersteller mehrere Systeme, die den Fahrer bei der Erfüllung der Fahraufgabe unterstützen sollen. Wolf et al. (2005) führen in ihrer Arbeit über 15 solcher Assistenzsysteme auf, die mit unterschiedlichen Interaktionskonzepten und auf verschiedenen Automatisierungsebenen mit dem Fahrer zusammenwirken. Parallel dazu stehen dem Fahrer in modernen Fahrzeuginformations- und -entertainmentssystemen nahezu 1000 Funktionen zur Verfügung, die alle während der Fahrt bedient werden können und somit eine potentielle Ablenkungsquelle darstellen. Zu diesen bereits vorhandenen Funktionen wird in künftigen Fahrzeuggenerationen noch eine vollständige Anbindung des Internetangebotes hinzukommen.

Bevor derartige Systeme jedoch in Serie gehen können, müssen sie hinsichtlich ihres Einflusses auf die Fahrsicherheit und bezüglich ihrer Ablenkungswirkung untersucht werden. Diese Notwendigkeit untermauert Rassl (2004), indem er zeigt, dass es durch ergonomisch schlecht gestaltete Bedienungsaufgaben zu Blickabwendungszeiten von mehr als 16s kommen kann. Auch der Gesetzgeber hat dies erkannt und fordert deshalb von den Fahrzeugherstellern ein umfangreiches Paket an Absicherungsmaßnahmen. In denen muss experimentell der Nachweis geführt werden, dass diese Systeme keine Gefahr für die Verkehrssicherheit darstellen.

Damit zukünftige Fahrerassistenzsysteme besser an das Verhalten des Fahrers angepasst werden können und geeignet sind, ihn situationsadäquat zu unterstützen, muss neben der reinen Systemabsicherung grundlegendes Wissen über das Fahrerverhalten generiert werden. Dieser Wissensaufbau muss sowohl für das Verhalten in normalen Verkehrsszenarien, wie beispielsweise bei Kurvenfahrten, beim Spurwechsel oder an Kreuzungen, als auch in unfallkritischen Situationen erfolgen.

Damit mit einer Fahrsimulator-Forschungsumgebung sowohl die Funktionsabsicherung als auch die Fahrerverhaltensforschung durchgeführt werden kann, muss diese eine Reihe an Kriterien erfüllen. Dafür ist es zunächst nötig, dass die Fahrsimulatorsoftware ein hohes Maß an Flexibilität aufweist. Das bedeutet, dass man das Streckenprofil von Überland- und Stadtstrecken in Abhängigkeit der Fragestellung erzeugen kann und es möglich ist, schnell und flexibel Häuserzeilen, Lichtsignalanlagen, Beschilderungen, Bebauungen und Bepflanzungen zu generieren. Neben der Erstellung der Verkehrsinfrastruktur ist es ferner erforderlich, das Verhalten der anderen Verkehrsteilnehmer, wie beispielsweise der Fremdfahrzeuge, der Fußgänger und der Lichtsignalanlagen, frei und deterministisch zu bestimmen. So können relevante Situationen reproduzierbar erzeugt und verglichen werden.

Da Fahrerassistenz- und -informationssysteme multimodal mit dem Fahrer interagieren, benötigt eine Fahrsimulator-Forschungsumgebung eine Reihe an frei konfigurier- und ansteuerbaren Fahrer-Fahrzeug-Schnittstellen. Als haptische Schnittstellen zur Erfüllung der primären Fahraufgabe verwendet der Fahrer das Lenkrad, das Gaspedal und die Bremse. Somit sind sie als so genannte aktive Stellteile auszuführen, wodurch die Kraft- bzw. Momentenrückmeldung über diese Bedienelemente frei regelbar ist und der Fahrer dadurch in beliebiger Art und Weise bei der Fahraufgabe unterstützt werden kann. Damit der Fahrer die Assistenz- und -informationssysteme konfigurieren und bedienen kann, stehen ihm Lenkradtasten, Lenkstockhe-

bel, Softkeys und in den meisten modernen Fahrzeugen ein zentrales Bedienelement zur Verfügung. Diese Stellteile müssen in einem Fahrsimulatorfahrzeug vorhanden sein. Deren Betätigung wird abgegriffen und im PC nach einer frei erstellbaren Logik weiter verarbeitet.

Ferner muss es möglich sein, Informationen in vielfältigster Form optisch darzustellen. Dabei ist es nötig, mittlerweile standardmäßig in Fahrzeugen vorhandene Displays, wie das Kombiinstrument oder das zentrale Informationsdisplay, aber auch zukunftsorientierte Anzeigeelemente, wie ein Head-up-Display (HUD) oder sogar ein kontaktanaloges Head-up-Display als frei ansteuerbare Anzeigeelemente vorzusehen. Zusätzlich ist es anzustreben, akustische Rückmeldungen richtungs- und entfernungs codiert auszugeben.

Um Fahrerassistenzsysteme in der Simulation darstellen zu können, ist eine Umgebung notwendig, die das schnelle und einfache Einbinden von Reglern erlaubt. Dafür ist es nötig, Fahrdynamikdaten, wie die Längsgeschwindigkeit oder die Längsbeschleunigung und Positionsdaten des eigenen Fahrzeuges relativ zu den anderen Verkehrsteilnehmern und relativ zur Verkehrsinfrastruktur zu erfassen und zu verarbeiten. Die Ausgänge der Regellogik müssen dann an die entsprechenden Fahrer-Fahrzeug Schnittstellen ausgegeben werden können bzw. es muss ein direkter Eingriff in die Fahrdynamik des Eigenfahrzeuges möglich sein.

Eine sehr wichtige Anforderung an eine Fahrsimulator-Forschungsumgebung ist die synchrone und robuste Erfassung von Fahrleistungs- und Fahrerverhaltensdaten, um die Wirkung von Fahrerassistenz- und -informationssystemen umfassend bestimmen zu können.

Nachstehend wird zunächst gezeigt, wie die definierten Anforderungen seitens des Fahrsimulators realisiert sind. Anschließend wird auf das eingebundene Blickerfassungssystem und die Vorteile der Vernetzung von Fahrsimulation und Blickdaten eingegangen.

## 2 Fahrsimulator

Am Lehrstuhl für Ergonomie existiert seit Sommer 2006 ein völlig überarbeitetes Konzept zur simulierten Fahrt in einem PKW. Im Mittelpunkt dieses statischen Fahrsimulators steht ein Mock-up in Form eines BMW Cabrio der 6er Reihe (BMW E64). Die Anzeige- und Bedienelemente des Fahrzeugs entsprechen denen eines Serienfahrzeugs und können ausnahmslos verwendet werden. Zusätzlich ist in diesem Modell ein Head-up-Display verbaut. Dieses ist frei ansteuerbar und bietet somit viele Möglichkeiten zur Anzeige verschiedenster Informationen.

Das Simulatorfahrzeug ist vor einer trapezförmigen Projektionsfläche positioniert. Die Fläche besteht aus drei Leinwänden, die in einem Winkel von 110° zueinander angeordnet sind. Abbildung 2-1 veranschaulicht die geometrische Anordnung des Fahrsimulators.

Die Leinwände werden von drei synchronisierten Projektionssystemen (PC-System und Projektor) ausgeleuchtet. Es entsteht somit eine 180° Sicht, welche einen hohen Grad an Immersivität bietet. Die Immersivität ist die technische Beschreibung des Ausmaßes, in dem die virtuelle Welt die Sinne des Probanden in einer realistischen Art und Weise ansprechen kann. Die Presence, also der Grad des sich Einlassens auf die virtuelle Umgebung ist durch diese Art der Sichtprojektion ebenfalls sehr ausgeprägt, da durch den großen Projektionsbereich eine nahezu vollständige Abdeckung des Sichtbereichs eines Menschen erreicht wird. Der Proband hat somit keinen Punkt in der Simulatorhalle, den er als Fixpunkt -nicht simulierte Um-



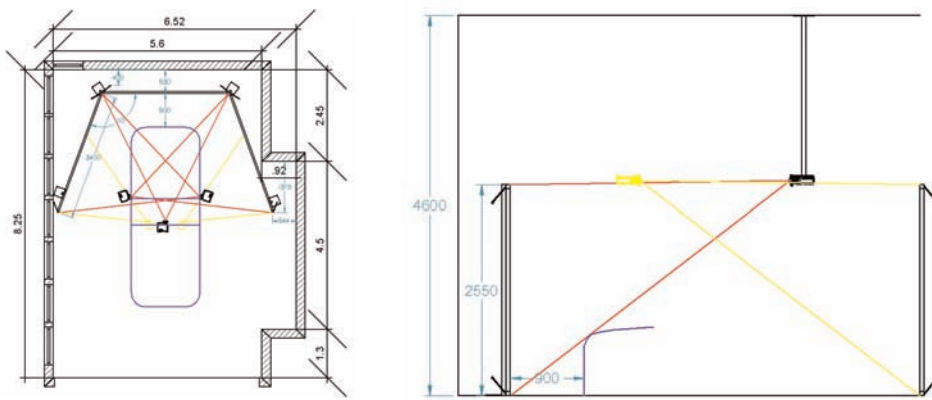


Abbildung 2-1: Geometrische Anordnung des Fahrsimulators in der Draufsicht (links) und von der Seite (rechts)

gebung- identifizieren kann. In Abbildung 2-2 ist die Sicht aus dem MockUp dargestellt.

Neben der nahezu realitätsgetreuen optischen Rückmeldung, liefert der Simulator durch eine Geräuschsimulation eine akustische Rückmeldung über Motor- und Umgebungsgeräusche. Das ortsfeste nicht bewegte Simulatorfahrzeug vermittelt dem Fahrer während der Fahrt keine Beschleunigungen in Längs- oder Querrichtung. Die Nick-, Wank- und Gierbewegungen werden ausschließlich über die Sichts- simulation suggestiert. Abgesehen von der akustischen Schwingungs- anregung, realisiert durch eine Bass-Box unter dem Fahrersitz und der Lenksimulation erhält der Fahrer keine Rückmeldung bzgl. des dynamischen Prozesses beim Führen eines PKWs.

Als Simulationssoftware kommt die Forschungsumgebung SILAB des Würzburger Instituts für Verkehrswissenschaften (WIVW) zum Einsatz. Mit dieser Forschungsumgebung ist eine realistische und einfache Entwicklung von Stadt-, Autobahn- und Landstraßenszenarien möglich. Zahlreiche Verhaltensmodelle ermöglichen die Simulation von anderen Fahrzeugen und Fußgängern. Daneben ist durch ein deterministisches, frei bestimmbares Verhalten der Fremdver- kehrsfahrzeuge eine Verhaltenssteuerung durch den Entwickler möglich. Dies ermöglicht dem Anwender, mit SILAB Szenarien zu er- stellen, die von den Probanden während eines Versuchs durchfah- ren werden. Zur Simulation der Fahrdynamik –die Fahrphysik- ist in die Software ein parametrisierbares Fahrdynamikmodell integriert. Die bedeutungsvollste Eigenschaft einer Forschungsumgebung ist die Zugänglichkeit der Simulationsparameter. Das Konzept von SILAB erlaubt die Integration eigener Programmmodule, welche vol- len Zugriff auf alle Parameter der Simulationsumgebung haben kön- nen. Dies ermöglicht eine schnelle und flexible Reaktion auf die ständig wechselnden Anforderungen im täglichen Forschungsbe- trieb. Eine genaue Anpassung an die speziellen Erfordernisse von Forschungsaufträgen -insbesondere industrielle Aufträge- stehen somit alle Wege offen. Im Folgenden werden die genannten Kriterien

einer guten Forschungseinrichtung detailliert am Potential des Fahrsi- mulators des Lehrstuhls für Ergono- mie beschrieben.

## 2.1 Fahrer-Fahrzeug Schnitt- stellen

Für den reibungslosen Betrieb eines Fahrsimulators ist es nötig viele unterschiedliche Systeme synchron zu betreiben. An erster Stelle steht die Lenksimulation des Fahrzeugs. Die aus der Fahrt entstehenden Rück- stellmomente werden durch einen kraftvollen Elektromotor über die

Lenksäule auf das Lenkrad eingeleitet. Dem Fahrer wird somit die Dynamik des Fahrprozesses geschwindigkeitsabhängig über das Lenkrad rückgemeldet. Ferner ist es möglich, ein zusätzliches Mo- ment aufzuschalten um z.B. den Fahrer beim Verlassen der Spur zeitnah und adäquat zu warnen. Viele Parameter der Lenksimulation lassen sich komfortabel über eine Bedienoberfläche einstellen. Die Qualität der Lenksimulation ist von entscheidender Bedeutung für den Gesamteindruck des Fahrsimulators. Eine schlechte haptische Rückmeldung in diesem Bereich beeinträchtigt die Empfindung der Versuchspersonen sehr stark.

Zusätzlich ist die Integration des Gas- und Bremspedals nötig. Für das Bremspedal ist es anzuraten das vorgegebene Bremssystem zu erhalten, da eine Art „Hardware in the Loop“ Situation entsteht und somit der originale mechanische Aufbau des Bremspedals verwen- det werden kann. Der geschlossene Bremskreis wird an geeigneter Stelle aufgetrennt und mit einem Drucksensor bestückt. Der abge- nommene Druck kann dann skaliert an die Simulationssoftware wei- tergegeben werden und entspricht der aktuellen Bremskraft.

Das Gaspedal des LfE-Simulators stellt ein besonderes System dar. Es ist als aktives Gaspedal ausgelegt. Dies bedeutet, dass eine zu- sätzliche Kraft als spürbarer Widerstand aufgeschaltet werden kann. Über den einstellbaren Druckpunkt kann somit dem Fahrer eine Rückmeldung über Begrenzungen der Geschwindigkeit, Abstands- haltung oder für Gefahrensituationen gegeben werden. In Kombina- tion mit den optischen und akustischen Rückmeldungen des Fahr- zeugs entstehen somit neue Möglichkeiten zur Unterstützung des Fahrers (Lange, 2008).

Für die optischen Rückmeldungen im Fahrzeug dienen in erster Linie die Standardanzeigen des Fahrzeugs. Alle eingebauten Anzei- gen und Schalter sind über den CAN-Bus des Fahrzeugs bzw. direkt durch die Simulationssoftware an steuerbar. Dadurch ist es möglich, die aktuell gefahrene Geschwindigkeit im Serien-Kombiinstrument anzuzeigen. Zusätzlich ist das BMW Central Information Display (CID) voll integriert und kann softwaregesteuert zwischen der origi-



Abbildung 2-2: Sichtprojektion aus der Perspektive des Beifahrers (links) und des Fahrers (rechts) mit Head-up-Display im Simulatorfahrzeug

nalen BMW Menüführung und einem eigenen Gestaltungsvorschlag „online“ –im Betrieb- umgeschaltet werden. Zusätzlich kann der iDrive-Controller zur Navigation in eigenen Menüstrukturen verwendet werden. Wie bereits erwähnt, kann das verbaute HUD als Display verwendet und somit für eigene Ideen zur Anzeige von Informationen an dieser Position in Studien verwendet werden. Ein Vergleich mit bereits durchgeführten Feldversuchen (Gengenbach, 1997; Wohlfarter, 2005) bzgl. der Wirkung und des Einflusses von Head-up-Displays in PKWs kann somit auf einfache Weise die Simulationsumgebung validieren. Eine weitere hervorragende Möglichkeit zur Bereitstellung von Informationen für den Fahrer ist das kontaktanaloge HUD. Bei dieser Anzeigetechnik werden alle Informationen richtungs- und entfernungskodiert dem Fahrer präsentiert. So entsteht sofortige Klarheit über die Intension der Informationsbereitstellung. Das kontaktanaloge HUD ist mittels eines zusätzlichen Projektors realisiert. Dieser stellt auf der Mittelleinwand (Frontsicht) als überlagertes Bild die Informationen dar und ist zum Projektor der zentralen Sicht kalibriert.

Zur Integration zusätzlicher Anzeigen oder neuartiger Bedienelemente stellt SILAB die angesprochene Schnittstelle zur Verfügung. Am LfE-Simulator ist es somit möglich, eine umfangreiche Anpassung der Fahrer-Fahrzeug-Schnittstellen insbesondere an die jeweiligen Bedürfnisse der Forschungsansätze zu realisieren. Die völlig offene Gestaltung der Parametersätze von SILAB eröffnet weiterführende Ansätze. Als aktuelles Beispiel kann hier die Integration der kognitiven Architektur ACT-R (Anderson 1976; 1983) angesprochen werden. Das Modell simuliert dabei den Menschen und steuert das Simulationsfahrzeug durch die virtuelle Welt des Fahrsimulators. Zusätzlich gibt es Ansätze am LfE, ein eigenes Menschmodell zu entwickeln. Dieses Modell basiert auf den Erkenntnissen der Forschung im Bereich der Blickbewegungen, Theorien der Geschwindigkeitsverschiebungsvektoren sowie Grundlagen der mentalen Repräsentation.

## 2.2 Einbinden von Reglern

Die offene Gestaltung der Simulationssoftware SILAB erlaubt umfangreiche Eingriffe in die Wirkung und das Zusammenspiel der beteiligten Systeme. Alle Verbindungen zwischen den einzelnen Systemen sind über Konfigurationsdateien (Text-Dateien) zugänglich. In SILAB gibt es sogenannte Data Processing Units (DPU), welche in

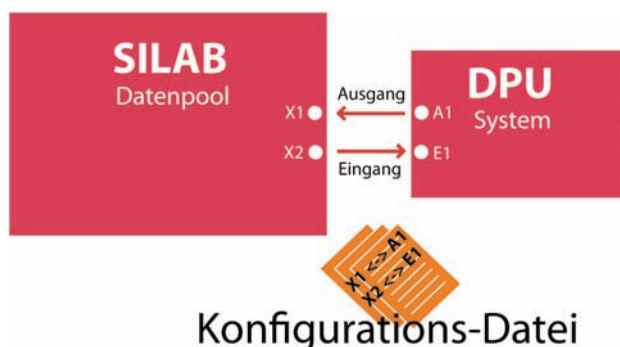


Abbildung 2-3: Das Konzept der DPU-Integration in SILAB.M

Programmeinheiten gepackt (\*.dll Datei) dem System zur Verfügung gestellt werden. Die Schnittstelle der DPU kann frei definiert werden und beinhaltet Ein- bzw. Ausgänge. Die Ports werden dann in den angesprochenen Konfigurationsdateien verschaltet (vgl. Abbildung 2-3).

Um die Verschaltung besser verstehen zu können, werden an dieser Stelle drei bekannte Regler bzw. Systeme und deren Integration vorgestellt.

Das Antiblockiersystem (ABS) hilft dem Fahrer bei starken Bremsmanövern die Lenkfähigkeit des Fahrzeug zu erhalten. Die Integration in die Forschungsumgebung ist notwendig, um ein realistisches

Fahrverhalten zu erzeugen. Zusätzlich ist zu erwähnen, dass die Probanden in einem Fahrsimulator zu starken Bremsreaktionen neigen. Zum einen ist dies darin zu begründen, dass die Geschwindigkeits- und die Verzögerungsrückmeldung in einem Fahrsimulator immer problematisch sind. Zum anderen sind der Regelleistung der Fahrdynamik natürliche Grenzen auferlegt. Das hat in der Forschungsumgebung des Lehrstuhls zur Folge, dass sich der simulierte Bremsdruck zu schnell aufbaut und eine instabile fahrdynamische Situation entsteht. Die angesprochenen „Überbremsungen“ entstehen insbesondere bei höheren Geschwindigkeiten und liefern einen weiteren Grund für die Integration eines ABS in die Forschungsumgebung. Für die Realisierung dieses Systems ist es nötig den Reifenschlupf zu überwachen. Falls die Räder blockieren muss die Bremskraft reduziert werden. Die dafür implementierte DPU wird zwischen der Schnittstelle zur Fahrdynamik (Schlupf, Bremsimpuls) und SILAB geschaltet. In naher Zukunft ist die Verwirklichung der bekannten haptischen Rückmeldung am Bremspedal durch das ABS geplant.

Die Implementierung eines Elektronischen Stabilitätsprogramms (ESP) kann leider nicht erfolgen, da die Fahrdynamik keinen Bremszugriff auf einzelne Räder ermöglicht. In dieser Fahrdynamik ist es nur möglich eine komplette Achse abzubremsen. Für die Realisierung des klassischen ESP müssten alle Räder einzeln anbremsbar sein. Aktuelle Überlegungen gehen in die Richtung, dass der Aufbau der Gierbeschleunigung überwacht wird und in Kombination mit einer Bremswirkung bzw. der Reduzierung der Gaspedalstellung der Korrekturereingriff erfolgt.

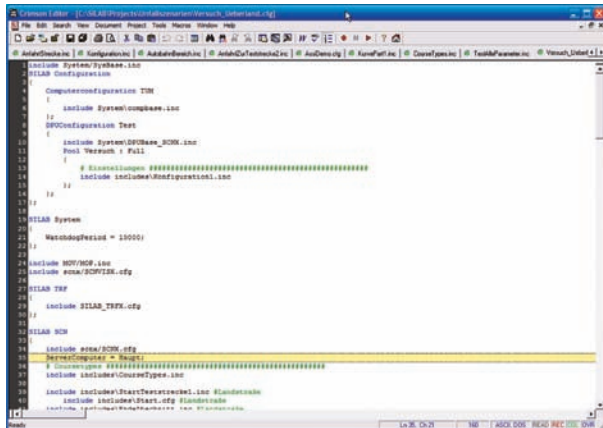
Die Erweiterung des bekannten Tempomats, also die Einstellung einer Wunschgeschwindigkeit und die daraus resultierende Regelleistung des Fahrzeugs zur aktuellen Längsführungsassistentz mittels Adaptive Cruise Control (ACC), soll hier als weiteres Reglerbeispiel dienen. Der Fahrer kann am System zusätzlich zur Geschwindigkeit den gewünschten Sekundenabstand zum Vordermann einstellen. Der Regler überwacht die korrekte Einhaltung der Wunschgeschwindigkeit. Falls dies nicht möglich ist wird der eingestellte Sekundenabstand zum Vordermann geregelt. Um dieses System in die Fahrsimulation zu integrieren, ist es nötig den grundsätzlichen Regelalgorithmus zu entwerfen und die verwendete Schnittstelle in einer DPU zu implementieren. Zusätzlich muss die Verknüpfung von Gas- und Bremspedal zur Fahrdynamik aufgetrennt und über die neue DPU geleitet werden. Wenn das ACC-System nicht aktiv ist, soll „gewöhnliches“ Fahren möglich sein. Ebenfalls muss der Serienbedienhebel des ACC-Systems von BMW über die MockUp-CAN-Schnittstelle angesprochen werden. Der Bedienhebel liefert folgende Werte: Ein/Aus; Geschwindigkeit in 10er Schritten erhöhen/reduzieren; Geschwindigkeit in 1er Schritten erhöhen; Abstand erhöhen/reduzieren. Diese Werte fließen in die neue DPU als Eingangswerte ein. Ferner werden der DPU die Informationen des mitfahrenden Verkehrs (Abstandsregelung) bereitgestellt. Der Regelalgorithmus modifiziert im Folgenden die Werte des Gas- bzw. Bremspedals und leitet sie an die Fahrdynamik weiter. Der ACC-Regler ist somit voll integriert. Die Erweiterung des ACC stellt das bereits angesprochene aktive Gaspedal (AGP) dar. Zur Einstellung eines spürbaren Druckpunktes am Gaspedal sind in der vorhandenen DPU zusätzliche Eingänge nötig. Durch streckenbasierte Geschwindigkeitsbeschränkungen kann somit ein passender Druckpunkt am Gaspedal eingestellt werden. Ferner muss der Regelalgorithmus angepasst werden und das Überdrücken (nicht Akzeptieren des vorgeschlagenen Druckpunktes) realisiert werden.

Diese Beispiele zeigen, dass die Integration von neuartigen Systemen in die Simulationsumgebung jederzeit möglich ist. Dabei ist es nicht ausschlaggebend ob der Regler wichtige Kanäle der Simulation auftrennt (Bremsimpuls usw.) oder nur vorhandene Parameter abgreift und damit ein anderes System steuert (z.B. Anzeigen). Die Komplexität wird somit nicht durch die Simulationsumgebung, sondern vom Regler selbst vorgegeben.



### 2.3 DataRecorder

Das flexible Prinzip von SILAB stellt alle genutzten Variablen in einem Datenpool zur Verfügung. Der Zugriff auf die Daten ist jederzeit möglich. Dementsprechend sind alle Variablen der Fahrsimulation vom physikalischen Fahrzeugmodell, Streckendaten bis hin zu Parametern der Sicht messbar. Selbst für die Integration der vorgestellten eigenen Systeme (AGP, ACC usw.) bietet dieses Konzept die gleiche Ausgangslage und stellt die Daten zur Weiterverarbeitung bereit. Ein aktuelles Beispiel ist die Integration des Blickerfassungssystems Dikablis (Kapitel 4).



schiedene Simulatoren (statischer FS, dynamischer FS, Usability Lab usw.) unterschiedliche Definitionen zu laden, ohne Bestandteile neu implementieren zu müssen. Alle verwendeten DPUs werden über diesen Weg geladen. Eine aktive Änderung der Verschaltung von DPUs ist ebenfalls möglich. Ferner findet sich hier die Definition des Fremdverkehrs, welche auf die jeweiligen Streckenabschnitte angepasst werden kann. Dabei ist eine umfangreiche Steuerung des Fremdverkehrs möglich. Einfache Abhängigkeiten, Folgefahrten oder Aktivierungen durch das Ego-Fahrzeug (Simulatorfahrzeug) sind möglich. Eine komplexe Simulation des Verhaltens der Fremdfahrzeuge ist dadurch realisierbar und kann gezielt über Hedgehogs ma-

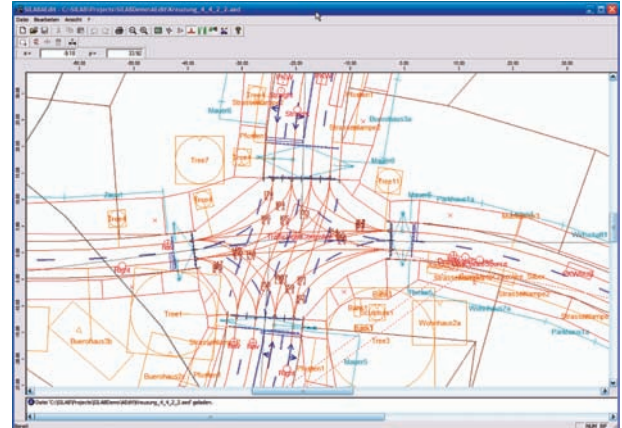


Abbildung 2-4: „COURSE“ Streckendefinition im Textfile (links) sowie ausführliche Erstellung einer Kreuzungssituation „AREA2-Modul“ im SILAB-Editor (rechts).

In der Simulationsumgebung ist ein frei konfigurierbarer Datenrecorder bereits implementiert. Das vorgestellte Prinzip der DPU-Implementierung kommt hier wieder zu tragen. In der Grundkonfiguration existiert eine DPU, die es ermöglicht, die gewünschten Daten online aus dem System in eine Text-Datei zu schreiben. Die gewünschten Variablen werden in einer Konfigurationsdatei (Text-Datei) definiert und können dann auf einem beliebigen Rechner mit aktiven SILAB gespeichert werden. Ein großer Vorteil ist, dass dieser Rechner extra für die Datenaufzeichnung bereitgestellt werden kann und somit den Simulationsbetrieb -insbesondere die Synchronisierung zwischen den Systemen- nicht stört. Die Daten liegen dann nach dem Versuch als Text-Datei zur Verarbeitung bereit.

Zur beschriebenen Datenaufzeichnung können die klassischen Möglichkeiten in einer Versuchsumgebung Informationen über den Fahrer zu gewinnen zusätzlich integriert werden. Dazu zählen die Messung physiologischer Daten der Probanden oder die Videoaufzeichnungen des Fahrerverhaltens. Eine umfangreiche und lückenlose Auswertung der Versuchsdaten ist somit möglich.

### 2.4 Strecken- und Szenariengestaltung

Für die Gestaltung eines Versuchsdesigns, das genau nach den Bedürfnissen des jeweiligen Forschungsansatzes spezifiziert ist, bedarf es einer flexiblen und variablen Struktur der virtuellen Welt. Die Versuchsstrecke sollte so aufgebaut werden, dass die aufgestellten Hypothesen der Untersuchung voll belegbar bzw. widerlegbar sind. Kompromisse in diesem Bereich schlagen sich häufig auf die Qualität der Untersuchung nieder. SILAB bietet dafür einen exzellenten Ansatz. Die simulierte Welt kann frei gestaltet und aufgebaut werden. Dabei ist grundsätzlich zwischen Überlandstrecken (Course-Typ) und Kreuzungsbereichen (Area2-Modell) zu unterscheiden. Eine Überlandstrecke kann direkt mittels einer speziellen Skriptsprache in einem Text-Editor erstellt werden (siehe Abbildung 2-4 links). Dieses Skript enthält den Streckenverlauf, das Höhenprofil, spezielle Aktivierungspunkte (Hedgehogs) und die Landschaftsgestaltung rechts und links der Strecke. Zusätzlich ist in dieser Text-Datei das Grundgerüst der SILAB-Konfiguration enthalten. Dadurch ist es möglich für ver-

nipuliert werden. Die Definition von Fußgängern ist dagegen auf Überlandstrecken nicht ohne weiteres möglich. Ein Kreuzungsbereich wird dagegen in einem dafür bereitgestellten grafischen Editor erstellt (siehe Abbildung 2-4 rechts). Dies bedeutet, dass der Straßenverlauf, Objekte (Straßenlampen, Schilder usw.), Häuser, Straßenmarkierungen, Verkehrsampeln und der Verkehr direkt von Hand im Editor platziert werden. Zusätzlich definiert man die Abhängigkeiten der Verkehrsteilnehmer, also das Verhalten zu bestimmten Ereignissen, direkt im Editor. Im Kreuzungsbereich ist es außerdem möglich Fußgänger zu simulieren. Dabei ist wichtig zu wissen, dass es sich natürlich dabei nicht nur um Kreuzungen handeln muss, sondern auch gerade und einfache Streckenabschnitte können definiert werden. Dies relativiert die vorher getroffene Aussage, dass auf Überlandstrecken keine Fußgänger definiert werden können. Durch die Verschaltung von einem einfachen Area2-Streckenteil mit Fußgängern und einem Überlandbereich kann somit eine Situation erzeugt werden, in der Fußgänger auf der Landstraße die Fahrbahn überqueren. Die Definition von allen statischen und dynamischen Objekten ist folglich für die gesamte Bandbreite des Versuchsdesigns vorhanden. Alle Area2-Module werden zur Ausführung von dem bereits angesprochenen Text-File geladen. Diese Datei stellt somit die zentrale Konfigurationsdatei dar und wird von SILAB geladen. Für die Szenariengestaltung bzgl. einer definierten wissenschaftlichen Fragestellung ist die flexible Gestaltung der relevanten Fahrsituation ausgesprochen wichtig. In diesem Bereich dürfen keine Kompromisse eingegangen werden, da dies meist mit einer Einschränkung der Auswertbarkeit der Daten einhergeht. Auf der einen Seite ist die Steuerung des Fremdverkehrs sehr wichtig, welcher zu definierten Zeitpunkten genau vorhersehbare Aktionen durchführen soll. Auf der anderen Seite bietet SILAB die einzigartige Möglichkeit das Streckennetz dynamisch -zur Laufzeit- anzupassen. Wie in Abbildung 2-5 zu sehen ist, können beliebige Eigenschaften definiert werden um die Streckenführung aktiv zu beeinflussen. Das Straßennetz muss demnach nur lokal geometrisch konsistent sein. Dies ist ein sehr großer Vorteil gegenüber einer feststehenden virtuellen Welt im OpenFlight Format, in der alle Straßen und Ob-

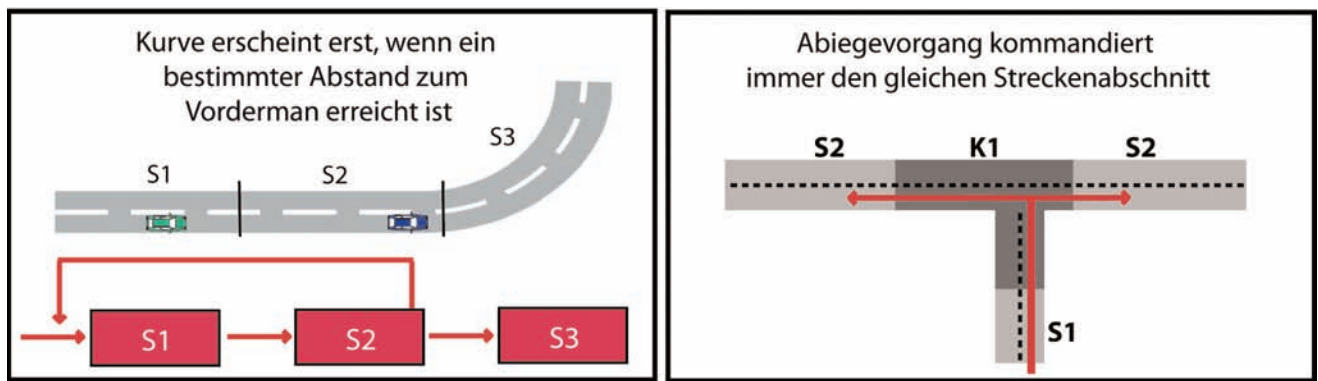


Abbildung 2-5: Dynamische Anpassung des Streckennetzes zur Laufzeit, abhängig von frei definierbaren Ereignissen.

Beispiele: Abhängig vom Abstand zum Vordermann erscheint eine Kurve oder eine Gerade (linkes Bild); Proband kann rechts oder links abbiegen und es folgt immer ein identischer Streckenabschnitt (rechtes Bild)

jekte fest definiert sind und nur äußerst aufwendig geändert werden können. In SILAB ist es außerhalb des Sichtbarkeitsbereichs des Probanden möglich, das Straßennetzwerk unauffällig „umzubauen“. An dieser Stelle wird das Grundprinzip dieser Simulationssoftware deutlich. Die geometrische und grafische Repräsentation wird während der Simulation „online“ erzeugt und ist folglich zur Laufzeit veränderlich.

Im nächsten Abschnitt wird anhand eines Anwendungsbeispiels aufgezeigt, wie leicht komplexe Verkehrssituationen ausgehend von theoretischen Überlegungen durch die Flexibilität dieser Forschungsumgebung erschaffen werden können.

## 2.5 Anwendungsbeispiel

Ausgangspunkt für die Beschreibung dieses Beispiels ist die Ermittlung unfallträchtiger Situationen. Dieses Kapitel schildert eine mögliche Vorgehensweise, aus der Gesamtheit von Unfalldaten besonders kritische Situationen herauszufiltern. Ziel ist es konkrete Unfallszenarien zu definieren, die im Fahrsimulator umsetzbar sind. Als Datenquelle für die Unfallanalyse wird die GIDAS Datenbank (German In-Depth Accident Study) herangezogen, in der jährlich ca. 2000 neue Unfälle hinterlegt werden. Dabei werden ausschließlich PKW-Unfälle mit Personenschaden betrachtet. Mittels definierter Unfalltypen und festgelegter Unfallmerkmale können aus dem umfangreichen Datenpool zunächst Unterschiede bezüglich der Häufigkeit auftretender Verkehrsunfälle festgestellt werden. In einem weiteren Schritt werden die gewonnenen Daten anhand von Statistiken bezüglich Fahrleistungen, Verkehrszählungen und Wetteraufzeichnungen verifiziert, um aussagekräftige Werte zu erhalten. Auszugsweise werden hier zwei Szenarien vorgestellt und eingehend beschrieben. Dabei handelt es sich um einen Einbiegen/Kreuzen-Unfall und einen Überschreiten-Unfall.

### 2.5.1 Der Einbiegen/Kreuzen-Unfall

Die erste Situation entsteht typischerweise an Kreuzungen und Einmündungen von Straßen, Feld- oder Radwegen, sowie Zufahrten z.B. zu einem Grundstück oder Parkplatz. Hier ist die Voraussetzung für den Einbiegen/Kreuzen-Unfall gegeben, der nach Definition durch einen Zielkonflikt zwischen einem einbiegenden oder kreuzenden Wartepflichtigen und einem Vorfahrtberechtigten ausgelöst wird. Die Szene ist wie folgt aufgebaut. Ein plötzlich auftretendes Fahrzeug versucht ein Überraschungsmoment bei den Versuchspersonen hervorzurufen. Hierzu ist eine Rechts-vor-Links-Situation in die Strecke integriert. Die Versuchsperson befindet sich in einer Zone mit Beschränkung auf 30km/h und bewegt sich auf die Kreuzung zu. Erreicht sie die Kreuzungsstelle, erscheint ein Fahrzeug, das von rechts kommend nach links abbiegt. Der vorfahrtberechtigte Verkehrsteilnehmer ist durch parkende Fahrzeuge oder Bäume verdeckt und kann durch die Versuchsperson somit erst spät gesehen werden. In Abbildung 2-6 ist eine Situation für diesen Unfalltyp beispielhaft dargestellt.

Die Situation für diesen Unfalltyp ist im Hinblick auf die Untersuchung auftretender Unfälle bewusst unfallkritisch ausgelegt. Bei zu später oder falscher Reaktion der Versuchsperson kann es leicht zu Kollision kommen. Das Augenmerk liegt dabei auf der Abstimmung des Verkehrsteilnehmers mit dem EGO-Fahrzeug. Das Fahrzeug erscheint zu dem Zeitpunkt, an dem die Versuchsperson an die Kreuzung gelangt und die letzte Navigationsanweisung (Links abbiegen) bekommt. Das Fremdfahrzeug wird durch so genannte Flowpoints (in Course-Typen Hedgehogs genannt) gesteuert. Diese Punkte werden auf der Spur des EGO-Fahrzeugs platziert. Sobald die Versuchsperson einen Flowpoint überfährt, wird das Fremdfahrzeug (auf der anderen Straße, verdeckt durch Häuser, Bäume oder parkende Fahrzeuge) aktiviert. Der Erscheinungspunkt der Fahrzeuge variiert mit der Geschwindigkeit des EGO-Fahrzeugs. Um den optimalen Ak-



Abbildung 2-6: Szenario des Einbiegen / Kreuzen-Unfalls; Rechts-vor-Links-Situation





Abbildung 2 7: Szenario des Überschreiten-Unfalls

tivierungszeitpunkt zu bestimmen, ist es nötig, eine Reihe von Probeläufen durchzuführen. Der schließlich ermittelte Aktivierungspunkt bezieht sich auf eine gefahrene Geschwindigkeit von 30 km/h, bei der das Fahrzeug genau an der Kreuzung erscheint.

Die Szene wird mehrfach in die Versuchsstrecke eingebaut. Dabei werden die Verkehrsteilnehmer (Fahrzeugtypen) und die Umgebung (z.B. umgebende Häuserzeilen, Parkflächen oder Bäume) in jeder Szene automatisch variiert. Die Abhängigkeiten und Aktivierungspunkte des Fremdverkehrs bleiben natürlich vollständig erhalten. Somit ist die Situation für die Probanden nicht sofort wiederzuerkennen und kann in einem Versuchszyklus mehrfach durchfahren werden.

### 2.5.2 Der Überschreiten-Unfall

Die zweite betrachtete Situation ist der Überschreiten-Unfall. Charakteristisch für diesen Typ ist der Konflikt zwischen einem Fahrzeug und einem die Fahrbahn überschreitenden Fußgänger.

Es werden wieder drei identische Szenen entlang der Versuchsstrecke platziert. Die Anordnung vorangestellter und nachfolgender Module wird variiert und somit der Gesamteindruck der vom Fahrer befahrenen Strecke verändert. Die Szene besteht aus einem Area2-Modul und ist in jeder Situation übereinstimmend aufgebaut. Der Fahrzeugführer befindet sich in einer Zone mit Beschränkung auf 30km/h. Seitlich parkende Fahrzeugen schränken die Sicht auf den anschließenden Gehweg ein. Der Proband nähert sich einem auf der rechten Seite parkenden LKW, der einen am Straßenrand wartenden Fußgänger verdeckt. Sobald sich das EGO-Fahrzeug weit genug angenähert hat, beginnt der Fußgänger die Straße zu überqueren. Die Szene ist in Abbildung 2-7 dargestellt. Sie zeigt die geparkten Fahrzeuge und den die Straße überquerenden Fußgänger.

Die geparkten Fahrzeuge und deren Anordnung sind in allen drei Szenen identisch. Durch den auf der rechten Seite stehenden LKW kann der Fußgänger gut verdeckt werden. In der Szene ist eine schnelle Reaktion der Versuchsperson erforderlich, um einen Zusammenstoß mit dem Fußgänger zu vermeiden. Zusätzlich kann hier die Antizipation der jeweiligen Versuchsperson helfen die Situation zu beherrschen und insbesondere vorherzusehen. Der Fußgänger wird durch das EGO-Fahrzeug (Voraussetzung: Geschwindigkeit des EGO-Fahrzeugs von ca. 30km/h) gesteuert. Damit die Einbindung des Fußgängers in SILAB funktioniert, müssen Bewegungsbereiche definiert werden. Innerhalb der Bewegungsbereiche ist es nötig, einen Start- und einen Endpunkt für den Fußgänger festzulegen. Zwischen ihnen erfolgt dann die Bewegung.

Für eine Simulation in dieser umfangreichen und genauen Methode spricht, dass nichts Unvorhersehbares im simulierten Straßenverkehr passiert. Es können beliebige Straßen und Straßenverläufe simuliert und in der Realität selten auftretende Situationen beliebig oft dargestellt und somit reproduziert werden. Alle verwendeten Simulationsdaten können problemlos ausgewertet werden.

Zur Auswertung und Beurteilung des Verhaltens der Probanden ist es nun notwendig die aufgenommenen Daten der Simulationssoftware zu analysieren. Zusätzlich ist das Blickverhalten für eine gesicherte Aussage von essentieller Bedeutung, da die entscheidungs-

relevanten Informationen zu 90% über den visuellen Kanal aufgenommen werden (Rockwell, 1971). Im nächsten Kapitel wird das dafür nötige Messsystem vorgestellt und die Integration in die Forschungsumgebung beschrieben.

## 3 Blickerfassungssystem Dikablis

Das Blickerfassungssystem Dikablis dient zur Erfassung des Blickverhaltens der Probanden.

Das System besteht im Wesentlichen aus drei Komponenten: der kopfbasierten Head-Unit, dem Recording Rechner und der Analyse Software. Mit der Head-Unit werden die Daten des Blickfelds und des linken Auges sowie die Umfeldakustik aufgenommen. Diese Daten erreichen per Funkübertragung die Empfangsstation und gehen von dort aus in den Recording PC. Auf diesem läuft die Recording Software. Mit ihr werden die Kalibrierungseinstellungen vorgenommen und die Daten aufgenommen. Die Analyse Software dient dem Aufbereiten und Auswerten der Daten, was auf jedem beliebigen PC oder Laptop erfolgen kann.

### 3.1 Head-Unit

Die Komponenten der kopfbasierten Blickerfassungseinheit (siehe Abbildung 3-1) bauen auf einem leichten und komfortabel zu tragenden Brillengestell auf, welches eine hohe Sicherheit gegen Verrutschen aufweist.

Mit der sogenannten Feldkamera, welche mittig zwischen den Augen sitzt, wird das Umfeld vor der Versuchsperson erfasst. Dabei filmt die Kamera das, was sich im Sichtbereich der Versuchsperson



Abbildung 3-1: Links: Die kopfbasierte Blickerfassungseinheit; Rechts: Im Fahrzeug sitzende Probandin, die die Head-Unit trägt

befindet. Die Augenkamera, welche vor dem linken Auge montiert ist, nimmt ein schwarz-weiß Bild auf. Um ein kontrastreiches Bild zu erhalten, wird das Auge im Infrarotbereich gefilmt.

Die Übertragung der Daten von der Kopfeinheit zum PC erfolgt analog auf einer Wellenlänge von 2,4 GHz. Die Reichweite der Sender beträgt im Freien bis zu 300 Meter und in Gebäuden bis zu 30 Meter.

Aufgrund der kabellosen Datenübertragung kann sich die Versuchsperson frei bewegen. Dies ist wichtig für Fahrzeuguntersuchungen, damit das Blickverhalten nicht durch störende Kabel beeinflusst wird. Da das System kopfgebunden ist, kann der Blick in einer 360° Vollkugel erfasst werden.

Die Stromversorgung der Head-Unit erfolgt entweder über ein Akkupack oder über den Zigarettenanzünder im Fahrsimulatorfahrzeug.

### 3.2 Recording PC und Recording Software

Der Recording PC ist ein speziell den Anforderungen der digitalen Blickerfassung angepasster Hochleistungsrechner. Eine Framegrabber Karte digitalisiert in Echtzeit zwei analoge Datenströme von der Funkempfangsstation. Um eine bestmögliche Übertragungsqualität zu erreichen, werden die Funkdaten mit dem „True Diversity“ Prinzip empfangen. Das bedeutet, dass jedes Videosignal zweimal empfan-

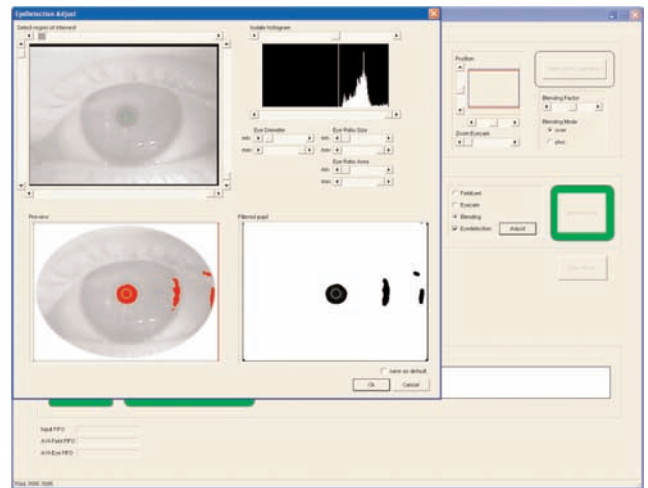


Abbildung 3-2: Links: Grafische Benutzeroberfläche der Recording Software. Rechts: Einstellmodus des Pupillenerkennungsalgorithmus

gen wird und das bessere an den PC weitergeleitet wird. Die grafische Benutzeroberfläche der Recording Software ist in Abbildung 3-2 dargestellt. In der linken Bildschirmhälfte befindet sich das Vorschaufenster, in dem in Echtzeit beobachtet werden kann, wohin der Proband blickt. Außerdem ist es jederzeit möglich die vorgenommen Kalibrierungseinstellungen zu verifizieren. Abbildung 3-2 links zeigt, wie der Proband auf den Monitor einer Sitzkiste blickt, auf dem eine einfache Fahraufgabe abläuft. In dieser Abbildung ist die so genannte Überblendungstechnik mit integrierter Pupillenerkennung zu erkennen. Dabei wird das Bild des linken Auges dem der Feldkamera transparent überlagert und der Mittelpunkt der detektierten Pupille mit einem runden Kreis markiert. Somit kann jederzeit überprüft werden, ob der Pupillenerkennungsalgorithmus fehlerfrei arbeitet. Das Feld rechts neben dem Vorschaufenster dient dem Kalibrieren und Einstellen des Systems. Zur Kalibrierung muss das Augenbild in horizontaler und vertikaler Richtung dem Field of View Bild zugeordnet werden. Ferner muss auf eine bestimmte Ebene orthogonal auf den Sehstrahl kalibriert werden. Hierzu ist ein Kalibrierkreuz mit vier Kalibrierpunkten zu verwenden. Die Einstellung der horizontalen und vertikalen Zuordnung sowie der Bezug zur zugehörigen orthogonalen Ebene ist ein iteratives Verfahren ist. Der Kalibriervorgang für vier Kalibrierpunkte dauert ca. 30 Sekunden. Die Genauigkeit liegt dann bei etwa  $1^\circ$ . Um die Güte der Pupillenerkennung zu optimieren, sind die wichtigsten Erkennungsparameter einstellbar. Auf diese Weise lässt sich der Erkennungsalgorithmus an verschiedene Versuchspersonen und Lichtverhältnisse anpassen. Innerhalb des Einstellmodus der Pupillenerkennung, ist auf einem Vorschaubildschirm immer zusehen, ob durch die neuen Einstellungen die Erkennungsgüte besser oder schlechter wird (siehe Abbildung 3-2 rechts). Eine sehr nützliche Funktion bei der Durchführung von Versuchen ist die Triggerfunktionalität. Die Software erlaubt die Definition von Tastaturtriggern, wobei unterschieden wird zwischen Single- und Intervalltrigger. Dabei bedeutet Singletrigger, dass der Tastatureintrag nur einmal beim Betätigen der entsprechenden Tastaturtaste geschrieben wird. Mit dem Intervalltrigger wird der Eintrag solange geschrieben, bis die Taste erneut gedrückt wird. Die Einträge werden in dem nachstehend beschriebenen Journal File protokolliert, wobei jeder Trigger in einer eigene Spalte notiert wird. Wenn das System auf die Versuchsperson kalibriert ist, kann die Aufnahme der Daten gestartet werden. Danach werden drei Datenströme auf der Festplatte aufgezeichnet, das Bild der Augenkamera, das Bild der Feldkamera und das Journal File. Im Journal File werden alle 40 ms, synchron zu einer Timeline und synchron zu den beiden Videostreamen, sämtliche Kalibrierungseinstellungen sowie die x-y-Koordinaten der Pupille relativ zum Augen-

kameraursprung und relativ zum Feldkameraursprung geschrieben. Es ist wichtig und von großem Vorteil, dass alle Rohdateien gespeichert werden. Somit liegen nach dem Versuch verlässliche Daten vor, die dann optimal aufbereitet und ausgewertet werden können. Sollte während der Aufnahme die Head-Unit verrutschen, kann online nachkalibriert werden. Dazu muss der „Online Calibration Button“ gedrückt werden, wodurch die Buttons des Kalibrierungsfeldes, die nach dem Starten der Aufnahme deaktiviert sind, wieder aktiv werden. Die Online Kalibrierung wird automatisch im Journal File vermerkt, damit später beim Auswerten der Daten die Positionen der durchgeführten Modifikationen wiederzufinden sind. Das Feld unterhalb des Vorschaubildschirmes zeigt dem Bediener nützliche Informationen an. Er kann dort ablesen, wie viel Speicherplatz noch auf der Festplatte vorhanden ist und wie lange die aktuelle Aufnahme bereits läuft. Ferner wird immer der zuletzt gedrückte Trigger angezeigt.

### 3.3 Analyse Software

Die Dikablis Analyse Software dient der Aufbereitung und Auswertung der im Versuch gewonnenen Daten. Abbildung 3-3 zeigt die grafische Benutzeroberfläche der Software. Mit der Recording Software werden alle Rohdaten abgespeichert. Dadurch ist es nach dem Versuch möglich mit der Analyse Software auf sämtliche Daten zuzugreifen. Somit ist eine optimale Aufbereitung und Auswertung der Daten möglich. Wird durch die Analyse Software etwas an den Einstellungen verändert, generiert die Software ein neues Journal File. In dem neuen File werden die Änderungen zum Original Journal File festgehalten. Das stellt sicher, dass die Rohdateien immer unverfälscht erhalten bleiben. Um einen aufgenommenen Blickfilm bearbeiten und auswerten zu können, wird dieser mit der Analyse Soft-

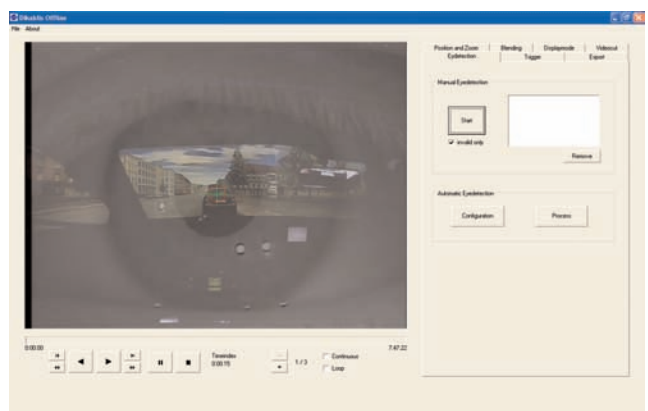


Abbildung 3-3: Grafische Benutzeroberfläche der Analyse Software



ware geladen. Danach stehen dem Anwender die nachstehend aufgeführten Analysefunktionen zur Verfügung. Die Player Leiste unterhalb des Videobildschirms ermöglicht den Blickfilm in beliebigen Geschwindigkeiten vor- und zurücklaufen zu lassen. Ferner bietet die Software die Möglichkeit, nach dem Betätigen des Pause Buttons, das Video Frame für Frame anzusehen. Das ermöglicht die präzise Analyse bestimmter Details. Sollte während des Versuches die Head-Unit verrutscht sein, sind die aktuellen Kalibrierungseinstellungen nicht mehr gültig. Wurde dies während des Versuchs nicht bemerkt, kann es nachträglich behoben werden. Dazu startet man die Offline Kalibrierung und stellt die horizontale und vertikale Augenposition wieder richtig ein. Ist die neue Einstellung korrekt, kann diese vom Zeitpunkt des Verrutschens an für den Rest des Blickfilmes übernommen werden. Sollten sich während des Versuches die Lichtverhältnisse ändern, so kann sich dadurch eventuell die Pupillenerkennung verschlechtern. Dann besteht mit der Analyse Software die Möglichkeit, die Detektion noch einmal mit geänderten Parametern automatisiert durchführen zu lassen. Dieser Vorgang dauert für 15 Minuten Film ca. 1 Minute. Kann der Algorithmus die Pupille nicht erkennen, wird in das Journal File für die x- und y-Koordinate jeweils eine Null geschrieben. Wird dann die manuelle Erkennung der Pupille gestartet, werden die Nullen im Journal File angefahren und das zugehörige Bild des Auges gezeigt. Somit hat der Anwender die Möglichkeit, die Pupille zu markieren und die Erkennung zu vervollständigen. Ist die Pupillenerkennung auf diese Weise perfektioniert, können für beliebige Bereiche innerhalb einer Blickaufnahme folgende Blickkennwerte automatisiert berechnet werden:

- Anzahl von Sakkaden pro Sekunde
- Mittlerer Sakkadenwinkel
- Mittlere Fixationsdauer
- Pupillenaktivitätsmaß in  $^{\circ}/s$
- Lidverschlussfrequenz

Zur genaueren Auswertung einer Blickaufnahme ist es notwendig die Verweildauer eines Blickes in bestimmten „Areas of Interest“ (AOIs) zu bestimmen. Ein Beispiel hierfür ist, wie lange und wie oft ein Fahrer auf eine neuartige Anzeige blickt. Hierzu ist in der Analyse Software eine Triggerfunktionalität implementiert. Wie mit der Recording Software kann der Nutzer die bereits beschriebenen Single- oder Intervalltrigger definieren. Danach lässt man den Blickfilm langsam ablaufen und drückt, immer wenn der Proband auf das relevante AOI blickt, den entsprechenden Trigger. Dieser wird dann synchron zu der Timeline in das Journal File geschrieben. Anhand dieser Trigger-einträge lassen sich die in Lange et al. (2006 a-d) beschriebenen Kennwerte zur Bestimmung des Einflusses von Fahrerassistenten- und -informationssystemen auf das Blickverhalten bestimmen.

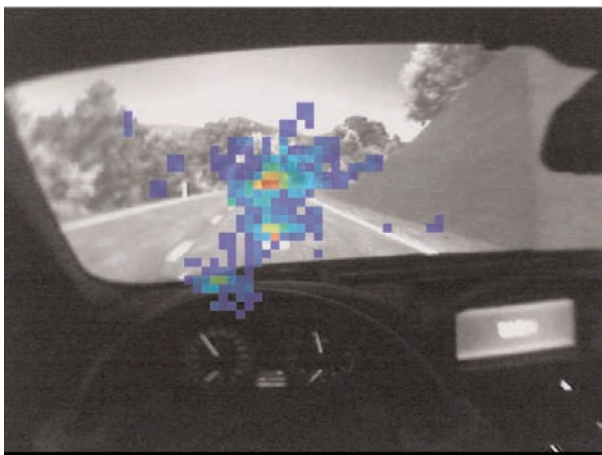


Abbildung 3-4: Der als Heatmap bezeichnete Blickverteilungsplot für ein Zeitintervall von 3 Sekunden

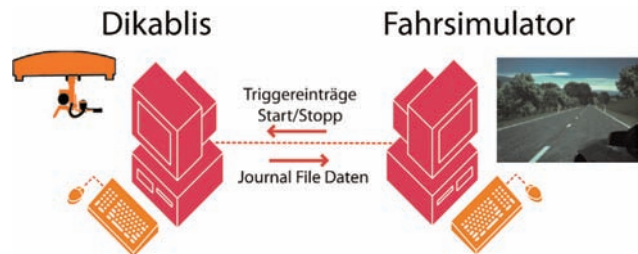


Abbildung 4-1: Vernetzung der Fahrsimulation und des Blickerfassungssystems

### 3.4 Weitere Entwicklung

Zukünftig wird die Dikablis Analyse Software um weitere Funktionen erweitert. Dabei soll einerseits die momentan noch zeitaufwändig manuell vorzunehmende Blickdatenauswertung automatisiert werden. Andererseits sollen nützliche Analysefunktionen hinzukommen, welche eine noch präzisere Auswertung der Blickdaten erlauben. Um Blickzuwendungsdauern auf „Areas of Interest“ automatisiert bestimmen zu können, muss die Kopfposition des Probanden gemessen werden. Diese soll über Marker, die im Blickfeld des Probanden bzw. im Bereich von „Areas of Interest“ anzubringen sind, bestimmt werden. Wenn diese charakteristischen Marker im Bild der Feldkamera zu sehen sind, werden sie über Bildverarbeitungsalgorithmen erkannt. Aufgrund von Größe und Lage der Marker im Bild der Feldkamera, kann die Position des Kopfes relativ zu den Markern und somit auch relativ zu den „Areas of Interest“ berechnet werden. Auf Basis dieser Kopfpositionserkennung können dann eine Reihe an Funktionen aufsetzen, welche die manuelle Auswertung der Blickdaten automatisieren. Darüberhinaus werden weitere Möglichkeiten der Datenauswertung entstehen. Diese werden nachstehend kurz aufgeführt und erläutert:

- Automatisches Erzeugen einer „Heatmap“: Diese Funktion erlaubt es, entweder für ein komplettes Projekt bzw. Experiment oder für vorab bestimmte Zeitbereiche innerhalb eines Experimentes eine „Heatmap“ zu erzeugen (siehe Abbildung 3-4). Dabei wird dem Bild der Feldkamera ein Blickverteilungsplot transparent überlagert. Rote Bereiche markieren dabei eine sehr hohe Häufigkeit der Blickzuwendung, blaue Bereiche dagegen eine sehr geringe Häufigkeit.
- Automatisches Bestimmen von Blickzuwendungsdauern- und -häufigkeiten: Diese Funktion erlaubt es, entweder für ein komplettes Projekt bzw. Experiment oder für vorab bestimmte Zeitbereiche innerhalb eines Experimentes automatisiert folgende Blickkennwerte zu bestimmen:
  - Kumulierte Blickdauer auf ein AOI
  - Anzahl der Blicke auf ein AOI
  - Maximale Blickdauer auf ein AOI
  - Durchschnittliche Blickdauer auf ein AOI
  - Verkehrsblindzeitquotient
- Blickverlaufshistorie: Für ein einstellbares Zeitintervall soll die Blickverlaufshistorie angezeigt werden. Dabei wird im Bild der Feldkamera eingezeichnet, an welche Stelle innerhalb der letzten Sekunden sich der Blick befand. Fixationen werden als Kreise dargestellt (Radius entspricht dabei der Dauer der Fixation) und Sakkaden werden als Verbindungslinie zwischen den Fixationsorten angezeigt. Mit Hilfe dieser Funktionen kann man detailliert untersuchen, wie sich der Proband in einer Fahrsituation oder auf einem Display orientiert.

#### 4 Zusammenspiel Fahrsimulator und Blickerfassungssystem

Damit mit der Forschungsumgebung ein breites Feld an experimentellen Fragestellungen in hoher Qualität und in angemessener Zeit bearbeitet werden kann, müssen die Fahrsimulation und das Blickerfassungssystem perfekt aufeinander abgestimmt sein. Dies wird durch eine Vernetzung der beiden Systeme gewährleistet, was eine Reihe an Möglichkeiten und Vorteilen mit sich bringt. Wie in Abbildung 4-1 gezeigt, findet ein bidirektionaler Informationsaustausch der beiden Systemen über das Netzwerk statt. Es können aus der Fahrsimulation Triggereinträge in das Dikablis Journal File geschrieben sowie die Aufzeichnung der Blickdaten gestartet und gestoppt werden. Im Gegenzug werden sämtliche Daten aus dem Journal File an die Fahrsimulation übertragen. Durch diese Kommunikation ist, bis auf ein geringes Netzwerkdelay, eine perfekte Synchronisierung der Blickdaten und der Werte des Fahrsimulator-DataRecorders gewährleistet. Ferner können über Triggereinträge, welche aus der Fahrsimulation stammen und in das Journal File des Blickerfassungssystems geschrieben werden, wichtige Fahrsimulatorszenarien oder –momente, in denen das Blickverhalten des Probanden detailliert analysiert werden soll, direkt im Blickerfassungssystem markiert werden. Nach dem Öffnen der Versuchsfahrt mit der Dikablis Analysesoftware, werden sämtliche Triggereinträge tabellarisch aufgeführt. Diese Zeitpunkte können somit direkt angewählt und näher untersucht werden.

Die Übertragung der Journal File Daten bietet neben der Synchronisierung noch die Möglichkeit aufgrund des Blickverhaltens eines Probanden Aktionen in der Fahrsimulation auszulösen. Ein Beispiel hierfür ist, wenn bei einem Versuch zur Ablenkungswirkung von Nebenaufgaben festgestellt wird, dass der Proband einen unzulässig großen Zeitraum seinen Blick von der Fahraufgabe abwendet, das vorausfahrende Fahrzeuge plötzlich bremsen oder Fußgänger über die Straße gehen. Ebenso bietet sich die Möglichkeit die gleichen Aktionen auszuführen, wenn bei einer Untersuchung zur Auswirkung des Telefonierens am Steuer ein „Starrer Blick“ der Versuchsperson festgestellt wird. Dieser kann zur Laufzeit festgestellt werden, in dem der zeitliche Verlauf des oben aufgeführten Kennwertes „Pupillenaktivitätsmaß“ betrachtet wird und dieser deutlich abfällt

#### 5 Zusammenfassung

Wie vorstehend aufgeführt, erfüllt die Fahrsimulator-Forschungsumgebung am Lehrstuhl für Ergonomie die anfangs definierten Anforderungen hinsichtlich Flexibilität, der Fahrer-Fahrzeug Schnittstellen, dem Einbinden von Reglern und der Erfassung von Fahrleistungs- und Fahrer Verhaltensdaten. Somit können neuartige Fahrerassistenz- und –informationssysteme sehr präzise untersucht und abgesichert werden. Ebenso ist es möglich, das Fahrerverhalten in beliebigen Situationen, welche schnell und reproduzierbar generierten werden können, zu erforschen.

#### 6 Literatur

Anderson, J.R (1976):

Language, Memory, and Thought  
Hillsdale, Nj:Erlbaum;

Anderson, J.R. (1983):

the Architecture of Cognition; Cambridge, Ma: Harvard University Press.

Gengenbach, R (1997):

Fahrverhalten im PKW mit Head-Up-Display - Gewöhnung und visuelle Aufmerksamkeit; Dissertation, Technische Universität München, München 1997.

LANGE C., YOO J.-W., WOHLFARTER M., BUBB H. (2006a)

Dikablis - Operation mode and evaluation of the human-machine interaction. Spring Conference of Ergonomics Society of Korea, Seoul.

LANGE C., WOHLFARTER M. (2006b)

Blickerfassung. In: Linux Magazin 07/06, S. 110.

LANGE C., WOHLFARTER M., BUBB H. (2006c)

Dikablis - engineering and application area. In: Proceedings IEA 2006 16th World Congress on Ergonomics, Maastricht the Netherlands.

LANGE C., WOHLFARTER M. (2006d)

Schau mir in die Augen, Dikablis Blickerfassungssysteme in der Ergonomie. In: TUM - Mitteilungen der Technischen Universität München.

LANGE C. (2008)

Wirkung von Fahrerassistenz auf der Führungsebene in Abhängigkeit der Modalität und des Automatisierungsgrades. Dissertation, Technische Universität München, München 2008.

RASSL, R. (2004)

Ablenkungswirkung tertiärer Aufgaben im Pkw - Systemergonomische Analyse und Prognose. Dissertation, Technische Universität München, München 2004.

ROCKWELL, T. H. (1971)

Eye movement analysis of visual information acquisition in driving: an overview. Paper presented at the North Carolina State University, Raleigh, 1971.

WOHLFARTER, M. (2005)

Akzeptanz und Effektivität von Fahrerassistenzanzeigen im Head-Up-Display am Beispiel ACC und NAVI - Teil 1: Ergebnisse der Untersuchung. Abschlussbericht Lehrstuhl für Ergonomie.

WOLF H, ZÖLLNER R, BUBB, H. (2005) -

Ergonomische Aspekte der Mensch-Maschine-Interaktion bei gleichzeitig agierenden Fahrerassistenzsystemen. Zeitschrift für Verkehrssicherheit, Vol. 3, No. 51. pp. 119-124.



### Einleitung

Hinweis: Die in diesem vorliegenden Artikel durchgeführten Untersuchungen wurden ausnahmslos bei der BMW Group in München durchgeführt.

Parkassistentensysteme erhalten immer mehr Einzug ins Automobil. Dies ist nicht zuletzt deshalb auch notwendig, weil die Übersichtlichkeit und das Design heutiger Fahrzeuge das Erfassen von wichtigen Informationen – z. B. beim Rückwärtsparken die Heckklappenkante – nicht mehr ermöglicht. Außerdem wird die Fläche der Fensterscheiben immer kleiner, weshalb der Fahrer immer weniger visuelle Information von der Umwelt aufnehmen kann, was eine ADAC Studie aus dem Jahre 2005 belegt (s. ADACmotorwelt [1]). In dieser Studie wurde die Rundumsicht unterschiedlichster Fahrzeuge bewertet. Demnach waren ältere Fahrzeuge wie z. B. der BMW 2002 übersichtlicher als heutige Fahrzeuge. Zudem ist das Parken eine schwierige Fahraufgabe, nach Ergebnissen aus Voruntersuchungen mit Probanden im Straßenverkehr sogar mitunter einer der Beanspruchendsten beim Autofahren. Zusätzlich beeinträchtigen Parkmanöver nach Riel [4] den Verkehrsfluss zeitweilig sehr stark, vor allem, wenn Sie rechts rückwärts durchgeführt werden. Dies liegt darin begründet, dass rückwärtige Fahrzeuge sehr dicht auf die Einparkenden auffahren und somit kaum die Möglichkeit haben zu überholen, ohne vorher zurückzusetzen. Assistenzsysteme für solche Verkehrssituationen haben deshalb das Ziel, den Verkehrsfluss und die Verkehrssicherheit zu erhöhen, sowie den Diskomfort für den Parkenden zu minimieren.

Dieser Artikel zeigt deshalb mithilfe einer systemergonomischen Analyse, wie der Fahrer mit visuell unterstützenden Parkassistenten umgeht und welche Auswirkungen dies auf ihn hat. Schließlich werden ergonomische Empfehlungen für die Entwicklung von Anzeigekonzepten für hochinformativ Darstellungen im PKW gegeben.

### Methoden und experimentelles Design

Für die Analyse heute realisierbarer visuell unterstützender Parkassistentensysteme wurden vier Konzepte in einem Versuchsträger implementiert (s. Abb. 2) und im zentralen Display in der Mittelkonsole angezeigt. Hierbei steht das Prinzip der Konzepte im Vordergrund. Das erste Konzept beinhaltete keine Assistenz zum Parken und diente hiermit als Referenzfahrt. Konzept 2 zeigt eine Draufsicht um das eigene Fahrzeug herum an und stellt prinzipiell eine rein videobasierte Anzeige dar, wie sie derzeit bei vielen Premiumherstellern erhältlich ist. Das dritte Konzept erweitert die videobasierte Anzeige um zusätzliche Informationen / Hilfslinien bzw. eine Systembewertung, ob der Abstand nach vorne / hinten zu einem Objekt ausreichend groß ist oder nicht. Auch dieses Prinzip findet sich in einigen Assistenzsys-

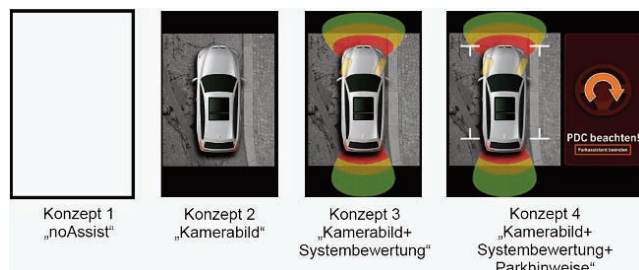


Abbildung 2: Untersuchte Konzepte im Realfahrzeug



Abbildung 1: Oben – Blick durch Heckscheibe eines älteren Fahrzeugs. Unten – Heutiges Fahrzeug. Quelle: ADACmotorwelt [1].

temen bei verschiedenen Fahrzeugherstellern wieder. Das letzte hier untersuchte Assistenzsystem erweitert Konzept 3 um eine Kommandoanzeige. Diese teilt dem Fahrer optisch mit, wann er wie das Lenkrad einschlagen muss, um optimal in einen Parkstand zu gelangen. Diese Methode basiert lediglich auf dem minimalen Wendekreis eines Fahrzeugs, und zeigt dem Fahrer an, wann er mit einem Volleinschlag am Wendepunkt gegenlenken muss. Dazu ist es vorher notwendig, das Fahrzeug mithilfe der Draufsichtsanzeige und den Positionierungslinien exakt an einem vorderen Fahrzeug auszurichten, um optimal in die Parklücke zurückzustoßen.

Ziel des Versuchs war es herauszufinden, wie sich die Steigerung des Informationsgehaltes von niedrig (Konzept 1) nach hoch (Konzept 4) auf den Fahrer auswirkt und ob damit ein höheres Ablenkungspotenzial verbunden ist (vgl. Rassl [3]).

An dem Realversuch nahmen 30 Mitarbeiter teil (Durchschnittsalter 34a). Der Versuch wurde mit einem BMW 5er Touring durchgeführt. Die Aufgabe der Probanden bestand jeweils darin, in einen Linksparkstand einzuparken und das Fahrzeug optimal in die Lücke zu manövrieren. Dabei galt es, den Abstand zwischen Fahrzeug und Bordstein zu minimieren, das Fahrzeug mittig in der Parklücke auszurichten und so schnell wie möglich einzuparken. Somit wurde die Einparkzeit und die jeweiligen Abstände gemessen. Dies diente als Objektivierungsmaßstab, um die erzielte Qualität (aus dem Quotienten von Aufgabenerfüllung und Aufgabenstellung) bzw. Einparkleistung (entspricht dem Quotienten aus Qualität und Einparkzeit) zu ermitteln. Damit konnten die Konzepte miteinander verglichen werden. Schließlich wurden noch mit dem vom Lehrstuhl für Ergonomie der TU München entwickelten digitalen kabellosen Blickerfassungssystem (DIKABLIS) Blickdauern und -häufigkeiten auf verschiedene

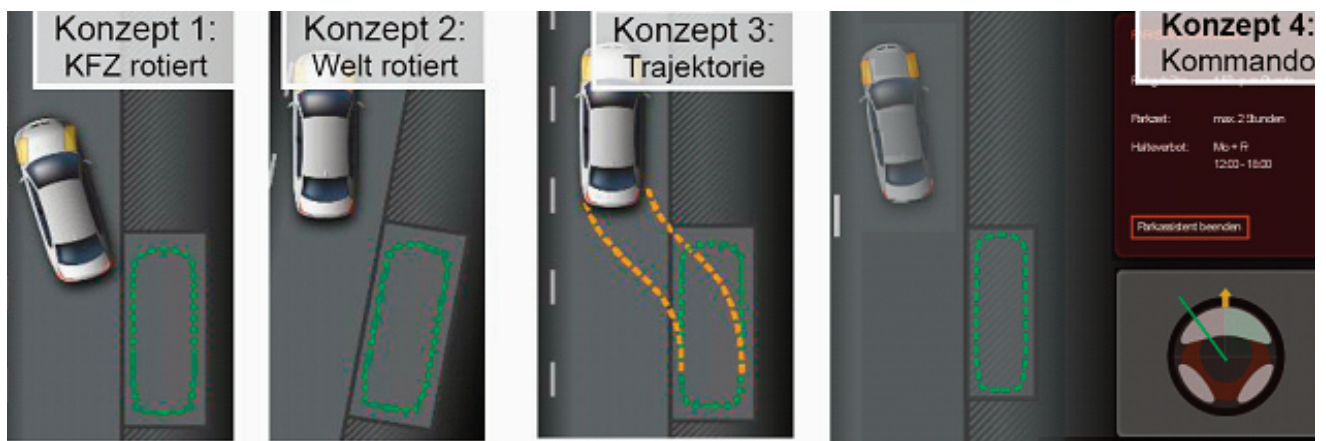


Abbildung 3: Evaluierte Konzepte der Fahrsimulatoruntersuchung

Bereiche erfasst. Interessante Bereiche waren hierbei das Display, auf dem die Konzepte dargestellt wurden, außerdem die Spiegel und die Heckscheibe sowie das Vorderfahrzeug. Diese Regionen sind hauptsächlich beim Einparken relevant und wurden daher bei der Auswertung näher unter die Lupe genommen. Die Blickauswertung kann Hinweise auf ein mögliches Ablenkungspotenzial des Fahrers durch die hier evaluierten Assistenzsysteme geben.

In einem zweiten Versuch mit einer eigens dafür programmierten Fahrsimulation wurden weitere Konzepte evaluiert, die derzeit nur mit enormen technischen Aufwand im Realfahrzeug umgesetzt werden können. Ziel dieses Versuchs war es, zu evaluieren, ob ein visuell unterstützendes Assistenzsystem besser als Folge- (Abbildung 3 Konzept 1) oder als Kompensationsaufgabe (Abbildung 3 Konzept 2) ausgelegt werden sollte. Ob eine Soll-/Ist-Anzeige mithilfe einer Einparktrajektorie (Konzept 3) oder eine Kommandoanzeige (Konzept 4) zu bevorzugen ist, war ein weiteres Untersuchungsziel. Diese Konzepte wurden in einem Monitor dargestellt, der die Anzeige im realen Fahrzeug in der Mittelkonsole simuliert. Die Außensicht wurde mit einem Beamer an eine Wand projiziert.

Beim ersten Konzept aus Abbildung 3 bleibt nach einem gefundenen Parkstand die Umgebungsansicht in der Anzeige im Display der Mittelkonsole der Fahrsimulation fest. Somit kann sich dann beim Parken nur das Fahrzeug in der Umgebung bewegen (Folgeaufgabe). Beim zweiten Konzept hingegen bleibt das Fahrzeug „fixiert“ und die Umgebung bewegt sich je nach Lenkeinschlag. Dies entspricht einem ähnlichen Verhalten wie in der Realität bei der Nutzung eines Videobildes (Kompensationsaufgabe). Im Prinzip bewegt sich da beim Betrachten die Umgebung des angezeigten Videobildes, das Fahrzeug jedoch bleibt für den Fahrer „stehen“. Somit kann durch solch einen Konzeptvergleich analysiert werden, welches der Beiden für den Fahrer akzeptabler ist bzw. mit welchem er die bessere Einparkleistung erzielt. Die letzten beiden Konzepte sollen zeigen, ob eine exakt berechnete Einparktrajektorie, die der Fahrzeugführer abfahren muss, besser geeignet ist, als eine Anzeige der Regelabweichung, wohin und wie er lenken soll (symbolisiert durch das Lenkrad in Abb. 3, Konzept 4).

Das hier verwendete Probandenkollektiv war ähnlich dem des vorangegangenen Realversuchs. Ein Fragebogen diente zur Ermittlung der Akzeptanz der unterschiedlichen Konzepte. Die Aufgabe der Probanden war gleich der aus dem Realversuch (Einparkzeit minimieren, seitliche Abstände minimieren und Fahrzeug mittig ausrichten).

## Ergebnisse des Realversuchs und der Fahrsimulation

Zunächst werden die Ergebnisse aus dem Realversuch aufgeführt. Bei der Betrachtung der anteilmäßigen Blickdauern auf das Systemdisplay in der Mittelkonsole während des Parkens kann Folgendes festgestellt werden: Je mehr Informationen und Unterstützung dort angeboten wird, desto höher ist der Blickdaueranteil des Fahrers auf diesen Bereich. Oder anders, je höher der sinnvolle Assistenzgrad, desto länger wird auf das Display gesehen, während andere möglicherweise wichtige Umweltinformationen vom Fahrer nicht mehr aufgenommen werden. Außerdem ergeben sich bei der informationsreichsten Darstellungsvariante maximale Blickabwendungszeiten von bis zu ca. 30s (s. Abb. 4).

Daraus folgt, dass einige Fahrer schon während des Erstkontakts dem Assistenzsystem so vertrauen, dass sie nur noch dieses zum Einparken nutzen. Allerdings stellt das Draufsichtkonzept nur einen Bereich von ca. 1,5m um das Fahrzeug herum dar. Plötzlich erscheinende Objekte wie Radfahrer, Fußgänger oder auch andere Autos können aufgrund des beschränkten Darstellungsbereiches der Vogelperspektive unter Umständen nicht mehr rechtzeitig vom Einparkenden detektiert werden. Aus diesem Grund ist es nicht ausreichend sich alleine auf die Anzeigen in der Mittelkonsole zu verlassen. Daraus kann geschlossen werden, dass hochinformativ Anzeigen im Fahrzeug für den Autofahrer stark aufmerksamkeitsbindend sind.

Auswertung der Akzeptanz zeigte

Folgendes: Je höher der sinnvolle Informationsgehalt des Assistenzsystems, desto besser fällt die Systembewertung durch die Probanden aus. Dies zeigt, dass Kraftfahrzeugführer einen hohen Bedarf an Unterstützung beim Parken haben und den Parkassistenzsystemen positiv gegenüberstehen.

Jedoch sollte berücksichtigt werden, dass bei Systemen, die das Umfeld mit Hilfe von Videokameras darstellen, der Fahrer kein Situationsbewusstsein hat, das Fahrzeugumfeld selbst auch noch mal zu überprüfen. Dafür besteht schon im Erstkontakt ein viel zu großes Vertrauen in das System. Selbst mit einer akustischen Unterstützung kann dieses Problem nicht behoben werden, da die dafür notwendigen Sensoren derzeit nur ein sehr kleines Umfeld abdecken können. Deshalb wird empfohlen, mit Kameras und / oder Radarsensoren das Fahrzeugumfeld vollständig zu erfassen und dem Fahrer im Notfall rechtzeitig Warnhinweise auszugeben, falls eine kritische Situation droht. Dazu ist natürlich eine Personendetektion und Auffahrwarnung notwendig.

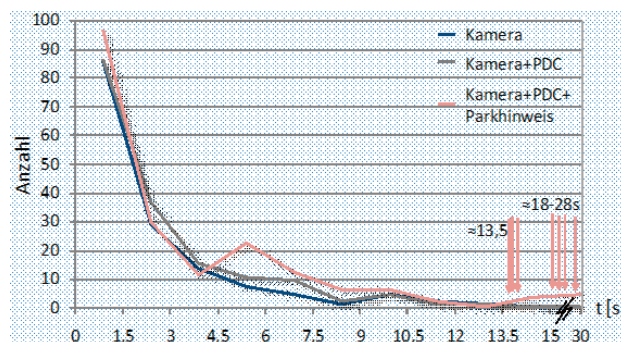


Abbildung 4: Maximale Blickabwendungszeiten bei der Nutzung unterschiedlicher Konzepte



Die Auswertung der Fahrsimulatoruntersuchung ergab, dass im Vergleich aller vier Konzepte die Fahrer mit der Anzeige der Einparktrajektorie die beste Einparkleistung erzielen können. Beim Vergleich der Konzepte, ob eine Kompensations- oder Folgeaufgabe besser für eine Anzeige geeignet ist, konnte objektiv kein Unterschied festgestellt werden. Bei der Bewertung der Akzeptanz entscheiden sich jedoch 93% der Probanden für die Folgeaufgabe. Hingegen zeigte sich ein signifikanter Unterschied ( $F=11,28$ ;  $p<0,00$ ) in der Einparkleistung zwischen Einparktrajektorie und Kommandoanzeige.

Demnach können Fahrzeugführer sehr exakt einer vorgegebenen berechneten Linie nachfahren, ohne dass bei einer Regelabweichung eine neue Trajektorie berechnet werden muss. Die Kommandos in Konzept 4 wurden jedoch bei jeder kleinen Regelabweichung angezeigt, was dazu führte, dass die Probanden nicht in der Lage waren – aufgrund der Reaktionszeit des Fahrers – schnell genug darauf zu reagieren. Dies ergab schließlich eine schlechtere Einparkleistung gegenüber dem Konzept 3 mit der Einparktrajektorie. Für die Darstellung einer Trajektorie entscheiden sich 93% der Versuchspersonen, nur 7% für die Kommandoanzeige. Somit kann als Ergebnis festgehalten werden, dass sich für eine erweiterte visuelle Parkassistenz, wie sie im Fahrsimulator dargestellt wurde, eine Folgeaufgabe mit der Anzeige einer Einparktrajektorie am besten eignet.

Zusammengefasst kann im Bild links der Abb. 5 das verbesserte Konzept aus dem Realversuch eingesehen werden. Hierbei ist eine Personendetektion, die weit über den dargestellten Bereich hinausgeht, implementiert. Im rechten Bild ist ebenfalls eine Personendetektion mit integriert und es werden noch zusätzliche Informationen über einen mithilfe von verschiedenen Sensoren detektierten Park-

stand angezeigt. Dies sind somit Konzeptvorschläge, wie trotz der oben geschilderten Gefahren eine visuelle Unterstützung angeboten werden kann, ohne dass der Fahrer aufgrund seines nicht vorhandenen Situationsbewusstseins bei der Nutzung hochinformativer Anzeigen eventuell relevante Objekte nicht rechtzeitig erkennt. Für noch mehr Sicherheit im Straßenverkehr! Und noch mehr Akzeptanz von Fahrerassistenzsystemen beim Fahrzeugführer!

#### Literatur:

ADAC November 2005,  
Fehlender Durchblick, ADACmotorwelt, Heft 11.

Lutz-Temsch B. 09.06.2005,  
Von Vater überfahren, Süddeutsche Zeitung.

Rassl R. 2004,  
Ablenkungswirkung tertiärer Aufgaben im Pkw – Systemergonomische Analyse und Prognose. Dr.-Ing. Thesis, Technische Universität München, Germany.

Riel J. November 2002,  
Modellierung von Störungen des Verkehrsablaufs durch Ein- und Ausparken am Fahrbahnrand, Dissertation, Fachbereich Architektur/Raum- und Umweltplanung/Bauingenieurwesen der Universität Kaiserslautern.  
Schmidtke H., et. al. 1993, Ergonomie, Carl Hanser Verlag München Wien.

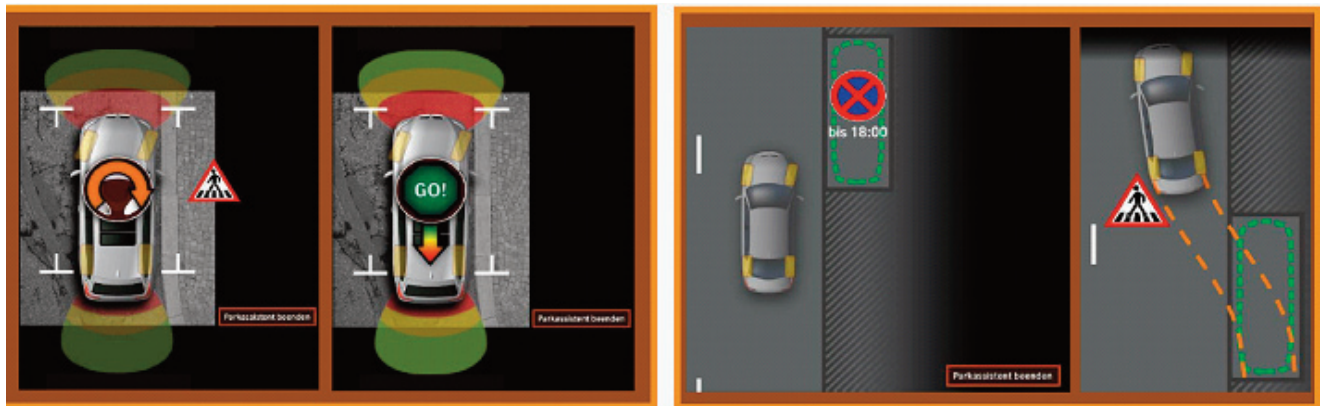


Abbildung 5: Verbessertes Konzept mit Personendetektion (links); verbessertes Konzept einer erweiterten Parkassistenz (rechts)

#### Impressum:

Herausgegeben vom  
**Lehrstuhl für Ergonomie**  
Technische Universität München  
Boltzmannstrasse 15  
85747 Garching  
Tel. 089/ 289-15388  
[www.ergonomie.tum.de](http://www.ergonomie.tum.de)

#### Verantw. i.S.d.P.:

Prof. Dr. H. Bubb  
Layout: Werner Zopf, LfE, Volker  
Schneider, Martin Wohlfarter  
Redaktion:  
Dr. Herbert Rausch, Werner Zopf  
Druck: Printy Digitaldruck & Ko-  
pierservice, 80333 München  
ISSN: 1616-7627

# Welches ist das optimale Bedienelement für eine Funktion?

Erfordert die Vielzahl an unterschiedlichen Funktionen in heutigen Automobilen auch eine Vielzahl an unterschiedlichen Bedienelementen?

Stephan Müller

## Motivation und Fragestellung

Aufgrund der stetig wachsenden Anzahl von Funktionen im Automobil gibt es heute eine erhebliche Vielzahl von Möglichkeiten, um Funktionen beispielsweise ein- und auszuschalten. Der Motor lässt sich immer häufiger mit einem Drucktaster starten, das Licht meist mit einem Drehschalter – teilweise am Armaturenbrett, teilweise am Lenkstockhebel – viele, zum Teil sehr unterschiedliche Funktionen werden mit den Lenkstockhebeln selbst bedient. Auch die Bedienorte der Funktionen variieren stark, besonders die Bedienelemente für Sonderausstattungen werden häufig unabhängig von sonstigen Zusammenhängen an einer freien Stelle in der Mittelkonsole gesammelt.

Die zentralen Fragen, die sich dabei stellen sind, ob es ein optimales Bedienelement für eine Funktion gibt und welches Element das ist. Dabei muss auch behandelt werden, ob man Funktionstypen generell betrachten kann – beispielsweise „Öffnen und Schließen“ – oder ob jede Funktion in ihrem Kontext und Anwendungsfall ein spezielles Bedienelement benötigt, so dass zum Beispiel das Öffnen des Schiebedachs in einem völlig anderen Zusammenhang steht wie das Öffnen des Seitenfensters.

Zu dieser Untersuchung gehören auch die Frage nach der Platzierung und Gruppierung der Funktionen im Cockpit, sowie natürlich die konkrete Gestaltung der Bedienelemente, um ein möglichst intuitives Auffinden und Bedienen für den Fahrer sicherzustellen.

## Analyse bestehender Bedienelemente

Um erst einmal festzustellen, welche Bedienelemente bisher in Automobilen verbaut sind, werden eine Reihe aktueller Fahrzeuge sowie Modelle der jüngeren Vergangenheit (ab ca. 1970) analysiert.

Im Vordergrund stehen hierbei die Merkmale der systemergonomischen Aufgabenanalyse (Bubb 1993, Ruehmann 1993), also die Aufgabeninhalte Bedienung (simultan – sequentiell), Dimensionalität (Freiheitsgrade) und Führungsart (statisch – dynamisch), sowie die Aufgabenauslegung mit Aufgabenart (Folgeaufgabe – Kompensationsaufgabe) und Darstellungsart (aktiv – monitiv). Dabei müssen die den Bedienelementen zugehörigen Funktionen im Fahrzeug – also die Aufgabe selbst – und deren Eigenschaften selbstverständlich mit betrachtet werden.

Aufgrund der Auswahl der betrachteten Fahrzeuge lässt sich sowohl ein Überblick über die aktuelle Fahrzeuglandschaft gewinnen, als auch eine gewisse Einsicht in die historische Entwicklung. Der oft zitierte Funktionszuwachs (z.B. Gevert 2005) ist dabei nur ein Aspekt – auch die Bedienelemente für bestimmte Funktionen haben die unterschiedlichsten Ausprägungen durchlaufen. Der bereits erwähnte

Lichtschalter war früher beispielsweise häufig ein Zugschalter, zwischenzeitlich gab es Schiebeschalter und Kipphebel, heute haben die meisten Hersteller Drehschalter. Von denen sind einige herausziehbar und in dieser Dimension mit der Nebelbeleuchtung belegt, einige haben keine weitere Funktion, so dass die Nebelbeleuchtung eigene Bedienelemente besitzt (siehe auch Abbildung 1).

Obwohl die Bandbreite der analysierten Fahrzeuge der Forderung nach Repräsentativität nicht voll genügt, lassen sich aus den erfassten Bedienelementen auch statistisch interessante Informationen für weitere Merkmale ableiten. Zum Beispiel befinden sich alle Lichtschalter auf der linken Seite des Lenkrades, bei den meisten europäischen Fahrzeugen auf dem Armaturenbrett, bei den meisten japanischen Herstellern auf dem Blinkerlenkstockhebel. Hier wird beispielsweise genau zu untersuchen sein, ob man mit einem theoretisch entwickelten und eventuell abweichenden Bedienort den bisherigen Pfad verlassen sollte, oder ob die bestehende Gewohnheit – egal ob der gewohnte Bedienort zufällig entstanden ist oder begründet – hier mehr wiegt als theoretische Überlegungen. Andere Funktionen sind bei unterschiedlichen Herstellern scheinbar zufällig positioniert und ausgelegt, so dass hier kein übergreifender Gewöhnungseffekt angenommen werden kann.

Relativ populär ist die Mannigfaltigkeit unter den Herstellern bei der Bedienung von Bildschirmsystemen, die eine Vielzahl von Assistenz-, Unterhaltungs- und Informationsfunktionen in sich vereinen. Zunächst kann man danach unterscheiden, ob Bedienelement und Anzeige örtlich getrennt werden oder nicht. Im ersten Fall wird häufig ein so genanntes „Zentrales Bedienelement“ (ZBE) benutzt, im zweiten Fall gibt es meistens viele Softkeys oder einen Touchscreen. Ein ZBE bietet den Vorteil, dass Anzeige und Bedienelement unabhängig voneinander anthropometrisch sinnvoll platziert werden können. Bei der Auslegung des ZBE gibt es wiederum sehr unterschiedliche Ansätze: Reine Dreh-Drück-Steller, Dreh-Drück-Schiebe-Steller, Kombinationen mit unterschiedlichen Anzahlen von Hardkeys, etc.

Systematische Vervollständigung des Bedienelemente-Baukastens Damit aber für die Bildschirmbedienung im Speziellen und für jede beliebige Funktion im Allgemeinen das jeweils optimale Bedienelement benannt werden kann, muss man zunächst über einen vollständigen Lösungsraum, also einen Baukasten von Bedienelementen verfügen. Um eine komplette Basis aller denkbaren Bedienelemente zu erhalten, müssen die bei der Analyse gefundenen Lösungen mithilfe von theoretischen Methoden erweitert werden.

Dazu werden zunächst die systemergonomisch relevanten Merkmale der Bedienelemente festgestellt – aufbauend auf den bei der Analyse erfassten und ergänzt durch die Literatur (Bubb 1993, Ruehmann 1993, Salvendy 1997, DIN-EN 894-3) – sowie deren mögliche Ausprägungen bestimmt. Die willkürliche Verknüpfung aller Ausprägungen



Abbildung 1: Lichtschalter im BMW 5er von 1972, 1981, 1987, 1995 und 2003. Das Bedienprinzip wandelt sich mit der Zeit essentiell, der Bedienort dagegen kaum.



Tabelle 1: Systematische Variation von Freiheitsgraden. Weiße Felder befinden sich vornehmlich bei der Kombination von vielen Freiheitsgraden. Die meisten Kombinationen von 1-2 Freiheitsgraden gibt es bereits in irgendeiner Form von Bedienelement.

Bewegungsarten		keine Translation	translatorisch 1D			translatorisch 2D				translatorisch 3D		
			quasi-translatorisch	echt-translatorisch		quasi-translatorisch	gemischt		echt-translatorisch	quasi-translatorisch	echt-translatorisch	
			kippen	drücken	schieben	kippen 2D	kippen & drücken	kippen & schieben	schieben 2D	drücken & schieben	drücken & kippen 2D	drücken & schieben 2D
keine Rotation		n.a.	Kippschalter, Hebel, etc.	Druckschalter, Taster, etc.	Schiebeschalter, Schieberegler, ...	Kreuz-Wippe, Joystick, Blinker-Hebel, Ganghebel, Trackpoint		Luftausströmer Steller	Maus, Touchpad	Schieberegler mit Druck-Funktion, Schiebedachschalter	Joystick mit Taste, 5-Wege Navigator, Ganghebel (manuell VW)	Maus mit Taste
rotatorisch 1D	drehen	Drehknopf, Drehschalter, Knebeschalter, Shuttle-Dial, Clickwheel, ...		Dreh-Drück-Steller		Sidewinder-Joystick, Luftausströmer Steller Mini			Sitzverstellhalter (Schiebe-Dreh-Steller)		Sidewinder-Joystick mit Taste	Dreh-Drück-Schiebe-Steller, iDrive-Controller
	wälzen	Rändel, Walze, ...	Jog-Dial (4-Wege)	Rändel mit Drück-Funktion, Scrollrad, ...			Jog-Dial (5-Wege) drückbar					
rotatorisch 2D	wälzen 2D	Trackball		Trackball drückbar, Jog-Dial, ...								
	drehen & wälzen											
rotatorisch 3D	drehen & wälzen 2D											Spacemouse

gen brächte Millionen von Kombinationen, die gezielte Gegenüberstellung zweier Merkmale in einer Matrix aber zeigt meistens in einem überschaubaren Rahmen unbesetzte, „weiße“ Felder auf und damit bisher unerkannte Möglichkeiten.

Tabelle 1 zeigt beispielhaft die Variation der translatorischen Freiheitsgrade über den rotatorischen Freiheitsgraden. Man sieht eine Vielzahl weißer Felder, besonders bei den Kombinationen mit mehreren rotatorischen Freiheitsgraden.

Es ist nicht notwendigerweise sinnvoll, diese Felder zu besetzen, zumal sich nur wenige und sehr spezielle Funktionen finden werden, die eines hochdimensionalen Bedienelements bedürfen. Eine Ausnahme ist hier die Spacemouse, die tatsächlich alle Freiheitsgrade in sich vereint, und auch nur dadurch für ihre Aufgabe geeignet ist, nämlich die freie Bewegung im virtuellen dreidimensionalen Raum. Weitere variierte Merkmale sind beispielsweise Greifart, Kraftschluss oder rastende Schaltstellungen. Nach Ausführung aller systematischen Variationen kann ein Lösungsraum von knapp einhundert Bedienelementtypen aufgezogen werden, der die Basis des Baukastens bildet. Da zum Beispiel bei der Greifart auch die Ausprägungen „Berührung“ und „Annäherung“ berücksichtigt werden, sollte diese Basis zumindest mittelfristig relativ zukunftssicher sein. Erweiterbarkeit und Anpassung an zukünftige Technologieentwicklungen müssen aber natürlich vorgesehen werden.

## Gestaltung von Bedienelementen

Im Anschluss an die Bestimmung der Baukastenbasis werden die dort enthaltenen Bedienelemente mit weiteren ergonomischen Merkmalen versehen und die entsprechenden Ausprägungen bestimmt. So werden beispielsweise Mindestgrößen und optimale Stellkräfte bestimmt (Ruehmann 1993a, Salvendy 1997, DIN-EN 894-3), sowie Gestaltungsmerkmale (Bubb1993, Goetz2007) für die optimale ergonomische Auslegung des einzelnen Bedienelementtyps. Zusätzlich werden die Baukastenelemente auf ihre technologische Eignung und weitere Eigenschaften hin unter Berücksichtigung der speziellen Umstände eines Fahrer Arbeitsplatzes im Automobil untersucht.

## Analyse der Funktionen im Fahrzeug

Analog zu den Bedienelementen können auch die Funktionen (Aufgaben) sehr detailliert analysiert werden. Wie zuvor erwähnt werden bei der Betrachtung der realen Fahrzeuge bereits die Funktionen der Bedienelemente mit erfasst und mit ihren Merkmalen analysiert. Einige dieser Merkmale sind Eigenschaften der Funktion selbst, beispielsweise die Dimensionalität, die von der Dimensionalität des Bedienelements abweichen kann (aber nicht sollte). Andere Merkmale treten erst durch die Auslegung der Funktion und im Zusammenhang mit dem Bedienelement auf, zum Beispiel sequenzielle bzw. simultane Bedienbarkeit. Eine gewisse Trennung von Funktion und Bedienelement ist hier allerdings einzuhalten, damit später durch die Analyse der Eigenschaften aller Elemente beider Gruppen und durch die unvoreingenommene Betrachtung aller Kombinationen die optimale Paarung von Funktion und Bedienelement gefunden werden kann.

## Gruppierung von Funktionen

Was das Bedienelement im Kleinen ist, ist die Gruppierung und Anordnung der Funktionen im Cockpit im Großen. Auch hier stellt sich die Frage, ob es ein systemergonomisches Optimum gibt. Die Unterteilung der Fahrzeugfunktionen in primäre, sekundäre und tertiäre (Bubb 2003, Rassel 2004) liefert hier einen hilfreichen Ansatz. An den Bedienelementen der primären Funktionen (Lenkrad und Pedalerie) ist trotz verschiedener Ansätze kurz- bis mittelfristig keine Veränderung im Konzept zu erwarten, so dass man sich auf die sekundären und tertiären Aufgaben konzentrieren sollte. Es scheint offensichtlich, dass man die Bedienelemente der sekundären Aufgaben um das Lenkrad herum, also im direkten Sicht- und Greifraum des Fahrers, platziert, während tertiäre Elemente weiter abrücken können und idealerweise auch vom Beifahrer bedienbar sind.

Wie aber sollten sekundäre und tertiäre Funktionen innerhalb dieses Schemas angeordnet werden? Wenn man davon ausgeht, dass Menschen mit denselben Handlungserfahrungen (Autofahrer mit

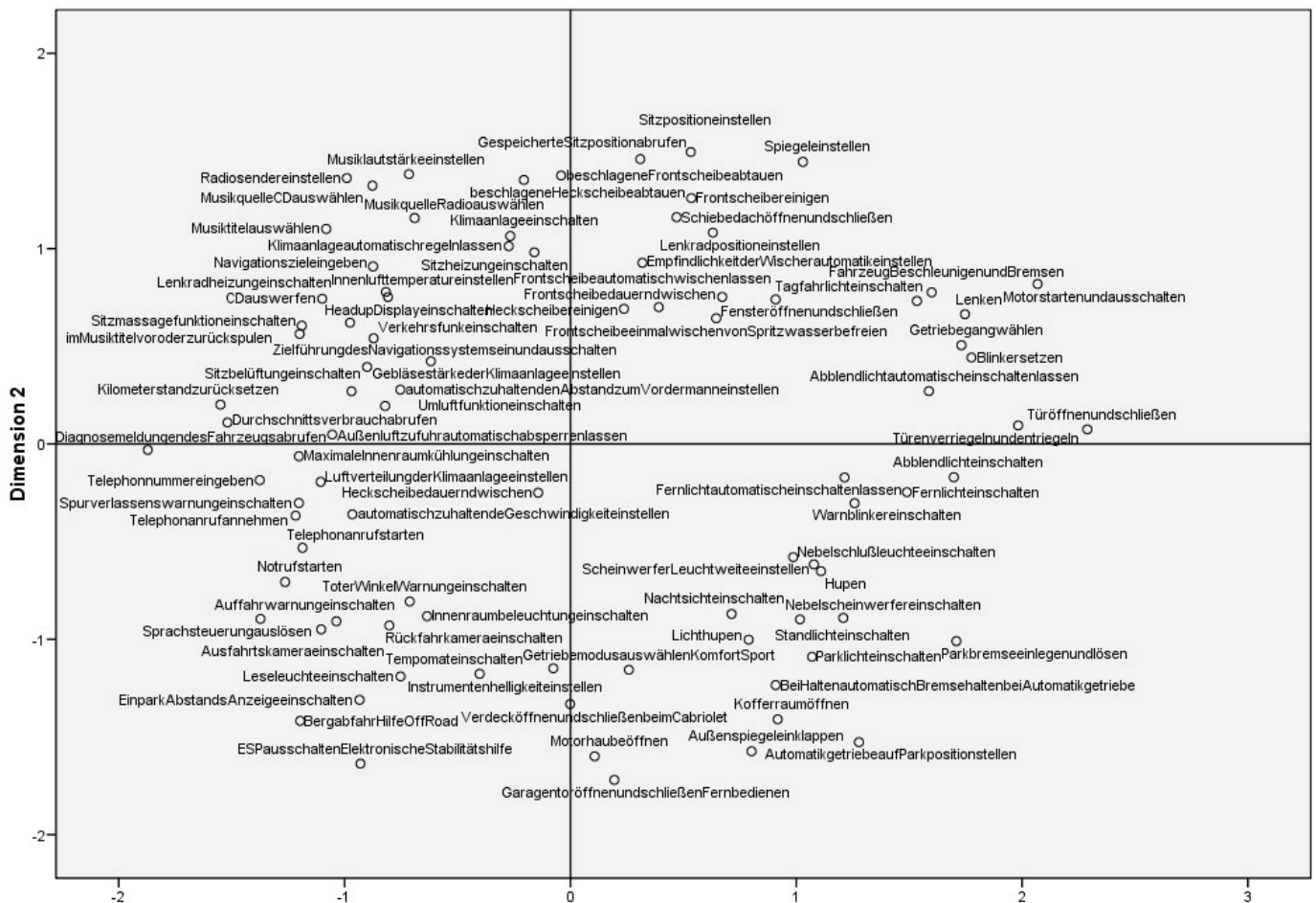


Abbildung 2: Kognitive Landkarte der Funktionen im Fahrzeug. Es zeigen sich bisher nur bereits bekannte Cluster, beispielsweise die Gruppierung der Radio- und CD-Funktionen.

dem Autofahren) eine ähnliche gedankliche Struktur im Bezug auf diese Handlungen haben (Kiss 2002, Deubzer 2002), dann ist anzunehmen, dass es auch hier eine optimale Gruppierung der Funktionen gibt. Offen ist, wie diese aussieht: Orientiert sie sich am Anwendungsfall (Parken, Stillstand, Nacht, etc.), am Funktionstyp (z.B. „Öffnen und Schließen“), am Funktionsziel (Sichtverbesserung, Komfort, Unterhaltung, etc.) oder sogar rein technisch am bedienten Objekt (Scheinwerferfunktionen, Scheibenfunktionen, Lüftungsfunktionen, Sitzfunktionen, etc.)?

Aufschluss hierüber soll die Methode der kognitiven Landkarte geben. Dabei wird die gedankliche Struktur von Versuchspersonen – je nach Variante durch Clusteranalysen oder Sortierexperimente etc. – abgefragt und mithilfe eines mathematischen Verfahrens (Nonmetrischen Multidimensionalen Skalierung) als zweidimensionales Diagramm, die so genannte „kognitive Landkarte“ dargestellt (Kiss 2002, Deubzer 2002). Abbildung 2 zeigt eine solche kognitive Landkarte, die im Rahmen der aktuellen Untersuchungen unter Verwendung der eindimensionalen Sortierung entstanden ist.

Die kognitiven Landkarten sind aber nur ein Ansatz, eine sinnvolle Gruppierung von Funktionen zu finden. Weiterer Erkenntnisgewinn wird von der Analyse der Bedienhäufigkeiten verschiedener Fahrzeugfunktionen erwartet. Auch eine systematische Bewertung und Priorisierung der Funktionen wird von Nutzen sein. Die Herausforderung, alle Funktionen im Fahrzeug auch sinnvoll bedienbar zu machen, bleibt auf jeden Fall spannend.

## Literatur

Bubb 2003

Bubb, Heiner: Fahrerassistenz primär ein Beitrag zum Komfort oder für die Sicherheit?; In: VDI-Bericht Nr. 1768 (2003), S. 25 - 44 .

Bubb 1993

Bubb, Heiner: Systemergonomische Gestaltung; In: Schmidtke, Heinz (Hrsg.): Ergonomie Carl Hanser Verlag München Wien (1993), S. 390 - 420.

Bullinger 1997

Bullinger, Hans-Jörg; Kern, Peter; Braun Martin: Controls; In: Salvendy, Gavriel (Hrsg.): Handbook of human factors and ergonomics John Wiley & Sons, Inc. (1997), S. 697ff.

Deubzer 2002

Deubzer, Elke Maria: Die Ordnung im Kopf – Begriffliche Wissensstrukturen zur Entwicklung benutzerorientierter Anordnungen von Funktionen im Raum; Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München (2002).

Gevert 2005

Gevert, Klaus Volker; Künzner, Hermann: Neue Entwicklungen zur Mensch-Maschine-Interaktion; In: Braess, Hans-Hermann (Hrsg.): Vieweg-Handbuch Kraftfahrzeugtechnik Vieweg, Wiesbaden (2005), S. 418 - 421.



Goetz 2007

Götz, Matthias: Die Gestaltung von Bedienelementen unter dem Aspekt ihrer kommunikativen Funktion; Lehrstuhl für Ergonomie, Technische Universität München, Januar (2007).

Kiss 2002

Kiss, M.; Wittmann, M.; Gugg P.; Neidhart M.; Pöppel E.; Deubzer E.; Hiroyuki. K.: Kognitive Landkarten des Automobilcockpits als grundlegendes Designtool; In: VDI Fortschritt-Berichte Reihe 22, Entwerfen und Gestalten, 5. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme, vom 8. bis 10. Oktober 2003, ZMMS Spektrum Band 18 (2002), S. 456 - 467.

Rassl 2004

Rassl, Robert: Ablenkungswirkung tertiärer Aufgaben im PKW, Systemergonomische Analyse und Prognose; Technische Universität München, Lehrstuhl für Ergonomie (2004).

Ruehmann 1993

Rühmann, Heinzpeter: Schnittstellen in Mensch-Maschine-Systemen; In: Schmidtke, Heinz (Hrsg.): Ergonomie Carl Hanser Verlag München Wien (1993), S. 420 - 445.

Ruehmann 1993a

Rühmann, Heinzpeter: Stellteilkgestaltung; In: Schmidtke, Heinz (Hrsg.): Ergonomie Carl Hanser Verlag München Wien (1993), S. 554 - 562.

DIN EN 894-3

Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen, Teil 3: Sicherheit von Maschinen; Ref. Nr. DIN EN 894-3: 2000-06, Normenausschuß Ergonomie (FNerg) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2000).

## Ergonomisch optimierte Klimasteuergeräte

Ulrich Bergmeier

### Einleitung und Zielsetzung

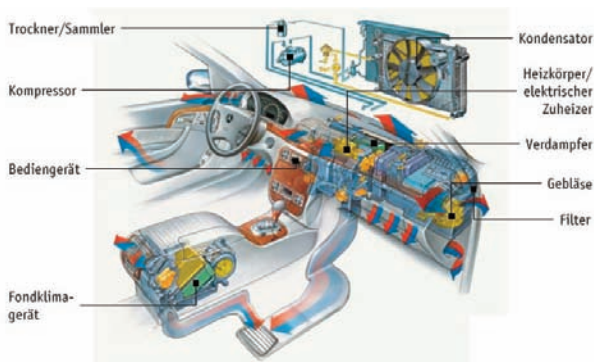


Abbildung 1: Konfiguration und Strömungswege einer modernen Klimaanlage

Die Regulierung eines angenehmen Fahrzeugklimas hat sowohl auf den Komfort als auch auf die Konzentrationsfähigkeit des Fahrers und der damit verbundenen Sicherheit einen großen Einfluss. Dennoch zeigen moderne Klimaanlage nicht selten erhebliche Mängel in der Bedienfreundlichkeit, da nur selten die systemergonomischen Gestaltungsmaximen berücksichtigt werden (Bubb, 1993; Schmidtke, 1993). Im Weiteren versuchen viele Hersteller dem wachsenden Komfortanspruch der Kunden mit neuen Funktionen und Individualisierungsmöglichkeiten gerecht zu werden (siehe Abbildung 1). Der daraus resultierende grundlegende Zielkonflikt bei der Entwicklung von Klimasteuergeräten zwischen der stetig steigenden Funktionsvielfalt und dem generellen Wunsch nach einer schnellen und intuitiven Bedienung darf nicht zu Lasten der Bedienfreundlichkeit ausgeglichen werden, da ansonsten stärkere Ablenkungen von der primären Fahraufgabe die Folge sind. Ferner ist davon auszugehen, dass für eine vermeintlich triviale Aufgabe – wie das Einstellen des gewünschten Klimas – selten eine Bedienungsanleitung zur Hand genommen wird. Deswegen muss es das Bestreben der Ergonomie sein, Steuergeräte intuitiv zu gestalten, dass jeder Kunde, auch ohne Vorkenntnisse bezüglich der Anlage, schnell und einfach das gewünschte Klima einstellen kann.

### Durchgeführte Versuchsreihen

Zur Analyse der Bedienfreundlichkeit beim Erstkontakt und der Ablenkungswirkung von Klimasteuergerätdienungen während der Fahrt wurden am Lehrstuhl für Ergonomie Realversuche (24 VPs) mit neun unterschiedlichen Fahrzeugen durchgeführt. Ergänzt werden diese Erkenntnisse durch einen vorangegangenen Symbolfragebogen (30 VPs), der zur Bewertung der Symbolintuitivität von Iso- und frei designten Symbolen diente, und eine Usability-Lab Studie (24 VPs), bei der sechs weitere Klimasteuergeräte einer äquivalenten Analyse und Bewertung auf der Grundlage ergonomischer Konstruktionsrichtlinien und experimenteller Untersuchungen mit Probanden unterzogen wurde. Im Weiteren wird auf einige Details des Realversuches eingegangen, da dieser die Hauptuntersuchung der systematischen Ist-Analyse darstellt. Die Vorgehensweise umfasste zunächst eine umfangreiche systemergonomische Analyse der zu untersuchenden Klimasteuergeräte. Ziel dieser Analyse ist es, sowohl Unterschiede zwischen den einzelnen Bediengeräten als auch erste Schwachstellen aufzudecken. Anhand der gewonnenen Erkenntnisse wurden anschließend Hypothesen zur Klimabedienung formuliert und daraus geeignete Versuchsaufgaben abgeleitet. In einem weiteren Schritt wurde ein adäquates Versuchsdesign entwickelt. Hierbei wird das

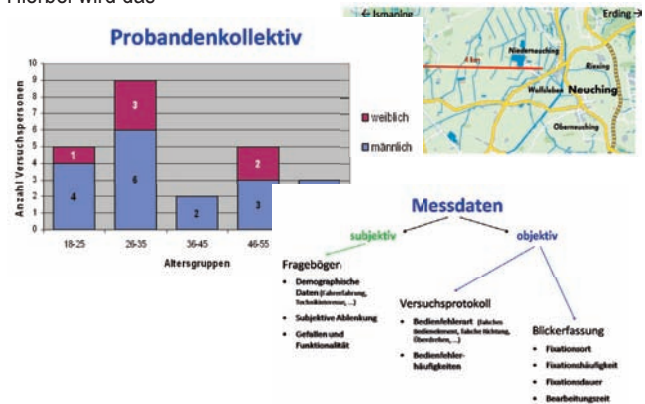


Abbildung 2: Versuchsdesign

## Bedienschritte zur Einstellung der Luftverteilung



Abbildung 3: Vergleich zweier KSG in Bezug auf die Einstellung der Luftverteilung

Probandenkollektiv spezifiziert, eine passende Versuchstrecke ausgewählt und der detaillierte Versuchsablauf festgelegt. Im Weiteren wurden die zu erhebenden subjektiven und objektiven Daten definiert (siehe Abbildung 2). Anschließend folgte die Versuchsdurchführung, Datenaufbereitung und -auswertung.

Einen kleinen Einblick in die Versuchsergebnisse soll die Gegenüberstellung der Luftverteilungsfunktion zweier untersuchter Klimasteuergeräte geben. Wie in Abbildung 3 schematisch dargestellt, erfolgt die Aktivierung der unterschiedlichen Luftverteilungsbereiche beim KSG 1 simultan über 3 Tasten. Im Gegensatz dazu müssen bei der Bedienung des KSG 2 die Bedienschritte mit Hilfe des Command-Drive sequentiell abgearbeitet werden. Hierbei muss zunächst der Command-Drive nach hinten gezogen werden, um ins Klimamenu zu gelangen. Daraufhin muss das Bedienelement gedreht, oder alternativ nach rechts gedrückt werden, bis das Symbol für die Luftverteilung hell markiert ist. Durch Drücken des Dreh-Drück-Schiebestellers wird nun das Luftverteilungsmenü geöffnet, in dem durch erneutes Drehen die gewünschte Einstellung vorgenommen und mit einem abschließenden Drücken aktiviert werden kann. Die erheblichen Ablenkungen, die eine so komplexe sequentielle Aufgabe mit sich bringt, sind anhand der objektiven Blickdaten deutlich zu beweisen. Die Auswertung aller Ergebnisse zeigt, dass durch schlechte Beschriftung, umständliche Bedienung und versteckte Funktionen teilweise erhebliche Ablenkungen von der eigentlichen Fahraufgabe auftreten. Maximale Blickabwendungsdauern von der Straße, die im Mittel weit oberhalb des empirischen Grenzwertes von 2,0 Sekunden liegen, beziehungsweise in Einzelfällen sogar bis zu 12,6 Sekunden andauern, sind dabei keine Seltenheit. Als eines der Hauptprobleme bei der Bedienung der Klimasteuergeräte stellt sich heraus, dass bei der Auslegung der Bedienelemente und Anzeigen teilweise grundlegende systemergonomische Gestaltungsregeln missachtet werden. So erfüllen zwar die meisten Geräte die Anforderungen der sekundären Kompatibilität, jedoch werden die Aspekte der Codierung und Gruppierung teilweise nur unzureichend berücksichtigt.

Dabei gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher Möglichkeiten dem Benutzer die Funktion und Bedienbarkeit eines Stellteils zu verdeutlichen. Als besonders hilfreich haben sich bei der Klimabedienung vor allem die Codierung durch Farben, Symbole, Formgebung sowie räumliche Codierung der Stellteile herausgestellt. Wichtig ist dabei, dass die gewählten Beschriftungen und Symbole ausreichend groß dargestellt sind, da gerade ältere Personen – die bereits eine Lesebrille benutzen, diese jedoch nicht beim Autofahren tragen – teils große Probleme mit der Identifizierung der Zeichen haben. Bei der

Gruppierung ist darauf zu achten, dass funktionell zusammengehörige Funktionen auch räumlich gruppiert werden. Außerdem sollten die Bedienelemente prinzipiell in der Nähe der zugehörigen Funktionsanzeige positioniert werden, um die Intuitivität der Rückmeldung zu verbessern. Wie sich bei dieser Studie herausstellt, erschwert die Trennung von Stellteil und Anzeige den Erstkontakt erheblich und führt generell zu langen Bedienzeiten und erhöhten Blickwechseln. Im Weiteren zeigt sich, dass die Teilnehmer durch eine frontscheibennahe Anordnung des Displays dazu verleitet werden, weniger oft aber dafür länger auf die Anzeigen zu blicken, was generell auch gegen eine Bedienung tertiärer Aufgaben im Head-Up Display spricht. Im Gegensatz dazu ist das Blickverhalten bei sehr tief angeordneten Klimasteuergeräten durch eine sehr hohe Blickhäufigkeit und sehr kurzen Blickdauern charakterisiert. In Extremfällen reichen diese minimalen Blickdauern nicht aus, um die Aufgabe zuverlässig zu erfüllen. Als weitere Schwierigkeit stellt sich heraus, dass die Benutzer die Wirkweisen der angebotenen Funktionen teilweise gar nicht verstehen. Besonders deutlich wird das bei der Bedienung der AUTO-Funktion, die im Rahmen dieser Versuchsreihen von den Probanden in allen nur erdenklichen Situationen als quasi „Allhilfstaste“ betätigt wird. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass alle Studien das zum Teil enorme Optimierungspotenzial aktueller Klimasteuergeräte veranschaulichen, das sich in einer schlechten intuitiven Bedienbarkeit und der daraus resultierenden starken subjektiven und objektiven Ablenkung von der primären Fahraufgabe begründet.

### Optimierungsvorschlag

Basierend auf den empirisch ermittelten Erkenntnissen wurden sowohl für Standardklimasteuergeräte als auch für High-End Klimasteuergeräte ergonomisch optimierte Human Machine Interfaces (HMI) entwickelt, die durch ihre verbesserte intuitive Bedienbarkeit schnellere und ablenkungsminimierte Interaktionen ermöglichen. Im Weiteren wurde die Verständnisbarriere der Arbeitsweise des Klimakompressors und der automatischen Klimaregelung beseitigt und über dies hinaus zusätzliche Features, wie z.B. eine optionale Klimastilwahl, benutzerfreundlich in das Gesamtkonzept integriert.

Zunächst wurde hierfür der Funktionsumfang des zu entwickelnden Klimasteuergerätes festgelegt. Dieser definiert sich aus den vom Gesetzgeber vorgeschriebenen, den technisch realisierbaren und natürlich vom Benutzer gewünschten Funktionen, die es in einem intuitiven HMI zu vereinen gilt. Als Nächstes wird jede Einzelfunktion des ermittelten Funktionsumfangs einer ergonomischen Aufgabeninhaltsanalyse unterzogen und im Weiteren die Funktionszusammenhänge geklärt. Unter Berücksichtigung des Benutzerverständnisses werden mehrere Anzeige-/ Bedienkonzepte auf der Grundlage ergonomischer Konstruktionsrichtlinien für Standardklimasteuergeräte und High-End Klimasteuergeräte entwickelt.

Im Folgenden wird am trivialen Beispiel einer Einzonen-Klimaanlage ein Konzeptentwurf erläutert, der konsequent auf den – im deut-

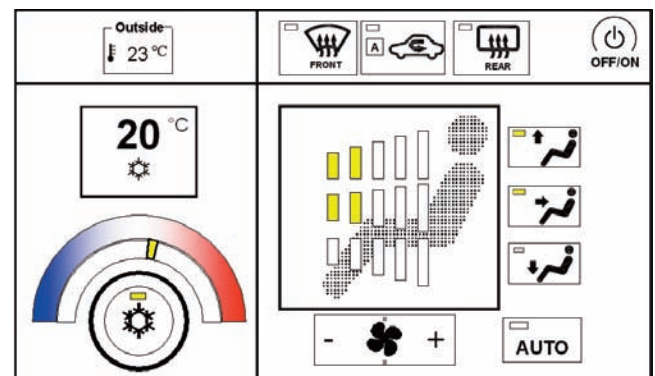


Abbildung 4: Bedienkonzept einer Einzonen-Klimaanlage



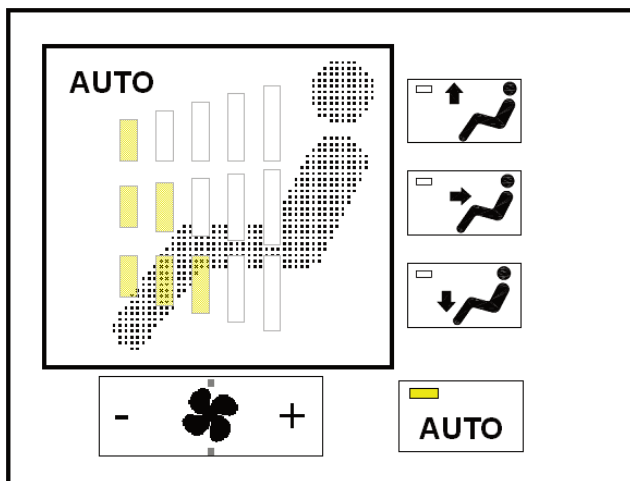


Abbildung 5: Systemzustand bei automatischer Klimaregelung

schen Straßenverkehr links sitzenden – Fahrer ausgelegt ist (Abbildung 4). Dieser sieht das Fahrzeug i.d.R. von der linken Seite, worin sich u.a. die Orientierung der Symbole begründet. Sämtliche Funktionstasten sind mit LEDs versehen, die den jeweils aktiven Zustand der Funktionen rückmelden. Gemäß der systemergonomischen Analyse des Gesamtsystems gliedert sich das Bediengerät in vier Bereiche:

- Links oben: Rein informativ; Anzeige der Außentemperatur als Referenzwert.
- Rechts oben: Sonderfunktionen; ständiger manueller Zugriff.
- Links unten: Aufbereitung der Luft durch Einstellung der Soll-Temperatur (und Regulierung der Luftfeuchtigkeit).
- Rechts unten: manuelles Einstellen bzw. automatische Regelung des Strömungsprofils.

Die beiden linken Bereiche bilden zusammen eine Funktionseinheit. Mit der gemessenen Außentemperatur als Referenzwert stellt der Nutzer die von ihm gewünschte Innenraumtemperatur ein. Beide Werte werden zur einfacheren Vergleichbarkeit vertikal übereinander in ganzen Grad Celsius digital auf separaten Displays angezeigt, die für den Nutzer wichtigere Soll-Temperatur jedoch größer. Ist letztere geringer als die Außentemperatur, erhält der Nutzer im Display vertikal darunter eine Rückmeldung in Form einer Schneeflocke, dass für deren Realisierung die Aktivität des Klimakompressors notwendig ist. Als Bedienelement wird dieser dominanten Funktion, die ausschließlich manuell bedient wird, ein großer Drehregler zugeordnet, auf dem eine Funktionstaste zur manuellen De-/Aktivierung des Klimakompressors integriert ist. Bei aktiviertem Klimakompressor steht dem Nutzer das gesamte Temperaturspektrum zur Verfügung. Es wird als

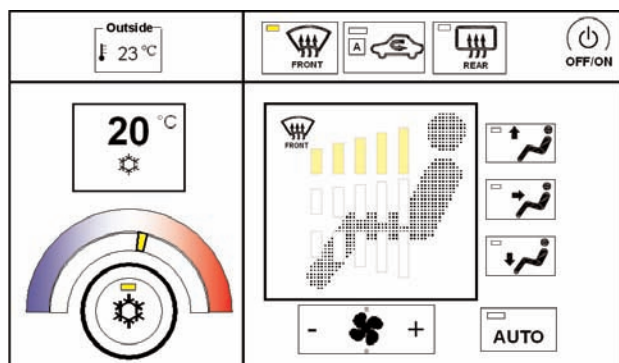


Abbildung 6: Systemzustand bei Frontscheibendefroster

Farbverlauf von blau nach rot in Form eines Bogens angezeigt. Um ein Gefühl für die Grenzen des Einstellbereiches zu vermitteln und als zusätzliche qualitative Rückmeldung, zeigt eine gelbe LED die momentan eingestellte Soll-Temperatur in analoger Form an. Die Funktionsgruppe im rechten unteren Bereich dient der Vorgabe des Strömungsprofils in der Fahrgastzelle. Ein großes, quadratisches Display gibt die eingestellte Gebläsestärke als Segmente in jeder der drei Luftverteilungsschichten wieder. Anhand dieser kombinierten Anzeige, erfasst der Nutzer auf einen Blick, wo wie viel Luft in den Innenraum strömt. Die Gebläsestärke wird anhand einer horizontal unter dem Display angebrachten Wipptaste in fünf Stufen eingestellt. Dabei entspricht das Minimum der ersten Gebläsestufe. Ein- und Ausschalten aller Gebläse ist somit auf diesem Wege ausgeschlossen. Die Gebläsestärke gilt stets für alle aktiven Bereiche der Luftverteilung. Als Bedienelemente für die Luftverteilung werden drei Funktionstasten verwendet, die mit der nach ISO-2575 genormten Symbolik gekennzeichnet sind. Sie befinden sich rechts neben dem Display, sodass – wie auch bei der Gebläsestärke – eine Verdeckung während des Bedienvorganges durch die Hand des Nutzers ausgeschlossen ist. Die einzelnen Zonen können frei kombiniert werden. Die automatische Klimaregelung befreit den Anwender von der manuellen Bedienung der Gebläsestärke und Luftverteilung. Durch die Position der zugeordneten Funktionstaste (AUTO) im Schnittpunkt der horizontalen Achse der Wipptaste für die Gebläsestärke und der vertikalen Achse der Luftverteilungs-Funktionstasten soll die

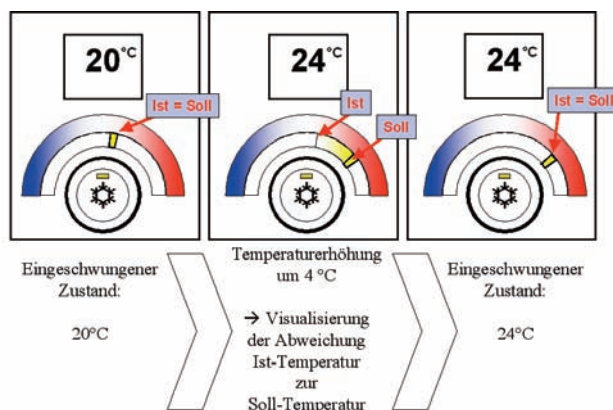


Abbildung 7: Rückmeldung der Systemträgheit

ser Sachverhalt verdeutlicht und das Systemverständnis der Nutzer gefördert werden. Wird die automatische Klimaregelung aktiviert, löschen sämtliche LEDs auf den Funktionstasten für die manuelle Einstellung der Luftverteilung, um zu verdeutlichen, dass diese nun keine Gültigkeit mehr haben. Zusätzlich erscheint ein AUTO-Schriftzug in der oberen linken Ecke des Displays. Das nun automatisch eingestellte Strömungsprofil wird farblich etwas blasser angezeigt (Abbildung 5). Wird nun in diesem Funktionsbereich in irgendeiner Form manuell eingegriffen, deaktiviert sich die automatische Klimaregelung und die Anlage stellt das letzte manuelle Strömungsprofil wieder her.

Als letzte Funktionsgruppe werden Sonderfunktionen zusammengefasst, auf die aus Sicherheitsgründen permanent zugegriffen werden können muss. Dies sind – räumlich entsprechend der primären äußeren Kompatibilität angeordnet – von links nach rechts der Frontscheibendefroster, die (automatische) Umluft und der Heckscheibendefroster. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, die gesamte Anlage durch Betätigung der OFF/ON-Taste zu de-/aktivieren. Der Frontscheibendefroster als sicherheitsrelevante Funktion dominiert im aktiven Zustand sämtliche ihm untergeordneten Funktionen. Dies wird dem Nutzer durch eine Rückmeldung im Display – ähnlich der AUTO-Funktion – sofort verdeutlicht (Abbildung 6).

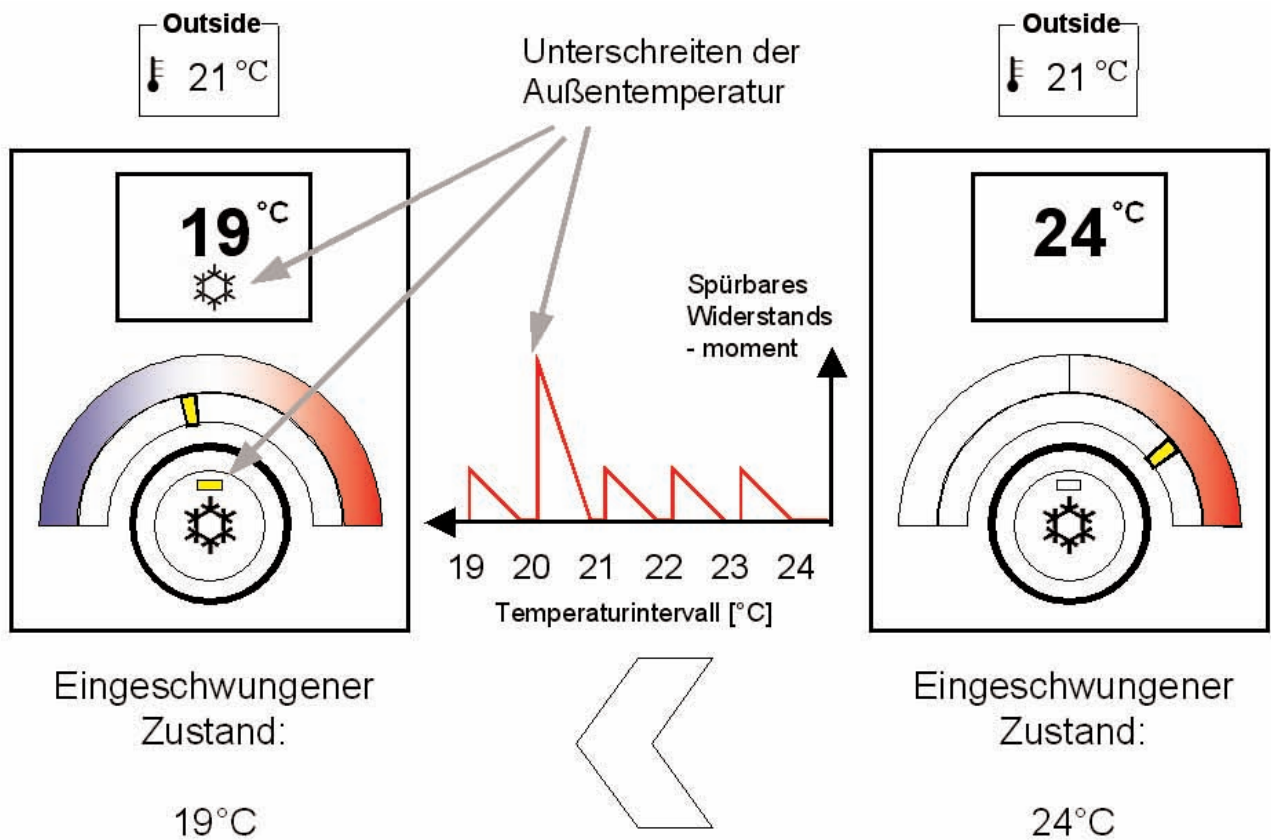


Abbildung 8: Rückmeldung der Klimakompressoraktivität

In der linken oberen Ecke erscheint das Frontscheibendefroster-Symbol. Das dargestellte Strömungsprofil veranschaulicht, dass nun die maximale Luftmenge ausschließlich im obersten Bereich der Luftverteilung ausströmt. Falls der Frontscheibendefroster inaktiv ist, aktiviert sich der Klimakompressor. Die Umluft-Funktion stellt ihre Tätigkeit ein, damit Feuchtigkeit zügig aus der Fahrgastzelle befördert wird. Zusätzlich erlöschen die LEDs der Luftverteilungsfunktionstasten. Der Frontscheibendefroster dominiert auch die AUTO-Funktion. Werden wiederum manuelle Änderungen an einer der beeinflussten Größen vorgenommen bzw. die Frontscheibendefroster-taste erneut betätigt, stellt sich der vorherige Zustand wieder her. Die Umluft-Funktion regelt ihre Aktivität im Hintergrund eigenständig, kann jedoch auch manuell bedient werden. Aktiviert sie sich automatisch, leuchtet zusätzlich das mit einem „A“ gekennzeichnete Feld auf der Funktionstaste auf. Wird die gesamte Anlage mit der OFF/ON-Taste ausgeschaltet, erlöschen alle Displays und LEDs. Das Einschalten ist dann mit jedem Bedienelement möglich, um einen unnötigen sequentiellen Bedienschritt einzusparen. Die Funktionsbereiche sind somit entsprechend ihrer Bedeutung auf dem Klimabediengerät angeordnet und spiegeln in Analogie zur Arbeitsweise der Klimaanlage den vorherrschenden Stofffluss wider. Besonders unerfreulich ist in den Augen der befragten Personen die Tatsache, dass nicht zu erkennen ist, wann die eingestellte Temperatur erreicht ist. Der Faktor Zeit spielt dabei eine eher untergeordnete Rolle, vielmehr sind unnötige Bedienaktivitäten eine vermeidbare Folge. Um zügig einen dauerhaft angenehmen Zustand in der Fahrgastzelle herzustellen, neigen viele Nutzer dazu, extreme Einstellungen an der Klimaanlage vorzunehmen, die den Vorgang effektiv jedoch nicht beschleunigen. So wird z.B. zur Beseitigung eines Hitze-staus im Innenraum die Temperatur minimiert und die Gebläsestärke maximiert. Die in Abbildung 7 dargestellte, zusätzliche Rückmeldung der Aktivität der Klimaanlage bei Änderungen der Soll-Temperatur mindert diese Defizite.

Im eingeschwungenen Zustand (die Ist-Temperatur entspricht der Soll-Temperatur) zeigt das Klimabediengerät – wie bereits beschrieben – die eingestellte Temperatur zum einen quantitativ als digitalen Zahlenwert in ganzen Grad Celsius Stufen an und zum anderen qualitativ in Form einer gelben LED. Erhöht der Nutzer beispielsweise die vorherrschende Temperatur von 20 °C um vier Grad auf 24 °C, so zeigt ihm ein gelber Schweif diese Abweichung an (siehe Abbildung 7 mitte). Entsprechend ihrer Leistungsfähigkeit kompensiert die Klimaanlage diese Differenz, wodurch sich der Ist-Wert dem Soll-Wert kontinuierlich annähert. Bei Erreichen der neuen Soll-Temperatur, ist auch der Schweif abgebaut. Durch diese zusätzliche Rückmeldung kann der Nutzer auf der einen Seite erkennen, wann die gewünschte Temperatur erreicht ist, und auf der anderen Seite wird ihm ein Gespür dafür vermittelt, wie schnell Temperaturdifferenzen überbrückt werden können. Somit wird veranschaulicht, dass extreme Einstellungen den Vorgang nicht beschleunigen. Wird die gewohnte Strategie dennoch angewandt, erleichtert die Rückmeldung des Ist-Wertes das Identifizieren der bevorzugten Wohlfühltemperatur. Sobald der Nutzer den Innenraum als angenehm temperiert empfindet, gleicht er manuell den Soll-Wert dem momentanen Ist-Wert an. Der Nutzer kann folglich an seinen über die Jahre gewachsenen Bedienstrategien festhalten, ihm wird jedoch ein Gespür dafür vermittelt, durch welche Maßnahmen ein tatsächlicher Mehrwert erzielt wird bzw. welche Bedientätigkeiten er einsparen kann. Als weitere Maßnahme, um das Systemverständnis der Nutzer zu erhöhen, soll das Zusammenspiel von Temperatur und Aktivität des Klimakompressors veranschaulicht werden. Wie in Abbildung 8 (rechts) dargestellt, steht bei inaktivem Klimakompressor nur das Temperaturspektrum oberhalb der Außentemperatur (hier 21 °C) zur Verfügung. Reduziert der Nutzer die Temperatur, erhält er am Drehregler für jedes Grad eine haptische Rückmeldung in Form eines Widerstandsmomentes. Unterschreitet er die Außentemperatur, wird der Klimakompressor automatisch zugeschaltet. Als optische Rückmeldung



erscheint in diesem Moment unterhalb der Soll-Temperatur ein Schneeflocken-Symbol. Außerdem erweitert sich das einstellbare Temperaturspektrum auf den vollen Umfang (siehe Abbildung 8 links). Eine zusätzliche haptische Rückmeldung in Form eines überhöhten Widerstandmomentes am Drehregler verdeutlicht diesen Schalterpunkt (siehe Abbildung 8 mitte). Wird der Klimakompressor manuell deaktiviert, reduziert sich das einstellbare Spektrum wieder und die eingestellte Soll-Temperatur erhöht sich auf die Außentemperatur, den in diesem Zustand geringsten möglichen Wert. Bei steigenden Außentemperaturen, muss die Soll-Temperatur hier mitgeführt werden. Alternativ ist eine zusätzliche Sonderfunktion denkbar, die bei inaktivem Kompressor stets maximale Kühlung gewährleistet. Generell darf jedoch die vom Nutzer eingestellte Temperatur ohne dessen Zustimmung von der Anlage nicht geändert werden, da sie für ihn eine wichtige Bezugsgröße zur Definition des Innenraumklimas ist.

## Zusammenfassung und Ausblick

Generell kann festgehalten werden, dass klare Strukturen in Form von hierarchisch und logisch angeordneten Funktionsbereichen dem Nutzer das Auffinden der benötigten Funktionalitäten erleichtert. Die Wahl eindeutig zu bedienender, funktionsspezifischer Stellteile minimiert die Bedienzeiten und beugt Bedienfehlern vor. Nach Sprache und Formatierung einheitliche Beschriftungen reduzieren den mentalen Decodieraufwand und stellen u.a. Funktionstasten auch förmlich als gleichwertige Auswahlalternativen dar. Die Einteilung der Funktionstasten für die ständig verfügbaren Sonderfunktionen und die Luftverteilungsbereiche in Dreiergruppen ermöglicht eine sichere Bedienung auch ohne Blickabwendung. Die stetig wachsende Funktionsvielfalt im Bereich der tertiären Aufgaben ist auf jeden Fall kritisch zu hinterfragen. Zwar haben diese Funktionen einen teilweise hohen Einfluss auf das Prestige des Gesamtfahrzeugs, jedoch ist eine intuitive und schnelle Bedienung in manchen Fällen stark erschwert. Au-

ßerdem zeigt sich, dass sich viele technisch weniger bewanderte Benutzer durch die Fülle an Funktionen und Einstellmöglichkeiten überfordert fühlen und diesen spürbaren Diskomfort durchaus auch auf den Gesamteindruck des Fahrzeugs übertragen. Ziel einer ergonomisch idealen Bedienoberfläche muss es sein, alle wichtigen Informationen klar erkennbar und schnell erreichbar darzustellen. Der Benutzer muss in der Lage sein, die Stellteile und hinterlegten Funktionen intuitiv erkennen, bedienen und den Erfolg seines Handelns durch eine verständliche Rückmeldung überprüfen zu können. Zur Auslegung solcher Benutzeroberflächen sind die systemergonomischen Gestaltungsmaximen hervorragend geeignet.

## Literatur

- Bubb, Heiner  
„Systemergonomische Gestaltung“ In: H. (Hrsg.): Lehrbuch der Ergonomie (Kapitel 5.3), S. 390. Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1993
- Götz, Matthias  
„Die Gestaltung von Bedienelementen unter dem Aspekt ihrer kommunikativen Funktion“, Dissertation, Lehrstuhl für Ergonomie an der Technischen Universität München, 2007
- Rassl, Robert  
„Ablenkungswirkung tertiärer Aufgaben im Pkw; Systemergonomische Analyse und Prognose“, Dissertation, Lehrstuhl für Ergonomie an der Technischen Universität München, 2004
- Schmidtke, Heinz; Rühmann, Heinz-Peter  
„Betriebsmittelgestaltung“ In: Schmidtke, H. (Hrsg.): Lehrbuch der Ergonomie (Kapitel 6.6), S.521. Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1993

# Problematik der Fahrerassistenzsysteme und Rolle der Fahrermodellierung

Marina Plavsić

## 1 Einleitung

Um die Akzeptanz des Fahrers zu erhalten, sollen Fahrerassistenzsysteme an ihn und die Fahrsituation angepasst und im Speziellen auf die unterschätzte Gefahr ausgerichtet sein, dabei aber keine besonderen Ansprüche an den Fahrer stellen und seine Grenzen berücksichtigen. Fahrerassistenzsysteme, welche den momentanen Bedürfnissen des Fahrers und der Fahrsituation angepasst sind, sind das Ziel adaptiver Technologien. In der letzten Zeit wurden immer mehr verschiedene Fahrermodelle für die Evaluierung und Entwicklung der Assistenzsysteme eingesetzt. Die kognitiven Fähigkeiten dieser Systeme sind aber noch immer auf elementarer Ebene.

## 2 Klassifikation von und Probleme mit Fahrerassistenzsystemen

Eine anerkannte und weit verbreitete Definition für Fahrerassistenzsysteme (FAS) existiert nicht. Allgemein können FAS als Systeme definiert werden, welche den Fahrer bei der Durchführung der Fahraufgabe unterstützen. Dabei sollen sie die Sicherheit erhöhen und

Komfort bieten (Bubb 2005 a). Sehr viele solcher Assistenzsysteme befinden sich schon auf dem Markt und noch mehr wurden intensiv entwickelt und erforscht.

Bis heute sind keine Standards für FAS entwickelt worden. Das hat zur Folge, dass gleiche FAS mit unterschiedlichen Namen auf dem Markt erscheinen können oder den gleichen Namen tragen, aber verschiedene Funktionen haben.

Da es keine allgemein anerkannte Definition und keine Standards für FAS gibt, existiert auch keine allgemein gültige Klassifikation dieser Systeme. Generell kann Fahren in drei hierarchisch angeordnete Aufgabebereiche unterteilt werden: primäre Aufgaben (das Halten des Fahrzeugs auf dem Kurs), sekundäre Aufgaben (reaktiv bedingte

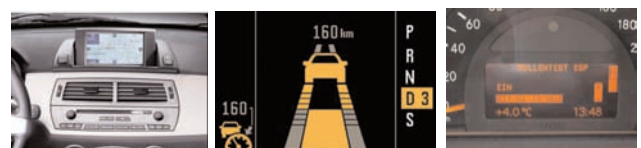


Abbildung 1: Beispiele für Fahrerassistenzsysteme auf (a) Navigations-, (b) Führungs- und (c) Stabilisierungsebene

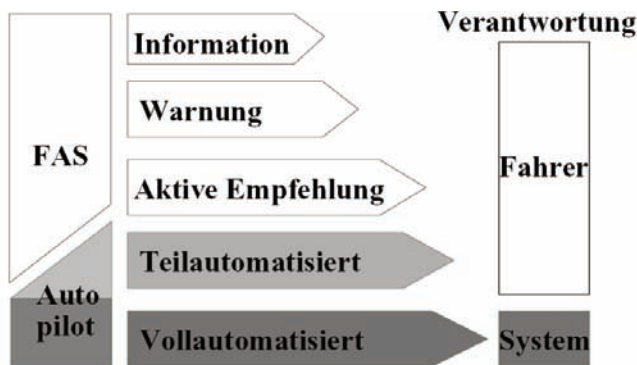


Abbildung 2: FAS-Klassifikation nach (Donges 99)

und aktive Aufgaben die nicht direkt der Fahrzeugführung dienen) und tertiäre Aufgaben (Aufgaben die nichts mit Fahren zu tun haben z.B. Bedienung von Klimaanlage/Radio) (Bubb 2005b). Die meisten FAS unterstützen bei der primären Fahraufgabe, es gibt jedoch auch einige, die bei den sekundären Aufgaben helfen, z.B. adaptive Lichtassistent und adaptiver Scheibenwischer.

#### Klassifikation der FAS nach der Fahrebene

Die primäre Aufgabe wird auf drei Ebenen durchgeführt (Bernotat 70): Navigation, Führung und Stabilisierung. Auf der *Navigationsebene* wird die Fahrtroute festgelegt, auf der *Führungsebene* werden Sollgeschwindigkeit und Sollspur abgeleitet und auf der *Stabilisierungsebene* werden diese Werte umgesetzt. Das ermöglicht eine Klassifikation der Systeme gemäß dieser Ebenen: Navigationssysteme (Navigationssystem), Führungssysteme (ACC-Active Cruise Control, LDW-Lane Departure Warning...) und Stabilisierungssysteme (ABS-Anti-lock Braking System, ESP-Electronic Stability Program...) (siehe Abb.1).

#### Klassifikation der FAS nach Eingriffsart

FAS können nach der Art und Weise, in der sie in den Prozess eingreifen, in fünf Kategorien unterteilt werden (Donges99), (siehe

Abb.2): Systeme, die zusätzliche Informationen geben (Nachtsicht, Parkassistent), warnen (Spurhalt- und Führungssassistent, Kurvenwarnung), Systeme, die Handlungsempfehlungen geben (Aktives Gaspedal, Aktives Lenkrad) sowie teilautomatisierte (Abstandsregelpomat) oder vollautomatisierte (Notbremse).

#### Klassifikation der FAS nach Eingriffszeiten

Einige dieser Systeme bieten Hilfe während der normalen Fahrt, andere in der sogenannten Pre-Crash Phase. In der Crash Phase werden Systeme für passive Sicherheit aktiviert. Gerade in kritischen Momenten ist es sehr wichtig, dass die FAS eine geeignete Unterstützung bieten. Im Rahmen des Projektes AUTOSAFE wurden eine zeitliche Abfolge der Aktivitäten bestimmter Systeme vorgeschlagen (siehe Abb.2).

#### Probleme aktueller FAS

Es wurden unvollständige Fahrerassistenzsysteme auf den Markt gebracht, welche den Fahrer im Entwicklungsprozess nicht berücksichtigt haben. Die Transparenz der Systeme und damit das Verständnis des Fahrers für die Funktion derselben fehlen oft. Für den Fahrer ist es nicht nachvollziehbar, warum ein System reagiert oder nicht. Warnsysteme, welche nicht an den Benutzer angepasst sind, können dazu führen, dass sie in der gleichen Situation einmal als hilfreich und einmal als störend empfunden werden. Dies führte zu einer niedrigen Akzeptanz dieser Systeme. (Kassner 2006). Ein weiteres Problem ist, dass momentane FAS als 'Inselssysteme' entwickelt wurden. Jedes System hat seinen eigenen Sensor, welcher nur einen Teil der Realität erfasst. Heutzutage sind diese Sensoren noch nicht verbunden, was zur Folge hat, dass die FAS komplett unabhängig voneinander agieren. Dies kann zu gleichzeitiger Rückmeldung und konkurrierenden Informationen führen und damit zur Entmutigung und Verunsicherung des Fahrers, was besonders in kritischen Situationen gefährlich ist. Erst in letzter Zeit gibt es Bestrebungen, diese Systeme zu vernetzen.

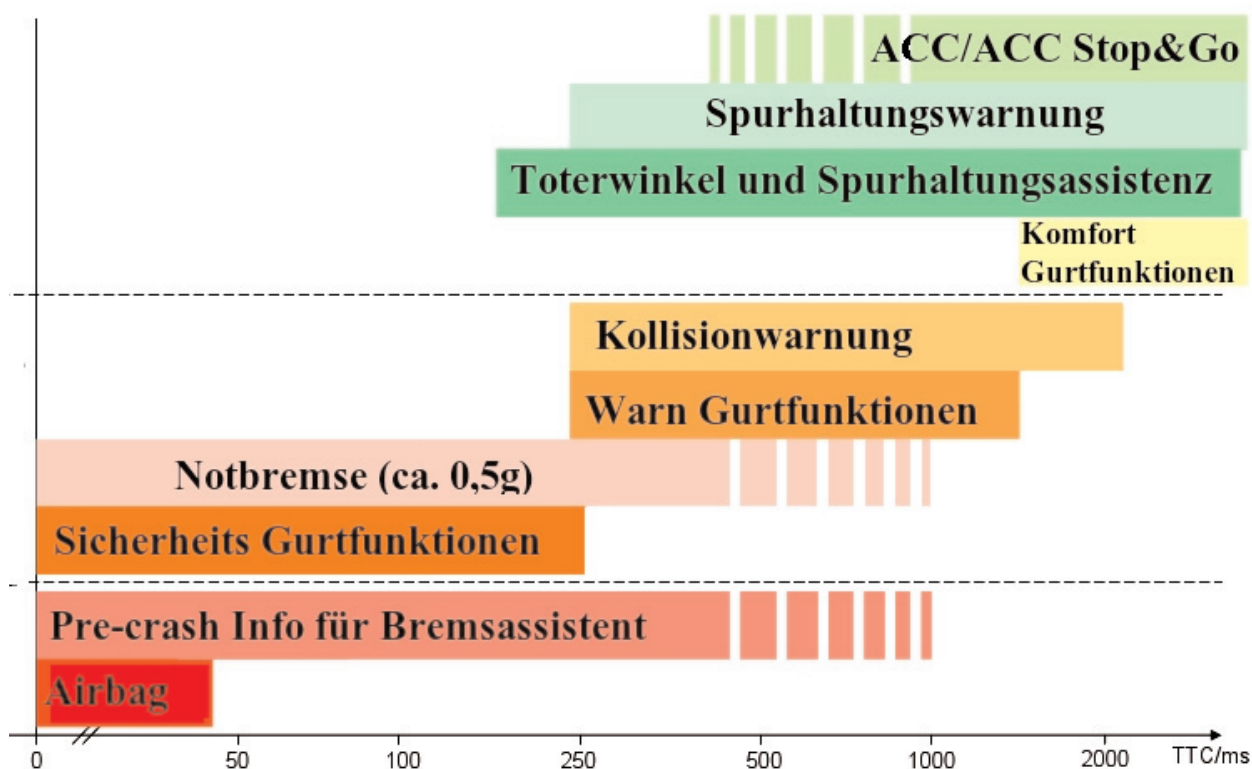
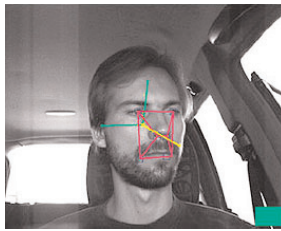


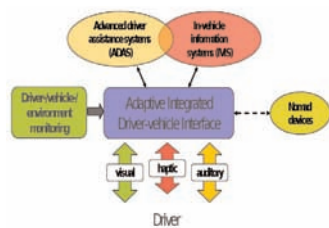
Abbildung 3: Mögliche Eingriffszeiten verschiedener FAS, die Zeit ist durch Time-To-Collision bestimmt. (Beispiel von (Rösl 06))



Durch die Teilautomatisierung einiger FAS hat sich auch die Rolle des Menschen teilweise von einer aktiven zu einer überwachenden gewandelt. Der Verlust von Fähigkeiten und mangelndes Situationsbewusstsein sind die Folge. Die Fähigkeit des Menschen zu Überwachungsaktivitäten ist zumindest kritisch zu betrachten.



(a) Screenshot von AWAKE-Software für Blickrichtungsanalyse (AWAKE)  
(b) Die Vision des AIDE Projekts: The Adaptive Integrated Driver-vehicle Interface



Die Auswirkung dessen ist, dass obwohl die Fahrerassistenzsysteme eine Verminderung oder Kompensation menschlicher Fehler zum Ziel haben, sie zu neuen Fehlern führen können. Ob die Bilanz positiv wird, bleibt von System zu System zu untersuchen.

### 3 Situations- und Fahrerangepasste Fahrerassistenzsysteme als Lösungsansatz

Je mehr Systeme es im Fahrzeug gibt und je komplexer sie werden, desto wichtiger ist eine ergonomische Gestaltung, welche den Menschen in den Mittelpunkt stellt. Hierbei ist eine Berücksichtigung der technischen Zuverlässigkeit genauso wichtig wie die Akzeptanz des Benutzers. Die Fahrer dürfen durch ausbleibende Fehlermeldungen das Vertrauen in die Technik nicht verlieren, aber auch nicht von zu vielen Fehlermeldungen irritiert werden. Insbesondere gilt das, wenn der Fahrer selbst die Gefahr schon erkannt hat.

Die Bestrebungen und Zielvorstellung heutiger Forschung sind, kognitive Assistenzsysteme zu entwickeln, welche an Fahrer und Situation angepasst sind.

### Situationsanpassung

An die Situation angepasst sein, bedeutet die Verkehrssituation zu erkennen und klassifizieren zu können und entsprechend zu agieren. Vollrath hat 2007 am Beispiel der Autobahnauffahrt gezeigt, dass es möglich ist, die Verkehrsdichte in Echtzeit zu messen und darauf basierend FAS anzupassen. Andere Autoren versuchen mittels verschiedener Algorithmen die Verkehrssituation zu erkennen und zu klassifizieren. Dapzoll hat 2005 z.B. ein Semi-Hidden-Markov-Modell entwickelt, welches mit einer 85%-igen Erfolgsrate die Situationserkennung anhand von Fahrzeugdaten ermöglicht.

Aus ergonomischer Sicht ist die Frage: "Wie kann ein FAS an den Fahrer angepasst werden?", viel spannender.

### Fahreranpassung

An den Fahrer angepasst sein, bedeutet, die Fähigkeit zu haben, abhängig vom Zustand des Fahrers, seinen momentanen kognitiven Fähigkeiten und seiner Intention und Motivation zu agieren. Das heißt, dass diese Systeme ihr Verhalten nicht nur an die individuellen Bedürfnisse und den Stil des Fahrers anpassen sollen, sondern auch an seine momentanen Fähigkeiten. Besonders ist dies im Kontext des Fahrens hoch komplex: das System muss mit einer großen Vielfalt von Menschen zurechtkommen, zeitkritische Anforderungen im Bereich von wenigen Sekunden müssen erfüllt und eine Integration mit anderen Systemen berücksichtigt werden.

Der Ansatz für die Lösung der beschriebenen Probleme basiert auf der Entwicklung verschiedener Fahrermodelle, die Fahrerverhalten erklären oder voraussehen können. In der Entwicklung der Fahrerassistenzsysteme wurden solche Modelle bisher sehr selten eingesetzt. Trotzdem werden in einer Vielzahl von Projekten neue Sensorik, Technologien und Methoden entwickelt, um eine Verbesserung und Integration der FAS zu erreichen. Eine der ersten Schritte und Untersuchungen zu adaptiven FAS wurden im Rahmen von S.A.N.T.O.S (Situation-Adapted and User-type Optimized Driver Assistance Systems) gemacht (König 2002). Das Projekt hatte die Integration von ACC und Spurhaltungssystem mit Kommunikationssystemen

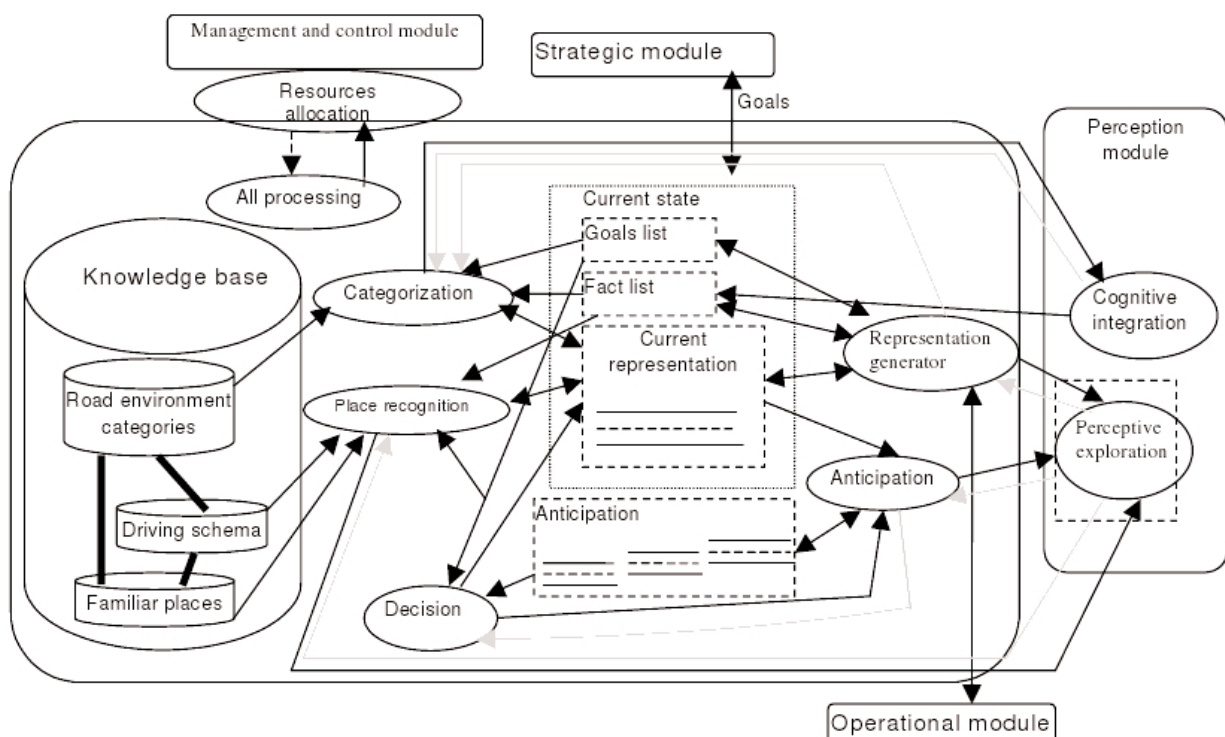


Abbildung 4: Wahrnehmung und Taktisches Modul COMSODRIVE Modells (Delorme 01)

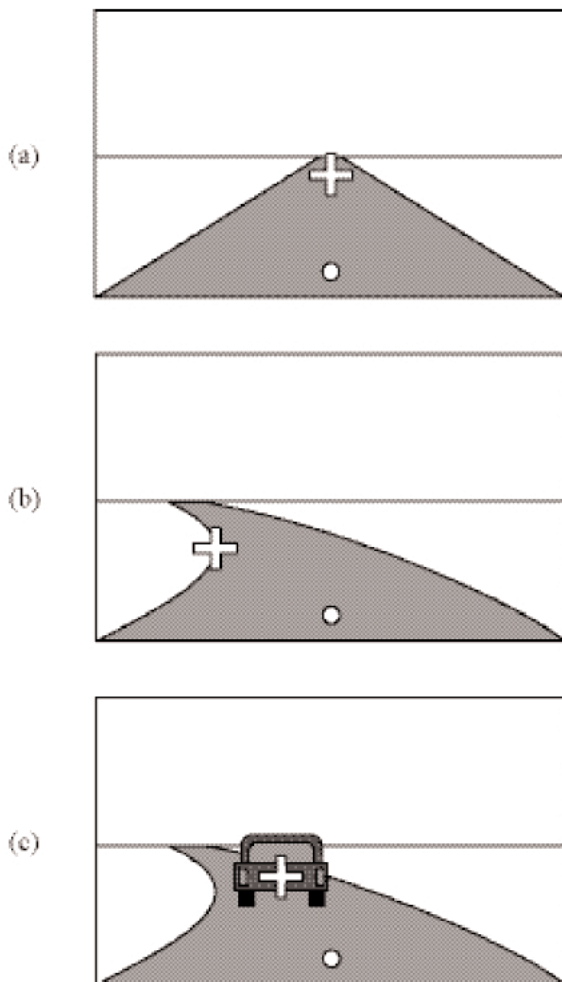


Abbildung 5: Abbildung des nahen und fernen Punktes für a) geradeaus Fahrt, b) Kurve, c) voraussifahrendes Fahrzeug (Salvucci 05)

zum Ziel. Diese Integration sollte an den Fahrerzustand, seinen Präferenzen und die erkannte Situation angepasst sein. „AWAKE“ hat mit der Hilfe eines Fahrermodells ein System entwickelt, welches den Fahrer auf langen, monotonen Strecken in Echtzeit auf verminderte Wachsamkeit überprüfen soll (siehe Abb.5(a)). Im Rahmen dieses Projektes wurden die dafür notwendige Technologie und Methodik entwickelt und Anstöße für weitere Projekte gegeben. Im Rahmen des laufenden Projekts (AIDE), sollte eine adaptive Fahrer-Fahrzeug-Schnittstelle entworfen werden, welche auf einem Fahrermodell basiert ist. Ferner entwickelt dieses Projekt die Sensorik, Technologie und Methodik für eine sichere und effiziente Integration von FAS- und Kommunikationssystemen (siehe Abb.5(b)). AWAKE und AIDE sind zwei der wenigen Projekte, wo ein Fahrermodell in der Entwicklung der Mensch-Maschine Schnittstelle eingesetzt wird. Der Grund, dass Fahrermodelle für eine solche Anwendung nicht stärker benutzt werden ist, dass ihre Erstellung sehr kompliziert und zeitaufwändig ist. Jedoch wurde ihr Potenzial erkannt und viele Forscher arbeiten an ihrer Weiterentwicklung.

#### 4 Fahrermodelle als Basis von FAS

Das Verhalten des Fahrers basiert nicht direkt auf dem objektiven Zustand der Umgebung, sondern auf dem inneren Modell, welches er von der äußeren Welt und ihrem Zustand hat. Um das Fahrverhalten zu verstehen und voraussehen zu können, brauchen wir ein Modell des Fahrers. Die Definition eines Fahrermodells variiert zwischen Disziplinen, die den Fahrer untersuchen: Ergonomie, Psycho-

logie, Künstliche Intelligenz usw. Es gibt kein allgemein akzeptiertes Modell der kompletten Fahraufgabe. Die Erzeugung eines Fahrermodells stellt ein fortlaufendes Sammeln der umfassenden wissenschaftlichen Erkenntnisse über den Fahrer dar (Cody 2007). Erste Fahrermodelle waren deskriptive, analytische Modelle, welche nur einen Teil oder die komplette Fahraufgabe zu erklären versuchten. Dazu gehören verschiedene Aufgabenanalyse-, Kontroll- und Produktionsmodelle. Diese Modelle bringen eine umfangreiche Taxonomie für die Beschreibung des Fahrens mit. Sie können zum besseren Verständnis der Unfälle und menschlicher Fehler führen. Danach folgten Modelle, welche auf das Informationsverarbeitungs-Paradigma und die Motivation gegründet wurden. Viele davon sind auf das subjektive und objektive Risiko und die Schwierigkeit der Fahraufgabe fokussiert. Sie versuchen zu erklären, warum sich der Fahrer für die eine oder andere Aktion entschieden hat. Die derzeitige Entwicklung geht in Richtung dynamischer und integrierter Modelle, welche Fahrerverhalten abhängig von der Umgebung und dem Kontext modellieren und welche simulationsfähig sind. Mit der zunehmenden Automation des Fahrens hat sich die Anforderung von der Modellierung der Handlungs- und der Verhaltens-Aktivitäten hin zur Modellierung der Kognition verwandelt.

#### Anwendung der Fahrermodelle

Welches Modell benutzt und/oder entwickelt wird, ist von seiner Anwendung abhängig. Mögliche Anwendungen sind:

- die Erklärung des menschlichen Verhaltens
- die Verbesserung der Fahrer-Ausbildung
- die Evaluierung der Kommunikations und Fahrerassistenzsysteme
- die Entwicklung Fahrer-angepasster FAS

Eine Anpassung der Fahrerassistenzsysteme erfolgt durch Zustands- und Intentions-Modelle.

#### Anpassung an den Fahrerzustand

Unter dem Begriff Fahrerzustand werden der Level der Müdigkeit, die mentale Beanspruchung oder auch momentane Emotions- und Motivationszustände verstanden.

Einige Autoren versuchen den Zustand des Fahrers aufgrund seiner Lidschlussaktivitäten zu erkennen (Smith 2000). Es gibt auch Versuche, die mit nicht aufdringlicher Sensorik, physiologische Daten des Fahrers messen und den Zustand schätzen (Cai 2007). Akamatsu hat 2003 mittels des Bayesischen Netzes versucht, nicht-normatives Verhalten des Fahrers zu erkennen. Schulz hat 2007 anhand von Fahrdynamik- und Umfeldaten das Fahrerverhalten und den Fahrstil klassifiziert, um Warn- und Eingriffsschwellen an den Fahrer anpassen zu können.

Einige Ansätze erlauben oder unterdrücken Infotainment-System, abhängig von der mentalen Beanspruchung, wobei diese auf Basis individueller Unterschiede und des Fahrkontextes in Echtzeit geschätzt wird (Neerincx20 06; Piechulla 2002). Diese Lösung hat sich für den Benutzer jedoch als nicht zufriedenstellend herausgestellt.

#### Anpassung an die Fahrerintention

Am interessantesten für die Entwicklung der Assistenzsysteme sind Modelle, welche die Intention des Fahrers zu erkennen versuchen. Dabei stellt sich als Erstes die Frage, was wir über den Fahrer wissen müssen, was davon wissen können bzw. dürfen und was geschätzt werden soll? Carsten vertrat 2007 die Meinung, sich auf die Führungsebene zu konzentrieren. Eine Entscheidung auf Navigatonebene beeinflusst das momentane Risiko nicht. Auch auf der Stabilisierungsebene ist es fast unmöglich, etwas zu prognostizieren. Es ist möglich, die Fahrzeugkontrolle in Echtzeit zu analysieren, darauf



basierend eine Vorhersage des momentanen Risikos zu erstellen und zu entscheiden, wie die FAS reagieren sollen. Dafür wird meistens ein probabilistischer Ansatz benutzt. Carsten hat 2007 fünf Kategorien identifiziert, die sich auf das Risiko auswirken:

- Persönlichkeit
- Erfahrung
- Fahrerzustand
- mentale Beanspruchung
- Situationsbewusstsein

Mögliche Ansätze sind die Fuzzy Logik (Schmitt 2005) und Neuronale Netze. (Liu 2001) hat mittels Markov-Dynamic-Models (MDD), dem Hidden-Markov-Modell ähnlichem Ansatz, die Intention des Fahrers mit einer Erkennungsrate von ca. 95% vorhergesagt. Fahrermodelle wurden auch für die optimale Auslegung der Schnittstellen bei teilautomatisierten Systemen benutzt, besonders um Strategien und Anzeigeconzepte zu entwickeln, welche das Situationsbewusstsein in kritischen oder ungewöhnlichen Momenten erhöhen (Inagaki2006).

Die oben erwähnten Modelle sind alle Bausteine für den Entwurf eines integrierten Fahrermodells, welches beide, dynamisches und mentales, Fahrerverhalten beschreiben und simulieren kann.

### Simulationsfähige Modelle

Simulationsfähige Modelle können in zwei Gruppen unterteilt werden: Modelle für die Vorhersage des Fahrerverhaltens und kognitive Modelle. In die erste Gruppe gehören die Modelle, welche die Fahrerleistung simulieren und vorhersagen, um FAS feiner abzustimmen. Ein Beispiel ist das Fahrermodell für die Simulation des Bremsverhaltens, um verschiedene Varianten der Notbremse zu testen (Schmitt 2007), oder das PELOPS Modell, welches schon zum ACC, Kreuzungs- und Spurwechselassistenten benutzt wurde (Benmimoun 2004).

Kognitive Modelle simulieren die internen Zustände und Prozesse, die während des Fahrens stattfinden. Sie können das Verhalten auf verschiedenen kognitiven Ebenen antizipieren und kausale Beziehungen erklären. Sie können auch das Verhalten in einer neuen Umgebung vorhersagen, aber nur sehr schwer in Echtzeit.

Kognitive Modelle sind in eine kognitive Architektur eingebettet. Der Vorteil ist die Möglichkeit, allgemeine Theorien und Mechanismen in die Architektur zu implementieren und modellübergreifend zu verwenden. (Anderson 2007) definiert: "A cognitive architecture is a specification of the structure of the brain at a level of abstraction that explains how it achieves the function of the mind." Eine kognitive Architektur ist also eine Beschreibung der Struktur des Gehirns auf einer Ebene, die erklärt, wie es die Funktion des Verstandes erreicht. Kognitive Architekturen funktionieren auf dem Prinzip der Multiagentensysteme. Die bekanntesten Architekturen sind ACT-R (Adaptive Control of Thought-Rational), SOAR und EPIC und die bekanntesten kognitiven Fahrermodelle sind: ACT-R Modell (Salvucci 2005), SOAR-Modell (Aasman 1995), ACME (Krajewicz 2005) und COSMO-DRIVE (Liu 2007) (siehe Abb.4). Das ACT-R Modell kann derzeit nur geradeaus und leichte Kurven fahren (siehe Abb.5). Außerdem ermöglicht es die Vorhersage der Ablenkungseffekte und wurde schon zur Prädiktion des Verhaltens für vier verschiedene Telefon-Bedienungsmodalitäten (zwei Stimmen und zwei Tipp-Eingaben) benutzt (Salvucci 2001). Die anderen drei Modelle sind nicht frei zugänglich. Die Vorteile kognitiver Modelle sind eine detaillierte Beschreibung menschlicher Wahrnehmung und Kognition. Sie nutzen und integrieren Theorien zur Augenbewegung, zur visuellen Aufmerksamkeit und Motorik. Die Nachteile bestehen darin, dass sie meistens sehr schwer zu integrieren, langsam und daher schlecht für die Echtzeitsi-

mulation einsetzbar sind. Außerdem gibt es Zweifel, ob diese sich zur Beschreibung des Verhaltens in kritischen Situationen eignen. (Schmitt 2007).

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Bei der Entwicklung menschenzentrierter Fahrerassistenzsysteme wurden die Menschmodelle bisher nur in wenigen Projekten eingesetzt. In allen diesen Projekten wurden meistens Auto- und Landstraßenszenarien untersucht. Erstens, weil die Sensorik noch nicht genug entwickelt ist, um komplexere Situationen zu erkennen und zweitens weil die simulationsfähigen Fahrermodelle erst im Aufbruch sind. Für die Entwicklung bestimmter Assistenzsysteme sollten erst geeignete Modelle identifiziert und danach weiter entwickelt werden. Um ein integriertes Fahrermodell zu erstellen, welches lernen und in Echtzeit FAS-Aktivitäten anpassen kann, ist noch weitere umfangreiche Forschung notwendig.

## 6 Literatur

- Aasman, J.  
Modelling driver behaviour in Soar. Ph.D. thesis, Rijksuniversiteit te Groningen, 1995.
- AIDE.  
Adaptive Integrated Driver-vehicle Interface. <http://www.aide-eu.org>.
- Akamatsu, M., Sakaguchi, Y., and Okuwa, M.  
Modeling of Driving Behavior when Approaching an Intersection based on Measured Behavioral Data on an Actual Road. In Human Factors and Ergonomic Society 47th Annual Meeting. 2003.
- Anderson, J. R.  
How Can the Human Mind Occur in the Physical Universe? Oxford University Press, 2007. ISBN 978-0-19-532425.
- AWAKE.  
System for Effective Assessment of Driver Vigilance and Warning According to Traffic Risk Estimation. <http://www.awake-eu.org>.
- Benmimoun, A.  
Der Fahrer als Vorbild für Fahrerassistenzsysteme? Ein Fahrermodell-basierter Ansatz zur Entwicklung von situations adaptiven FAS. In 13. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motortechnik. 2004.
- Bernotat, R.  
Antropotechnik in der Fahrzeugführung. Ergonomics, 13:353–377, 1970.
- Bubb, H. (a)  
Das Potenzial der Risikovermeidung durch Assistenzsysteme im Strassenverkehr. In October, 2005, TÜV Süd. 2005.
- Bubb, H. (b)  
Driver-Assistance A Contribution to Safety and Comfort or Technical Gimmicks? In International Conference on Computer-Aided Ergonomics and Safety, Kosice, Slovak Republic. 2005.

- Cai, H. and Lin, Y.  
An experiment to non-intrusively collect physiological parameters towards driver state detection. In AE 2007 World Congress, SAE Paper No. 2007-01-04. 2007.
- Carsten, O.  
From Driver Models to Modelling the Driver: What Do We Really Need to Know About the Driver?, chapter 6, pages 105–121. Springer-Verlag London Limited 2007, 2007.
- Cody, D. and Gordon, T.  
TRB Workshop on Driver Models: A Step Towards a Comprehensive Model of Driving, chapter 2, pages 26–43. Springer-Verlag London Limited 2007, 2007.
- Dapzol, N.  
Driver's Behavior Modeling using the Hidden Markov Model formalism. In Young Researchers Seminar, The Hague. May, 2005.
- Delorme, D. and Bongsob, S.  
Human Driver Model for SmartAHS. Technical report, California path program, Institute of transportation studies, University of California, Berkeley, 2001.
- Donges, E.  
A conceptual framework for active safety in road traffic. Vehicle System Dynamics (Veh. Syst. Dyn.) ISSN 0042-3114, pages 113–128, 1999.
- Ilnagaki, T.  
Design of human-machine interactions in light of domain-dependence of human-centered automation. Cognition, Technology and Work, 8:161–167, 2006.
- Kassner, A. and Vollrath, M.  
Akzeptanzmessung als Baustein für die Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen. VDI Berichte, 1960(97-112), 2006.
- König, W., Weiß, K.-E., and Mayser, C.  
S.A.N.T.O.S Situations-Angepasste und Nutzer-Typ-entrierte Optimierung von Systemen zur Fahrerunterstützung. Abschlussbericht, Robert Bosch GmbH und BMW Group, 2002.
- Krajcwicz, D., editor.  
ACME Driver - ein kognitives Fahrermodell. Wien:Österreichische Computer Gesellschaft, A.Auinger: Workshops-Proceedings der 5. fachübergreifenden Konferenz Mensch und Computer, 2005.
- Liu, A. and Salvucci, D.  
Modeling and prediction of human driver behaviour. In 9th Intl. Conference on Human-Computer Interaction, New Orleans, LA. 2001.
- Liu, Y. and Ozguner, U.  
Human Driver Model and Driver Decision Making for Intersection Driving. Intelligent Vehicles Symposium, IEEE, pages 642–647, 2007.
- Neerincx, M., Hoedemaeker, M., and de Gier, E.  
Adaptive In-Car User Interfaces Based on Personalized Workload Estimation. In 16th World Congress on Ergonomics I EA2006. 2006.
- Piechulla, W., Mayser, C., Gehrke, H., and König, W.  
Echtzeit-Fahrerbeanspruchungsschätzung. In Proceedings des 8. Internationalen Symposiums für Informationswissenschaft, pages 365–368. 2002.
- Rösl, R., Wächter, M., Zittlau, W., and Hös, A.  
AUTOSAFE - Ein modulares System für integrale Sicherheit im Strassenverkehr. In 22. Internationale VDI/VW-Gemeinschaftstagung; Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme, Wolfsburg. 2006.
- Salvucci, D. D.  
Predicting the Effects of In-Car Interfaces on Driver Behaviour using a Cognitive Architecture. Human Factors in Computing Systems: CHI 2001 Conference Proceedings, 2001.
- Salvucci, D.  
Modeling Driver Behaviour in a Cognitive Architecture. Human Factors, 48(2):362–380, 2005.
- Schmitt, J. und Färber, B.  
Verbesserung von FAS durch Fahrerabsichtserkennung mit Fuzzy Logic. Technical Report 1919, VDI-Bericht, 2005.
- Schmitt, J., Breu, A., Maurer, M., and Färber, B.  
Simulation des Bremsverhaltens in Gefahrensituationen mittels experimentell validiertem Fahrermodell. VDI-Berichte 2015, VDI, 2007.
- Schulz, A., Fröming, R., and Schindler, V.  
Darstellung fahreradaptiver Warn- und Bremsassistentenstrategien durch Online-Analyse des Fahrerhaltens. Technical Report 2015, VDI Berichte, 2007.
- Smith, P., Shah, M., and da Vitoria Lobo, N.  
Monitoring head/eye motion for driver alertness with one camera. Pattern Recognition, 2000. Proceedings. 15th International Conference on, 4:636–642, 2000.
- Vollrath, M., Schießl, C., Langhorst, S.-K., Totzke, I., Buld, S., and Benmimoun, A.  
Adapting ADAS to traffic states: An approach of human-centered automation. In Beitrag auf 6th European Congress and Exhibition on Intelligent Transport Systems and Services. Aalborg (Denmark), 2007.

# Kraftmessung an den Schnittstellen Mensch-Fahrzeug – Auslegung und Realisierung der Messtechnik

Christin Fröhmel, BMW Group

## 1 Einführung

Die vom Menschen unter verschiedenen Bedingungen eingenommene Haltung ist von den unterschiedlichsten Einflussfaktoren abhängig. Neben den physikalischen Randbedingungen haben die physiologischen und psychologischen Aspekte bei der Einnahme einer bestimmten Haltung eine wesentliche Bedeutung. Wird davon ausgegangen, dass die physikalischen Rahmenparameter, wie z.B. eine vorhandene Geometrie oder eine bestimmte Aufgabe, bei einem Versuch für jeden Versuchsteilnehmer gleich sind, so werden sich die eingenommenen Haltungen aufgrund der individuellen physiologischen und psychologischen Faktoren unterscheiden. Physiologische Faktoren sind dabei z.B. anthropometrische Maße, Gesundheitszustand und Trainiertheit. Subjektive Faktoren, welche die menschliche Haltung beeinflussen, sind z.B. eine vorhandene oder fehlende Motivation, individuelle Vorlieben oder die Empfindung von Komfort bzw. Diskomfort. Ein wichtiger Aspekt bei der Beurteilung menschlicher Haltungen sind auch die vorherrschenden Kräfte. Diese können zum einen extern auf den Menschen einwirken, wie z.B. die immer währende Schwerkraft. Zum anderen können sie intern wirken, z.B. durch biomechanische Parameter wie Muskelkräfte und Maximalkräfte. Auf genau diesen Aspekten beruht das Krafthaltungsmodell (KHM) des drei-dimensionalen Menschmodells RAMSIS [Human Solutions, 2004]. Dieses berechnet menschliche Haltungen unter Berücksichtigung von internen Körperkräften und extern auf den Menschen einwirkenden Kräften [Seitz, 2005]. Zusätzlich kann es die Kräfte, die z.B. aus Körperteilgewichten, Körperkräften und externen Kräften resultieren, an den Schnittstellen zwischen Mensch und Fahrzeug ausgeben. Für die Überprüfung dieser Berechnung am Beispiel des Fahrer Arbeitsplatzes, wurde in einem statischen Versuchsaufbau Kraftmesstechnik implementiert, welche im Folgenden ausführlich beschrieben wird.

## 2 Versuchsstand

Leider existieren bis zum heutigen Tag nur sehr wenige Erfahrungen zur Messung von Schnittstellenkräften im Kraftfahrzeug. Zur Verringerung der Komplexität fiel die Wahl auf einen statischen Versuchsaufbau, in dem vorerst die von der Versuchsperson (VP) aufgetragenen Gewichtskräfte ohne Störgrößen messbar sind. Der aus diesem Anwendungsfall resultierende Messbereich der Sensoren steht aber den unvorhergesehenen Bewegungen der VPs gegenüber, aus denen mögliche dynamische Lastspitzen hervorgehen können. Die Auswahl der geeigneten Sensormessbereiche muss deshalb wohl überlegt sein. Zur Vereinfachung und Sammlung erster Erfahrungen, wurden zunächst die Hauptschnittstellen Fahrzeugboden, Pedale, Sitz und Lenkrad berücksichtigt.

### 2.1 Auslegung der Sensoren

#### 2.1.1 Ermittlung der Sensormessbereiche

Zunächst mussten die maximal auftretenden menschlichen Körperteilgewichte ermittelt werden, um einen ersten Anhaltspunkt für die Größenordnung der Sensormessbereiche zu erhalten. Dazu konnte auf das Handbuch der Ergonomie [HdE, 1989] zurückgegriffen werden, in welchem die benötigten Daten in Prozentzahlen am Gesamtgewicht angegeben werden. Damit können nach Festlegung eines maximal auftretenden Körpergewichts die maximalen Körperteilgewichte errechnet werden. Das maximale Körpergewicht ist ebenfalls dem HdE entnommen, 114 kg entspricht dem 99. Perzentil Körper-

gewicht männlich. Dieser Wert wurde auf 120 kg aufgerundet. In Tabelle 2-1 sind die daraus resultierenden Körperteilgewichte zusammenfassend dargestellt.

Tab. 2-1: Zusammenfassende Darstellung der maximalen Körperteilgewichte

Körperteile	Wert [N]
ein Arm (flach aufliegend)	51,80 N
ein Bein (Fuß auf Boden)	94,76 N
ein Bein (Fuß auf Pedale / Fußstütze)	68,28 N
Sitz	914,68 N

Als nächstes müssen die auf die zu untersuchenden Schnittstellen maximal aufbringbaren Kräfte ermittelt werden, um einen entsprechenden Puffer für die Sensormessbereiche festlegen zu können. Diese Daten sind ebenfalls dem HdE entnommen und entsprechen der menschlichen Maximalkraft bei vergleichbaren Experimenten (siehe Tabelle 2-2). Angaben zu maximalen Sitzkräften sind leider nicht bekannt.

Tabelle 2-2: Zusammenfassende Darstellung der maximal aufbringbaren Kräfte

Kontaktstellen	Wert [N]
Pedale / Fußstütze	1195 N
Boden	726 N
Lenkrad:	
Druckkraft	2308 N
Zugkraft	1440 N
Rechtsdrehung	364 N
Linksdrehung	379 N

Ein Vergleich der beiden aufgeführten Tabellen zeigt einen weiten Kraftbereich an, den es zu berücksichtigen gilt. Da aber der Messfehler immer größer wird, je weniger der Messbereich eines Sensors ausgenutzt wird, muss bei der endgültigen Festlegung der Sensormessbereiche ein Kompromiss zwischen möglichst geringem Messfehler und Schützen der Sensoren vor Überlastung eingegangen werden. Aus diesem Zielkonflikt resultieren die gewählten Messbereiche, welche in Tabelle 2-3 dargestellt sind. Bei der Auswahl der Bereiche für die Pedale und die Fußstütze fanden, neben den Daten aus dem HdE, zusätzlich Erfahrungswerte sowie im Unternehmen vorhandene Kraft-Weg-Diagramme Anwendung.

Tab. 2-3: Zusammenfassende Darstellung der Sensormessbereiche

Kontaktstellen	Anzahl der Sensoren	Messbereich pro Sensor
Fußstütze	1	0...800N
Kupplungspedal	1	0...800N
Bremspedal	1	0...1500N
Gaspedal	1	0...250N
Fahrzeugboden	6	0...200N
Sitz	4	0...500N
Lenkrad	1	0...500N



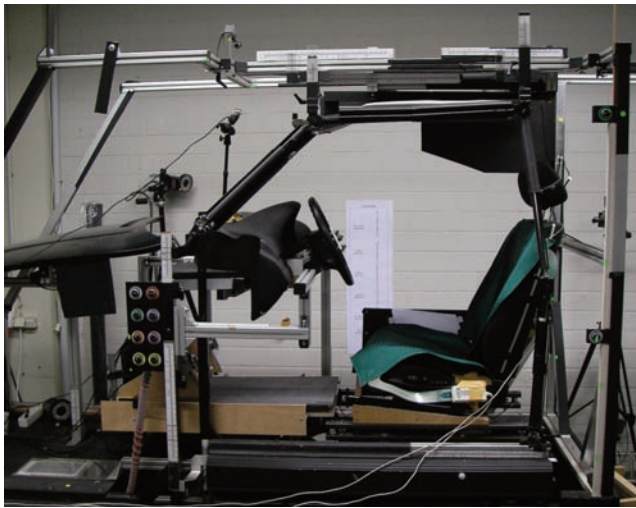


Abbildung 2-1: Variabler Versuchsstand mit eingebauter Messtechnik

### 2.1.2 Spezifikationen der Messtechnik

Für die Messung der Kontaktkräfte an den Stellen Fahrzeugboden, Pedale und Fußstütze, Sitz und Lenkrad werden Pedalkraftaufnehmer, Miniaturkraftaufnehmer und Folienmesstechnik eingesetzt. Zusätzlich ist ein Messdatenerfassungssystem zum Auslesen der Messwerte nötig. Bei der Auswahl der Sensoren waren die Aspekte Robustheit, hohe Genauigkeit, Einfachheit in der Handhabung und der Preis ausschlaggebend.

Für die Auswahl der Pedale und Fußstütze waren neben der leichten Montage die hohe Genauigkeit und die Unempfindlichkeit gegenüber Seitenkräften ausschlaggebend. Hier werden Pedalkraftsensoren der Serie F304 der Firma ALTHEN verwendet.

Bei der Messung der Kräfte auf den Fahrzeugboden war eine hohe Genauigkeit, gute Reproduzierbarkeit und einfache Montage durch axiale Gewindeanschlüsse wichtig. Hier kommen die Präzisionskraftaufnehmer der Serie F308 ebenfalls von der Firma ALTHEN zur Anwendung. Diese sind für Zug- und/oder Druckkraftmessungen erhältlich. Der Sitz weist zwei großflächige Kontaktstellen auf, Sitzfläche und Sitzlehne, welche getrennt aufgenommen werden müssen. Hier fiel die Entscheidung auf die Verwendung von Folienmesstechnik der Firma Tekscan. Die Folienmessmatten messen Druckverteilungen und können außerdem auf Kraft kalibriert werden, womit die Kräfte auf die beiden Flächen getrennt aufgenommen werden können. Da die absolute Genauigkeit der Folienmesstechnik stark von der Kalibrierung abhängig ist, werden zusätzlich vier Kraftaufnehmer zur Messung der auf den Sitz übertragenen Gesamtkraft verwendet. Aufgrund der gleichen Anforderungen an die Sensoren wie für den Fahrzeugboden werden hier Sensoren gleichen Typs verwendet.

Die Messung der Kontaktkräfte auf das Lenkrad wird mit einem 3-Wege Sensor durchgeführt, in diesem Fall der 3-achsiale Kraftaufnehmer der Serie F233 der

Firma ALTHEN. Der Grund für die Wahl eines 3-Wege Sensors liegt in den geplanten Simulationen, in denen auch Abstützkräfte und Kräfte durch Verdrehungen des Oberkörpers gemessen werden sollen. Die Implementierung dieses Sensors zur Messung der Kräfte am Lenkrad stellte während des gesamten Aufbaus die größte Herausforderung dar. Mit der derzeitigen Applikation (Kapitel 2.2) sind aber die zu untersuchenden statischen Szenarien ohne Probleme durchführbar.

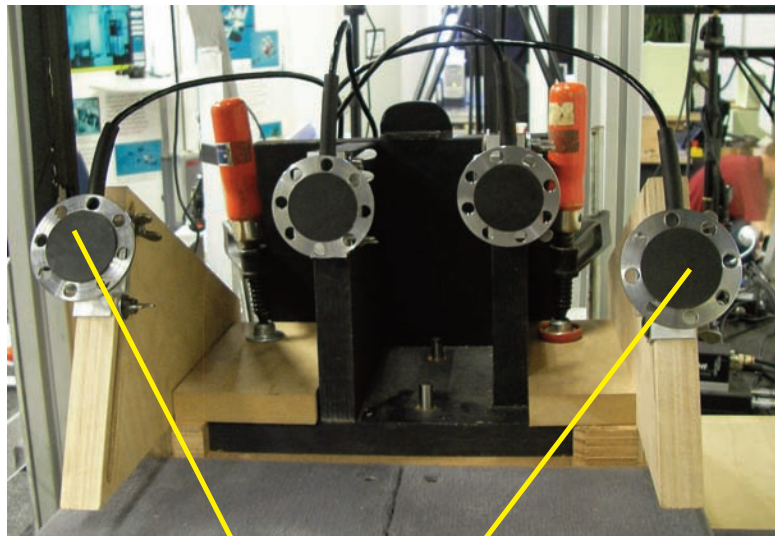
Bei den Messverstärkern zu den Sensoren musste darauf geachtet werden, dass möglichst viel der Messtechnik in späteren dynamischen Versuchen im Fahrzeug eingesetzt werden kann. Hier wurden in Zusammenarbeit mit der Firma ALTHEN die Messverstärker auf die Sensoren und den jeweiligen Einsatzzweck abgestimmt.

Ausschlaggebend für das Messdatenerfassungssystem war eine einfache und flexible Handhabung. Hier fiel die Wahl auf das CompactDAQ-Chassis cDAQ-9172 der Firma National Instruments. Dieses Chassis wird mit zwei CompactDAQ-Modulen vom Typ NI 9205 ausgerüstet, die jeweils 16 differentielle Kanäle für die Messung und Aufzeichnung von Spannungen zur Verfügung stellen. Vorteilhaft bei der Verwendung dieses Chassis ist der Anschluss an den Messrechner per USB-Schnittstelle. Das Messdatenerfassungssystem eignet sich durch seine geringe Baugröße und einfache Handhabung auch für den Einsatz bei Fahrversuchen. Als Software Plattform wird aus Kompatibilitätsgründen die von National Instruments vertriebene Software LabView verwendet.

### 2.2 Einbau der Sensoren

Die Sensoren wurden in einen variablen Versuchsstand eingebaut, bei dem u. a. die Geometrie des Interieurs durch räumliche Verschiebungen von Sitz, Fahrzeugboden und Himmel, ausgehend von

einem festen Lenkrad, auf verschiedene Fahrzeuge eingestellt werden kann [Suchomel, 2001; Rigel 2005]. In Abbildung 2-1 ist der Versuchsstand mit eingebauter Messtechnik dargestellt.



#### Messung der Fußkräfte

Für die Messung der Pedalkräfte sowie der Kräfte an der Fußstütze werden Pedalkraftsensoren mit angepasstem Messbereich verwendet (Abb. 2-2). Diese sind anstelle der Pedale bzw. der Fußstütze so positioniert,

dass sie die Originalgeometrie der jeweiligen Fahrzeuge nicht verändern. Für die unterschiedlichen Fußgrößen der Versuchspersonen sind die Sensoren verschiebbar gestaltet.

Der Fahrzeugboden ist zweiteilig ausgeführt, so dass die Kräfte von linkem und rechtem Bein getrennt aufgenommen und ausgewertet werden können (Abb. 2-3). Pro Platte werden drei Sensoren in einer Dreiecksanordnung verwendet, wodurch später der Ort des Krafteinleitungspunktes durch die Hacke der VP errechnet werden kann. Da sich die Position der Ferse von Autofahrern und damit der Krafteinleitungspunkt in Richtung der Pedale befindet, sind aus Lastgründen vorne zwei Sensoren und hinten ein Sensor angebracht.

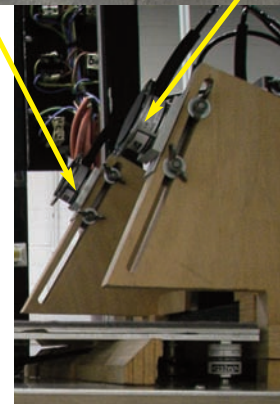


Abbildung 2-2: Einbaulagen der Pedalkraftsensoren

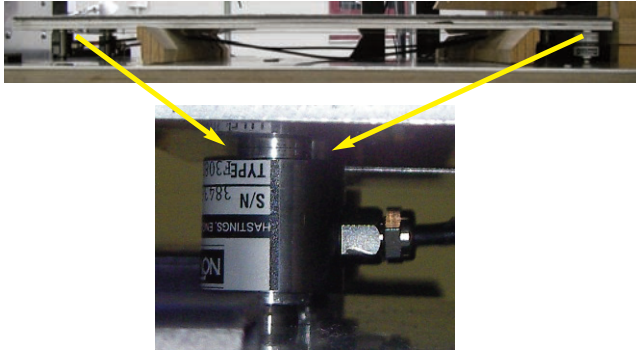
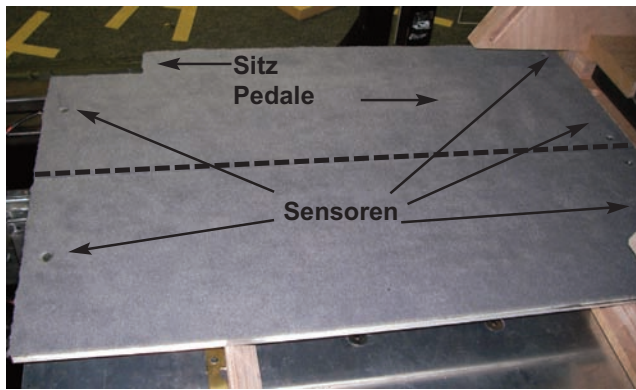


Abbildung 2-3: Bodenplatten des Versuchsstandes

#### Messung der Sitzkräfte

Die auf den Sitz übertragenen Kräfte werden mit Foliensensoren getrennt für Sitzfläche und Sitzlehne erfasst. Zusätzlich sind vier Druckkraftsensoren unterhalb der Sitzschienen an den Endpunkten angebracht (Abb. 2-4).

#### Messung der Armkräfte

Für die Messung der Armkräfte wird am Lenkrad ein 3-Wege Sensor angebracht. Beim Einbau des Sensors müssen die auftretenden Momente beachtet werden. Das bedeutet, dass der Krafteinleitungspunkt möglichst in der Lenkkranzebene liegen sollte, um das Biegemoment so gering wie möglich zu halten. Dies wurde durch den vorliegenden Aufbau näherungsweise verwirklicht (Abb. 2-5 siehe nächste Seite). Dennoch auftretende Biegemomente liegen im Toleranzbereich des Sensors.

### 3 Erste Ergebnisse der Kraftmessung

Es sind Versuche mit einer großen Anzahl von VP geplant, die sich in Geschlecht, Alter, Anthropometrie und Konstitution unterscheiden. Dabei werden die Probanden in die Perzentilgruppen 5., 50. und 95. Perzentil Körperhöhe eingeteilt. Weiterhin sollen verschiedene Szenarien, z.B. individuelle Basis-Fahrerhaltungen sowie Brems- und Kupplungsszenarien in unterschiedlichen Fahrzeuggeometrien untersucht werden. Die Erfassung der Kraftwerte erfolgt dabei mit einer Abtastrate von 10kHz. Um die Messergebnisse nicht durch „dynamische“ Effekte wie Herzschlag, Atmung oder andere Muskelkontraktionen zu verfälschen, werden jeweils 1000 Einzelwerte gemittelt ausgegeben.

Bei einer ersten Versuchsreihe mit Männern des 50. Perzentils Körperhöhe mit einem durchschnittlichen Gewicht von 80,6kg und einem Durchschnittsalter von 42 Jahren konnten die in Tabelle 3-1 dargestellten Kraftverteilungen, angegeben als Prozentzahlen vom Körpergewicht, ermittelt werden. Untersucht wurde die von den Versuchspersonen selbst gewählte und eingestellte Fahrerhaltung. Dabei er-

geben sich folgende Schnittstellen mit dem Versuchsstand: beide Hacken auf dem Boden, linker Fuß auf Fußstütze, rechter Fuß auf Fahrpedal, Hände auf 3 und 9 Uhr am Lenkrad. Diese Position wurde in drei verschiedenen Fahrzeuggeometrien, Roadster mit einem H30 Maß (senkrechtes Maß vom Hackenaufstandspunkt zum Sitzreferenzpunkt) von 174mm, Limousine mit H30 = 247mm und Oberklassen-Limousine mit H30 = 260mm, untersucht. Die Kraftwerte für den Sitz, getrennt für Sitzfläche und Sitzlehne, liegen zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht vor.

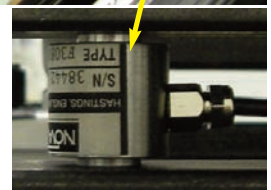
Anhand dieser Tabelle wird deutlich, dass sich die prozentuale Verteilung der Kräfte auf die Schnittstellen zwischen Mensch und Fahrzeug mit dem Fahrzeugcharakter bestimmenden H30-Maß nur unwesentlich ändert. Lediglich die Kraftübertragung auf das Lenkrad und den Sitz weisen eine gewisse Tendenz, abhängig vom H30-Maß, auf. Erst genannter Wert fällt mit steigendem H30-Maß, der andere dagegen steigt mit diesem an. Weitere Tendenzen können zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht festgestellt werden.

### 4 Zusammenfassung

Die Kraftmessung an den Schnittstellen zwischen Mensch und Fahrzeug ist eine nicht triviale Aufgabe. Fehlende Erfahrung sowie die Ermittlung von Kompromissen bei der Entscheidung, welche Sensoren mit welchen Messbereichen wie eingebaut werden sollten, sind beispielhaft Probleme. Das Teilsystem Mensch mit seiner inter- und intraindividuellen Streuung erschwert die Problematik außerdem. Mit der gewählten und installierten Messtechnik kann die Validierung des RAMSIS-Krafthaltungsmodells für den statischen Fall ohne Probleme verwirklicht werden. Für dynamische Betrachtungen ist aber



Abbildung 2-4: Foliensensoren zur Messung der Sitzkräfte





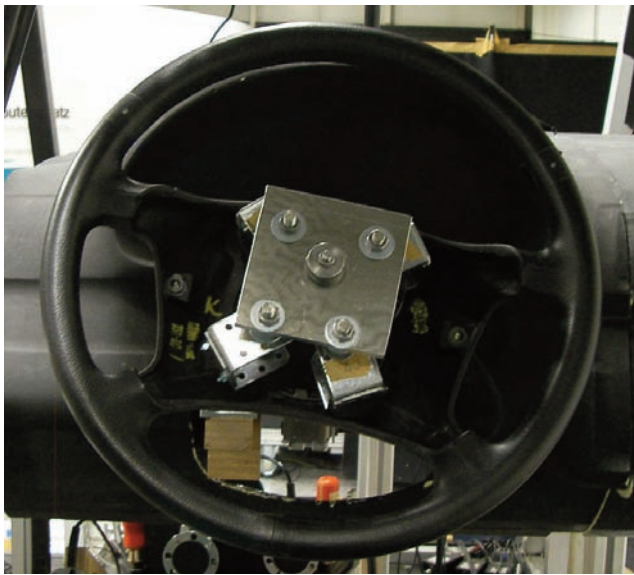
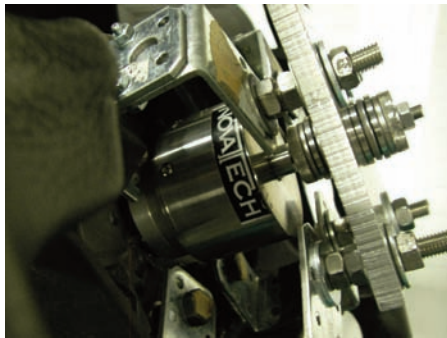


Abbildung 2-5:  
Montierter 3-Wege-  
Sensor am Lenkrad



die Berücksichtigung von dynamischen Lastspitzen unerlässlich, die durch die Person selbst verursacht werden. In diesem Fall müssen die Messbereiche der Sensoren neu ausgelegt werden. Zusammenfassend ist festzustellen, dass die gewählten Bereiche den statischen Anwendungsfall vollständig abdecken.

## 5 Literatur

Danninger W.

PC-gestütztes Messen, Hochschule München (FH), Labor für Qualitätsprüfung, 1999

HdE:

Handbuch der Ergonomie mit ergonomischen Konstruktionsrichtlinien und Methoden; Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung, Koblenz, 1989

Hoffmann K.:

Eine Einführung in die Technik des Messens mit Dehnungsmessstreifen, Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH Darmstadt, 1987

Hufnagel S., Kerscher A.:

Experimentelle Bestimmung des Sitzkomforts unter Berücksichtigung der Parameter Zeit, Körperhaltung und Sitzeinstellung sowie den Kräften an den Schnittstellen zwischen Mensch und Fahrzeug; Teamdiplomarbeit bei der BMW AG in Zusammenarbeit mit der Fachhochschule München, Fachbereich Fahrzeugtechnik, 1996

Human Solutions GmbH: Manual:

RAMSIS Kraft-Haltungsmodell – Allgemeine Haltungssimulation au  
Basis biomechanischer Parameter; RAMSIS Version 3.8.13, 2004

Mangen C.:

Prognose des Langzeitkomforts im Auto aus den Kontaktkräfte zwischen Mensch und Sitz; Experimentelle Semesterarbeit am Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München, 2004

Rigel S.:

Entwicklung und Validierung einer Methode zur quantitativen Untersuchung der Ein- und Ausstiegsbewegung in einen Pkw; Dissertation am Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München, 2005

Schaub K.:

Simulation von Körperkräften bei realtypischen Montagetätigkeiten in der Automobilindustrie; GfA Herbstkonferenz, 1998

Seitz T. et al:

FOCOPP – An approach for a human posture prediction model using internal/external forces and discomfort; SAE International, 2005, 2005-01-2694

Suchomel N.:

Konzeption einer variablen Versuchseinrichtung zur Durchführung von Einstiegsversuchen; Diplomarbeit an der FH München, 2001

Theilmeier A. et al.:

Messtechnisch gestützte Erfassung von Körperhaltungen und Aktionskräften zur Erhebung der Wirbelsäulenbelastung bei Pflegetätigkeiten; Zeitung für Arbeitswissenschaft (59), 2005, S. 162-171

Tabelle 3-1: Prozentuale Verteilung der Kraft auf die Schnittstellen zwischen Mensch und Fahrzeug, bezogen auf das Körpergewicht; H30-Maß ist das senkrechte Maß (z-Richtung) zwischen Hackenaufstandspunkt und Sitzreferenzpunkt

Schnittstellen:	Boden links	Boden rechts	Sitz	Fahrpedal	Fußstütze	Lenkrad
Roadster H30 = 174mm	3,49%	5,11%	79,61%	1,89%	2,34%	7,56%
Limousine H30 = 247mm	4,10%	5,19%	80,81%	1,25%	1,86%	6,80%
Oberklassen- Limousine H30 = 260mm	3,49%	4,66%	81,26%	1,70%	2,15%	6,74%



## 1 Problemstellung

Design ist ein Begriff, der in verschiedenen Literaturquellen unterschiedlich definiert wird, aber auch umgangssprachlich oft benutzt wird, um die persönliche Einstellung zu Ästhetik, Vorliebe und „Gefallen“ festzulegen. Im Englischen und Französischen bedeutet Design „Gestaltung“ oder „Entwurf“, während das italienische disegno (dt.: Zeichnung, Plastik) stärker einen erprobenden Vorgang betont, ähnlich dem spanischen diseño (Bubb, 2007).

Auch wenn Design und Ergonomie bezogen auf die Qualität der Produkte gleiche Ziele haben, so bleibt das Verhältnis beider Fachdisziplinen nicht frei von Spannungen und Missverständnissen (Bruder, 2004). Wenn Design ein Phänomen ist, wodurch Menschen gleiche Produkte mit verschiedenen Emotionen wahrnehmen, dann stellt sich die Frage, welche Designkriterien diese Emotionen auslösen. Ein solcher Satz von relevanten Designkriterien, kann in Zukunft als Grundlage für subjektiv - emotionale Vergleichsbewertungen des Produkt-Designs generell genutzt werden.

In diesem Beitrag fassen wir Design nicht als Prozess oder Zyklus der Benutzerorientierten Gestaltung auf. Vielmehr beschreiben die gesammelten Begriffe eine Art „Wunschvorstellung“ von jungen und älteren Menschen, die an der Untersuchung teilgenommen haben.

## 2 Sammeln von Designkriterien am Beispiel Automobil – Phase I

Ziel der ersten Untersuchungsphase war es herauszufinden, wie junge und ältere Menschen das spezifische Design von Automobilen wahrnehmen. Dabei haben wir uns folgende Fragen gestellt:

- Welche Faktoren (Kriterien) spielen bei unterschiedlichem Design eine Rolle?
- Wodurch stellen wir auf dem ersten Blick fest, wie sich diese Automobile vom Design her unterscheiden?
- Kann die Qualität eines speziellen Designs gemessen werden?
- Ist das Design eines Automobils in klassischer Weise mit nur drei physikalischen Größen (Material, Form und Farbe) vollständig erfassbar?

Aufgabe unserer Versuchspersonen war es, sechs Designkriterien zu benennen, die maßgebend für die subjektive Designwirkung von Automobilen sind. In der Gruppe „50+“ nahmen 9 Personen teil, das mittlere Alter betrug rund 57 Jahre; in der Gruppe „20+“ nahmen 40 Personen teil, das mittlere Alter betrug rund 23 Jahre.

Die Ergebnisse der ersten Untersuchungsphase, haben gezeigt, dass die Art und Weise wie ein Betrachter ein Automobil sieht vom Alter abhängig ist.

Andere Kriterien dieser Schnittmenge wie z.B. Fenstergestaltung, Form der Karosserie, Innenraumkomfort oder Sportlichkeit sind dagegen mehr fahrzeugspezifisch.

Betrachtet man diejenigen Kriterien, die allein von älteren Menschen (Ausschnitt ist in der Abb.1 links dargestellt) genannt wurden, stellt man fest, dass diese Kriterien (z.B. Ästhetik, Botschaft oder Harmonie) überwiegend nicht physikalisch messbare Größen sind und sich mehr in die Richtung Empfindung, Emotion, Spannung bewegen. Die Kriterien, die nur von jüngeren Menschen (Ausschnitt ist in der Abb.1 rechts dargestellt) genannt wurden, sind in der Mehrheit sehr fahrzeugspezifisch formuliert (z.B. Größe des Innenraums, Sounddesign). Die Formulierung von Designkriterien in beschreibender Form, wie „Funktionalität gepaart mit Eleganz“ oder „vom Fahrzeug vermittelte Lebenseinstellung“, „Optik assoziiert Geschwindigkeit“,

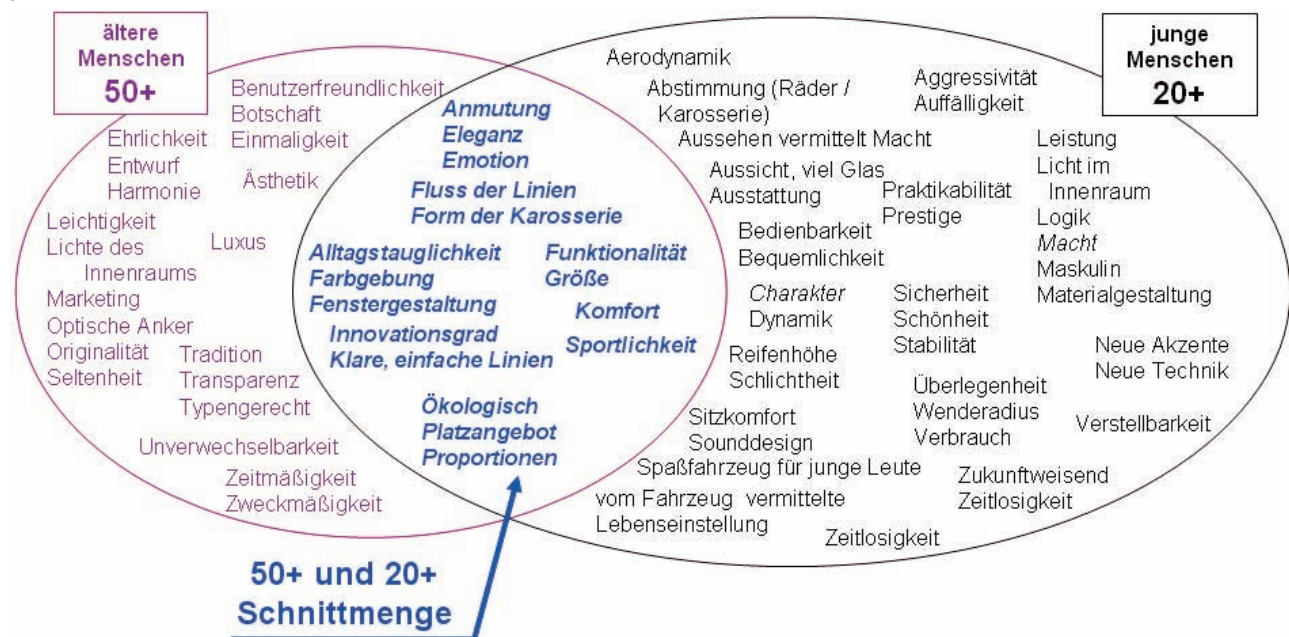


Abbildung 1: Designkriterien für junge und ältere Betrachter (Ausschnitt)

Bei den Kriterien die von den jungen und älteren VPn genannt wurden (siehe die Schnittmenge in Abb. 1), fällt auf, dass diese sehr allgemein gefasst sind. Solche Designkriterien, wie z.B. Eleganz, Farbgebung, Formgebung, Funktionalität, Größe und der gleichen können auch für das Design von Produkten jedweder Art herangezogen werden.

## "Design des Automobils"

### Zwei Stufen:

- Auswahl maßgeblicher Designkriterien (min. 6 , max. 20 aus 128)
- Bewertung ausgewählter Designkriterien nach deren Wichtigkeit



Auswahl maßgeblicher Designkriterien (ohne Begrenzung aus 128)

Aussortieren unmaßgeblicher Designkriterien

Zuordnung von Designkriterien zu vorgegebenen Gruppierungen

Abbildung 2: Hauptmenü des Programms „DESIGN“ und Darstellung der Aufgaben

Power“ oder emotional-qualitativ, wie „Kultfaktor“, „Macht“, „Prestige“ steht im Gegensatz zu physikalisch messbaren Kriterien wie „Wenderradius“ oder „Verbrauch“.

Nach der Zusammenfassung aller Kriterien in 13 Gruppen war es möglich, die Ergebnisse vergleichend zu analysieren. Ein eindeutiges Ergebnis der Untersuchung war, dass die Form eines Automobils unabhängig vom Alter des Betrachters hohe Priorität hat (das Kriterium „Form“ wurde am häufigsten in verschiedenen Formulierungen genannt). Die Funktionalität steht bei beiden Gruppen an dritter Stelle. Die Farbgebung ist vom Alter abhängig und spielt bei den jüngeren eine bedeutsamere Rolle im Vergleich zu älteren Menschen. Auffallend war, dass die Gruppe „50+“ das Kriterium Sicherheit und Stabilität mit dem Design nicht assoziiert, im Vergleich zur Gruppe „20+“. Das Designkriterium „Material“ wurde in Gruppe „50+“ gar nicht und nur zweimal in Gruppe „20+“ genannt (edle Materialien, Materialgestaltung).

### 3 Designkriterien und ihre Wichtigkeit, Phase 2

In der zweiten Phase war es Ziel der Untersuchung, die Wichtigkeit der gesammelten Kriterien genauer zu ermitteln und die Trennschärfe der einzelnen Kriterien - Gruppen zu überprüfen. Unsere

#### CP50 Skala Stellenwert/Wichtigkeit der Kriterien

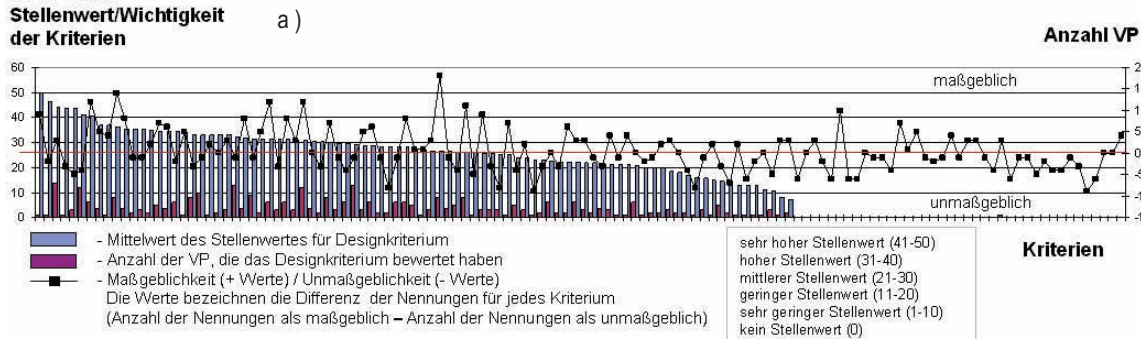
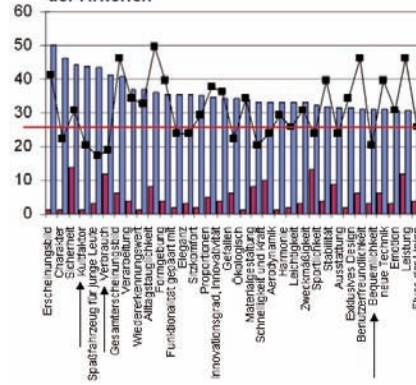
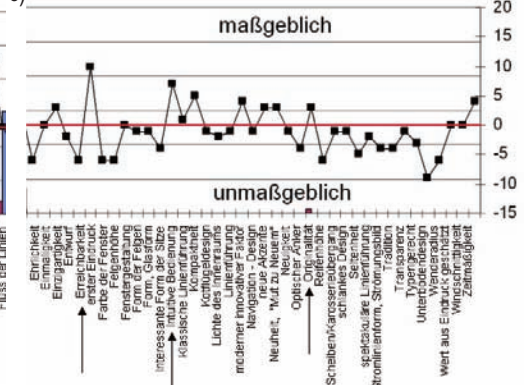


Abbildung 3: Grafische Darstellung der Ergebnisse: Stellenwert/ Wichtigkeit und Maßgeblichkeit

#### b) CP50 Skala Stellenwert/Wichtigkeit der Kriterien



c)



Versuchspersonen wurden zudem gefragt, ob sie die einzelnen Kriterien für maßgeblich oder unmaßgeblich halten. Dies hat dazu beigetragen, die Kriterien nicht nur zu sortieren sondern auch ganz erheblich zu reduzieren.

### 3.1 Experimentelles Design

Die Untersuchung wurde mit dem dazu speziell entwickelten Programm „DESIGN“ (s. Abb.2), durchgeführt. Es nahmen 40 Personen an der Untersuchung teil.

Das mittlere Alter betrug rund 23 Jahre.

An die Versuchspersonen wurden folgenden Aufgaben gestellt:

#### Aufgabe 1:

- Auswahl maßgeblicher Designkriterien (min. 6, max. 20 aus 128) und die Bewertung ihrer Wichtigkeit. Die VPn wurden gebeten, die Wichtigkeit (Stellenwert) eines jeden einzelnen Designkriteriums relativ zum Gesamteindruck des Designs mittels einer CP50 Skala festzulegen. Die CP50 Skala gilt als zuverlässige Skala und wurde für die Bewertung des Diskomforts bislang oft benutzt (siehe Wengi 1997, Zacher & Bubb 2004, Schaefer & Zacher 2007). CP50-Skala wurde für die Ermittlung des Stellenwerts eines Designkriteriums wie folgt festgelegt: kein Stellenwert (0); sehr geringer Stellenwert (1-10); geringer Stellenwert (11-20); mittlerer Stellenwert (21-30); hoher Stellenwert (31-40); sehr hoher Stellenwert (41-50). Dabei wurden die Versuchspersonen aufgefordert, zuerst eine Kategorie der CP50 Skala grob auszuwählen (z.B. das Kriterium hat einen mittleren oder hohen Stellenwert für den Gesamteindruck des Designs), um dann eine Feinjustierung nach Maßgabe der hinterlegten Skala vorzunehmen.

#### Aufgabe 2:

- Auswahl maßgeblicher Kriterien und Aussortieren unmaßgeblicher Designkriterien (ohne Begrenzung der Anzahl).



### Aufgabe 3:

• Zuordnung von Designkriterien zu vorgegebenen Gruppierungen: Form, Eleganz, Funktionalität, Emotion, Originalität, Innovativität, Tradition/Zweck, Größe, Sportlichkeit, Farbgebung, Verarbeitung, Ökologisch, Sicherheit und Sonstiges. Eine Mehrfachzuordnung ein und desselben Designkriteriums zu unterschiedlichen Gruppierungen war möglich.

### 3.2 Ergebnisse der zweiten Untersuchungsreihe Maßgeblichkeit und Wichtigkeit

Die Ergebnisse der zweiten Untersuchungsphase sind in den Abbildungen 3 und 4 dargestellt.

Aus Abb. 3 lässt sich folgendes erkennen:

- 75% aller Designkriterien wurde über die CP50 Skala ein Stellenwert zugeordnet (s. Abb. 3a). D.h. es gibt eine kleine Gruppe von 25% der Kriterien, der kein Stellenwert beige-messen wurde (s. rechter Teil der Grafik in Abb. 3a);
- beide Gruppen enthalten nicht nur maßgebliche (Punkte über der roten 0 - Linie, (+Werte)), sondern auch unmaßgebliche Kriterien (Punkte unter der roten 0 - Linie, (-Werte)). Die Werte selbst bezeichnen die Differenz der Nennungen für jedes Kriterium. Wurde ein Kriterium durch die gleich vielen VPn sowohl als maßgeblich als auch als unmaßgeblich bewertet, liegt der Punkt für Maßgeblichkeit/Unmaßgeblichkeit auf der roten 0-Linie.

In Abb. 3b und 3c sind diejenigen Designkriterien mit Pfeilen gekennzeichnet, die als unmaßgeblich gekennzeichnet wurden (s. Abb. 3 b: z.B. Kultfaktor, Verbrauch oder Bequemlichkeit), die aber gleichzeitig auch einen sehr hohen Stellewert haben.

Dagegen sind in Abb. 3c diejenigen Kriterien mit dem Pfeilen gekennzeichnet, die hohe Maßgeblichkeit aufweisen, aber keinen Stellenwert zugeordnet bekamen (Erster Eindruck, Intuitive Bedienung und Originalität).

Eine Reduktion der ursprünglichen Gesamtheit von 128 Designkriterien kann nach verschiedenen Methoden erfolgen:

Methode 1: - Es gilt Maßgeblichkeit ODER Stellenwert.

Methode 2: - Ein Versuch, mittlere Stellenwerte grob zu schätzen.

Dieses Verfahren kann wie folgt erklärt werden: In diesen Mittelwert gehen alle maßgeblichen Kriterien mit ihrem aktuellen Stellenwert ein. Darüber hinaus werden aber auch neutrale Kriterien und unmaßgebliche Kriterien mit festen Stellenwerten beachtet:

- Stellenwert = 15 bei neutralen Kriterien und
- Stellenwert = 5 bei unmaßgeblichen Kriterien.

Methode 3: - Prinzip der Dominanz: es werden nur diejenigen Kriterien ausgewählt, die „dominieren“: Nennungen für maßgeblich sind größer als für unmaßgeblich (in der Abb. 3a werden alle Kriterien aussortiert, die sich unter der roten 0 - Linie befinden).

In Abb. 4 sind drei Listen mit den jeweils 20 ersten Kriterien nebeneinander dargestellt. Diese wurden von links nach der Methode 1, 2 und 3 berechnet.

Die Schnittmenge aus allen drei Listen (s. Abb. 4) ergibt einen Satz von fünf wesentlichen Designkriterien:

- Gesamterscheinungsbild
- Alltagstauglichkeit
- Formgebung
- Funktionalität
- Innovationsgrad, Innovativität

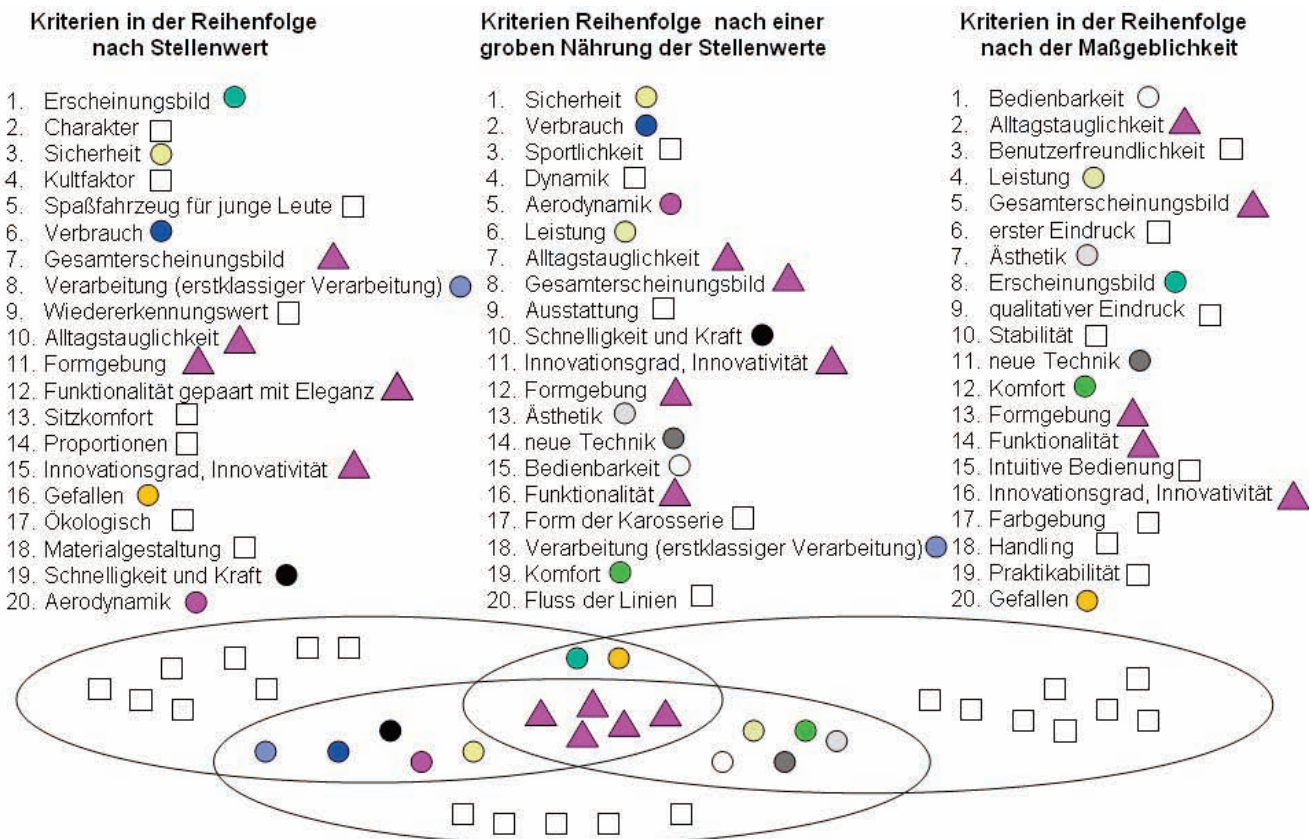


Abbildung 4: Reduzierung der Anzahl der Kriterien mit verschiedenen Methoden



Damit können wir unsere anfängliche Frage nach relevanten Designkriterien in etwa so beantworten:

-der klassische Satz mit dem Material, Form und Farbe muss erweitert werden;  
-es gibt zumindest vier weitere Kriterien, die für das Produktdesign maßgeblich zu sein scheinen:

- Gesamterscheinungsbild
- Alltagstauglichkeit
- Funktionalität
- Innovationsgrad, Innovativität

Wie genau dieser erweiterte Satz von 7 relevanten Kriterien unser Designempfinden im jeweiligen Einzelfall formt, bleibt noch Gegenstand weiterer Untersuchungen.

#### 4 Ausblick

Unser experimenteller Ansatz und das Erhebungs-Tool „Design“ haben sich bei diesen Untersuchungen bewährt. Mit geringeren programmtechnischen Änderungen eignet sich dieses Tool auch für andere Fragestellungen, insbesondere hinsichtlich einer möglichen Valenzskala oder „Welche Kriterien sind für Ergonomie, für Sicherheit oder auch für menschliche Zuverlässigkeit maßgeblich?“

Eine Untersuchung über die Designwirkung beliebiger Produkte haben wir bereits abgeschlossen. Diese Untersuchung basiert auf einer Gesamtheit von 75 Kriterien und erlaubt spezifische Auswertungen für unterschiedliche Benutzergruppen.

Im Übrigen lässt sich eine bestehende Akzeptanzanalyse, die schon für EKIDES (Jastrzebska-Fraczek et al., 2006) entwickelt worden ist, mit den gefundenen Designkriterien erweitern. Damit könnte ein Verfahren entstehen, das die spezifische Designwirkung beliebiger Produkte aus einem Satz relevanten Designkriterien prognostiziert.

#### 5 Literatur

Bubb, H. 2007, Ergonomie und Design. In: Braess, H - H. / Seiffert, U. 2007, Automobil-Design und Technik Formgebung, Funktionalität, Technik Aus der Reihe: ATZ-MTZ Fachbuch Vieweg Verlag, 240-262.

Bruder, R. 2004, Zur Zukunft von Ergonomie und Design – ein Vorwort. In: Tagungsband zur GfA Herbstkonferenz 2004 in Essen. Ergonomie und Design. Ergonomia Verlag Stuttgart.

Jastrzebska-Fraczek I., Schmidtke H., Bubb H., Karwowski W. 2006, Ergonomics Knowledge and Intelligent Design System (EKIDES) - Software Tool for Design, Assessment and Ergonomics Teaching in International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors, Second Edition, 2006 edited by W. Karwowski, Taylor & Francis p. 1613-1625

Schaefer, P., Zacher, I. 2007, Auf hedonistischen Pfaden – unterwegs zu autonomen Menschmodellen, 52. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, S.573 – 576, Magdeburg.

Wengi, Shen, Kenneth C.Parsons, 1997, Validity and reliability of rating scales for seat pressure discomfort, International Journal of Industrial Ergonomics, 20, 441-461.

Zacher, I., Bubb, H. 2004, Strength based discomfort model of posture and movement. SAE Digital Human Modeling for Design and Engineering Symposium, June 15-17, Rochester, Michigan, USA

## Haptische Konstanzleistung bei Drehstellern

Jörg Reisinger

Bedienelemente als Schnitt- oder Nahtstelle zwischen Mensch und Maschine erfahren in jüngerer Zeit zunehmend mehr Aufmerksamkeit. Ihre Bedeutung kommt mehr und mehr ins Bewusstsein und speziell die haptische Rückmeldung als Informationsträger wird zur Entlastung des oftmals überladenen visuellen Kanals gezielt optimiert, mit der Zielsetzung das Wertigkeitsempfinden und die Informationsklarheit der Übermittlung zu verbessern.

Neben der Aufgabe, die Information über eine erfolgte Betätigung möglichst schnell und eindeutig zu vermitteln sollen Bedienelemente einen positiven und, speziell im Kraftfahrzeug, einen einheitlichen, markentypischen Eindruck hinterlassen. Damit soll zunächst eine Meidung des Bedienelementes durch unangenehme Eigenschaften verhindert werden, darüber hinaus vielmehr ein Kaufanreiz durch den Beitrag zu einem hochwertigen Gesamteindruck erreicht werden.

Untersuchungen zu Auswirkungen von technischen Parametern (Reisinger et al., 2006 und 2007) lassen grundsätzlich die Frage der Übertragbarkeit der Ergebnisse offen. Im Zusammenhang mit Bedienelementen ist in einem Cockpit deren Anordnung im Raum bezüglich des Bedieners von Bedeutung. Es ist nicht geklärt, ob sich Rastungen von waagrecht in der Mittelkonsole angeordneten Drehsteller gegenüber senkrecht im Dachhimmel angeordneten haptisch unterscheiden. Ebenso ist nicht näher untersucht, ob die freihändige gegenüber einer im Unterarm abgestützten Betätigung einen Ein-

fluss auf die haptische Wahrnehmung hat. In beiden Fällen wirken zusätzlich haltungs-basierte Kräfte des Hand-Arm-Schulter-Systems und es stellt sich die Frage, ob diese Kräfte einen Einfluss auf die menschliche haptische Wahrnehmung haben.

#### 1 Konstanzleistung

Die menschliche Wahrnehmung ist ein komplexes Gebilde mit einer Vielzahl von Mechanismen zur Aufbereitung und Selektion erfasster Information.

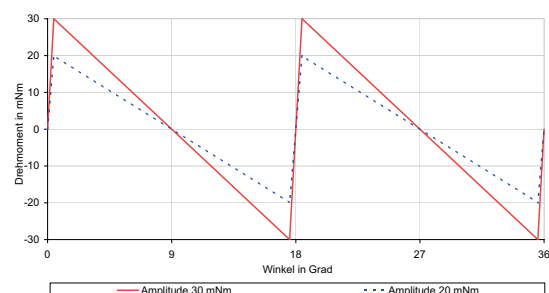


Abbildung 1: Beispielhafte Variation der Drehmoment-Drehwinkel-Kennlinien ohne Reibungsanteil. Es werden nur die Drehmoment-Amplituden skaliert, die Verlaufsform bleibt gleich.

Einer dieser Mechanismen ist die Konstanzleistung. Unter menschlicher Konstanzleistung versteht man die Fähigkeit des menschlichen Wahrnehmungsapparates, Informationen über die Umwelt unter wechselnden Umwelteinflüssen sicher und unverfälscht zu erkennen. Dabei ist keine bewusste Konzentration oder Auseinandersetzung mit der Information erforderlich um diese korrekt zu erkennen; die Leistung wird unbewusst erbracht.

### 1.1 Optische Konstanzleistung

Wird über Konstanzleistung gesprochen ist meist die optische Konstanzleistung gemeint. Sie umfasst mehrere Aspekte der Wahrnehmung. Es werden Farbkonstanz, Helligkeitskonstanz, Größenkonstanz und Formkonstanz unterschieden (Konstanz, 2007). Dabei spielt die Farbkonstanz in der Wissenschaft eine besondere Rolle und ist schon seit geraumer Zeit Bestandteil von Untersuchungen, wie z. B. Judd (1940), Helson et al. (1952 und 1956), Westermann (1975), Braun (1983), Hurlbert (1989), Lange-Malecki (1990) und Fuchs (1992). Die Farbkonstanz beschreibt die Fähigkeit des menschlichen Sehapparates, Farben unter verschiedenen Beleuchtungsbedingungen wieder zuerkennen. Die Problematik des Sehens stellt hierbei die Veränderung des reflektierten Farbspektrums in Abhängigkeit vom Spektrum der Lichtquelle dar. Trotz der daraus resultierenden spektralen Verschiebung ist es jedoch möglich Farben als solche wieder zuerkennen. Der Sehapparat muss demzufolge Informationen über die Beleuchtungsbedingungen dazu verwenden um die Farbverschiebung zu kompensieren. Fischer (1994) bezeichnet die Konstanzleistung als evolutionäre Errungenschaft der Qualität Farbe, welche eine überlebenswichtige Rolle gespielt haben muss.

### 1.2 Haptische Konstanzleistung

Es ist nahe liegend, dass auch in der haptischen Wahrnehmung Arten der Konstanzleistung existieren, sind doch mechanische Störgrößen wie Haltungseinflüsse oder äußere Störkräfte in Form von Beschleunigungen, unterschiedlichen Bewegungsabläufen oder Stellungen des Skelettes alltäglich. Diese Einflüsse verändern die Bewegungsabläufe beim Ertasten und die an den Schnittstellen wirkende Kräfte, weshalb es keineswegs selbstverständlich ist, dass die absolut wahrgenommenen Größen unbeeinflusst sind. Haptisch gesehen würde Konstanzleistung demzufolge bedeuten, dass die entsprechenden Störgrößen erkannt und durch ‚Herausrechnen‘ berücksichtigt werden. Damit können die haptischen Eigenschaften, z. B. Körper und Objekte bzw. weitere mechanische Eigenschaften wie das Nachgeben oder Brechen eines Astes, erkannt werden.

In Bezug auf die oben zitierte evolutionäre Errungenschaft ist die Entwicklung einer haptischen Konstanzleistung anzunehmen, da davon auszugehen ist, dass dem Menschen das reproduzierbare Ertasten von Gegenständen oder das Erkennen mechanischer Eigenschaften in verschiedensten Situationen grundlegend die Überlebenschancen verbessern kann.

Vor diesem Hintergrund kann auch für Bedienelemente bzw. deren Rast- und Tastverhalten bei unterschiedlicher Armhaltung eine Form haptischer Konstanzleistung vermutet werden.

## 2 Versuchsreihen

In zwei Versuchen sollen Einflüsse bezüglich der Abstützung des Unterarmes und die Lageabhängigkeit haptischer Wahrnehmung bei Drehstellern untersucht werden.

Sollte kein Einfluss festgestellt werden, so kann von einer Übertragbarkeit der Ergebnisse und damit dem Vorhandensein der entsprechenden haptischen Konstanzleistung ausgegangen werden. Im anderen Fall sind weitergehende Untersuchungen notwendig.

### 2.1 Methodik

Bei den beschriebenen Versuchen handelt es sich um haptische Paarvergleiche an Simulatoren für rotatorische Bedienelemente, wie sie bei Reisinger et al. (2006) eingesetzt worden sind. Es kommen gleichförmige Drehmoment-Drehwinkel-Kennlinien nach Reisinger et al. (2007) der Form „steiler Sägezahn“ zum Einsatz, deren Drehmomentamplituden variiert werden (vgl. Abbildung 1). Das Bedienelement hat 20 Detents (Rastungen) und Drehmomente im Bereich von 10 bis 40 mNm. Das Reibmoment liegt bei 4 mNm.

Den Versuchspersonen (VPn) werden nun verschiedene Paarungen auf verschiedenen Drehmomentniveaus vorgestellt. Zwischen den Partnern der Paarungen können die VPn beliebig häufig selbst wechseln und haben nun die Aufgabe zu unterscheiden ob die jeweiligen Paarungen ‚gleich‘ oder ‚ungleich‘ sind.

Das Antwortverhalten ‚gleich‘ aller VPn wird anschließend über der relativen Drehmomentdifferenz der Paarungen aufgetragen. Die entstehende Verteilung wird durch eine Regressionsfunktion in Form einer Gauß'schen Normalverteilung beschrieben (vgl. Gleichung 1). Die Näherung wird mit der Methode der kleinsten Fehlerquadrate durchgeführt. Als Parameter der Näherung werden der Mittelwert  $\mu$ , die Standardabweichung  $\sigma$  und die Amplitude  $a$  der Funktion verwendet.

$$f(x) = a \cdot \left( \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x-\mu}{\sigma} \right)^2} \right)$$

Existiert eine haptische Konstanzleistung bezüglich der Drehmomente bei Drehstellern, so muss die höchste Übereinstimmung bei tatsächlich gleichen Paarungen bestehen und damit der Mittelwert der Verteilung bei 0% liegen. Ist die maximale Übereinstimmung jedoch einseitig verschoben, so handelt es sich um eine Einschränkung oder sogar um ein nicht Vorhandensein haptischer Konstanzleistung, was eine Übertragbarkeit der Ergebnisse einschränkt und weitere Untersuchungen zum jeweiligen Einfluss erfordert.



Abbildung 2: Sitzbox zur Durchführung von Versuchen zu haptischer Konstanzleistung. Es können mehrere Simulatoren integriert werden.

Tabelle 1: Im Versuch vorgestellte Paarungen

Nr.	Drehmoment in mNm		relative Differenz
	frei	abgestützt	
1	10,4	11,8	13,5%
2	13,3	11,0	-17,3%
3	11,0	13,3	20,9%
4	24,3	32,6	34,2%
5	11,1	11,0	-0,9%
6	11,8	24,5	107,6%
7	11,8	24,5	107,6%
8	11,1	20,5	84,7%
9	12,0	19,5	62,5%
10	10,8	10,6	-1,9%
11	26,6	26,6	0,0%
12	30,0	30,0	0,0%
13	37,0	31,3	-15,4%
14	10,0	8,75	-12,5%
15	8,75	10,0	14,3%
16	15,5	13,5	-12,9%
17	13,5	15,5	14,8%
18	11,8	24,3	105,9%
19	31,6	24,0	-24,1%
20	26,6	31,6	18,8%
21	31,6	26,6	-15,8%

## 2.2 Versuchsaufbau

Die Versuche werden mit der in Abbildung 2 dargestellten Sitzbox durchgeführt. Sie ist am Kraftfahrzeug orientiert und bietet die Möglichkeit verschiedene Simulatoren für Bedienelemente in verschiedenen Lagen zu positionieren. Die VPn sind aufgefordert, die Sitzposition so einzustellen, dass sie alle Bedienelemente bequem erreichen können.

Die Drehknöpfe sind 460 mm rechts der Mitte des Sitzes angeordnet.

In der Mittelkonsole ist der Drehknopf waagrecht ca. 560 mm über der Sitzschiene des Sitzes und mit rund 400 mm waagrechtem Abstand zur Fußstütze angeordnet. Bei der Über-Kopf-Anordnung ist der Drehknopf senkrecht 1080 mm über der Sitzschiene sowie mit rund 520 mm waagrechtem Abstand zur Fußstütze platziert.

## 2.3 Einfluss einer Abstützung am Unterarm

Im ersten Versuch wird an einem Simulator für rotatorische Bedienelemente der Einfluss der Abstützung am Unterarm geprüft. Dabei wird vom Versuchsleiter durch Aufforderung der VPn zwischen abgestützter und nicht abgestützter Charakteristik umgeschaltet und dementsprechend eine Armstütze eingesetzt. Dabei wird vom Versuchsleiter auf die richtige Verwendung der Armstütze geachtet.

Am Versuch haben 29 Versuchspersonen, davon zwölf weibliche und 17 männliche, im Alter von 21 bis 65 Jahren, mit durchschnittlich 38,6 Jahren und einer Standardabweichung von 14,4 Jahren, teilgenommen. Ihnen wurden in zufällig ausgewählter Reihenfolge 21 Paarungen nach Tabelle 1 vorgestellt.

Das Antwortverhalten bezüglich der Übereinstimmung der Kennlinien ist gemeinsam mit der Regressionsfunktion in Abbildung 4 dargestellt. Die Näherung der Funktion ergibt einen Mittelwert von 0%, eine Standardabweichung von 31,4% und einen Amplitudenfaktor von 54%.

Von Interesse ist in erster Linie der Mittelwert der Funktion, die keine Abweichung der Wahrnehmung zwischen abgestützter und

freier Betätigung zeigt. Demzufolge können Drehmomentamplituden von Bedienelementen unabhängig von der vorgesehenen Abstützungsart haptisch ausgelegt werden.

Es bleibt aber zu beachten, dass dynamische Effekte wie Erschütterungen gerade während der Fahrt das Auffinden, Treffen und Betätigen der Bedienelemente erschweren können. Dies hängt jedoch nicht mit einer Beeinflussung der haptischen Wahrnehmung, sondern vielmehr mit Trägheitseffekten des Hand-Arm-Systems zusammen. Dieser Störung kann durch eine Abstützung des Unterarms begegnet werden. Eine Anpassung des Drehmoment-Drehwinkel-Verlaufes an die Art der vorgesehenen Abstützung ist jedoch nicht erforderlich.

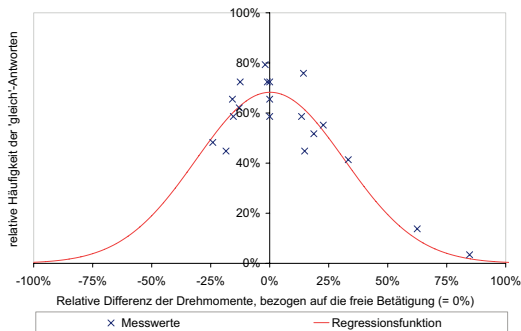
## 2.4 Einfluss der Lage des Bedienelementes

Im zweiten Versuch wird der Einfluss der Lage auf die haptische Wahrnehmung untersucht. Dabei kommen zwei Simulatoren für Drehsteller zum Einsatz, einer wie schon im vorigen Versuch waagrecht in der Mittelkonsole integriert und ein weiterer über Kopf senkrecht eingebaut (vgl. Abbildung 5). Dies entspricht der Einbaulage eines Bedienelementes im Dachhimmel eines Kraftfahrzeugs. Es werden nun paarweise an den Simulatoren für Drehsteller die Charakteristika vorgestellt. Die VPn haben wiederum die Aufgabe, zu entscheiden, ob beide Kennlinien übereinstimmen oder nicht. Abbildung 5 zeigt die Anordnung der Bedienelemente in der Sitzbox. Beide Simulatoren werden zu Beginn der Versuchsreihe abgeglichen. Um den Einfluss etwaiger Differenzen weiter zu reduzieren, wird eine spezielle Versuchsstrategie angewandt: Die Versuchsreihe wird zweimalig durchgeführt und dabei die Hardware Simulatoren von unten nach oben und umgekehrt getauscht. Zudem werden jeweils zwei VPn-Gruppen befragt, denen jeweils die Paarungen, oben und unten getauscht, vorgestellt werden. Damit sollen zum



Abbildung 3: Betätigung des Bedienelementes in der Mittelkonsole mit abgestütztem Unterarm.





**Abbildung 4:** Messwerte im Versuch zur Abstützung mit Gauß'scher Normalverteilung als Regressionsfunktion. Das maximale Drehmoment bei freier Betätigung wird als Bezugsgröße verwendet.

einen o. g. Einflüsse durch Differenzen der Hardware minimiert und zum anderen eine eventuell einseitige Ausprägung der Versuchspaarungen ausgeglichen werden.

Am Versuch haben 14 Versuchspersonen, davon zwei weibliche, teilgenommen. Das Versuchspersonenkollektiv liegt im Alter von 23 bis 48 Jahren, mit einem Altersdurchschnitt von 28,1 Jahren bei einer Standardabweichung von 6,1 Jahren. In Tabelle 2 sind die vorgestellten Paarungen geordnet nach Drehmomentdifferenzen dargestellt.

Das Antwortverhalten beider Gruppen ist in Abbildung 6 a und b dargestellt. Bezugsgröße ist hierbei das maximale Drehmoment des in der Mittelkonsole befindlichen Simulators.

Die Regressionsfunktion ergibt einen Mittelwert von  $\mu_1 = 102,7\%$  für Gruppe 1 bzw.  $\mu_2 = 103,2\%$  für Gruppe 2, was zunächst so gedeutet werden kann, dass das Bedienelement im Dachhimmel etwas schwerer empfunden wird, als das in der Mittelkonsole. Demzufolge müsste die Regressionsfunktion mit dem oben angeordneten Bedienelement als Bezugsgröße einen Mittelwert kleiner als 100% annehmen, was allerdings, wie in Tabelle 3 ersichtlich, nicht so ist: Die Gruppen haben vergleichbare Mittelwerte größer 100%, was in diesem Fall widersprüchlich aussagt, dass das Bedienelement in der Mittelkonsole schwerer empfunden wird, als das im Dachhimmel.

Dieser Widerspruch ist ein Hinweis auf Ungenauigkeiten, die zum einen durch das Näherungsverfahren, vor allem aber durch die geringe Anzahl von insgesamt 14 Versuchspersonen und damit jeweils nur sieben (!) VPn je Gruppe erklärbar ist. Demzufolge kann diese Abweichung als Messungenauigkeit eingestuft werden.

Würde dennoch von einer Differenz von rund 3% ausgegangen, so läge diese eindeutig unterhalb der Differenzschwellen für Kräfte, die im Bereich von 5-7% liegen, weshalb eine solche Anpassung als nicht wahrnehmbar einzustufen ist.



**Abbildung 5:** Betätigung des über Kopf angeordneten Bedienelementes bei der Versuchsreihe zur Lagekonstanz.

Zusammenfassend lässt sich daher kein eindeutiger Einfluss der Lage auf die Wahrnehmung des Drehmomentes beobachten, d. h. die Versuchspersonen haben gleiche Bedienelemente auch am häufigsten als gleich erkannt. Daher wird die Existenz einer Lagekonstanz bezüglich des Drehmomentes bei rotatorischen Bedienelementen als gegeben betrachtet.

**Tabelle 2:** Im Versuch vorgestellte Paarungen sortiert nach relativer Drehmoment-Differenz.

Drehmomentdifferenz	Kennlinie A in mNm	Kennlinie B in mNm
20%	6	30
40%	8	20
62%	16	26
71%	10	14
75%	9	12
80%	24	30
83%	10	12
86%	19	22
88%	22	25
91%	20	22
95%	19	20
96%	25	26
100%	30	30
100%	9	9
100%	24	24
100%	16	16
104%	25	24
105%	20	19
110%	22	20
111%	10	9
114%	16	14
115%	30	26
119%	19	16
120%	24	20
125%	10	8
133%	8	6
140%	14	10
158%	30	19
179%	25	14
200%	20	10

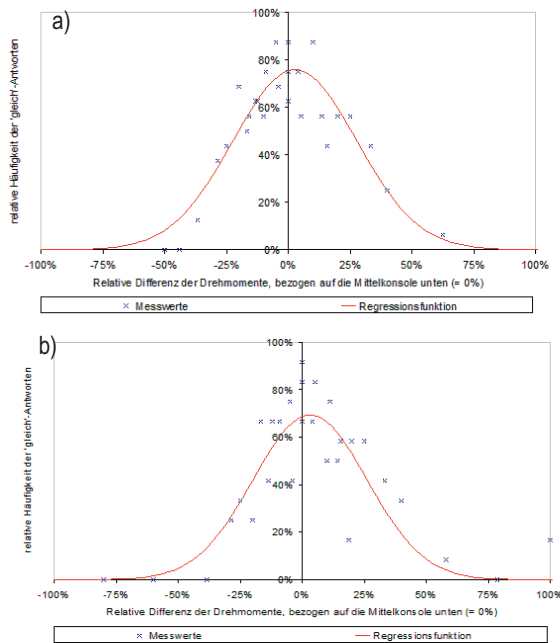
### 3 Zusammenfassung, Diskussion und Ausblick

Beide Versuche zeigen das Vorhandensein haptischen Konstanzleistung auf. Die Bedienelemente können eindeutig unter verschiedenen Umgebungsbedingungen zugeordnet werden.

Demzufolge müssen bei rotatorischen Bedienelementen keine Drehmomentanpassungen bei unterschiedlicher Lage der Bedienelemente oder zusätzlicher Abstützung des Unterarmes durchgeführt werden.

Eine Drehbewegung bei der Betätigung eines Drehstellers verläuft unabhängig von der Bewegung beim Positionieren des Arms. Dieser bewegt die Hand translatorisch zum Bedienelement, während diese dann eine rotatorische Bewegung ausführt. D. h. das Arm-Schulter-System positioniert letztlich nur die Hand, welche dann die Drehung ausführt. Bei Drucktastern kann der Arm jedoch vor allem bei der über Kopf Betätigung in den Betätigungsvorgang aktiv einbezogen sein, weshalb hier ein größerer Einfluss zu erwarten ist.

Demgegenüber zeigt jedoch der Versuch zur Abstützung, Argumente auf, die für eine Übertragbarkeit sprechen: Abgestützt, wird die Drehbewegung im Handgelenk fokussiert, während eine freie Betätigung eine stärkere Drehung aus dem Unterarm heraus zulässt. Die Versuche zeigen jedoch, dass bei Drehstellern kein Unterschied feststellbar ist, der Menschliche Wahrnehmungsapparat demzufolge also in der Lage ist, dieselben mechanischen Eigenschaften eines Objektes – hier Drehsteller – bei unterschiedlichen Eigenbewegungen des Körpers zu identifizieren. Dass diese Fähigkeit auch bei Drucktastern gegeben ist, liegt daher nahe.



**Abbildung 6:** Messwerte im Versuch zur Lage mit Gauß'scher Normalverteilung als Regressionsfunktion. Das maximale Drehmoment des unten in der Mittelkonsole angeordneten Bedienelementes wird als Bezugsgröße verwendet. (a) Gruppe 1, (b) Gruppe 2

In der Automobilbranche ist es üblich, Taster im Dachhimmel etwas schwächer auszulegen, als vergleichbare an anderer Stelle. In Bezug auf die aufgeführten Überlegungen spricht das zunächst gegen eine Übertragbarkeit. Allerdings kann dies auch mit Bestrebungen zusammenhängen, dem Diskomfort der durch das Heben des Armes entsteht, mittels geringer Schaltkräfte entgegenzuwirken. Dies hängt jedoch nicht mit einer Unterscheidbarkeit von Bedienelementen zusammen, sondern mit einem gesamten Komforteindruck, hervorgerufen durch unterschiedliche Körperhaltungen. Um eine fundierte Aussage bezüglich der Übertragbarkeit auf Drucktaster treffen zu können, sind jedoch weitere vergleichbare Versuche mit Drucktastern erforderlich.

#### 4 Literatur

- Braun, 1983 Stephanie Braun,  
„Schwellenuntersuchungen zu basalen Mechanismen der Farbkonstanz“, Dissertation, RKU Heidelberg, 1983.
- Fischer, 1994 Ernst-Peter Fischer,  
„Die Wege der Farben: vom Licht zum Sehen und über die Gene zum Gehirn“, Konstanz. Regenbogen Verlag Klaus Stromer, 1994.

- Fuchs, 1992 H. Fuchs  
„Eine Experimentelle Untersuchung zur Farbkonstanz“, Regensburg: Roderer, 1992.
- Helson et al., 1952 H. Helson, D. B. Judd, M. H. Warren  
„Object-colour changes from daylight to incandescent filament illumination“, *Illumination Engineering*, 47, 221-223, 1952.
- Helson et al., 1956 H. Helson, D. B. Judd, M. Wilson,  
„Color rendition with fluorescent sources of illumination“, *Illumination Engineering*, 51, 329-346, 1956.
- Hurlbert, 1989 A. C. Hurlbert,  
„The computation of color“, MIT Artificial Intelligence Laboratory, Technical Report 1154, Massachusetts Institute of Technology, 1989.
- Judd, 1940 D. B. Judd,  
„Huesaturation and lightness of surface colours with chromatic illumination“, *Journal of the Optical Society of America*, 30, 2-32, 1940.
- Konstanz, 2007 Konstanz,  
Konstanzphänomene Digitale Bibliothek Band 83: Wörterbuch Psychologie, S. 1539 (vgl. WB Psych., S. 268-269), (2007).
- Lange-Malecki, 1990 B. Lange-Malecki,  
„Achromatische und chromatische Kontrast- und Konstanzleistungen des visuellen Systems beim Menschen“, Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen, 1990.
- Reisinger, 2006 J. Reisinger, J. Wild, G. Mauter, H. Bubb,  
„Haptical feeling of rotary switches“, *Proceedings of Euro haptics2006 (EHC2006)*, p.49 - 55, 3.-6.7., Paris, France, 2006.
- Reisinger, 2007 J. Reisinger, J. Wild, G. Mauter, H. Bubb,  
„Haptische Optimierung der Mensch-Maschine-Schnittstelle Bedienelement“, Bericht zum 53. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaften, p. 361 - 364, 28.2.-2.3., Magdeburg, Germany, 2007, ISBN 978-3-9636804-04-1.
- Westermann, 1975 Arnim Westermann,  
„Über den Zusammenhang von Farbkontrast, Angleichung und -konstanz“, Dissertation, WWU Münster, 1975

**Tabelle 3:** Mittelwerte  $\mu$  der Regressionsfunktionen. Die Funktionen widersprechen sich teilweise, was als Hinweis auf eine Messungenauigkeit gewertet werden muss.

Bezugsgröße	Gruppe 1	Gruppe 2	Ergebnisse beider Gruppen gemeinsam
<b>Oberes Bedienelement im Dachhimmel entspricht 100%</b>	<b>103,7 %</b>	<b>101,7 %</b>	<b>102,9 %</b>
<b>Unteres Bedienelement in der Mittelkonsole entspricht 100%</b>	<b>102,7 %</b>	<b>103,2 %</b>	<b>102,7 %</b>

# Wirbelsäulenbelastung im Automobil und Ableitung einer automatischen Sitzkomforteinstellung

R. Zenk

Erstmals wurde in einem Fahrzeugsitz eine Bandscheibendruckmessung am Menschen (in vivo) bei unterschiedlichen Sitzeinstellungen durchgeführt. Die Implantation der Drucksensoren mittels Endoskop-technik wurde von Dr. Hoogland an der Alpha Klinik in München ausgeführt. Die invasive medizinische Untersuchung geschah auf eigene Anregung der Versuchsperson und vollkommen freiwillig. Die Versuche wurden mit Zustimmung und unter der Aufsicht der Ethikkommission (Berlin) durchgeführt.

## Implantierung der Messsonden

Zwei flexible Druckaufnehmer wurden mittels der Endoskoptechnik operativ unter sterilen Bedingungen (siehe Abbildung 1) direkt im Nucleus pulposus (Gallertkern) der Bandscheiben L4-L5 und L5-S1 implantiert (siehe Abbildung 2). Die beiden eingesetzten Sensoren stammen vom Mammendorfer Institut für Physik und Medizin und haben einem Durchmesser von 1,45 mm, was in etwa der Dicke eines Streichholzes entspricht. Für die Datenermittlung führen zwei Kabel aus dem unteren Rückenbereich heraus, die lokal an der oberen Hautschicht vernäht werden, um ein Herausrutschen der Sensoren zu vermeiden. Eine Verletzung der Rückenmarksnerven ist nahezu auszuschließen; auch die Infektionsgefahr ist durch gezielte Vorsichtsmaßnahmen gering.

Insgesamt wurden über einen Zeitraum von ca. acht Stunden Übungen aus dem Physiotherapie-Bereich, Tätigkeiten in und um das Automobil und Aktivitäten aus dem Alltagsleben aufgezeichnet. Die Sensoren wurden am Morgen unter lokaler Betäubung implantiert und am späten Nachmittag, nach Abschluss des Untersuchungsprogramms, wieder entnommen. Noch am selben Tag war es dem Probanden möglich, einen Nachhauseweg im eigenen Fahrzeug von über 200 km zurückzulegen.



Abbildung 1: Implantierung der Messsonden mittels Endoskopie in den Bandscheiben L4-L5 und L5-S1

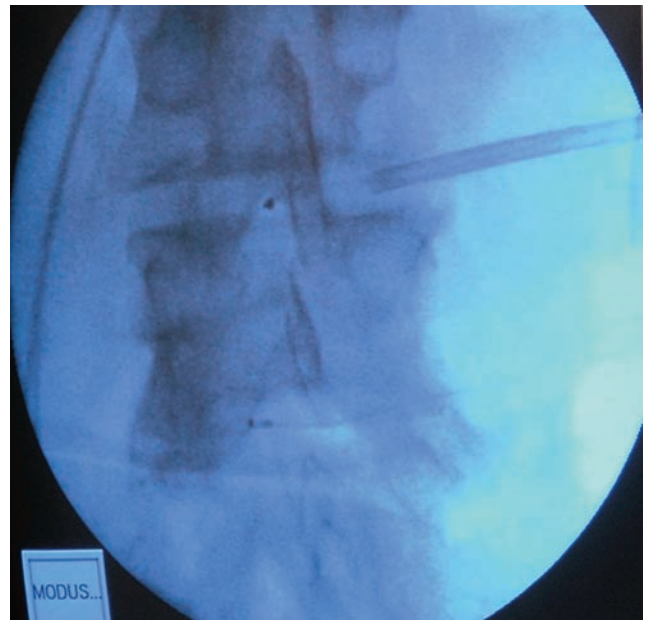


Abbildung 2: Röntgenaufnahme (dorsal) des Lendenwirbelsäulenbereichs; unten: Sensor ist bereits implantiert; oben: Sensor wird über Endoskop gerade implantiert

## Versuchsdurchführung

Für diese Studie wurde ein aktueller 7er BMW (E65) verwendet – ausgestattet mit einem Multifunktionssitz, mit welchem es möglich ist, eine ideale Sitzposition einzustellen. Das Messequipment bestand aus den Drucksensoren in den Bandscheiben und einer Druckmessmatte auf der Sitzfläche. Die Druckmessmatte (Tekscan) wurde nur auf der Sitzfläche und nicht an der Rückenlehne aufge-

legt, um jegliche Komplikationen zwischen der Bandscheibendruckmessung und der Kontaktflächenmessung zu vermeiden. Zunächst wird eine ideale Lastverteilung auf der Basis der Untersuchungen von Mergl (2006) eingestellt, die sowohl für Kurz- als auch für Langzeit bestätigt werden konnte. Die Last auf der Sitzfläche sollte sich so verteilen, dass 50-65% auf den Sitzbeinhöckern und 6% auf den vorderen Oberschenkeln zum Liegen kommen. Abweichend davon wird eine Variation der Sitzflächeneinstellung mit einer maximalen und minimalen Unterstützung der vorderen Oberschenkel geschaffen; dabei bleibt die Lehneneinstellung immer unverändert. Die Sitzeinstellung und die Ergebnisse sind in Abbildung 3 dargestellt.

## Ergebnisse

Bei „idealer“ Sitzeinstellung ist der Bandscheibendruck (im Nucleus pulposus) signifikant am geringsten und hat einen Wert von



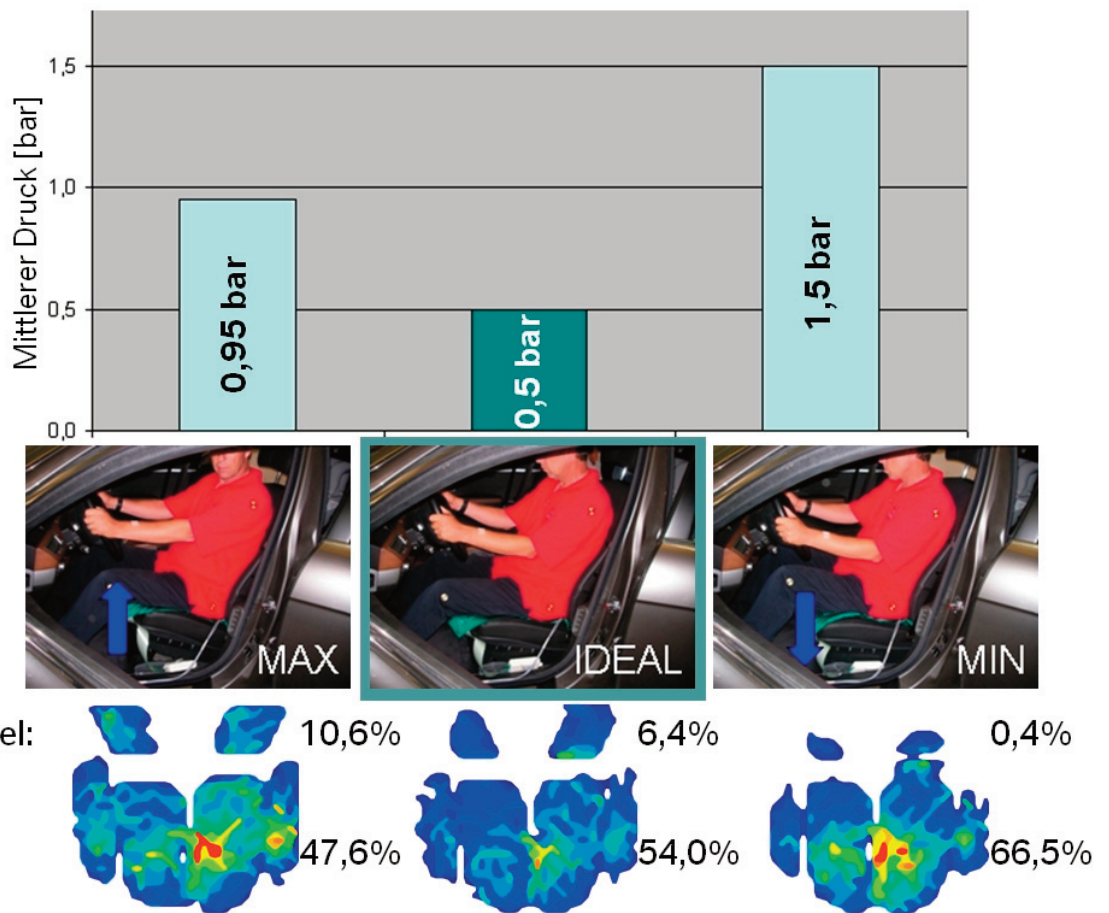


Abbildung 3: Prozentuale Lastverteilungen auf der Sitzfläche und daraus resultierender Bandscheibendruck bei unterschiedlichen Sitzeinstellungen

0,5 bar. Bei einer maximalen Unterstützung des vorderen Oberschenkelbereichs durch maximale Sitzflächenneigung und Ausfahren der Sitztiefenverstellung wird der Druck nahezu verdoppelt (0,95 bar). Der höchste Druck in der Bandscheibe (1,5 bar) wurde durch eine minimale vordere Oberschenkelunterstützung erreicht. Dabei musste der Proband seine vorderen Oberschenkel eigenständig in dieser Position halten, was zu einem deutlichen Druckanstieg in der Bandscheibe führte.

Die Ursache für einen Druckanstieg ist eine Kombination aus Verbiegung und Stabilisation der Wirbelsäule durch Muskelkontraktion und ein Zusammenhalten durch die Ligamenten. Bei einer nicht optimalen Sitzposition wird eine höhere Muskelaktivität für die Stabilisierung gefordert, was zu einem deutlich höheren Druck in der Bandscheibe führt. In diesem Fall steigt der Druck von 0,5 bar („ideale“ Sitzposition) auf bis zu 1,5 bar (minimale Unterstützung der vorderen Oberschenkel). In der ersten Sitzposition ist der Muskel Iliop-

soas entspannt, während er in der zweiten Körperhaltung statische Haltearbeit leisten muss, um die Oberschenkel in einer komfortablen Position zu halten. In einer vorausgehenden Studie wurde die Muskelspannung des musculus erector spinae mit einem EMG in den oben genannten drei unterschiedlichen Sitzpositionen gemessen. Dabei war die Muskelanspannung in den beiden von der „idealen“ Sitzposition abweichenden Körperhaltungen signifikant höher. In einer gut unterstützten Sitzposition mit „optimaler“ Lastverteilung ist somit die Muskelaktivität niedrig. Infolgedessen wirkt auf die Bandscheiben eine geringere Last.

### Fazit

Mit Hilfe dieser einmaligen Untersuchung konnte die ideale Druckverteilung (nach Mergl, 2006) verifiziert werden: Die ideale Druckverteilung erzielt den geringsten Bandscheibendruck beim Sitzen im Au-

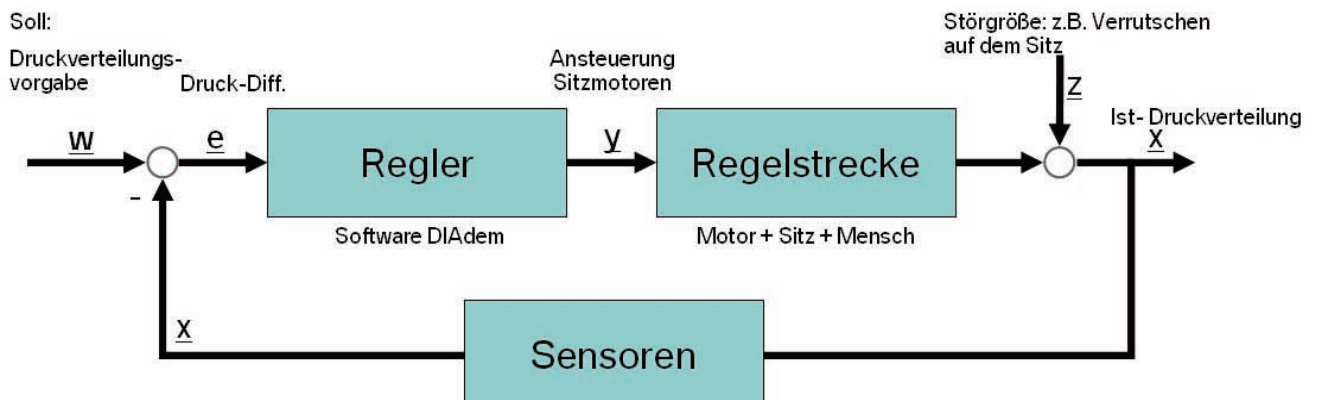


Abbildung 4: Regelkreis – Automatische Sitzkomfoteinstellung

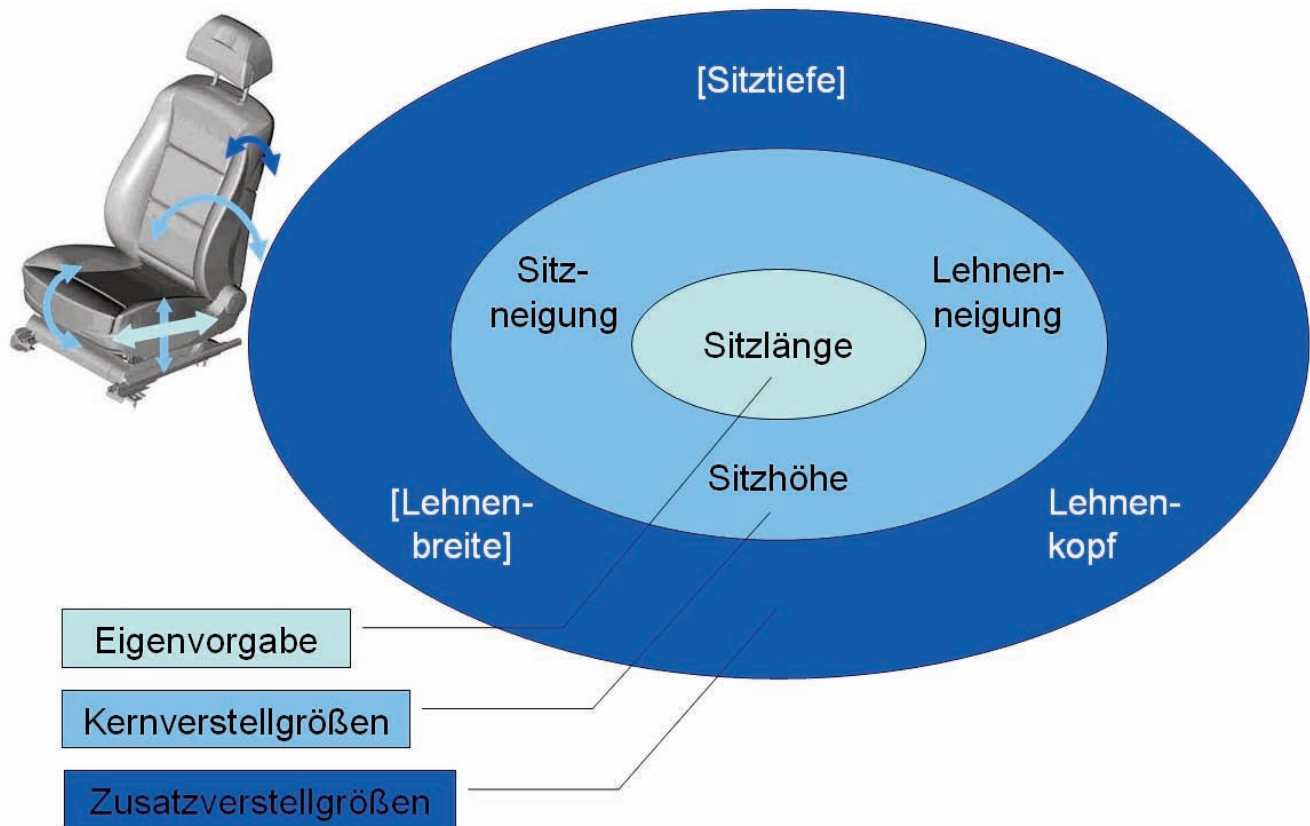


Abbildung 5: Reihenfolge der Ansteuerung der Verstellmotoren: Eigenvorgabe – Kernverstellgrößen – Zusatzverstellgrößen

tomobil. Erstmals konnten die auf subjektiven Interviews basierenden Ergebnisse objektiv mittels einer medizinischen Studie nachgewiesen werden. Ein maximaler Komfort wird also in der idealen Sitzposition bei optimaler Druckverteilung gewährleistet. So ergibt sich die Möglichkeit, Komfort einzustellen, der auch für Langzeit validiert ist.

### Ausblick

In einer vorangestellten Studie wurde dem Proband die Möglichkeit gegeben, sich den Sitz selbst einzustellen. Dabei war es ihm in vier Versuchen nicht möglich, eine ideale Sitzeinstellung zu finden, die einen geringstmöglichen Bandscheibendruck erzielt. Die Druckwerte in den Bandscheiben lagen alle deutlich über denen der idealen Sitzeinstellung.

Daher ist es naheliegend, dem Insassen eine Zusatzfunktion zur Seite zu stellen, die es ermöglicht, dass sich der Autositz so an den Fahrzeuggast anpasst, dass er in einer idealen Druckverteilung zum Sitzen kommt und somit den geringsten Bandscheibendruck erreicht. Eine kundenwertige Umsetzung könnte mittels einer automatischen Sitzkomforteinstellung auf Basis der idealen Druckverteilung geschaffen werden. Vorab bedarf es eines Sitzes, der sich aufgrund seiner Verstellmöglichkeiten ideal einstellen lässt. Zudem werden Drucksensoren im Sitz selbst benötigt, um bei eingesessenem Zustand den Ist-Druck zu messen, und ein Regler, damit man zur prozentualen Soll-Vorgabe gelangt (siehe Abbildung 4). Wird beispielsweise unter den vorderen Oberschenkeln ein zu hoher Druck erzielt, stellt sich die Sitzflächenneigung automatisch flacher ein, so dass der Druck deutlich abnimmt. Gleichzeitig steigt der Druck unter dem Gesäß an.

Ein mögliches Szenario einer automatischen Sitzkomforteinstellung wird in Abbildung 5 aufgezeigt.

Der einsitzende Fahrer kann durch Eigenvorgabe der Sitzlängsverstellung eine Grobausrichtung im Fahrzeuginnenraum tätigen. Alle weiteren Einstellungen erfolgen automatisch. Zu den Kernverstell-

größen, die den entscheidenden Anteil für eine ideale Druckverteilung ausmachen, zählt die Sitzhöhen-, die Sitzneigungs- und die Lehnenneigungsverstellung. Diese Sitzverstellungen sind bereits bei den meisten Sitzen serienmäßig vorhanden. Darüber hinaus existieren bereits weitere Zusatzverstellgrößen, wie die Sitztiefen-, Lehnenkopf- und Lehnenbreitenverstellung. Grundlegende Voraussetzung für eine Automatisierung bleibt eine Elektrifizierung der Sitzverstellung. Entsprechende Sensorik im Sitz selbst, sowie ein Regelalgorithmus auf Basis der idealen Druckverteilung sind nötig, um eine automatische Sitzkomforteinstellung zu realisieren.

### Literatur

- I.A. Kapandji (1985),  
Funktionelle Anatomie der Gelenke, Band 3 – Rumpf und Wirbelsäule, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart
- C. Mergl (2006),  
Entwicklung eines Verfahrens zur Objektivierung des Sitzkomforts auf Automobilsitzen, Herbert Utz Verlag, München
- A.A. White, M.M. Panjabi (1978),  
Clinical biomechanics of the spine, J.P. Lippincott Company, Philadelphia Toronto
- H.J. Wilke (2004),  
Möglichkeiten zur Bestimmung der Wirbelsäulenbelastung und Konsequenzen für die Empfehlungen für das Sitzen, ergo mechanics, interdisziplinärer Kongress Wirbelsäulenforschung, Shaker Verlag, Aachen
- R. Zenk, C. Mergl, J. Hartung, O. Sabbah, H. Bubb (2006),  
Objectifying the Comfort of Car Seats, SAE Conference 2006, SAE no. 2006-01-1299

# Entwicklung eines Prüfkörpers zur Bewertung des Sitzkom-forts

Dipl.-Ing. Olaf Sabbah

## 1 Ausgangssituation

Zur Charakterisierung des Sitzkomforts sind Modelle entwickelt worden, die eine Prognose des Diskomforts basierend auf gemessenen Druckverteilungen ermöglichen. Für eine reproduzierbare Messung von Druckverteilungen ist ein Prüfkörper nötig.

Dieser Prüfkörper soll einen Sitz wie ein durchschnittlicher Mensch belasten können. Aufbauend auf dem Wissen, das am Lehrstuhl für Ergonomie bezüglich der Entwicklung von Sitzprüfkörpern vorhanden ist, soll ein Dummy entwickelt werden, der nach den äußeren Abmessungen einem 50.Perzentil Mann entspricht. Dazu wird ein FE-Modell (nach Mergl 2006) als Vorlage genutzt. In seinen mechanischen Eigenschaften soll dieser Prüfkörper möglichst gut den Eigenschaften eines Menschen bezüglich des statischen Sitzens entsprechen.

## 2 Prüfkörperentwicklung

Die Basis des Volumenmodells ist ein Mann des 50.Perzentils. Wichtige Maße bezogen auf das Oberschenkelmodell sind die Oberschenkellänge und die Hüftbreite. Wie Tabelle 1 zeigt, liegen dabei die Werte der Versuchsperson nahe den Angaben in der RAMSIS Datenbank und des Handbuchs der Ergonomie.

Für die Ermittlung der äußeren Kontur des undeformierten menschlichen Oberschenkels stand eine Versuchsperson mit rechtwinklig abgewinkeltem Bein in einem Laserscanner (siehe Abbildung 1).

Tabelle 1: Hüftbreite und Oberschenkellänge (nach DIN 33402) im Vergleich (RAMSIS: Referenzjahr 2003, Alter 18-70, Nationalität deutsch, HdE (1989): Referenzjahr 1995-98; Alter 20-25, unbekleidet, deutsch)

Maß	RAMSIS-Datenbank	Handbuch der Ergonomie	Versuchsperson
Hüftbreite [mm]	351	354	351
Oberschenkellänge [mm]	618	610	610



Abbildung 1: Gescannte Punktwolke der äußeren Kontur von Becken und Oberschenkel

Die knöcherne Struktur ist von einem Kunststoffskelett (für Schulungszwecke) abgeleitet. Dieses Skelett hat eine Höhe von 176 cm. Das Becken und der Oberschenkelknochen sind ebenfalls mit dem Laserscanner digitalisiert worden.

Ausgehend von den Punktwolken der Oberfläche, werden mit Hilfe der von CATIA V5 Volumenmodelle des Oberschenkels und der Knochen erzeugt. Die Positionierung der Knochen innerhalb der Oberschenkelkontur erfolgt entsprechend einem sitzenden Menschen.

Die genaue Beckenpositionierung ist aus verschiedenen Literaturquellen ermittelt worden (Adultdata: ISBN 0-952257130; Körpermaße des Men-

schen, DIN 33402, Teil2; Kichner, Johannes-Heinrich und Baum, Eckert: „Ergonomie für Konstrukteure und Arbeitsgestalter“, Carl Hanser Verlag, München 1990; RAMSIS-Autofahrermodell).

Da dieses Modell nur aus einer Seite des Beckens mit Oberschenkel besteht, wurde es gespiegelt und auf ein komplettes Becken mit zwei Oberschenkeln erweitert (vgl. Abbildung 2).

Um die Knochen aus Aluminium zu fertigen, ist die Knochengeometrie vereinfacht worden (vgl. Abbildung 3). Außerdem wurde berücksichtigt, dass die Kontaktfläche zwischen Knochen und Weichteilmateri-

al möglichst groß ist, damit ein Ablösen des Materials verhindert werden kann. Dazu sind auch die Skeletteile durchlöchert, um eine bessere Ver-netzung des Weichteilmateri- als zu erhalten. Dabei sind die Löcher im mittleren Bereich der Oberschenkelkno-

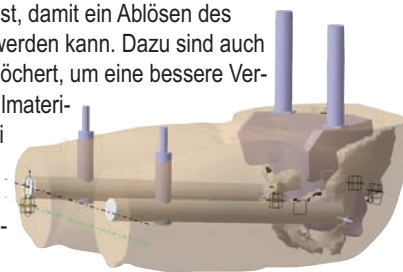


Abbildung 2: Oberschenkelmodell mit angedeuteter Knochenstruktur

ausgespart, damit eine realisti-sche „Umgleitung“ der Weichteile um die Knochen gewährleistet wird. Im Bereich oberhalb der Sitzbeinhöcker und an den vorderen Oberschenkel sind Aufnahmestifte (mit Gewinde) vorgesehen, um einerseits Haltegriffe und andererseits Gewichtsscheiben anbringen zu können.

Aus den CAD-Daten des Oberschenkelmodells wurde eine Gussform definiert. Diese ist so gestaltet, dass die Skelett-konstruktion über die Aufnahmestifte darin befestigt werden kann. Außerdem er-laubt diese Gussform das einzelne Gießen der drei verschiedenen Silikonmischverhältnisse. Die Gussform besteht aus einem Kunst-stoff (PVC) an dem das Silikon nach dem Guss nicht haften bleibt (siehe Abbildung 4).

Die physikalischen Eigenschaften des Prüfkörpers bzgl. Weichteile basieren auf Untersuchungen die am Lehrstuhl für Ergonomie (nach Mergl 2006) für FE-Modell von Gesäß und Oberschenkel zur Be-rechnung von Kontaktkräften zwischen Mensch und Sitz durchge-führt wurden.

Für die Bestimmung der Gewebeeigen-schaften wurde ein zweistufiges Vorge-hen gewählt. Im er-sten Schritt wurde der

relative Steifigkeitsverlauf entlang des Oberschenkels vom Knie bis zum Ende der Gesäßkontur mithilfe von Eindrückversuchen mit dem am Lehrstuhl für Ergonomie entwickelten Forschungsstuhl (FS2000) bestimmt. Dabei kamen Stößel der Größe 40 x 40mm zum Einsatz, die von unten gegen den frei hängenden Oberschenkel drücken (vgl. Abbildung 5).

Um die hierbei tendenziell zu hoch ermittelten Werte aufgrund der Anhebung von umliegendem Gewebes zu korrigieren, wurde im zweiten Schritt der absolute Steifigkeitswert bestimmt, indem die Versuchsperson nochmals einem flächigen Druck auf einer Holz-platte ausgesetzt wurden. Die Steifigkeit des gesamten Modells wurde derart skaliert, dass die gemessenen Druckverteilungen mit den berechne-ten übereinstim-men.

Die Parameter-anpassung mit-hilfe der Holz-plattenversuche zeigte, dass die Höhe der be-rechneten „E-Module“ redu-ziert wurde, um die gemesse-nen Druckwerte

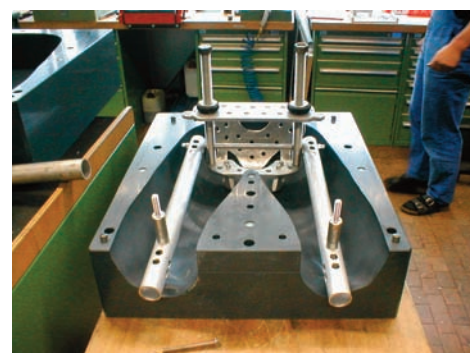


Abbildung 3: Vereinfachte Knochenstruktur



Tabelle 2: Volumina und Steifigkeiten der drei definierten Weichteilbereiche

Bereiche	Volumen [cm³] (ohne Knochen)	Steifigkeit [kPa] (ohne Knochen)
Vorderer Oberschenkel	5700	4.3
Mittlerer Oberschenkel	10400	5.5
Gesäß	7400	6.8

zu erreichen. Des Weiteren ist eine Veränderung im Steifigkeitsverlauf nötig.

Zur Weichteildarstellung wurde Silikon verwendet, da es sich gezeigt hat, dass Silikon mittels einem Silikonöl verdünnt werden kann, um ähnliche „E-Module“ zu erhalten.

Zur Darstellung der menschenähnlichen Druckverteilung wurden drei Bereiche unterschiedlicher Härte definiert (Abbildung 6). Die weiteren Feinheiten wurden über die Skelettstruktur dargestellt.

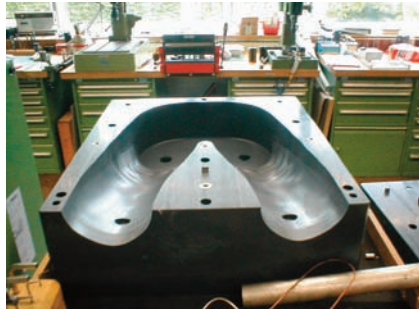


Abbildung 4: Obere Hälfte der Gussform mit Passlöchern zur Skelettbefestigung

Auf Basis einer umfangreichen systematischen Untersuchung von Silikonproben mit unterschiedlichen Mischverhältnissen und Vermessung der „E-Module“ konnten die geeignetsten Mischverhältnisse für eine menschenähnliche Druckverteilung ermittelt werden.

Der gesamte Prüfkörper besteht aus dem Aluminiumskelett (Schrauben und Gewindestangen sind aus Stahl) und der Silikonmasse zur Weichteilsimulation. Für den gesamten Prüfkörper ergibt sich ein Volumen von ca. 24.000 cm³. Samt Skelett ergibt sich ein Gesamtgewicht von 28.580 g (mit Halterahmen 29.960 g). Zum Vergleich gibt RAMSIS für den 50. Perzentil Mann für die Summe der Messen der Körperteile Oberschenkel\_Rechts, Oberschenkel\_Links, Becken und Unterer\_Lendenwirbel (7.886 g + 7.886 g + 8.286 g + 6.040 g) einen Wert von 30.098 g an.

Chemisch betrachtet, besteht keine feste Verbindung zwischen dem ausgehärteten Silikonkautschuk und dem Silikonöl. Es lagert sich in Zwischenräumen ein und weitet dadurch die Maschen. Dies führt dazu, dass die Steifigkeit reduziert wird. Durch die lose Verbindung kann es aber an der Außenschicht des Prüfkörpers zum „Ausschwitz“ des Silikonöls kommen. Dieses „Ausschwitz“ des Silikonöls hat weiterhin den Nachteil, dass die Außenschicht



Abbildung 5: Darstellung der Messung der Steifigkeit am Oberschenkel

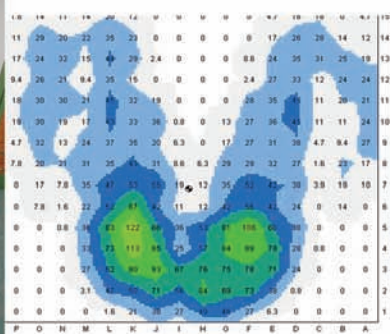


Abbildung 7: Druckverteilungen auf einem Sitz; links: Prüfkörper, rechts: 50 Perzentil Mann

klebrig und schmutzanfällig wird. Um dem entgegen zu wirken, wurde der Prüfkörper mit einer dünnen härteren Silikonschicht (ohne Silikonöl) überzogen. Weiterhin wurde der Prüfkörper

mit einer Hose (Nylon) überzogen.

Die Temperaturabhängigkeit des gesamten Sitzprüfkörpers soll (laut Aussage eines Beraters der Wacker Chemie AG) für einen Bereich von 0°C bis 40°C keine merklichen Veränderungen aufweisen. Zwar steigt die Viskosität deutlich an, jedoch ist der entscheidende Faktor die Dichtezunahme, die sich vernachlässigbar verändert. Somit wäre der einzig denkbare kritische Fall eines erhöhten Ausschwitzens des Silikonöls durch eine temperaturabhängige Viskositätszunahme ausgeschlossen.

### 3 Sitzdruckverteilung des Prüfkörpers

Um nachzuvollziehen ob der Prüfkörper eine menschenähnliche Sitzdruckverteilung aufweist, wurde eine Druckmessung auf einem Fahrzeugsitz mit dem FSA-Sitzdruckmattensystem, durchgeführt. Hierbei wurde zum Vergleich ein 50.Perzentil Mann (178 cm) herangezogen.

In Abbildung 7 sind die Messungen auf dem Sitz zu sehen. Der Sitz wurde mit einer Sitzflächenneigung von 20° und einer Lehnenflächenneigung von 66° eingestellt.



Abbildung 6: Reduzierte Bereiche gleicher Silikonmischung

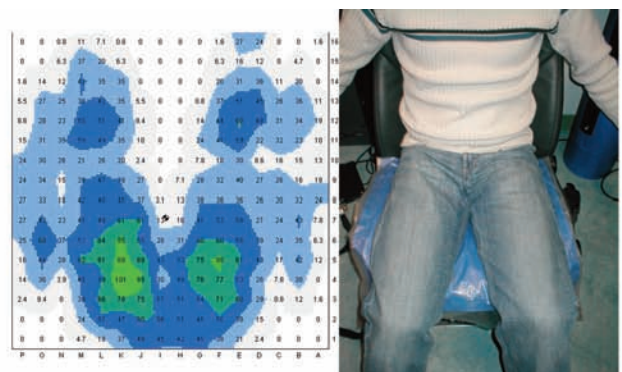
Es ist deutlich zu

erkennen, dass die Position der Sitzbeinhöcker von Mensch und Prüfkörper sich an gleicher Stelle befindet und dass die gesamte Druckverteilung (samt Druck an den Seitenwangen) deutliche Ähnlichkeiten aufweist.

Für diesen Vergleich wurden SAE-Gewichtsscheiben und Knieböcke auf dem Prüfkörper aufgelegt. Hierzu wurde in einem Vorversuch mittels der FSA-Matte und einem 50. Perzentil Mann ein Gesamtgewicht auf einem Fahrzeugsitz (realer BMW 7er in einer Sitzeinstellung: Sitzflächenneigung: 20°; Lehnenflächenneigung: 66°) von 41,8 kg gemessen. Um eine vergleichbare Gewichtsbeaufschlagung auf dem Sitz mit Hilfe des Sitzprüfkörpers zu erlangen, wurden folgende SAE-Gewichte hergenommen:

- 2 x SAE-Gewichtsscheiben (à 3.905 g) und
- 2 x SAE-Knieböcke (à 3.446 g)

Die Richtwerte für die optimale Lastverteilung bei Sitzen wurden am Lehrstuhl für Ergonomie über eine Vielzahl an unterschiedlichen Versuchsreihen ermittelt (Abbildung 8).



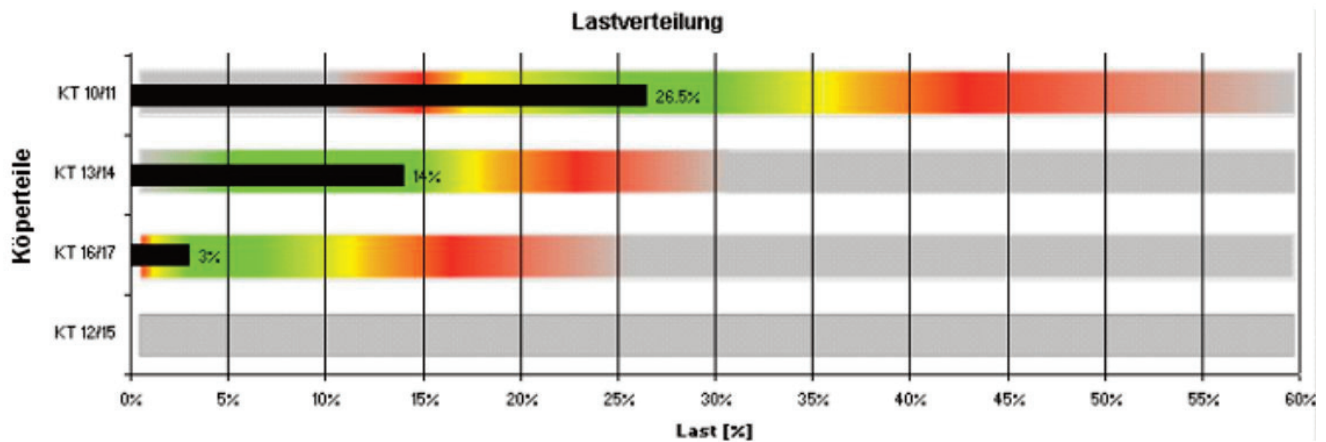


Abbildung 8: Richtwerte optimaler Lastverteilung (grün) nach Mergl 2006 mit Idealwert (Schwarze Balken) und gemessene Werte (blaue Balken).

Die angegebenen körperteilbezogenen Lastwerte sind, entsprechend der Body Map nach Hartung (2005) (siehe Abbildung 9). Symmetrische angeordnete Körperteile (KT) enthalten die gleichen optimalen Werte bzw. Wertebereich.

Deutlich zu erkennen ist, dass alle Lastverteilungswerte im optimalen (grünen) Bereich entsprechend der optimalen Lastverteilung (nach Mergl 2006) liegen.

Obwohl der Sitzprüfkörper zu 100% symmetrisch gestaltet wurde, zeigen sich leichte Wertunterschiede der symmetrischen Körperteile (z.B. KT10 und KT11). Dies ist zum einen auf die Ausrichtung des Sitzprüfkörpers auf dem Sitz und zum anderen auf die Auflösung der FSA-Sitzdruckmessmatte zurück zu führen.

#### 4 Zusammenfassung

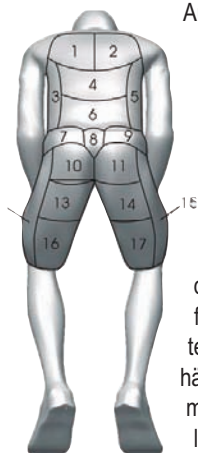


Abbildung 9: Body Map nach Hartung 2005 (nur Gesäß und Oberschenkel)

Aufbauend auf dem Wissen des Lehrstuhls für Ergonomie bezüglich der Entwicklung von Sitzprüfkörpern, wurde ein Dummy bereitgestellt, der nach den äußeren Abmessungen einem 50. Perzentil Mann entspricht (siehe Abbildung 10). Dazu wurde das entwickelte FE-Modell als Vorlage genutzt. In seinen mechanischen Eigenschaften bezüglich des statischen Sitzens entspricht dieser Prüfkörper gut den Eigenschaften eines Menschen. Die Steifigkeitsverläufe in den Weichteilen wurde mittels Silikon mit unterschiedlichen Mischverhältnissen erreicht. Ein weiterer Grund für die menschenähnliche Druckverteilung ist die Skelettstruktur. Hierfür ist die Position und Ausführung der Sitzbeinhöcker mit der Beckenkipfung maßgebend. Des Weiteren ist beim Durchlöchern der Oberschenkelknochen der mittlere Bereich

ausgespart worden, um eine realistische „Umgleitung“ der Weichteile um den Knochen zu gewährleisten. Schließlich wurde eine Transportkiste mit Rädern gefertigt, welche innen die untere Außenkontur des Prüfkörpers nachbildet, um Verformungen bei der Lagerung und dem Transport zu vermeiden.

#### Literaturverzeichnis:

Adultdata: ISBN 0-952257130;

Körpermaße des Menschen, DIN 33402, Teil2;

Diebschlag, W.:

Anatomisch-physiologische Formgebung und Polsterung von Fahrzeugsitzen, 1984.

Hartung, J.:

Objektivierung des statischen Sitzkomforts auf Fahrzeugsitzen durch die Kontaktkräfte zwischen Mensch und Sitz, Dissertation am Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München, 2005.

Kichner, J.-H. und Baum, E.:

Ergonomie für Konstrukteure und Arbeitsgestalter“, Carl Hanser Verlag, München 1990; RAMSIS-Autofahrermodell

Mergl, Ch.:

Entwicklung eines Verfahrens zur Optimierung des Sitzkomforts auf Automobilsitzen, Dissertation am Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München, 2006.

Stumbaum, F.:

Experimentelle Untersuchung und mathematische Simulation der Sitzhaltung auf Arbeitsstühlen, Dissertation an der Technischen Universität München, 1983.

Wacker Chemie AG:

[www.wacker.com](http://www.wacker.com)

Zenk, R.:

Praktische Umsetzung eines Hardwaredummy, Studienarbeit am Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München, 2004.



Abbildung 10: Sitzprüfkörper



In diesem Jahr hatte der Lehrstuhl für Ergonomie (LfE) die Ehre, den 54. Frühjahrskongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (GfA) auszurichten. Die Veranstaltung fand vom 09.-11. April über drei Tage im Eberhard-von-Kuenheim-Gebäude der Fakultät für Maschinenwesen der Technischen Universität München (TUM) am Campus Garching statt. Wir konnten 333 Teilnehmer begrüßen, die ihr individuelles Programm aus 153 Vorträgen in sieben parallelen Sessions auswählen konnten. Außerdem wurden 22 Poster gezeigt sowie fünf Workshops und zwei Doktoranden-Werkstätten angeboten. Eine kleine Ausstellung des Ergonomia-Verlages und der Fachbuchhandlung Köster, der Firma Ergoneers mit dem Blickbewegungsanalysesystem Dikablis (ein LfE-Spin-off-Unternehmen) und die Körpermessstation des Projektes 'Size Germany' rundete das Angebot ab.

Die Eröffnung des Kongresses wurde von Prof. Heiner Bubb als Gastgeber und

Prof. Helmut Strasser als Präsident der GfA vorgenommen. Die Bayerische Staatssekretärin Melanie Huml MdL und die TUM-Vizepräsidentin Hannemor Keidel sprachen die Grußworte. Als Ehrengast und Vertreter der International Ergonomics Association (IEA) läutete

Prof. Waldemar Karwowski die Vortragsreihen ein. Das ausführliche Vortragsprogramm präsentierte ein breites aktuelles Spektrum aus den Themenbereichen Anthropometrische Gestaltung, Produkt-Ergonomie, Arbeitsumgebung, Arbeitsbewertung, Methoden, Arbeitsmedizin, Gesundheit, Arbeitsplatzgestaltung, Arbeitsorganisation und Gesellschaftliche Wertung mit Beiträgen aus der Hochschulforschung und der industriellen Praxis. Die durchweg hohe Qualität der wissenschaftlichen Vorträge verbietet es, einzelne Beiträge lobend herauszuheben. Dennoch muss der Beitrag von Prof. Klaus Zink mit dem Titel „Arbeitswissenschaft und Globalisierung: eine Herausforderung“ als Wegweiser für die Zukunft der Fachdisziplin besonders gewürdigt werden.

Der 945seitige Tagungsband vermittelt neben den interessanten Inhalten der einzelnen Vorträge auch den respektablen Umfang der



Veranstaltung. Er ist bei der Geschäftsstelle der GfA in Dortmund zum Nachlesen der Vorträge erhältlich.

Neben dem Besuch der durchwegs anspruchsvollen Präsentationen haben die Teilnehmer auch die Kaffeepausen und das Mittagessen ausgiebig zur persönlichen Kontaktpflege genutzt.

Da Prof. Bubb hinsichtlich seines bevorstehenden Ruhestands auch im Rahmen dieses nationalen arbeitswissenschaftlichen Fachkongresses 'Servus' sagen wollte, war für das abendliche Rahmenprogramm ein besonderes 'Highlight' vorbereitet worden: Das festliche Essen fand im Verkehrszentrum des Deutschen Museums praktisch zwischen den Straßenfahrzeugen der letzten hundert Jahre statt.

Der Rundgang durch die Hallen war nicht nur für die Fahrzeug-Ergonomen unter den Teilnehmern ein interessantes Erlebnis. Das vielfältige Essen vom Buffet bildete einen kulinarischen Genuss in einer außergewöhnlichen und einmaligen Atmosphäre!

Prof. Heiner Bubb und das Planungsteam mit Herrn Dr. Herbert Rausch, Herrn Werner Zopf und Herrn Wolfram Remlinger, sowie Frau Simone John seitens der GfA waren sehr stolz und glücklich über die gelungene Veranstaltung und das vielfache Lob seitens der Teilnehmer. Allen Teilnehmern und Helfern sei an dieser Stelle noch einmal herzlich gedankt!





# ***Dissertationen in den Jahren 2007 und 2008 unter der Leitung von Prof. Bubb***

<b><i>Name</i></b>	<b><i>Jahr</i></b>	<b><i>Titel der Dissertation</i></b>
<i>Cherednichenko, Alexander</i>	<i>2007</i>	<i>Funktion des Modell der Einstiegsbewegung in einen PKW</i>
<i>Götz, Matthias</i>	<i>2007</i>	<i>Die Gestaltung von Bedienelementen unter dem Aspekt ihrer kommunikativen Funktion</i>
<i>Lange, Christian</i>	<i>2008</i>	<i>Wirkung von Fahrerassistenz auf der Führungsebene in Abhängigkeit der Modalität und des Automatisierungsgrades</i>
<i>Doisl, Christian</i>	<i>2008</i>	<i>Systemergonomische Analyse von Anzeige- und Bedienkonzepten zur Unterstützung des Parkvorgangs</i>
<i>Zöllner, Rolf</i>	<i>2008</i>	<i>Ein Verhaltensmodell für Informationsselektionsaufgaben bei suchmaschinengenerierten Fundstellen</i>
<i>Voß, Till</i>	<i>2008</i>	<i>Untersuchungen zur Beurteilungs- und Entscheidungssicherheit in virtuellen Umgebungen</i>