

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme
Ein Titeldatensatz für diese Publikation ist
bei Der Deutschen Bibliothek erhältlich

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

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH 2000

ISBN 3-89675-934-5

Printed in Germany

Herbert Utz Verlag GmbH, München
Tel.: 089/277791-00 – Fax: 089/277791-01

Heiner Bubb (Hrsg.)
Lehrstuhl für Ergonomie
Technische Universität München

Ergonomie und Verkehrssicherheit

GfA Konferenzbeiträge der Herbstkonferenz 2000
12.–13. Oktober 2000 an der Technischen Universität München



Herbert Utz Verlag · München



Gewidmet Prof. Dr. rer. nat. Schmidtke zum 75. Geburtstag

Am 6. August 1925 geboren, hat Heinz Schmidtke nach der kriegsbedingten Militärzeit in nur 8 Semestern sein Studium 1949 mit der Dissertation zum Thema „Flimmerverschmelzungsfrequenz und psychische Ermüdung“ beendet. Im Anschluß leitete er das Physiklabor in einem Werk der Chemischen Industrie, bevor er nach einer einjährigen Gastprofessur an der University of California in Berkley 1957 Abteilungsleiter am Max-Planck-Institut für Arbeitsphysiologie in Dortmund wurde. 1960 habilitierte er sich an der Universität Kiel („Die Ermüdung“) und übernahm 1962 das neu gegründete Institut für Arbeitsphysiologie und Arbeitspädagogik. Er bewies seinen wissenschaftlichen Weitblick, indem er bereits nach wenigen Jahren dieses Institut entsprechend dem Forschungsschwerpunkt, den er gesetzt hatte, in „Institut für Ergonomie“ umbenannte.

In zahlreichen Veröffentlichungen und insbesondere in seinen Hauptwerken „Ergonomie“ bzw. „Lehrbuch der Ergonomie“ und „Handbuch der Ergonomie“ etablierte er seine Sicht dieses Wissenschaftszweiges, die dadurch bei manchem Kenner den Beinamen "Münchner Ergonomie“ erhielt. Sie kennzeichnet das Streben, durch Kenntnis der Eigenschaften und Fähigkeiten des Menschen, die ggf. durch Experimente erst erworben werden muß, Regeln für die Gestaltung von Arbeitsmitteln und Arbeitsumgebung zu formulieren, die zu einer menschengerechten Gestaltung der Technik führen. Diese Regeln hat er nicht nur in den obengenannten Werken veröffentlicht, sondern sogar ein Ergonomisches Datenbank System (EDS) auf der Basis moderner Informationstechnologie entwickelt, das es auch dem „ergonomischen Laien“ erlaubt, gesicherte ergonomische Erkenntnisse in die reale Arbeitsgestaltung umzusetzen.

Mit den heutigen technischen Möglichkeiten ist fast jedes Gestaltungsziel erreichbar. Es wird deshalb in zunehmenden Maße notwendig, auf systematische und wissenschaftlich begründete Weise dafür zu sorgen, dass die Interaktion zwischen Mensch und Maschine in Richtung Leistungsfähigkeit des Systems und Komfort des Nutzers optimiert wird. Als einer der ersten Industriezweige hat die Automobilindustrie dieses Entwicklungspotential entdeckt. Bei der Gestaltung ihrer Produkte wird dabei nicht zuletzt auf die Ideenwelt von Heinz Schmidtke zurückgegriffen.

Im Rahmen der GfA-Herbstkonferenz 2000, deren Beiträge in diesem Band zusammengefaßt sind, wird dieses Vorgehen diskutiert. Prof. Schmidtke hat durch sein Lebenswerk, in dem er den Zweig einer technischen Ergonomie in Deutschland wesentlich begründet hat, nicht zuletzt diesen Informationsaustausch ermöglicht. Der vorliegende Band sei ihm deshalb anläßlich seines 75. Geburtstags gewidmet.

Garching im September 2000

Heiner Bubb

Vorwort

Ergonomie ist in den letzten Jahren mehr und mehr zu einem Werbeargument für den Verkauf von Kraftfahrzeugen geworden. Nur der Kunde, der auf Dauer durch das Produkt zufrieden gestellt werden kann, wird beim Neukauf wieder zum Kunden werden. Durch Ergonomie soll nicht nur der Komfort hinsichtlich der Umweltbedingungen (insbesondere Licht, Schall, Klima und Schwingungen), sondern auch hinsichtlich der räumlichen Ansprüche (sog. anthropometrische Bedingungen) und insbesondere des Bedienkomforts (systemergonomischer Aspekt) gesichert werden. Der Zusammenhang mit der Verkehrssicherheit ist dabei offensichtlich: nur der ausgeruhte, nicht durch den Stress verursachenden Umgang mit Unzulänglichkeiten belastete Fahrer kann sein mentales Potentiale für ein aufmerksames und verantwortungsvollen Fahren zur Verfügung stellen.

Im wissenschaftlichen Bereich erarbeitet die Ergonomie dafür Daten, deren Kenntnis für die Auslegung der Technik notwendige Voraussetzung sind, Ergonomie nicht nur als Präambel zu verstehen, sondern "berechenbar" zu machen. Nicht immer sind diese Daten jedoch hinreichend praxisgerecht und oftmals fehlen auch entsprechende Daten. Es ist deshalb Ziel des vorliegenden Bandes aus der Sicht der Praxis auf die Notwendigkeit gezielter ergonomischer Forschung und auf die gegenwärtigen Defizite hinzuweisen, um so Anregung für Weiterentwicklungen zu geben.

Dieser Band ist auf der Basis der Vorträge, die anlässlich der GfA-Herbstkonferenz 2000 ausschließlich von Praktikern gehalten worden sind, entstanden. Er umfasst relativ vollständig den gesamten Bereich der sog. Produktergonomie, wie er im Kraftfahrzeug Anwendung findet.

Mein Dank gilt der Mühe und Sorgfalt, der sich die Autoren unterzogen haben, um dieses Werk zu schaffen. Er gilt aber auch meinen Mitarbeitern und hier besonders Herrn Dr. Müller, die durch ihren Einsatz das Zustandekommen dieses Werkes ermöglichten.

Garching im Oktober 2000

Heiner Bubb

Grußwort



*Dr. Günther Beckstein
Bayerischer Staatsminister des Inneren*

Ein Höchstmaß an Mobilität ist die Grundlage unserer wirtschaftlichen Entwicklung. Mobilität muss jedoch in jeder Hinsicht sicher sein, erst dann findet sie gesellschaftliche Akzeptanz und führt zum gewünschten Erfolg.

Für das Jahr 1970, dem - bezogen auf die im Straßenverkehr getöteten Menschen - schwärzesten Jahr für die bayerische Verkehrsunfallstatistik, errechnete sich beispielsweise unter Zugrundelegung der aktuellen Schadenswerte ein volkswirtschaftlicher Schaden von über 17 Milliarden Mark. Diese immense Summe hat sich zwar bis zum Jahr 1998 kontinuierlich auf etwa 8.75 Milliarden Mark verringert. Im letzten Jahr ist jedoch wieder mit einem leichten Anstieg zu rechnen - ein Trend, der sich leider auch in der Verkehrsunfallstatistik widerspiegelt. Dieser Entwicklung gilt es nicht nur aus volkswirtschaftlichen Gesichtspunkten, sondern in erster Linie im Interesse der Sicherheit unserer Bürger entgegenzuwirken.

Ergonomische Neuerungen, die dem Kraftfahrer die Arbeit erleichtern, tragen ebenso zu einer Verbesserung der Sicherheit im Straßenverkehr bei wie die technischen Neuerungen ABS, ESP, Airbag und Gurt-Erinnerer. Dennoch bleiben all diese technischen und ergonomischen Hilfsmittel wirkungslos oder sind sogar von Nachteil ohne die Bereitschaft des Fahrers, sie richtig anzuwenden. Zudem unterliegt der Verkehr Regeln, die für alle Verkehrsteilnehmer verbindlich sind und der Sicherheit aller dienen. Entscheidend für die Wirksamkeit der Regeln sowie der Technik ist dabei jedoch in erster Linie die Einsicht jedes Einzelnen, dass die Vorschriften durchaus ihren Sinn haben. Nur wer sich stets der Nützlichkeit bewusst ist, sich verkehrssicher zu verhalten, wird auch aus eigenem Antrieb ein rücksichtsvoller, aufmerksamer und die Regeln befolgender Verkehrsteilnehmer sein.

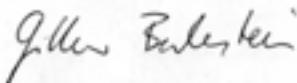
In diesem Wissen und angesichts der zunehmenden Unfallzahlen auf unseren Straßen haben wir daher eine ganz neue Aufklärungskampagne auf dem Gebiet der Verkehrssicherheit gestartet. Wir haben das Jahr 2000 zum "Jahr der Verkehrssicherheit" in Bayern erklärt. Im Rahmen vielfältiger Informationsveran-

staltungen über ganz Bayern verteilt wird über Unfallursachen im Straßenverkehr und deren Vermeidung ausführlich berichtet.

Acht Schwerpunktthemen stehen bei den Aktionen im Mittelpunkt. Im Verkehr besonders gefährdete Personengruppen wie beispielsweise "junge Führerscheinbesitzer, Zweiradfahrer, Fußgänger und Kinder" werden hier ebenso behandelt wie neuralgische Gefahrenursachen wie der "Genuss von Drogen und Alkohol am Steuer" oder das "unachtsame Fahren unter winterlichen Bedingungen". Bei all diesen Aktionen wollen wir die Verkehrsteilnehmer auf die Gefahren im Verkehr aufmerksam machen. Wir sind davon überzeugt, dass auch der positive Appell langfristig gesehen in hohem Maße zu einem sicheren Verhalten aller Verkehrsteilnehmer beitragen kann - unter Umständen sogar mehr als Kontrollen oder der erhobene Zeigefinger. Gezielte Verkehrserziehung und Aufklärung sowie wirksame Förderung des Gedankens von Fairness und Rücksichtnahme und die Anwendung modernster Technologie rund um das Fahrzeug und im Straßenverkehr stehen seit jeher im Mittelpunkt der bayerischen Verkehrssicherheitspolitik.

Gehr es um die Sicherheit unserer Bürger, müssen Wirtschaft, Politik, und Verwaltung an einem Strang ziehen. Forschung und Wissenschaft, die für eine zukunftsweisende Technik im Fahrzeugbau sorgen, und ein treffsicheres und verständliches Regelwerk zur Steuerung des Straßenverkehrs sind unabdingbare Voraussetzungen für "weniger Tote, Verletzte und Unfälle auf unseren Straßen".

Diesen bayerischen Weg haben wir in der Vergangenheit konsequent verfolgt. Wir werden ihn mit Unterstützung der Wirtschaft kontinuierlich fortsetzen. In diesem Sinne wünsche ich der Herbstkonferenz der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft einen guten Verlauf und im Interesse und zum Wohle unserer Bürgerinnen und Bürger weiterhin viel Erfolg bei ihrem zukünftigen Wirken um noch bessere Arbeits- und Lebensbedingungen.



Dr. Günther Beckstein, Staatsminister

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	VII
Grußwort des Bayerischen Staatsministers des Inneren Dr. Günther Beckstein	VIII
Inhaltsverzeichnis	X
B. Heißing, D. Kudritzki, R. Schindelmaister, G. Mauter Menschengerechte Auslegung des dynamischen Verhaltens von PKW	1
M. Wünsche, K. Millerferli, A. Parnow, J. Petzel Warum wir "harte" ergonomische Daten brauchen	33
R. Happee, M. M. Verver, R. De Lange Mathematical human body modeling for impact loading and comfort.....	47
R. Haller Wie erreicht man bei Fahrerassistenz, daß der Fahrer Herr der Situation bleibt?	55
L. Eckstein Sidesticks im Kraftfahrzeug - ein alternatives Bedienkonzept oder Spielerei?	65
J. Hoffmann, J.Kreft, C. Semmler "Drive by wire" - Potenziale aus heutiger Sicht.....	97
W. König, K. E. Weiß, H. Gehrke, R. Haller S.A.N.T.O.S Situations-angepasste und Nutzer-Typ-zentrierte Optimierung von Systemen zur Fahrerunterstützung.....	106
A. Böttiger, D. Marx Bedienung des Bordcomputers im 911 turbo: vom Entwurf zur Serienlösung	114

E. Hafner	
Ergonomische Aspekte bei der Gestaltung zukünftiger Cockpits	127
G. Schmale, W. Stelzle	
Simulationswerkzeuge für die Komfortentwicklung	139
W. Remlinger	
Welche Anforderungen sind an komfortbezogene Ergonomiedaten zu stellen?	153
E. Assmann, S. Hermann	
Komfortuntersuchungen aus der Anthropometrie	171
A. Seidl	
Gestaltung von Ergonomietools zur prospektiven Komfortanalyse	179
G. Reichart	
Normatives Fahrerverhaltensmodell zur Vorhersage von Unfallhäufigkeiten	191
J. Gschoßmann	
Einfluß von Verkehrsleitsystemen auf die Verkehrssicherheit	203
Verzeichnis der Autoren	225

Menschengerechte Auslegung des dynamischen Verhaltens von PKW

*Prof. Dr. B. Heißing, Dr. D. Kudritzki,
Dipl.-Ing. R. Schindlmaister, Dipl.-Ing. G. Mauter
AUDI AG, Ingolstadt*

1. Zusammenfassung

„Ergonomie“ definiert der Duden als die Wissenschaft von den Leistungsmöglichkeiten und -grenzen des arbeitenden Menschen sowie der besten wechselseitigen Anpassung zwischen dem Menschen und seinen Arbeitsbedingungen. In der Fahrzeugentwicklung liegt der Fokus auf der besten Anpassung der „Arbeitsbedingungen im Fahrzeug“ auf den Menschen, den Fahrzeugführer.

Optimale Sitz- und Lenkradposition, körperbezogene Freiräume oder ein logisches Bedienkonzept sind Parameter die mit Ergonomie in Verbindung gebracht werden. Doch die drei maßgeblichen Aufgabenbereiche eines Fahrzeugführers – navigieren, antizipieren, stabilisieren – erfordern eine tiefgreifendere ergonomische Auslegung eines Fahrzeugs. Neben leichter Handhabung ist ein fehlerverzeihendes Fahrverhalten für die Erledigung der Navigationsaufgabe von Bedeutung. Die Leistungsfähigkeit eines Wagens beeinflusst in entscheidendem Maß die Sicherheit des Fahrvorgangs.

Bei der Auslegung eines PKW-Fahrwerks wird grundsätzlich in die 3 Bewegungsrichtungen längs, quer und vertikal unterschieden. Bei der Optimierung der Längsdynamik gilt es vor allem Sicherheitsaspekte durch die Minimierung des Bremswegs zu berücksichtigen. Subjektive und objektive Bewertungen beurteilen die Querdynamik eines Fahrzeugs. Entwicklungsziel ist ein weitgehend neutrales Fahrverhalten mit gut beherrschbaren Lastwechselreaktionen. Die Überprüfung eines Fahrzeugs hinsichtlich des Komforts geschieht durch Prüfungen, die das schwingungstechnische Verhalten umfassend widerspiegeln. Bei der Optimierung der Vertikaldynamik wird nicht nur auf geringe Amplituden sondern auch auf ein rasches Abklingen der Störungen Wert gelegt.

Innerhalb des Regelkreises Fahrer – Fahrzeug – Umwelt kommt den Betätigungen wie Lenkrad und Pedalerie eine zentrale Bedeutung zu. Die Bedienung muss zuverlässig und mühelos sein und dem Fahrer jederzeit das Gefühl der völligen Beherrschung des Fahrzeugs vermitteln.

Ein Blick in die Bedienungsanleitungen von Audi Fahrzeugen aus den zwanziger Jahren macht die Fortschritte in der Ergonomie deutlich. Detaillierte Wartungspläne und komplizierte Bedienungsabläufe forderten vom Fahrer ein umfangreiches technisches Wissen. Trotz der Zunahme der Komplexität von modernen PKW ist ein tiefgreifendes technisches Wissen bei der Bedienung eines Fahrzeugs heute nicht mehr erforderlich. Elektronische Sicherheitssysteme unterstützen den Fahrer bei der Aufgabe das Fahrzeug sicher zu führen.

2. Ergonomie im Fahrzeug

Die Frage nach menschengerechter Produktgestaltung begleitet uns durch das alltägliche Leben und ist nicht allein auf den Arbeitsplatz des Fahrzeugbedieners begrenzt. Sicher ist die Aufgabenstellung in der Fahrzeugentwicklung eine, die speziell unter ihren eigenen Randbedingungen betrachtet werden muss.

In der Automobilindustrie ist es heute Standard, dass bereits in der Konzeptphase eines neuen Fahrzeugs ein Maßkonzept erarbeitet wird, welches neben Vorgaben wie Außenabmessungen der Karosserie, Radständen und Motorisierungen auch ergonomische Randbedingungen enthält. An dieser Stelle geht es in erster Linie um "körperliche" Ergonomie. Beispielhaft seien die Sitzposition, das Sitzverstellfeld, die Lenkradposition und dessen Verstellfeld, sowie auch körperbezogene Freiräume wie Bein-, Kopf- und Schulterfreiheiten angeführt.

Audi bedient sich hierbei eines 3-dimensionalen, digitalen Menschmodells, genannt RAMSIS (Bild 1), das die wesentlichen menschlichen Körperabmessungen repräsentiert. RAMSIS bildet die räumlichen Freiheitsgrade des

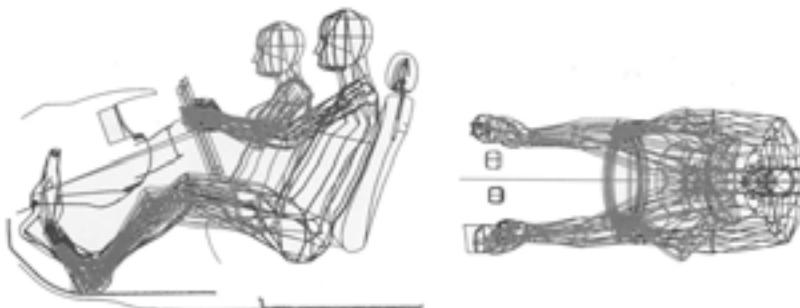


Bild 1a: RAMSIS, ein dreidimensionales Menschmodell



Bild 1b: RAMSIS, ein dreidimensionales Menschmodell

Menschen nach und ist ein Expertenprogramm für die Entwicklung der Körpergrößen, den Haltungskomfort sowie Körperbautopologien wie beispielsweise „Sitzriesen“ oder „Personen mit Bauch“. Basis ist eine Nachbildung des menschlichen Skeletts unter Berücksichtigung der Positionen und Drehachsen der Gelenke sowie deren Einschränkungen in Bezug auf spezifische Beweglichkeiten. Das Menschmodell ist mit einer Vielzahl von Parametern belegt, so dass beispielsweise Alter oder Körpergrößen eingestellt werden können.

Das Ergebnis einer Ergonomieauslegung berücksichtigt dabei eine Fahrerpopulation von der 5%-Frau bis hin zum 99%-Mann und legt Wert auf eine Komfortabdeckung auch von atypischen Körperabmessungen. Ergebnis einer solchen Auslegung ist beispielsweise ein in der Höhe um 40 mm und in der Länge um 50 mm verstellbares Lenkrad beim Audi A6.

Neben der Darstellung der Körperhaltung in Fahrerposition können mit dem Simulationsmodell auch Greifraumuntersuchungen (Bild 2) erstellt werden, um die Anordnung von Stellteilen zu untersuchen und zu optimieren. Alle für die eigentliche Fahraufgabe relevanten Betätigungselemente sollen in unmittelbarer Nähe des Lenkrades beziehungsweise im natürlichen Griffbereich der Hände angeordnet sein. Sekundäre Bedientasten, wie zum Beispiel die eines Navigationssystems, werden in der Mittelkonsole im Ablagebereich des Armes angeordnet, so dass der Fahrer sie ohne Sichtkontakt findet und aufgrund einer haptisch optimierten Gestaltung auch ohne Sichtkontakt bedienen kann.

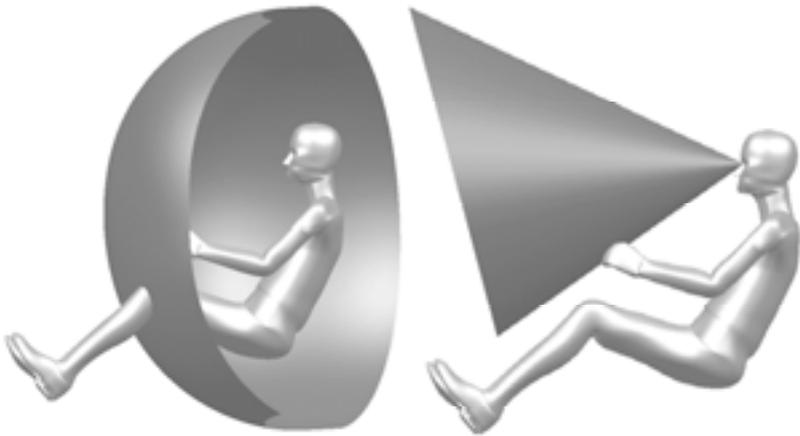


Bild 2: Greifraum und Sichtkegel

In weiteren Anwendungen werden die Sicht auf Anzeigeinstrumente oder auch die Sichtverhältnisse nach außen geprüft (*Bild 2*), um gesetzlichen Bestimmungen gerecht zu werden. In naher Zukunft wird man mit RAMSIS auch den Ablauf des Einsteigens simulieren können.

Betrachten wir aus dem Blickwinkel der "geistigen" Ergonomie einige Veränderungen in der Fahrzeugtechnik der vergangenen 10 Jahre unter Zuhilfenahme der "Hierarchie der Regelkreise bei der Fahrzeugbedienung" (*Bild3*).

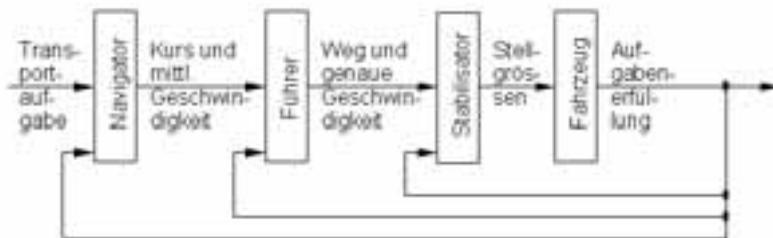


Bild 3: Hierarchie der Regelkreise bei der Fahrzeugbedienung (nach Bernotat)

Auf der Hierarchie-Ebene des Navigators kann der Bediener heutzutage durch

die Satellitennavigation komfortabel entlastet werden. Der Informationsfluss mittels TMC (Traffic Message Channel) - weitere Datenkanäle werden in absehbarer Zeit zur Verfügung stehen - in Verbindung mit einer dynamische Navigation erlaubt eine automatische Neuberechnung der Fahrtroute ohne Abwendung des Fahrzeugbedieners von seinen anderen Aufgaben.

Auf der Ebene des Führers sind ACC (Adaptive Cruise Control), Spurführung und automatische Verkehrszeichenerkennung in der Entwicklung bzw. bereits im Serieneinsatz.

Betrachten wir die unterste Hierarchie-Ebene – die des Stabilisators –, stehen Neuerungen wie die Antriebsschlupfregelung, elektronische Stabilitätsprogramme, elektronische Dämpferregelungen und vieles mehr zur Auswahl.

Eine Reihe dieser technischen Gerätschaften kann aber nur erfolgreich arbeiten, wenn der Informationsfluss, also der Input vom Bediener, ausreichend groß ist. Mehr Funktionalität ist unter bestimmten Regeln mit einer Vermehrung von Stell- und Eingabevorgängen verbunden, so zum Beispiel bei der Bedienung eines Navigationsgerätes. Dieser Prozess konkurriert mit den begrenzten Raumverhältnissen, die um den Fahrerplatz herum zur Verfügung stehen. Eine Folgeerscheinung ist die Integration von verwandten Funktionen in einem Gerät, wie man es zur Zeit in den Bereichen Audio und Telematik feststellt. Dies führt zu Menü-Strukturen mit hierarchischen Charakter. Die Eingabevorgänge werden seriell und sequenziell und die Arbeit erfordert eine erhöhte Aufmerksamkeit und führt damit zu einer größeren Ablenkung von anderen Aufgaben.

Es existiert in diesem Zusammenhang eine Vielzahl von Aufgabenstellungen und Fragen: Wie mache ich die Maschine für den Menschen bedienbar? Welche Gewohnheiten oder Erwartungshaltungen lenken sein Handeln? Wie muss Bedienung gestaltet werden, damit sie weitgehend intuitiv ist?

Ein anderer Aspekt findet bei der Entwicklung moderner, technischer Geräte Beachtung. Technik trägt den Reiz der Verführung mit sich. Eine Reihe dieser neuen, meist digitalen Geräte arbeitet mehr oder weniger im Hintergrund, greifen aber andererseits massiv auf das Verhalten eines Fahrzeugs ein. Hier sei beispielhaft ACC angeführt. Hier muss ein Fahrzeughersteller stets verantwortungsvoll prüfen, ob die versprochene Entlastung des Fahrers nicht trügerisch ist und damit möglicherweise mehr Stress oder gar eine zusätzliche Gefährdung provoziert werden kann.

3. Kybernetische Leistungen des Fahrers

Wer sich heute in ein Kraftfahrzeug setzt, erwartet, dass er sicher, komfortabel und zügig transportiert wird. Die meisten Menschen denken dabei nicht daran, dass sie am Lenkrad einen wesentlichen Beitrag zu diesem Transportvorgang leisten. Als Fahrer werden sie nämlich Bestandteil eines Systems, das aus Regler und Regelstrecke besteht. Der Fahrer übernimmt die Aufgabe des Reglers, die Regelstrecke hingegen umfasst Fahrzeug und Fahrbahn (Bild 4).

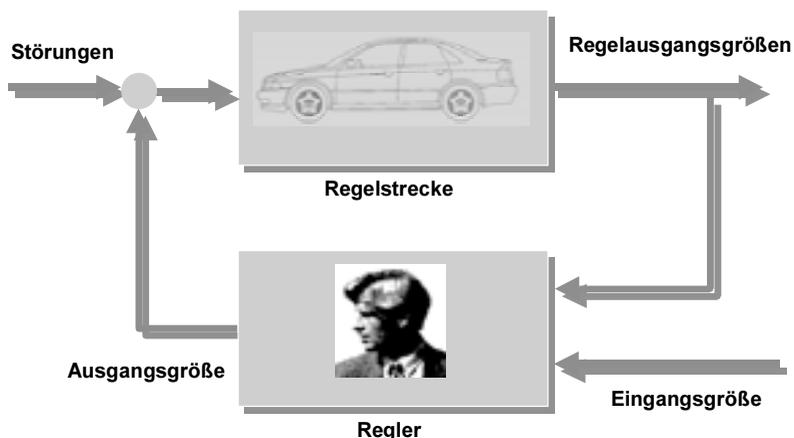


Bild 4: Regelkreis Fahrer – Fahrzeug – Umwelt

Schaut man die Aufgabe des Fahrers genauer an, so wird deutlich, dass sie komplexer ist als erwartet. Sie umfasst im wesentlichen drei Aufgabenbereiche (Bild 5): navigieren - antizipieren - stabilisieren.

In der ersten Ebene navigiert der Mensch das Fahrzeug. Er wählt vor oder auch während der Fahrt aus den möglichen Strecken die günstigste aus. Kriterien sind beispielsweise, wie viel Zeit für die Strecke benötigt wird, wie groß Entfernungen oder wie stark Verkehrsbelastungen sind.

In der zweiten Ebene - Bahnführung - wird der Sollkurs der zuvor gewählten Strecke vorgegeben. Der Fahrer legt innerhalb der einsehbaren Strecke vor dem Wagen die Bewegungsrichtung fest. Dabei fließen Beobachtungen anderer Verkehrsteilnehmer und Signale von Verkehrsanlagen ein.

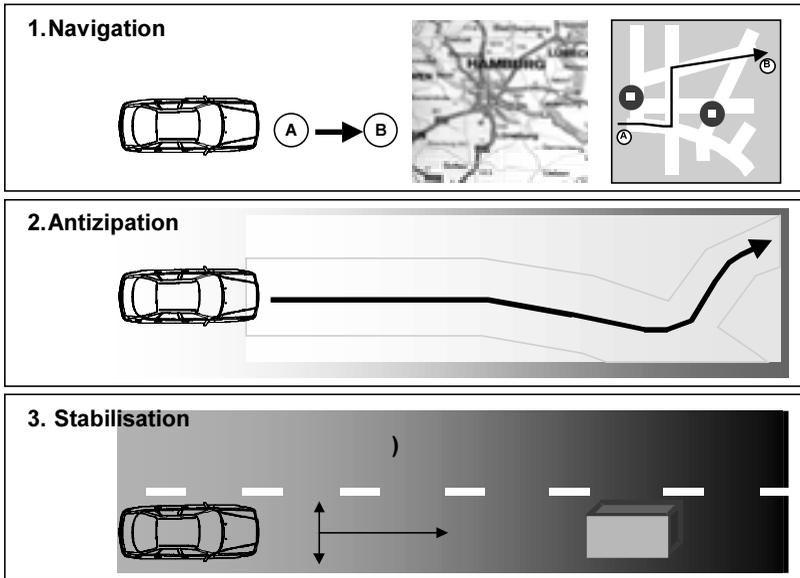


Bild 5: Mehrebenen Modell

In der dritten Ebene - Stabilisierung - muss dann alles zuvor Festgelegte auch eingehalten werden. Der Mensch führt das Fahrzeug durch Lenkbewegungen, auftretende Kursabweichungen werden entweder toleriert oder am Lenkrad korrigiert. Mit der komplexen Regelaufgabe des Fahrers muss auch der eingangs gezeigte Regelkreis weiter aufgegliedert werden.

Von elektronischen Hilfsmitteln für die Streckenfindung einmal abgesehen, sind leichte Handhabung des Wagens, fehlerverzeihendes Fahrverhalten und eine gute Rundumsicht für die Navigationsaufgabe wichtig.

Das gleiche gilt auch für die Bahnführungsebene, die den Fahrer durch geringe Schwingungs- und Geräuschbelastungen ermüdungsfrei halten soll.

Für die Aufgabe der Stabilisierung sind vor allem die Fahreigenschaften wichtig. Das Fahrzeug soll mit geringer Verzögerung und in vorhersehbarer Weise auf die Eingaben seines Fahrers reagieren. Der Regelaufwand zum Kurshalten soll unter allen Betriebsbedingungen so gering wie möglich sein und das Fahrzeug muss eine hohe Stabilität gegenüber äußeren Störungen besitzen.

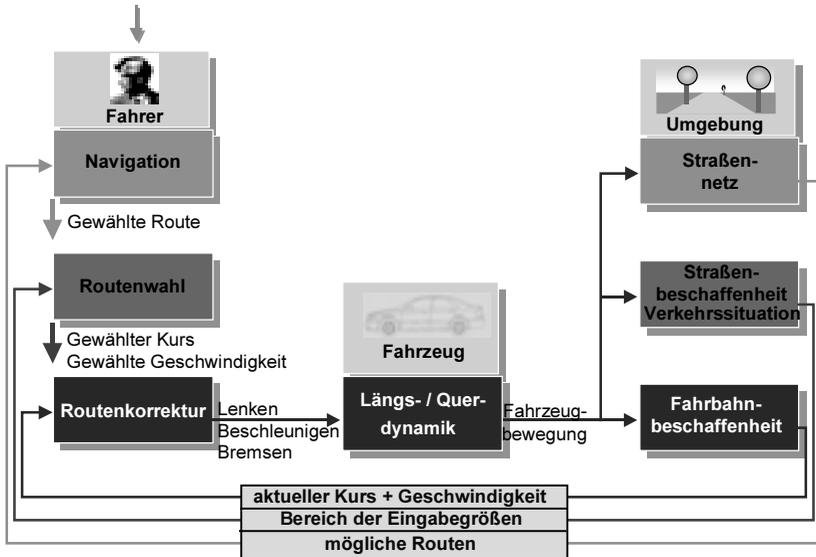


Bild 6: Anforderungen an sicheres Fahren

Unter dem Gesichtspunkt der aktiven Sicherheit ergeben sich folgende Anforderungsbereiche:

- Wahrnehmungssicherheit
- Handhabungssicherheit
- Konditionssicherheit
- Fahrsicherheit

Wie entscheidend die Leistungsfähigkeit des Wagens in jedem dieser Bereiche die Sicherheit des Fahrvorganges beeinflusst, wird am Handlungsablauf bei einem kritischen Fahrmanöver deutlich (Bild 7).

Im Diagramm ist das Gefahrenniveau über der Zeit aufgetragen. Eine Grenzlinie zeigt an, wann das Gefahrenniveau so hoch ist, dass es zu einem Unfall kommt. Geht man zu Beginn der Fahrt davon aus, dass der Fahrvorgang ungestört verläuft, so ergibt sich ein Gefahrenniveau weit unterhalb der Unfallgrenze. Die Höhe des gesamten Gefahrenniveaus wird durch alle drei Komponenten (latente Gefahr) festgelegt.

Durch das plötzliche Auftreten einer Störung steigt das Gefahrenniveau und ein Handeln des Fahrers wird notwendig, zum Beispiel das Einleiten einer Ausweichbewegung. Da der Fahrer erst nach Ablauf einer Reaktionsdauer eingreift, erhöht sich das Gefahrenniveau zunächst weiter. Ab dem Zeitpunkt

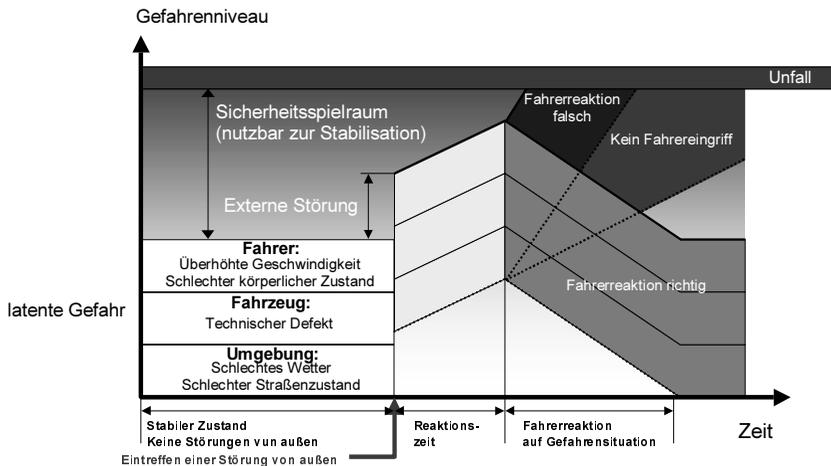


Bild 7: Sicherheitspotentiale in kritischen Fahrsituationen

der Reaktion vermindert sich bei richtigem Handeln das Gefahrenniveau wieder so lange, bis das Ausgangsniveau erreicht ist. Reagiert der Fahrer hingegen nicht oder falsch, erhöht sich das Gefahrenniveau bis zum Zeitpunkt eines Unfalls.

Bei diesem Handlungsablauf kann das Fahrzeug selbst an vier entscheidenden Zeitpunkten einen Beitrag zur Gefahrenabwehr liefern:

1. Im Ausgangszustand kann das latente Gefahrenniveau durch einen geringen Beitrag des Fahrzeugs klein gehalten werden. Ein Stabilisierungsspielraum ist dementsprechend größer.
2. Nach der Störung kann ein Ansteigen des Gefahrenniveaus während der Passivphase des Fahrers durch gute Fahrstabilität so gering gehalten werden, dass genügend Zeit zum Einleiten von Abwehrmaßnahmen bleibt.
3. Greift der Fahrer ein, sollte sein Wagen rasch und vorhersehbar reagieren, um zum Beispiel durch ein Ausweichmanöver das Gefahrenniveau so schnell wie möglich wieder zu senken.
4. Bleibt alles Bemühen, einen Unfall zu verhindern erfolglos, sollte das Kraftfahrzeug durch definierte Verformungszonen oder ein geeignetes Rückhaltesystem dazu beitragen, Unfallfolgen für die Insassen so gering wie möglich zu halten.

4. Akustik und Schwingung

4.1 Einteilung von Schwingungen

Neben der grundsätzlichen Unterteilung in deterministische und nicht deterministische Signalformen ist eine weitere Unterteilung notwendig, um die Möglichkeit der Beschreibung des Signals zu dokumentieren (Bild 8).

Deterministische Schwingung:

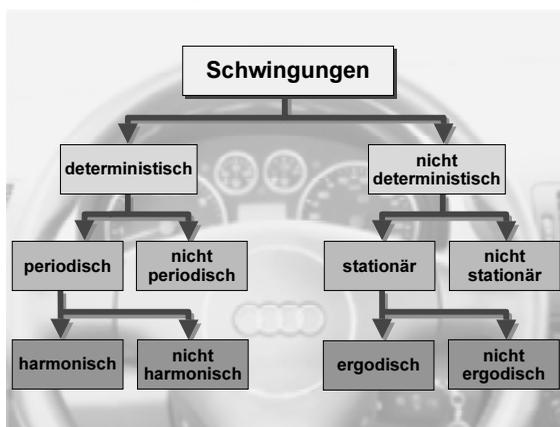


Bild 8: Schwingungsformen

Ein deterministisches Signal ist analytisch beschreibbar. Dadurch ist es jederzeit reproduzierbar. Straßenunebenheiten sind nicht deterministische Schwingungen. Allerdings können bestimmte Abschnitte, zumindest angenähert, analytisch beschreibbar sein. Dies sind zum Beispiel ein Kanaldeckel (Rechteckform) oder Unebenheiten im Ampelbereich (Sinusform).

Nicht deterministische Schwingung:

Regellose Schwingungsformen, und hier sind bei der Auslegung eines PKW-Fahrwerks vor allem die Straßenunebenheiten von Interesse, werden durch die Stochastik dokumentiert. Dies ist die Betrachtungsweise der analytischen Statistik nach der Wahrscheinlichkeitstheorie. Dabei wird das zeitlich dynamische Verhalten von Zufallvariablen untersucht. Die beschreibende (deskriptive) Statistik beschreibt Zustände und Vorgänge anhand von Beobachtungsdaten. Auf das konkrete Beispiel der Straßenunebenheit projiziert ist dies die Messung der Topologie einer Fahrbahnoberfläche. Die analytische (induktive) Statistik schließt anhand von Beobachtungsdaten auf

allgemeine Gesetzmäßigkeiten, die über den Beobachtungsraum hinaus gültig sind. Es werden die in der beschreibenden Statistik ermittelten Daten beurteilt.

4.2 Kennwerte

Die nicht deterministischen Vorgänge werden mittels statistischer Kennwerte beschrieben. Diese Kennwerte werden in Zeit- und Frequenzbereich unterteilt.

Kennwerte im Frequenzbereich:

Aussagefähiger als Kennwerte im Zeitbereich sind oft die Kennwerte, die aus dem Frequenzbereich gewonnen werden. Dies gilt zumindest für den Fall, in dem sich ein Überblick über einen stochastischen Vorgang geschaffen werden soll.

Als Beispiel sei hier stark vereinfacht die Auslegung eines Gummi-Metalllagers angeführt. Um die Amplituden aus der Anregung von Straßenunebenheiten für einen bestimmten Frequenzbereich, den Arbeitsbereich des Lagers, zu erhalten, muss die gemessene Topologie der Fahrbahnoberfläche im Frequenzbereich dargestellt werden. Eine Betrachtung im Zeitbereich ist hier nicht hilfreich.

Das Amplitudenspektrum bildet sich aus der Fouriertransformation des Zeitsignals. Es ist ein lineares Spektrum und bietet Amplituden und Phaseninformationen für die berechneten Frequenzen an (Bild 9).

4.3 Sinnesorgane

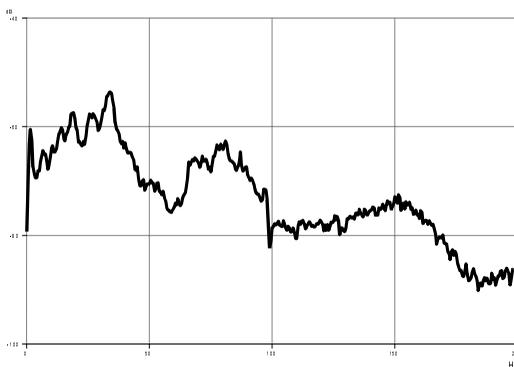


Bild 9 : Amplitudenspektrum Beschleunigung Lenkrad [dB]

Wahrnehmung von Schwingungen:



Bild 10: Fahrerplatz und Informationskanäle

Zu der Wahrnehmung der zuvor beschriebenen Schwingungsformen stehen dem Fahrer unterschiedliche Informationskanäle zur Verfügung – die Sinnesorgane. Sie sind mit einem Rezeptor ausgestattet, welcher der Überführung physikalischer oder chemischer Einwirkungen in physiologische Erregungen dient.

Die für die Schwingungswahrnehmung und Bewertung im Fahrzeug wichtigen Sinne sind Gesichts-, Gehör-, Tast- und Gleichgewichtssinn.

- Gesichtssinn (Auge):

Die Rezeptoren der Netzhaut senden die Informationen über den Sehnerv. Die Sehschärfe wird allerdings durch Vibrationen herab gesetzt. Im Bereich von 4-25 Hz kann es bereits zu Beeinflussungen der Sehschärfe kommen.

- Gehörsinn (Ohr):

Das Gehörorgan hat die Aufgabe Schallwellen differenziert nach Tonhöhe und Intensität in nervöse Impulse umzuwandeln. Es wird in die Bereich Außen-, Mittel-, und Innenohr unterteilt. Das eigentliche Gehörorgan ist die Gehörschnecke, welche über Steigbügel, Ambos und Hammer die Trommelfellschwingungen aufnimmt.

- Tastsinn (Haut):
Für die Erfassung von Schwingungen sind die Mechanoreptoren von Bedeutung. Der Hautreiz wird in einen nervösen Impuls umgewandelt. Dabei wird in Berührung und Druck unterschieden.
- Gleichgewichtssinn (Vestibularorgan):
Das Vestibular- oder Gleichgewichtsorgan besteht aus 3 Bogengängen, welche senkrecht aufeinander stehen. Die Winkelbeschleunigungen werden über Crista ampullaris und Kupula am Eingang der Bogengänge erfasst. Durch die Trägheit der Kupula gegenüber dem knöchernen und häutigen Bogengang kommt es zu einer Relativbewegung bei einer Beschleunigung, die von den Sinneshaaren der Crista ampullaris registriert wird.

Die Sinnesorgane geben die Informationen über die Sinnesnerven an das Großhirn weiter. Wirkt ein konstanter Reiz über einen längeren Zeitraum, so reduziert sich allerdings die Intensität der Empfindung.

4.4 Wahrnehmungsschwellen

Neben dem Wissen um Wahrnehmung und Verarbeitung von für die Schwingungsanalyse bedeutenden Informationen, muss in der Praxis die Wahrnehmungsschwelle und das Auflösungsvermögen gleichermaßen beachtet werden.

Die wesentlichsten Einflussgrößen auf die genannten Phänomene, neben den Randbedingungen, wie zum Beispiel der Grundpegel, sind

- Zeitdauer
- Amplitude
- Frequenz

Durch diverse durchgeführte Versuche und unter Zuhilfenahme der Literatur ergeben sich für Beschleunigungen folgende Wahrnehmungsschwellen (Bild 11):

Bewegung	Richtung / Drehachse	Schwellwert
Rotation	Gieren	$0.05 - 5 \text{ } ^\circ/\text{s}^2$
	Rollen	$0.1 - 0.2 \text{ } ^\circ/\text{s}$
	Nicken	$0.1 - 0.2 \text{ } ^\circ/\text{s}$
Translation	longitudinal	$0.02 - 0.8 \text{ m/s}^2$
	transversal	$0.05 - 0.1 \text{ m/s}^2$
	vertikal	$0.02 - 0.05 \text{ m/s}^2$

Bild 11: Wahrnehmungsschwellen

Frequenzeinfluss

Die Informationsaufnahme und Verarbeitung durch die Sinnesorgane unterliegt einem Frequenzeinfluss. Am bekanntesten ist dieser Frequenzeinfluss in der Akustik durch die dB(A)-Kurve (Bild 12). Hier wird die Physiologie des Menschen berücksichtigt, um in einem Spektrum für verschiedene Frequenzen bei gleichem Pegel gleiche Wahrnehmung zu gewährleisten.

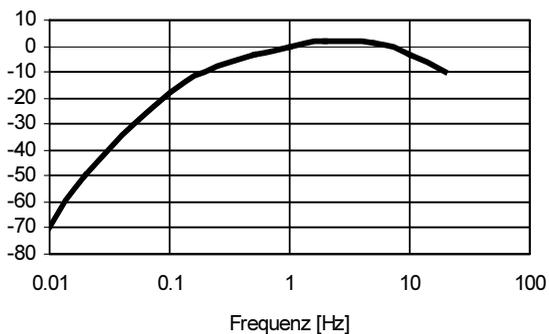


Bild 12: Frequenzkurve dB(A) Bewertung

Bild 13 zeigt den Einfluss des dB(A)-Filters auf den Verlauf des Spektrums bei einer Schalldruckmessung im Fahrzeuginnenraum.

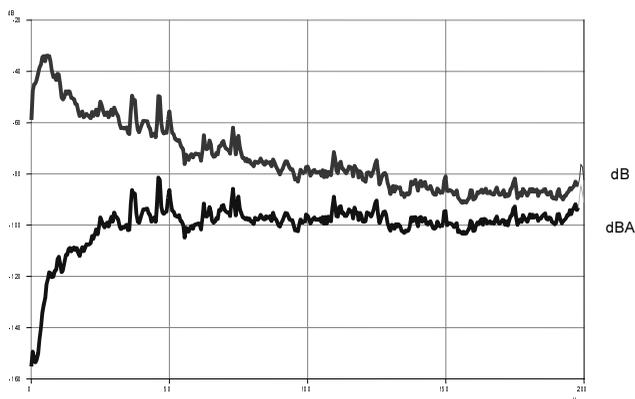


Bild 13: Schalldruck im Fahrzeuginnenraum

Beim Tastsinn ist ebenfalls eine Frequenzabhängigkeit der Wahrnehmung zu erkennen. Im Bereich von etwa 200 Hz ist die Wahrnehmungsschwelle besonders gering, d.h. die Empfindlichkeit ausgeprägt. Man kann davon ausgegangen, dass Frequenzunterschiede von etwa 10% feststellbar sind (Bild 14).

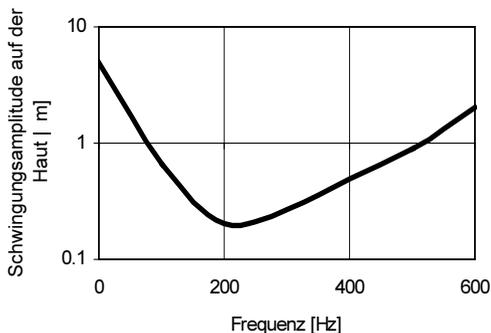


Bild 14: Wahrnehmungsschwelle Mechanorezeptor

Auch die Wahrnehmungsschwelle des Gleichgewichtssinns ist von der Frequenz abhängig. In der ISO 2631 ist festgehalten, dass bei Vertikalschwingungen der Mensch im Bereich von 4 bis 8 Hz am empfindlichsten reagiert. Fahrversuche unter realen Fahrbedingungen zeigen, dass offenbar differenziert wird zwischen dem, was spürbar ist und dem was unangenehm ist. So führen Vertikalschwingungen im Bereich von 10 bis 18 Hz zu einer deutlicheren Reduzierung im Fahrkomfort als andere Frequenzbereiche (Bild 15). Werden bestimmte Teilaspekte des Fahrkomforts hinterfragt, so ergibt sich eine geänderte Gewichtung.

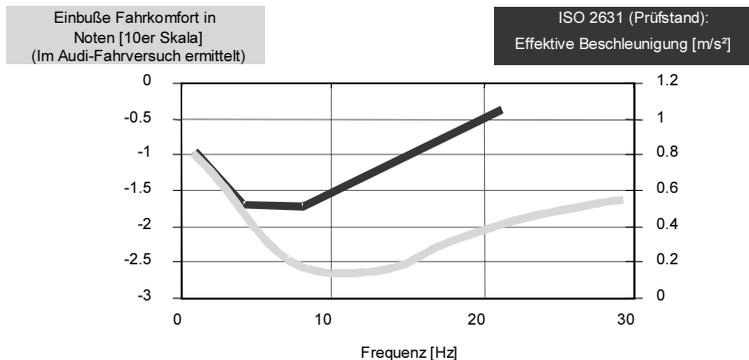


Bild 15: Frequenzabhängiger Fahrkomfort

5. Fahrwerksauslegung

Im Hinblick auf die Positionierung eines Fahrzeugs gilt es bei der Fahrwerksauslegung den besten Kompromiss zwischen „sportlich“ und „komfortabel“ orientiert, bei maximaler passiver Fahrzeugsicherheit, zu finden. Ein erster Schritt ist hierbei die Reduzierung der ungefederten Massen am Fahrwerk, die alle Anforderungen gleichermaßen unterstützt. Eine weitere Voraussetzung ist eine gelungene Abstimmung von Stoßdämpfer und Hauptfeder um ein weitgehend neutrales Fahrverhalten mit gut beherrschbarem Lastwechselverhalten zu erreichen. Wichtige Randbedingung ist dabei ein optimales Übersetzungsverhältnis zwischen Vertikalkraft am Rad und Kraft im Stoßdämpfer. Für einen guten Langstreckenkomfort ist es erforderlich eine gute Innenraumakustik über einen weiten Bereich von Beladungs- und Fahrzuständen konstant zu halten. Vor allem bei Frontantriebsfahrzeugen ist gutes Traktionsverhalten bei beschleunigter Kurvenfahrt erforderlich.

Bei der fahrdynamischen Auslegung von PKW wird grundsätzlich in die 3 Bewegungsrichtungen längs, quer und vertikal unterschieden. Die Grenzen sind allerdings fließend. Die Auslegung eines Fahrwerks orientiert sich an der höchsten Effizienz des Systems Fahrer-Fahrzeug, das bedeutet, dass nicht nur das technische System optimal funktionieren muss, entscheidend ist vielmehr das optimale Zusammenspiel von Fahrer und Fahrzeug. Bei der Auslegung eines kundenorientierten Fahrwerks muss die Schnittstelle Fahrer-Fahrzeug an den Fahrer adaptiert werden.

5.1 Längsdynamik

Bei der Optimierung der Längsdynamik gilt es hauptsächlich sicherheitsrelevante Aspekte zu berücksichtigen. Der kürzeste Bremsweg ist hierbei das oberste Entwicklungsziel. Eine nicht unerhebliche Rolle kommt dabei der Abstimmung des Systems Bremsanlage – Rad – Reifen zuteil. In einer optimalen Kombination kann hier eine Reduzierung des Bremswegs auf ein Minimum und damit ein wesentlicher Beitrag zur Sicherheit des Fahrzeugs geleistet werden. Ein Vergleich zweier Modelle der gleichen Fahrzeugklasse zeigt den Unterschied nach 26 Jahren Entwicklungszeit (Bild 16).

Fahrzeug	Bereifung	Bremsweg
Audi 50, Modelljahr 1974	145 SR 13	47 Meter
Audi A2, Modelljahr 2000	175/60 R15 V	39 Meter

Bild 16: Bremswege

Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass jederzeit genügend Seitenkräfte aufgebaut werden, um einen stabilen Zustand des Fahrzeuges zu gewährleisten. Eine sehr komplexe Elektronik (ABS, ESP) erlaubt, dass diese Prämisse nicht nur bei Geradeausfahrt auf homogenen Untergrund, sondern in jeder erdenklichen Fahrsituation und bei verschiedenen Fahrbahnoberflächen erfüllbar ist ohne den Fahrer zusätzlich mit komplexen Regelaufgaben zu belasten.

Durch einen hohen Bremsanteil an der Hinterachse werden bei Geradeausbremsungen sehr kurze Bremswege erreicht. Für eine ergonomische Auslegung der Bremsbetätigung ist eine feinfühligke Dosierbarkeit und eine hohe Dynamik des Bremsdruckaufbaus bei spontanem Ansprech- und Löseverhalten erforderlich. Das Pedalgefühl sollte sich während einer Verzögerung nicht ändern, d.h. das zum Beispiel Pulsationen des Bremspedals während ABS Regelvorgängen so gering wie möglich gehalten werden müssen. Dies trifft ebenso auf Fahrzeugbewegungen beim Bremsen wie das Eintauchen an der Vorderachse zu, da solche Fahrzeugreaktionen oft eine Verunsicherung des Fahrers bewirken und dadurch Fehlreaktionen hervorrufen können.

5.2 Querdynamik

Auch bei der Auslegung der Querdynamik eines Fahrzeuges steht die aktive Sicherheit im Vordergrund. Sowohl im stationären, als auch instationären Bereich des Fahrverhaltens muss dieser Aspekt berücksichtigt werden. Zur Beurteilung existieren diverse Fahrmanöver. Diese lassen sich grundsätzlich in closed-loop und open-loop Tests unterteilen.

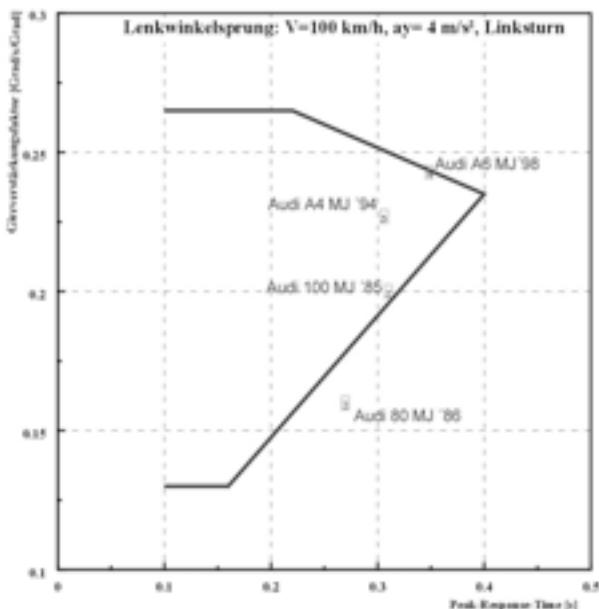
Bei den closed-loop Tests, einer Subjektivbewertung der Eigenschaften des Fahrzeuges, existiert ein Regelkreis Fahrer - Fahrzeug - Umwelt, d. h. der Fahrer ist durch die Handhabung des Fahrzeuges in das Testergebnis mit eingebunden. Bei den Testverfahren ist lediglich der Streckenverlauf genormt, weitere Parameter sind nicht vorgegeben. Bei Audi werden ausgewählte Fahrzeugeigenschaften auf einer Skala von 1-10 bewertet. Die Note 10 stellt dabei das derzeitige Optimum einer Eigenschaft dar. Insgesamt werden über 100 Einzelkriterien in den Gebieten Anfahrverhalten, Lenkverhalten, Geradeausfahrt, Bremsverhalten, Kurvenverhalten und Fahrkomfort bei unterschiedlichen Randbedingungen wie beispielsweise trockene oder nasse Fahrbahn, beurteilt.

Fahrzeugtest aus dem open-loop Bereich können mit realen Fahrmanövern verglichen werden. Allerdings ist der Regelkreis Fahrer - Fahrzeug - Umwelt dabei nicht geschlossen um das Fahrzeugverhalten objektiv beurteilen zu

können. Beispielhaft seien hier einige Prüfungen genannt:

- Stationäre Kreisfahrt mit Bremsen, Beschleunigen und Lastwechsel (Zu- oder Abfahrt von der Autobahn)
- Sinuslenken (Spurwechsel auf der Autobahn)
- Bremsen auf μ -Split (Bremsungen mit unterschiedlichen Reibwerten zwischen Reifen und Fahrbahn an der linken und rechten Fahrzeugseite)
- Prüfung der Querstabilität von Personenkraftwagenzügen (Verhalten von PKW mit Anhängern)
- Seitenwindempfindlichkeit
- Lenkwinkelsprung (Ausweichmanöver mit hoher Querbeschleunigung)

Bei der Fahrzeugprüfung hat der Fahrer die Aufgabe das Fahrzeug aus Geradeausfahrt bei konstanter Geschwindigkeit durch schlagartigen Lenkradeinschlag in einen Kreisbogen zu lenken. Die Messergebnisse liefern eine Aussage über die Spontaneität der Reaktion und die Gierverstärkung des Fahrzeugs auf Lenkbewegungen. Im Diagramm (Bild 17) ist gut zu erkennen, dass ein Audi 80 aus dem Jahr 1986 deutlich träger auf eine Lenkbewegung reagiert als ein Audi A4, Modelljahr 1994. Maßgeblich ist daran auch die indirekte Lenkung beteiligt. Diese Lenkübersetzung war zu dieser Zeit erforderlich um die Lenkkräfte, wegen der fehlenden Servounterstützung, gering zu halten.



1: Bild 17: Lenkverhaltenskennfeld

5.3 Vertikaldynamik

Bei der Vertikaldynamik gilt es, das Fahrzeug hinsichtlich seines Komforts auszulegen. Die Bewertung des Fahrkomforts geschieht durch Fahrprüfungen, die das schwingungstechnische Verhalten eines Fahrzeug umfassend wieder spiegeln. Umfangreiche Fahrtests, bei denen der subjektive Komforteindruck messbaren Größen gegenübergestellt worden ist, haben ein recht genaues Bild darüber ergeben, welche Faktoren den Fahrkomfort entscheidend prägen. Dies sind vor allem die Beschleunigungen an der Sitzschiene und am Lenkrad.

Der vertikale Fahrkomfort wird sowohl bei instationären als auch bei stationären Vorgängen beurteilt. Der instationäre Zustand wird im Zeitbereich dargestellt. Als Beispiel sei hier die Überfahrt über eine Kante genannt (Bild 18).

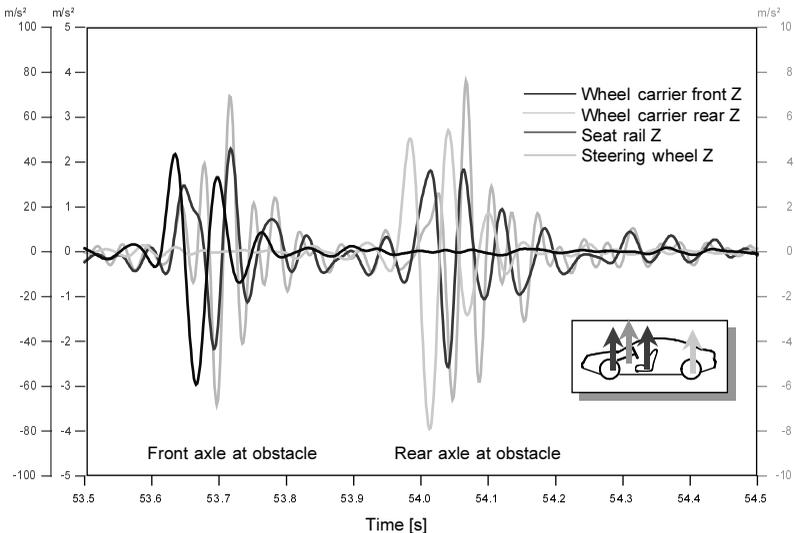


Bild 18: Zeitverlauf der Beschleunigungen bei Kantenüberfahrt

Positiv auf der Komfort wirkt sich neben geringen Beschleunigungsamplituden vor allem ein rasches Abklingen der Schwingung aus. In Bild 19 ist die Fahrt auf einer Landstraße, ein stochastischer Vorgang, dargestellt. Die entsprechende Beurteilung des Fahrkomforts wird hier im Frequenzbereich vorgenommen.

Im Spektrum sind die Beschleunigungen an der Sitzschiene und am Lenkrad dargestellt. Anhand dieser Größen kann das gesamte Fahrwerk beurteilt werden, da das Schwingungsverhalten aller Subschwingungssysteme, wie zum Beispiel der Achsen oder des Aufbaus, dokumentiert wird. Jeder Peak im Spektrum steht für eines dieser Subsysteme (Bild 19).

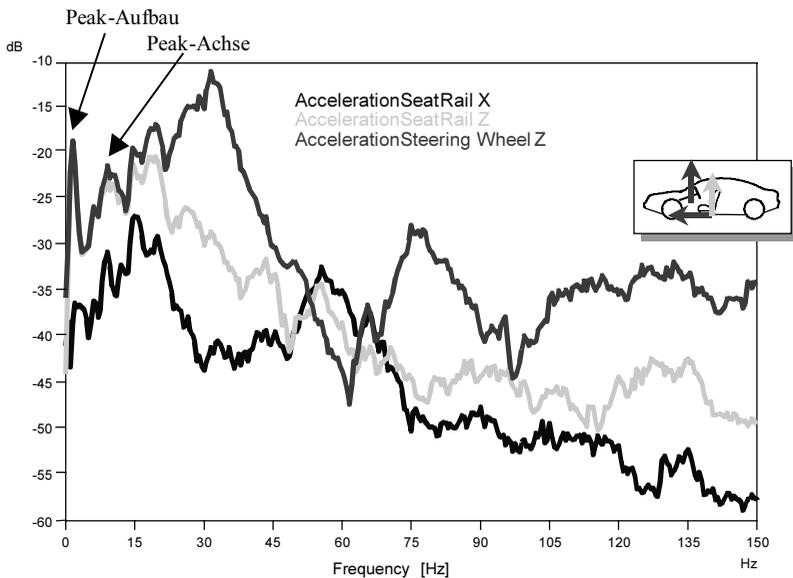


Bild 19: Amplitudenspektrum der Beschleunigung bei einer Landstrassenfahrt

6. Betätigungen

Innerhalb des Regelkreises Fahrer - Fahrzeug - Umwelt kommen den Betätigungen wie Lenkrad und Pedalerie zentrale Bedeutungen zu.

Das Pedalwerk dient dazu, alle Fahrerwünsche bezüglich der Längsdynamik des Fahrzeuges zu erfassen. Es muss, neben der Erfüllung gesetzlicher Anforderungen, dem Fahrer die Möglichkeit geben, alle Bedienvorgänge eindeutig, zuverlässig, reproduzierbar und mühelos vorzunehmen.

Ein weiteres Element stellt das Lenkgetriebe dar. Es übersetzt die zum Drehen der Vorderräder aufzubringenden Kräfte in die vom Fahrer aufbringbaren Kräfte. Einerseits darf seine Übersetzung nicht zu indirekt sein, um Zielgenauigkeit und Spontanität zu gewährleisten, andererseits darf die physische Belastung des Fahrers nicht zu groß werden. In den meisten zur Zeit auf dem Markt angebotenen Fahrzeugen kommen deswegen Hilfskraft- oder Servolenkgetriebe zum Einsatz.

6.1 Kupplungsbetätigung

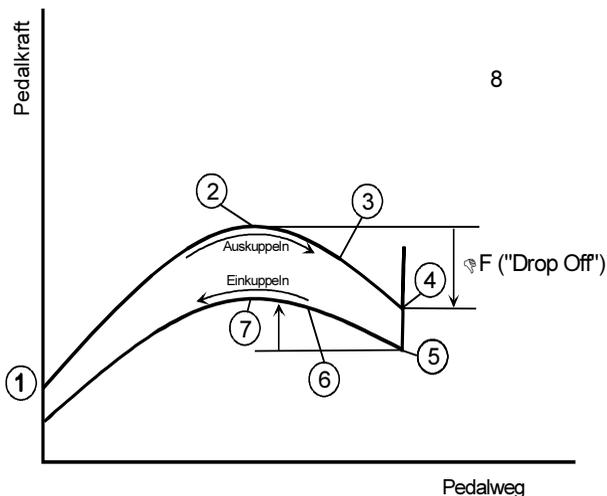


Bild 20: Pedalkraft / -weg Diagramm

1. Antrittskraft: F_1 soll deutlich über 0 liegen, damit ein Betätigungsvorgang definiert begonnen werden kann. Durch einen locker abgelegten Fuß soll das Pedal keinesfalls betätigt werden. Komfortable Werte sind 20 – 40 N.
2. Maximale Betätigungskraft: F_2 liegt im Bereich zwischen 90 N und 120 N. Höhere Betätigungskräfte können bei häufiger Betätigung, zum Beispiel im Stop-and-go-Verkehr, als belastend empfunden werden.
3. „Drop Off“: Ein großer Kraftabfall ΔF nach dem Überschreiten der maximalen Betätigungskraft führt den Fahrerfuß sicher über den Trennpunkt 3, an dem die Kupplung kein Moment mehr überträgt, hinweg zum Anschlag 4. Damit wird ein vollständiges Auskuppeln sichergestellt.
4. Minimale Haltekraft: F_5 ist ein Komfortmerkmal. Das Fahrzeug soll mit geringer Haltekraft in Anfahrbereitschaft gehalten werden können. Dies muss mit der Anforderung auch bei tiefen Temperaturen das Pedal sicher und ausreichend schnell zurückkommen zu lassen abgestimmt werden. 30 N sollen hier nicht unterschritten werden.
5. Kraftanstieg beim Einkuppeln: Auf dem Weg zur höchsten Rückstellkraft F_7 wird der Greifpunkt F_6 , an dem die Kupplung beginnt Moment zu übertragen, überfahren. Der Fahrer muss in der Lage sein, mühelos einen Punkt innerhalb des Modulationsbereiches (Bild 21) zu finden, der ein ausreichendes Anfahrmoment überträgt, jedoch das verfügbare Motor-moment nicht überschreitet. Dies soll ein „Abwürgen“ des Motors beim Anfahren sicher verhindern.

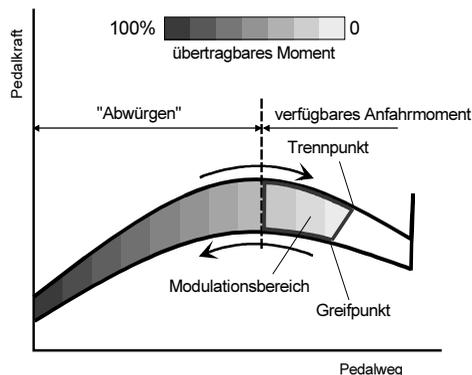


Bild 21: Anfahren

Einkuppelvorgang:

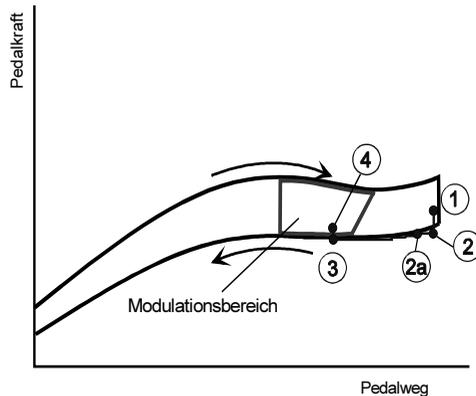


Bild 22: Einkuppelvorgang

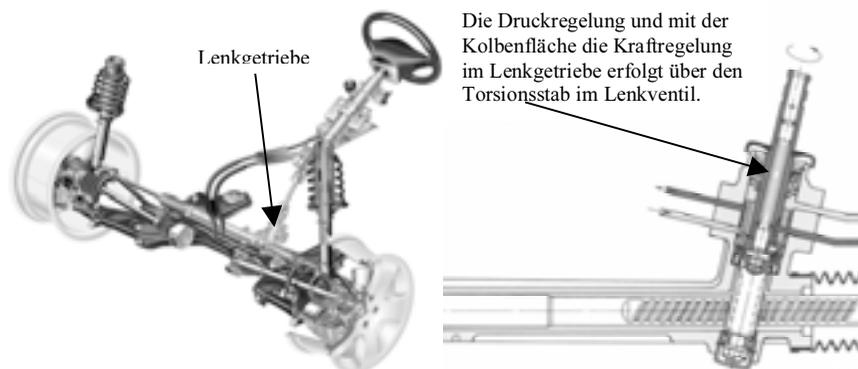
Ausgehend von einem stabilen Zustand (1) innerhalb des Hysteresebandes beginnt der Fahrer den Einkuppelvorgang durch Kraftabsenkung, ohne dass sich das Pedal bewegt. Sobald die untere Begrenzungslinie des Hysteresebereiches verlassen wird (2), bewegt sich das Pedal in Richtung "Einkuppeln". Bei gleicher Kraft wird aufgrund der fallenden Pedalkennlinie selbsttätig ein neuer stabiler Punkt (2a) gefunden. Durch "infinitesimal" kleine Schritte wird so zuverlässig der gewünschte Punkt (3) erreicht, ohne dass der Fahrer durch eine Kraftanhebung gegensteuern muss. Durch eine beliebige kleine Kraftanhebung F_3 auf F_4 wird ein stabiler Punkt innerhalb des Hysteresebandes gefunden, in dem während des Anfahrvorgangs beharrt werden kann. Diese Auslegung wird als komfortabel empfunden.

6.2 Lenkung

Der Regeltätigkeit „Lenken“, also die Eingabe des Lenkwinkels, kommt besondere Bedeutung zu, weil sie die Grundlage zur Einhaltung des Sollkurses des Fahrzeuges ist. Der Fahrer benötigt dazu Rückmeldung über seine Regeltätigkeit; spontan, direkt und ohne Zeitversatz. Diese Rückmeldung muss frei von Größen sein, die ermüden oder stören. Das heißt, dass die Betätigungskräfte nicht zu hoch sein dürfen, aber auch nicht synthetisch niedrig. Eine gute Rückwirkung zeichnet sich außerdem dadurch aus, dass Stöße von der Fahrbahn und Schwingungen vom Motor sowie aus Rad- und Bremsunwuchten gefiltert werden.

Lenkgetriebe

Bei allen AUDI-Fahrzeugen ist das Servolenkgetriebe als hydraulisches Zahnstangenlenkgetriebe (Bild 23) ausgeführt, das die translatorische Bewegung der Zahnstange, den Lenkhub, in eine rotatorische Bewegung der Lenksäule übersetzt.



Die Druckregelung und mit der Kolbenfläche die Kraftregelung im Lenkgetriebe erfolgt über den Torsionsstab im Lenkventil.

Bild 23: Zahnstangenlenkgetriebe des Audi A3

Die zwei Parameter, die ein Servolenkgetriebe hinsichtlich seiner Betätigung beschreiben, sind die mechanische Übersetzung und die zur Verfügung stehende hydraulische Hilfskraft.

Anforderungen an das Betätigungsmoment:

Je nach Fahrsituation ergeben sich für das Betätigungsmoment unterschiedliche Anforderungen. Im allgemeinen unterteilt man diese in drei Hauptbereiche: Anlenken, Weiterlenken und Parkieren (Bild 24).

Dargestellt ist hier qualitativ der typische Zusammenhang von Lenkmoment und Pumpendruck eines Lenkventils. Grundsatz: kleines Handmoment = wenig hydraulische Unterstützung und umgekehrt. Für alle drei Bereiche gilt, dass die vom Fahrer eingeleitete Kraft und die resultierende hydraulische Kraft zusammen das zum Drehen der Räder benötigte Moment ergeben muss.

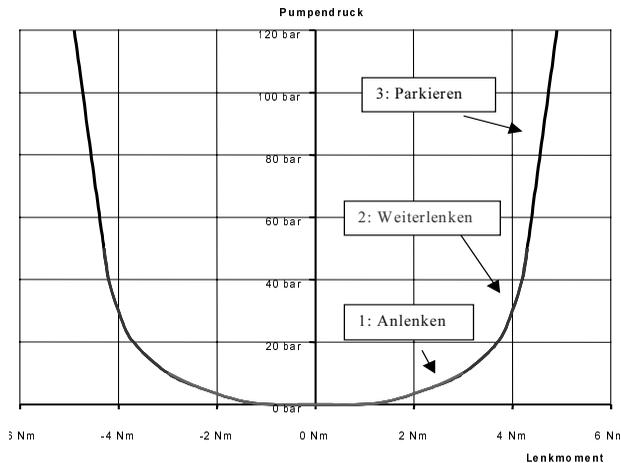


Bild 24: Ventilkennlinie

Parkieren

Das Lenkgetriebe muss so ausgelegt werden, dass das Parkieren für den Fahrer so komfortabel wie möglich zu bewältigen ist. Ein Drehen der Räder im Stand bedeutet für die Lenkanlage die maximale Belastung. Diese ist abhängig von der Radlast und dem Reibbeiwert zwischen Reifenlatsch (Aufstandsfläche des Reifens) und Fahrbahnoberfläche.

Die Lenkgestängeübersetzung kann nur für sehr kleine Lenkwinkel, zum Beispiel bei schneller Fahrt, als konstant betrachtet werden. Bei großem Lenkwinkelbedarf, wie in Parkiersituationen, ist diese Betrachtung nicht zulässig. Der effektive Spurhebel, der die Zahnstangenkraft in das Raddrehmoment übersetzt, nimmt über dem Radeinschlagwinkel ab. Der Druckbedarf zum Bewegen der Zahnstange nimmt daher zu. Das Drehen des

Lenkrades führt bei großem Momenten am Rad zu einer großen relativen Verdrehung des Torsionsstabes und damit zu einer großen hydraulischen Unterstützung. Das bedeutet, dass der Fahrer über den gesamten Lenkhub ein konstantes Betätigungsmoment aufbringen kann, obwohl die erforderliche Spurstangenkraft mit zunehmenden Lenkwinkel steigt (Bild 25).

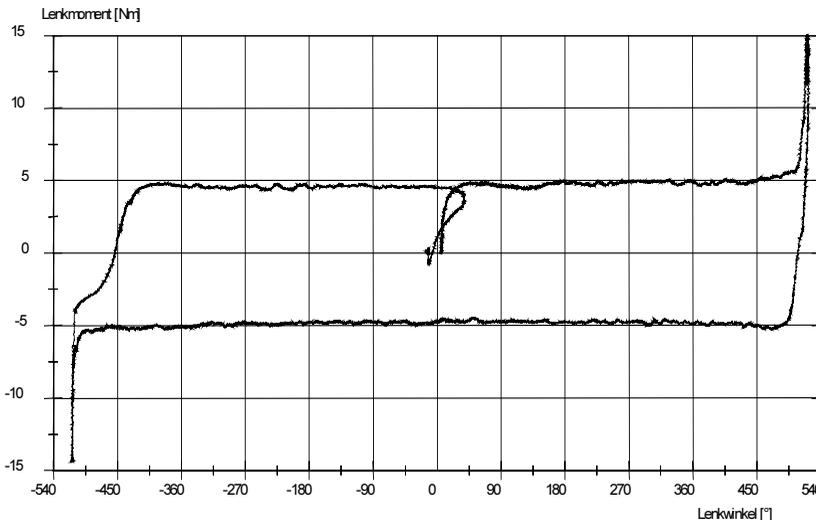


Bild 25: *Lenkmoment beim Parkieren*

Allgemein hat sich ein Parkiermoment von etwa 5 Nm als Obergrenze etabliert.

Anlenken

Im Anlenkbereich, zum Beispiel beim Fahrspurwechsel bei hoher Geschwindigkeit, steht die gute Rückmeldung von Gierwinkelgeschwindigkeit und Querschleunigung im Vordergrund. Der Einfluss der Achskinematik auf diese Rückmeldung wird hier am deutlichsten und soll nicht hydraulisch überdeckt werden. Eine hohe Unterstützung würde den Fahrer verunsichern und zu Fehlreaktionen verleiten. Da die beim Lenken während der Fahrt entstehenden Seitenführungskräfte an den Rädern zu einem wesentlich geringeren Moment am Rad führen als beim Parkieren, ist wegen der geringeren Drehstabauslenkung auch die hydraulische Unterstützung geringer.

Weiterlenken

Dies sind Lenkmanöver bei geringeren Geschwindigkeiten und engeren Kurven. Ist das Anlenken dadurch gekennzeichnet, dass eine hydraulische Unterstützung im Hintergrund steht, so ist beim Weiterlenken ein wesentlicher Bedarf an Unterstützung vorhanden. Dieser mittlere Betriebsbereich des Lenkventils bietet während der Entwicklungsphase den größten Abstimmfreiraum zur Festlegung der Ventilkennlinie.

7. Geschichtlicher Rückblick



Bild 26: Der Audi Allroad quattro®

Moderne Fahrzeuge, wie der Audi Allroad quattro® (Bild 26) werden heute maßgeblich nach ergonomischen Gesichtspunkten konstruiert. Auch in der Fahrwerksentwicklung kommt der Ergonomie eine besondere Rolle zuteil, wie in den vorherigen Kapiteln ausführlich beschrieben wurde. Wenn man in der Geschichte der Automobilentwicklung zurückblickt so erkennt man die Fortschritte die im letzten Jahrhundert erzielt werden konnten. Diese haben nicht nur die Sicherheit und den Komfort, sondern auch den Gebrauchswert des Automobils erheblich gesteigert. So ist es heute ganz selbstverständlich zu jeder Tages- oder auch Jahreszeit sein Fahrzeug in Betrieb zu nehmen. Das Fahrziel wird erreicht, ohne sich um die technischen Vorgänge Gedanken machen zu müssen.



Bild 27: Wanderer von 1914

Doch erst vor etwa 3 Generationen von „Automobilisten“ war die tägliche Benutzung des Fahrzeugs von Tätigkeiten geprägt, die mit modernen ergonomischen Gesichtspunkten heute nicht mehr zu vereinbaren sind. So zeigt der Blick in die Betriebsanleitung des Wanderer Motorwagens aus den 20er Jahren (Bild 27) einen nicht unerheblichen Aufwand zum Starten des Motors:

Zuerst stelle man den Zündhebel, das ist der obere kürzere Hebel am Handrad, auf Spätzündung, d.h. nach unten, hierauf öffne man die Vergaserdrossel durch Drehen des unteren längeren Regulierhebels um ca. zwei Rastenzähne aufwärts und setze den Motor mit der Andrehkurbel in Umdrehung. Läuft der Motor, dann ist es ratsam, dem Motor durch Aufwärtsdrehen des Zündhebels Frühzündung zu geben. Der Motor springt an, sobald er zündfähiges Gemisch erhält, was bei Verwendung leicht vergasbaren Brennstoffes der Fall ist.

Bevor der Motor abgestellt wird, ist der Hahn in der Brennstoffleitung vor dem Vergaser zu schließen, so dass nach Verbrauch des Brennstoffrestes, der sich im Schwimmerbehälter befindet, der Motor von selbst stehen bleibt. Bei Frost ist nach der Fahrt das Kühlwasser abzulassen.

Den heute in fast allen modernen PKW verwendeten elektronisch gesteuerten Automatgetrieben mit 5 Gängen standen zur damaligen Zeit sogenannte Wechselgetriebe mit höchstens 4 Vorwärtsgängen gegenüber. Unsynchronisierte Getriebe forderten die Anpassung der Eingangs- und der Ausgangsdrehzahl um einen Schaltvorgang optimal durchführen zu können. Ein Wechsel der Übersetzung ohne „hörbares Geräusch“ und damit zu große mechanische Belastung forderte vom Fahrer seine ganze Konzentration.

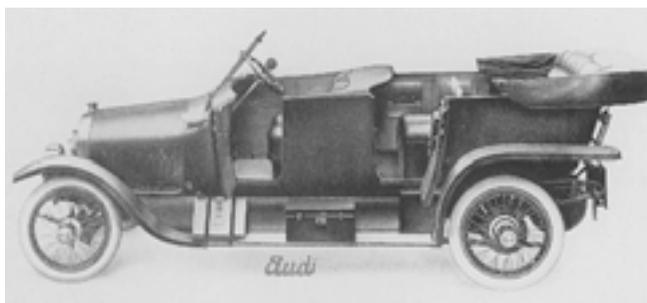


Bild 28: Audi Typ D von 1912

Werden heute bei Audi ausnahmslos Motoren mit elektronischem Motormanagement eingesetzt, so musste der Fahrer eines Audi Typ D (Bild 28) noch exakt mit der Bedienung des Zündregulierhebels (Bild 29) vertraut sein um „schädliche Einflüsse auf den Motor zu vermeiden“.

Eine Fahrt konnte damals nicht mit dem Abstellen des Fahrzeugs in der Garage beendet werden. Es standen noch einige Wartungsarbeiten auf dem Programm.

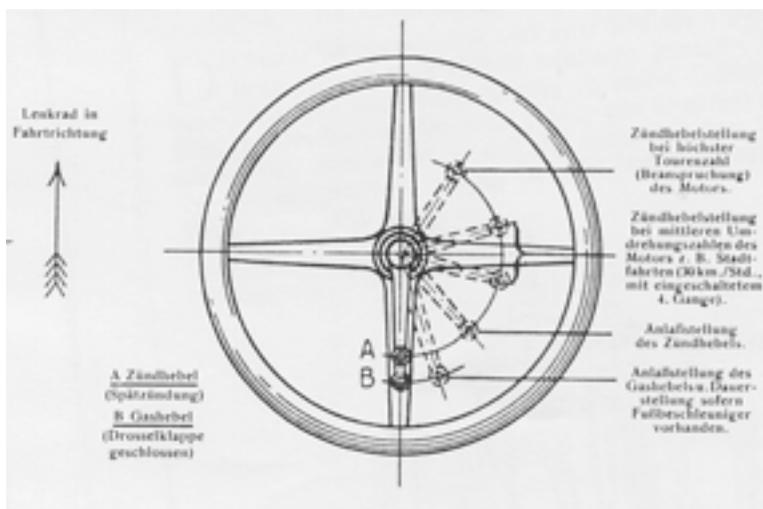


Bild 29: Gas- und Zündregulierhebel

So mussten täglich die Ventilstößelführungen, die Fettbüchsen der Achsen, die Steuerhebellager und -gestänge und die Kugelhöpfe geschmiert werden. Wöchentlich waren die Kugellager, die Fußhebellager, die Gestängegelenke, das Handrad zur Steuerung und der Gashebel sowie alle Federböckchen und Bremsstangenaugen abzuschmieren. Der Wartungsplan sah noch zusätzliche Arbeiten alle 2 Wochen, monatlich und vierteljährlich vor.

Bei „ruckartig greifenden Bremsen“ oder „zur Verhinderung von Geräuschen“ empfahl man das Ölen der Bremsbeläge und sollte sich beim Einkuppeln ein „kreischendes Geräusch“ bemerkbar machen musste der Kupplungsbelag mit Leber- oder Fischtran behandelt werden.

So wies Wanderer in den zwanziger Jahren in der Betriebsanweisung seine Kunden explizit zu bestimmten Verhaltensregeln an:

Die Gesichtspunkte nach denen der Automobilist handelt sind folgende:

- 1. tadellose Sauberkeit*
- 2. regelmäßige Prüfung und Besichtigung der einzelnen Organe*
- 3. ausreichende Schmierung und Kühlung*
- 4. sanftes Anfahren*
- 5. Vermeidung übermäßiger Drehzahl des Motors im Leerlauf*
- 6. Kupplung nicht unnütz schleifen lassen*
- 7. sanftes Bremsen, jedoch Bremsen nicht schleifen und zu heiß werden lassen*
- 8. bei Temperaturen unter 0° ist alles Wasser abzulassen*

Auch bei Vergleichen zwischen modernen Straßenfahrzeugen sind nach wie vor Unterschiede feststellbar. So hat der Lenker eines Motorrades die Aufgabe eine optimale Bremskraftverteilung zwischen Vorder- und Hinterachse durch die Betätigung zweier getrennter Hebel zu finden. Eine Aktion die fahrerisches



Bild 30: kritischer Bremsvorgang beim Motorrad

Geschick und vor allem Erfahrung fordert (Bild 30). Beim PKW wird die Bremskraft zwischen Vorder- und Hinterachse durch einen elektronischen Bremskraftregler automatisch verteilt.

In der Fahrzeugentwicklung wird sich dieser Trend der „Supervisery-Control“, also die Zunahme von Überwachungsfunktionen und der Eingriff in das Fahren durch das Fahrzeug selbst, weiter verstärken. Viele solcher Systeme

sind im modernen Fahrzeug längst etabliert, wie zum Beispiel die automatische Klimaanlage oder die automatische Leuchtweitenregulierung. Auch im Fahrwerksbereich sind die automatische Bremskraftverteilung, das ABS und in zunehmenden Maße Fahrdynamikregelsysteme wie ESP nicht mehr wegzudenken. In Zukunft wird hier das Fahrzeug bzw. die Fahrzeugelektronik noch weiterführende Aufgaben „übernehmen“. Sei es im Komfortbereich mit der Adaptive-Cruise-Control oder einer Toten-Winkel-Erkennung, im Sicherheitsbereich beginnend mit Precrash Sensorik bis zum unfallvermeidenden Automobil oder in der Bedienbarkeit durch intelligente Man-Machine-Interfaces.

Warum wir „harte“ ergonomische Daten benötigen

*Martin Wünsche, Klaus Millerferli, Dr. Achim Parnow, Jan Petzel
DaimlerChrysler AG, Sindelfingen*

In einer technischen Besprechung, deren Inhalt etwas mit der Gestaltung eines Fahrzeuges zu tun hat, stehen sich immer häufiger Spezialisten aus den verschiedensten Fachgebieten gegenüber. Nehmen wir den Ergonomie-Fachmann und den Konstrukteur. Während der eine von Perzentilen, von Greifräumen auf der Basis von vagen Annahmen und von Wahrscheinlichkeiten redet, spricht der andere von Millimetern, Kilogramm und Pfennigbeträgen. Die hard facts des Einen passen zu den Entscheidungskriterien im technischen Management, die soft facts des Anderen können keine absolute Präzision vermitteln und sind dadurch schwieriger in die Entscheidungsabläufe integrierbar.

Oder anders ausgedrückt: wenn der Preis, das Gewicht oder das Flanschmaß nicht stimmt, kann der Abstand zum Sollwert sehr genau angegeben werden, wenn aber ein Element für ein Grenzperzentil nicht im Greifraum liegt, kann im Prinzip niemand genau vorhersagen, wieviel Exemplare des zukünftigen Produktes weniger verkauft werden würden.

Im Folgenden sollen die Rahmenbedingungen der Ergonomie in der Fahrzeugentwicklung näher betrachtet und die Bedeutung der Ergonomie, ihre Wechselwirkungen mit den anderen beteiligten Fachgebieten, ihre Einbettung in die Prozeßketten der Entwicklung und die damit verbundenen Ergebnisse einzelner Prozeßschritte dargestellt werden. Abschließend werden eine Reihe von Ergonomiewerkzeugen vorgestellt und Anforderungen an zukünftige Werkzeugfunktionalitäten benannt.

Generell unterscheiden wir in der Fahrzeugentwicklung zwei Aspekte der Ergonomie:

- a. die klassische oder anthropometrische Ergonomie, nach deren Regeln die Maße im Interieur, basierend auf den relevanten Körpermaßen des Menschen, ausgelegt werden.
- b. die kognitive Ergonomie, die das Verständnis und die Benutzbarkeit komplexer Systeme sicherstellen soll.

1. Bedeutung der Ergonomie im Pkw und in der Pkw-Entwicklung

Im Laufe des letzten Jahrhunderts haben sich die Aufgaben der Ergonomie im Fahrzeug vervielfältigt. Der Grund dafür ist die starke Zunahme von Systemen im Fahrzeug, die als Servosysteme den Fahrer bei der unmittelbaren Fahraufgabe entlasten und die den Komfort im Fahrzeug bis hin zu dem heute als selbstverständlich vorausgesetzten Niveau gesteigert haben. Die Vielfalt von Fahrzeugkonzepten auf dem Markt bewirkt ebenfalls eine Zunahme der Aufgaben ebenso wie der Einsatz der Entertainmentssysteme, der Telekommunikation, der Navigation bis hin zur Einbindung der Fahrzeuge in Computernetze. Ein Ende dieses Trends ist noch nicht abzusehen, speziell die Anforderungen aus der Telematik nehmen sehr dynamisch zu.

Parallel zu der Zunahme der Systeme im Fahrzeug, hat sich der Wunsch beim Kunden nach mehr Komfort, nach mehr Sicherheit und mehr Funktionalität entwickelt, letztlich kommt dann auch noch die Freude über den Umgang mit dem Fahrzeug hinzu. Dies alles hat der Ergonomie eine für den Pkw prägende Rolle eingebracht.

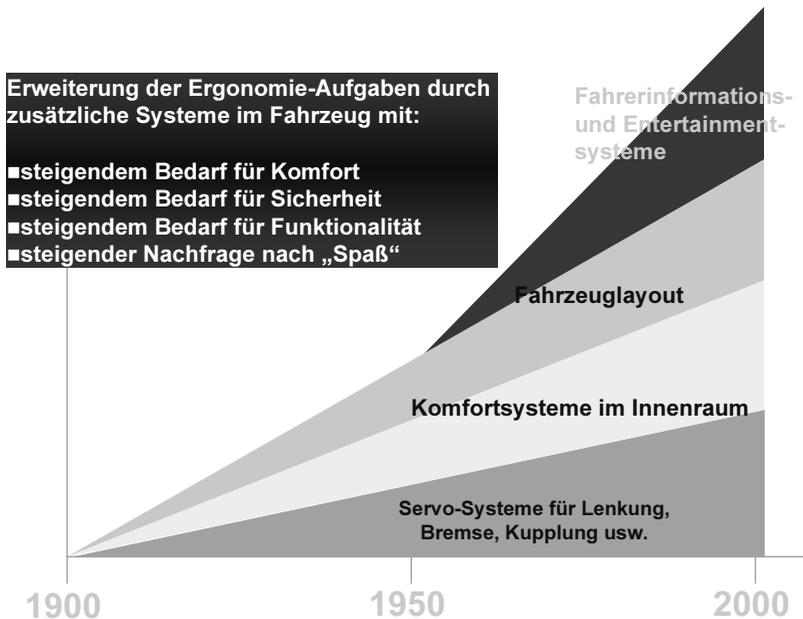
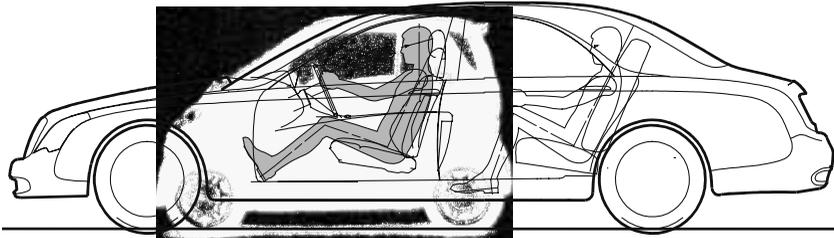


Bild 1: Entwicklung der Systeme mit Ergonomie-Relevanz

Die Ergonomie stellt den Menschen in den Mittelpunkt der Betrachtungen und steht dafür ein, daß der Fahrer das Fahrzeug sicher im Verkehr bewegen kann, daß die Sicht auf das Verkehrsumfeld so wenig wie möglich gestört wird, und daß der Raum für den Fahrer und alle seine Bedarfe zur Verfügung steht. Dabei spielt die Fahrzeugkategorie eine untergeordnete Rolle, die Grundanforderungen sind für alle gleich, erst bei den zusätzlichen Komfortmerkmalen kommt auch der Fahrzeugklasse eine Bedeutung zu.



Konzepte von Maybach und Smart

- Fahrzeugbedienung
- Sicht auf das Verkehrsgeschehen
- Raum für den Fahrer und seine Bedarfe: Bewegungen, Ablagen, Informations-, Komfort- und Entertainmentfeatures

Bild 2: Fahrerplatzkonzepte von Maybach und Smart

Die Ergonomie stellt den Menschen in den Mittelpunkt der Betrachtungen und steht dafür ein, daß der Fahrer das Fahrzeug sicher im Verkehr bewegen kann, daß die Sicht auf das Verkehrsumfeld so wenig wie möglich gestört wird, und daß der Raum für den Fahrer und alle seine Bedarfe zur Verfügung steht. Dabei spielt die Fahrzeugkategorie eine untergeordnete Rolle, die Grundanforderungen sind für alle gleich, erst bei den zusätzlichen Komfortmerkmalen kommt auch der Fahrzeugklasse eine Bedeutung zu.

Bei der Betrachtung eines typischen Entwicklungsprozesses wird klar, an welchen Zeitpunkten die Ergonomie das Produkt am effektivsten mitgestalten kann. Es ist hinreichend bekannt, daß in der frühen Phase eines Fahrzeugprojektes jede Änderung am Produktentwurf wesentlich weniger Kosten verursacht, als wenn die selbe Änderung erst später durchgeführt werden muß. Daher ergeben sich optimale Zeitpunkte für die ergonomische Gestaltung des Produktes für die jeweiligen Festlegungen. Die prinzipielle Festlegung der Ergonomieeckdaten muß sehr früh getroffen und abgesichert werden. Von diesen Festlegungen hängen sehr viele weitere Entwicklungsschritte ab, und eine falsche Annahme zu Beginn zieht

hohe Kosten für die weitere Entwicklung nach sich. Für jeden Präzisionsgrad gibt es einen frühest möglichen und damit meist auch optimalen Zeitpunkt im Entwicklungsablauf.

Welcher Benefit ergibt sich durch die Ergonomie? Dies läßt sich jeweils für den Kunden, das Produkt und den Entwicklungsablauf beantworten:

Der Kunde bekommt ein Produkt, das trotz größerem Funktionsumfang mehr Fahr- und Bedienkomfort bietet als der Vorgänger. Die Aufgaben des Fahrers werden entsprechend seiner Leistungsfähigkeit gestaltet und damit die Sicherheit des Gesamtsystems Verkehr erhöht. Ein Fahrer, der während der Fahrt durch sein Fahrzeug nicht belastet wird, erlebt letztlich eine geringere Beeinträchtigung oder, positiv ausgedrückt, eine höhere Lebensqualität.

Das Fahrzeug kann durch die frühzeitige Nutzung ergonomischer Erkenntnisse sehr zielgenau für die Anthropometrie der zukünftigen Nutzer entwickelt werden. Zusätzlich können die Anforderungen der Kunden, die sich aus ihren Bedarfen ergeben, in das Fahrzeug eingearbeitet werden. Dadurch wird das Fahrzeug für den Fahrer besser nutzbar. Neue Komponenten im Fahrzeug können weitgehend ohne direkten Kontakt zum zukünftigen Kunden, und damit ohne Geheimhaltungsprobleme, sehr genau entwickelt werden.

Der Entwicklungsablauf profitiert von der frühen Einbindung des Kunden und aller seiner Eigenschaften, Fähigkeiten und Bedarfe. Der Ablauf wird verkürzt und damit auch der zeitliche Abstand zwischen Entwicklungsbeginn und Markteinführung. Dies führt zu einem höheren Erfüllungsgrad der Markterfordernisse bzw. der Kundenwünsche. Und schließlich führen die Ergebnisse der Ergonomie zu einer größeren Entscheidungssicherheit.

2. Wechselwirkungen der Ergonomie mit Fahrzeug-Anforderungen

Wie bereits eingangs beschrieben, sind viele Fachgebiete an der Entwicklung eines Fahrzeuges beteiligt. Es soll daher gezeigt werden, welche Fahrzeug-Anforderungen einen Einfluß auf die Ergonomie haben. Die Einflußfaktoren im Folgenden sind exemplarisch zu sehen, diese Liste kann nicht vollständig sein, denn die Zahl der Innovationen im Fahrzeug steigt stetig.

Zunächst soll das *Exterieur* betrachtet werden: den grundlegendsten Einfluß haben sicher die **Abmessungen** und damit verbunden die **Fahrzeugstruktur**: die Anzahl und Form der Säulen, die Geometrie im Bodenbereich mit Schwellerhöhen und der Fußraumtopologie fallen unter diesen Begriff, und finden formal ihren Ausdruck im **Design**, dessen Vorgaben über Scheibenneigungen, den Aufteilungen der Einzelvolumina und anderer Schwerpunkte die Ergonomieaufgaben steuern. Sehr direkt mit der Ergonomie ist auch das **Packaging**

verbunden, da es sich aus der Sicht von beiden Themen um eine Belegung von Volumenanteilen des Innenraumes handelt. Die von den Zulassungsvorschriften geforderten **Sichtfelder auf der Fahrbahn** sind ein weiterer Faktor, der eine ergonomisch sinnvolle Fahrzeuggestaltung im Einzelfall sogar behindern kann, da das Sichtbezugssystem als Grundlage für diese Vorschriften nicht mehr aktuell ist.

Es müssen immer mehr Baugruppen in das Fahrzeug integriert werden, die der **passiven Sicherheit** dienen, aber natürlich auch Restriktionen für die Ergonomie bedeuten, z.B. Airbags, Aufprallkörper und andere Rückhaltesysteme.

Mit dem Ziel, die Produktionskosten zu minimieren, müssen **Montageabläufe und -techniken** aller ergonomie-relevanten Bauteile frühzeitig in die Gestaltung des Interieurs einbezogen werden. In Abhängigkeit vom **Verkehrsumfeld** können zusätzliche Anforderungen an die Fahraufgabe entstehen oder auch bestehende Anforderungen ihre Bedeutung verlieren.

Der Raumbedarf der **Fahrwerkstechnik** kann die Definition des Innenraumes erheblich beeinflussen, insbesondere bei Fahrzeugen, die zu den Sportwagen zählen und zwar einen kleinen Innenraum haben, aber dafür auch hohe Anforderungen an das Fahrwerk stellen. Die Unterbringung der **Tankanlage**, die bei den meisten Fahrzeugkonzepten unter den Fondsitz verlegt wurde, steht in Konkurrenz mit der Fondsitzeinrichtung. Die **Fahrdynamik** definiert einige Parameter des Interieurs wie z.B. die Sitzgestaltung und die Zahl, die Anordnung und Ausprägung der zugehörigen Bedienelemente. Die Gestaltungsfreiheit im Interieur wird durch die **Antriebsart** beeinflusst, die Bodentopologie im Innenraum variiert zwischen Front-, Heck- und Allradantrieb sehr stark und die Auswirkung ist noch stärker, wenn alternative Antriebskonzepte wie Bi-Motor, Hybrid-Antrieb oder ähnliches eingesetzt werden.

Durch die Einführung des Katalysators im Sinne einer Bauvorschrift haben sich auch die **Emissionsvorschriften** als Einflußfaktoren etabliert. Kurioserweise können sogar **regionale Steuergesetze** den Innenraum betreffen, wenn durch eine Veränderung desselben eine ganz andere Form der Fahrzeugbesteuerung erreicht wird.

Eine Grundforderung der Ergonomie ist die optimale Nutzbarkeit des Fahrzeuges, und deren Bemessungsgrundlage wird durch den **Transportbedarf** vorgegeben. Das angestrebte **Produktimage** und dessen verschiedene Ausprägungen in den Fahrzeugvarianten spiegeln sich auch im Innenraum wieder. Letztlich müssen auch die zukünftigen **Nutzungskonzepte** im Fahrzeug berücksichtigt werden, wobei die Frage nach der Anzahl der Nutzer je Fahrzeug genauso wichtig ist wie Art der Ansprüche dieser Nutzergruppen.

Neben den konzeptionell und sinngemäß von außen wirkenden Einflüssen gibt es eine Vielzahl von Randbedingungen für die Ergonomie, die durch die Technik der Baugruppen im *Interieur* bestimmt werden.

Jede Fahrzeugbaureihe wird heute in unterschiedlichen **Ausstattungsumfängen** angeboten, die aber alle miteinander harmonisieren müssen, sowohl von der Anthropometrie als auch von der Bedienbarkeit her gesehen.

Die Auswirkung der **Fahrzeugstruktur** im Interieur wird bei den Dimensionen der **A-Säule** am deutlichsten: kein anderes Element der Struktur wird gleichzeitig so dringend gebraucht und stört so stark das Sichtfeld.

Die **Technologie der Fahrzeugdisplays** bestimmt die technische Ausführung der Instrumententafel ebenso wie die **Klimaanlage**, und über alles muß die **Form der Instrumententafel** für den Kunden ein positives optisches Erlebnis ermöglichen, oder einfacher: sie muß gefallen und soll durchaus auch Emotionen wecken.

Die Integration von Funktionen aus den verschiedenen Gebieten der **Telematik** prägt sowohl die sichtbare Oberfläche des Cockpit als auch die Benutzeroberfläche. Beides wird auch von der verfügbaren **Schaltertechnik** geprägt. Das gesamte Cockpit wird durch die Regeln der **Crash-Sicherheit** und den damit verbundenen Themen wie Polsterung, Rundungen, Flächenaufteilung und Materialien mitbestimmt. Dieses wird ebenso durch die Herstell- und Montierbarkeit der Cockpitkomponenten beeinflusst, die einen wesentlichen Kostenfaktor im Interieur darstellen.

Die Größe und Lage des Bremskraftverstärkers hat schon so manches **Bremspedal** gegenüber den Empfehlungen des Ergonomen verschoben, und in die Mittelkonsole muß in der Regel ein standardisierter **DIN-Schacht** für Einbaugeräte des Zubehörsektors passen.

Aus der Diebstahlsicherheit werden Anforderungen der **Zugangs- und Nutzungsberechtigungssysteme** abgeleitet, also die Frage nach Schlüssel oder Chipkarte, Pupillen- oder Fingerabdruck- Erkennung. Der Alltagsnutzen bestimmt den **Service** der technischen Komponenten sowie die **Reinigung** der Oberflächen und Ablagen.

Bestimmend für die Lenkanlage sind u.a. die Form und Größe des für die Fahrzeugkategorie erforderlichen **Airbags**, die Technik des **Gasgenerators**, aber auch die Anordnung des **Lenkgetriebes** und die Dimensionen und Werte der **Lenksäulenverstellung**.

Damit ist nun ein Spannungsfeld in der Fahrzeugentwicklung aufgezeigt, das sicher die Ergonomie nicht allein betrifft, in dem aber die Ergonomie sich immer wieder behaupten muß. Und in dieser Situation können nur validierte Verfahren weiterhelfen, die in Konkurrenz mit den exakten Wissenschaften der anderen Disziplinen dauerhaft Bestand haben müssen.

Im Folgenden soll es nun um den Einsatz der Ergonomie im Entwicklungsprozeß gehen und es sollen abschließend einige inhaltliche Forderungen abgeleitet werden.

3. Einbindung der Ergonomie in den Produktentstehungsprozeß

Im Produktentstehungsprozeß für das Automobil hat die Ergonomie abhängig von der jeweiligen Phase unterschiedliche Aufgabenschwerpunkte, die Auswirkungen auf das Produkt werden mit zunehmender Entwicklungsdauer immer präziser. Dabei orientiert sich die Ergonomie an dem Fahrzeugkonzept und seinen technischen Inhalten und Innovationen einerseits und dem Designkonzept für Interieur und Exterieur andererseits. Zu Beginn der Strategiephase geht es um die Verankerung von ergonomischen Grundanforderungen in den beschreibenden Dokumenten. Wenn das Fahrzeugkonzept konkret erarbeitet wird, zu Beginn der Technologiephase, müssen viele Maße bereits konzeptionell abgesichert sein, um gewährleisten zu können, daß das Fahrzeug in dieser Form realisierbar ist. Später in der Technologiephase können bereits Details festgelegt werden (z.B. Verstellbereiche für Sitze und Lenkung u.ä.). In der frühen Fahrzeugphase werden dann präzise Werte für praktisch alle Details der Interieurkomponenten beschrieben und an die internen und externen Partner weitergeleitet.

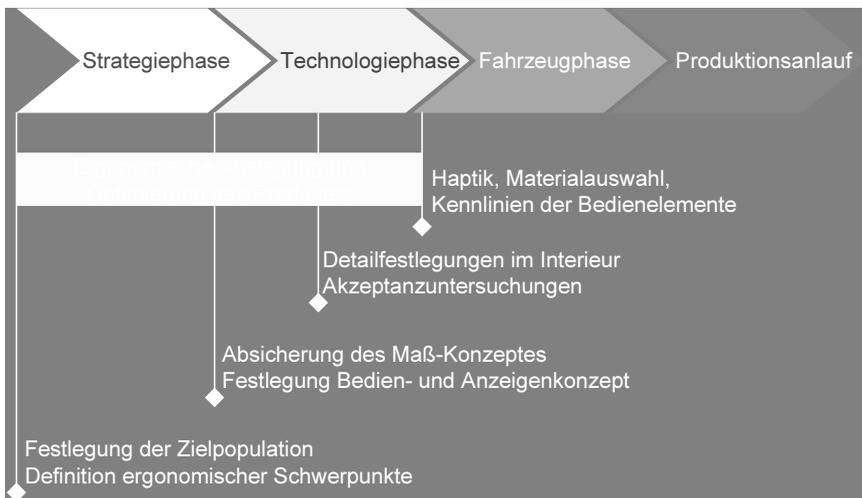


Bild 3: Schwerpunkte der Ergonomie im Entwicklungsprozeß

Dieser Ablauf ist als iterativer Prozess zu verstehen, bei dem der Formulierung ergonomischer Vorgaben eine Überprüfung an den verschiedenen Darstellungsformen des Fahrzeuges folgt: Digitales Mock-Up [DMU], z.T. variables physisches Mock-Up [PMU], Prototypen, Nullserie. Andererseits findet aber auch immer eine Identifizierung und Bewertung der Auswirkungen neuer Designmodelle auf das Ergonomie-Konzept statt. Wesentlich ist dabei die gelungene Synchronisation zwischen den Darstellungsformen und Reifegraden

der Design- und Technikdarstellungen eines Fahrzeuges. Die Ergonomie braucht im Prinzip beide Formen, d.h. sowohl Designmodelle, die die Form repräsentieren, als auch technische Funktionsmodelle, und es entstehen immer dann Probleme im Ablauf der Entwicklungsschritte, wenn die jeweiligen Modelle nicht den selben technischen Stand und Reifegrad haben.

In diesen Iterationsstufen ist eine eindeutige Bewertbarkeit, die auch über den Zeitraum einer Entwicklung stabil und vergleichbar bleibt, im Zusammenspiel mit Design und Technik unabdingbar. Und damit kommen wir zu der Strategie der Ergonomie-Bewertung:

4. Ableitungen der erforderlichen Untersuchungsergebnisse

Die Ergonomie läßt sich durch eine große Zahl einzelner Kenngrößen beschreiben. Diese Kenngrößen sind sehr unterschiedlicher Natur, es gibt praktisch dimensionslose Werte für subjektive Beurteilungen, physikalische Meßgrößen und relative Bewertungen nach dem Schema schlechter/gleich/besser. Aus dieser Vielfalt müssen Kriterien herausgefiltert werden, die die ergonomischen Qualitäten mit ausreichender Trennschärfe aber ohne zuviel Komplexität abbilden können.

Prinzipiell sollte eine derartige Bewertung in dem selben Schema erfolgen, in dem auch der Rest des Fahrzeuges nach allen übrigen Kriterien abläuft, d.h. die Bewertungsstruktur ist auf den höheren Abstraktionsniveaus weitgehend identisch mit dem untersten und damit auch präzisesten Niveau.

In einem ersten Schritt sollten die folgenden **Ergonomie-Bereiche** des Fahrzeuges bewertet werden:

1. Der Sitz / die Sitzhaltung
z.B.: das H30-Maß (Höhe des Sitzbezugspunktes SRP über dem Fersenpunkt)
2. Die Sicht
z.B.: der Verdeckungsbereich durch die A-Säule
3. Der Ein- und Ausstieg
z.B.: das Maß zwischen SRP und Dachknoten mit A-Säule
4. Die Bedien- und Anzeigergonomie
z.B.: die Fehlerhäufigkeit
5. Der Kofferraum und dessen Beladbarkeit
z.B.: die Höhe der Ladekante
6. Die Raumgröße
z.B.: der Abstand zwischen dem Kopf des Insassen und dem seitlichen Dachrahmen

Zu jedem dieser sechs Bereiche liegen spezifische Kenngrößen vor, mit Hilfe derer die ergonomische Güte des Fahrzeugkonzeptes sicherstellt werden kann. Für jede einzelne Größe lassen sich verschiedene Werte definieren:

- a. Der Mindestwert, der nicht unterschritten werden darf.
- b. Der best-practise-Wert, der im Vergleich mit den relevanten Wettbewerbern und eigenen Datenbanken den bestmöglichen Wert darstellt.
- c. Der Zielwert oder Zielkorridor, den es mit dem Fahrzeugkonzept zu erreichen gilt. Er orientiert sich an wissenschaftlichen Erkenntnissen, an den Vergleichsfahrzeugen und an der Fahrzeug-Vision.
- d. Der Istwert, der im Idealfall nach den erforderlichen Iterationsschritten mit dem Zielwert zusammenfällt, bzw. im Zielkorridor liegt.

In der zeitlichen Abfolge einer ergonomisch geleiteten Fahrzeuggestaltung sind es die Einzelschritte der Konzeptbewertung, speziell der Aufbau von Prüf Szenarien, und die Überprüfung der Zielerreichung, die die Anforderungen an die notwendigen Werkzeuge definieren.

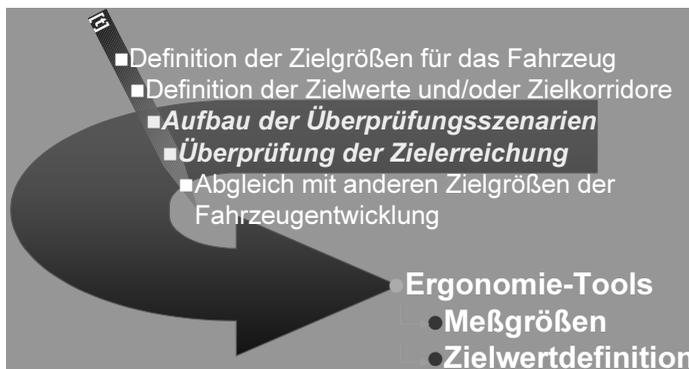


Bild 4: Ableitung von Tool-Anforderungen aus dem Entwicklungsablauf

Im Gegenzug bieten dann die verfügbaren Werkzeuge die Möglichkeit, neue Bewertungsgrößen und deren Zielwerte zu definieren. Damit kann die Aussagefähigkeit des jeweiligen Ergonomie- Bereiches und dessen Istwerten verbessert werden.

5. Vorstellung eingesetzter und künftiger Tools (Virtuelle Realität VR, Ergonomie-Studio, Fahrzeug-Untersuchungen)

Welche Tools werden nun real im Entwicklungsablauf eingesetzt? Die Antwort soll nicht in einem flächendeckenden Katalog aller jemals eingesetzten und im Prinzip weitgehend bekannten Hilfsmittel der Ergonomie gegeben werden. Der Fokus der folgenden Betrachtungen soll auf diejenigen Tools gerichtet werden, mit denen im Entwicklungsablauf besonders viele und wichtige Aspekte eines neuen Fahrzeugkonzeptes festgelegt werden, und deren Bedeutung für die Prozesse entsprechend hoch ist.

Auch hier soll wieder nach den Entwicklungsphasen des Fahrzeuges unterschieden werden. Das erste bedeutende Tool ist das **digitale Menschmodell**. Mit dem überwiegend angewandten RAMSIS (Rechnergestütztes anthropometrisch mathematisches System zur Insassensimulation) steht ein spezielles Werkzeug für die Konzeption des Fahrerplatzes und des Insassenraumes zur Verfügung. Es wird sinnvollerweise in einer Phase eingesetzt, in der es erste Bestandteile des DMU gibt, das Fahrzeugkonzept aber noch flexibel genug ist, um die Änderungen aufgrund der Anwendung des



Bild 5: 3D-Menschmodell (RAMSIS)

RAMSIS-Tools noch problemlos einarbeiten zu können. Neben dem RAMSIS werden für andere Untersuchungen auch noch Modelle wie ANTHROPOS (Produktionsplanung), Transom-JACK (Bewegungen außerhalb des Fahrzeugs) und DENEBA-Ergo (Fabrikplanung) eingesetzt.

Alle diese Modelle decken jeweils spezifische Fragestellungen ab, werden in unterschiedlichen Unternehmensbereichen eingesetzt und erzeugen Ergebnisse orientiert an den spezifischen Aufgabenstellungen. Da die Probleme, die mit einem Modell bearbeitet werden, in der Regel nichts oder nur wenig mit den Problemen zu tun haben, die mit den anderen Modellen angegangen werden, fällt es kaum ins Gewicht, daß die Modelle untereinander nahezu inkompatibel sind. Die Beurteilung einer Sitzposition mit RAMSIS ist in dieser Form mit keinem anderen Modell möglich, die Definition einer Haltung kann aber für

weiterführende Untersuchungen z.B. eines Bewegungsablaufes nicht an ein anderes und für die Bewegungssimulation eventuell viel besser geeignetes System übertragen werden.

In einzelnen Bewertungen sind diese Systeme jeweils relativ gut und sinnvoll anwendbar, eine ganzheitliche Bewertung ist aber weder mit einem einzelnen noch mit der Gesamtheit der Menschmodelle möglich.



Bild 6: Pkw-Innenraum in VR

Die Ergebnisse der Untersuchungen mit Menschmodellen können durch die Darstellung des Fahrzeuges in der **VR-Welt** einerseits besser visualisiert werden, andererseits ist es auch schon möglich, die mit dem digitalen Menschmodell ermittelten Untersuchungsergebnisse durch Versuche mit realen Menschen abzusichern und zu ergänzen. Sehr vielversprechend sind die ersten Untersuchungen der Sicht aus dem Fahrzeug in das Verkehrsumfeld, die Sichtprobleme deutlich machen können, die sonst eventuell erst bei der Fahrt mit dem ersten Prototyp auffallen würden.

In einer späteren Entwicklungsstufe des Fahrzeuges, wenn schon umfassendere Informationen über das Konzept verfügbar sind, wird das **Ergonomiestudio** eingesetzt. Kern dieses Studios ist eine in ca. 90 Freiheitsgraden computergesteuert verstellbare Sitzkiste, mit der ein Fahrzeugkonzept auf der Basis von sehr wenigen Daten bereits relativ gut dargestellt werden kann. Mit dem Ergonomiestudio wird es möglich, schon in dem Übergangsstadium vom DMU zum PMU das neue Fahrzeugkonzept erlebbar und damit auch beurteilbar zu machen. Als Erweiterung der Darstellung in der VR-Umgebung kommt im Ergonomiestudio die Dimension der Haptik hinzu.



Bild 7: Ergonomiestudio mit Simulation einer Fahraufgabe

Das Studio wird zur Bewertung der ergonomischen Qualitäten grundsätzlich in Verbindung mit Probandenversuchen und -Befragungen eingesetzt. Durch eine ausgefeilte Fragetechnik werden Unzulänglichkeiten des Ergonomiestudios (kein bewegtes System, Simulation der Fahraufgabe nur visuell) zum Teil ausgeglichen. Es muß jedoch berücksichtigt werden, daß mit solchen Tools zwar tendenziell richtige Ergebnisse produziert werden, das absolute Bewertungsniveau aber nur eine Trefferquote von ca. 83% erreicht. Dies ist zum Zeitpunkt des Einsatzes im Projektablauf bereits eine sehr gute Sicherheit. Um aber ganz sicher zu gehen und auch um die Feinheiten des Konzeptes festlegen zu können, muß letztendlich dann doch immer noch das reale Fahrzeug geprüft werden.

Bei den Tests mit realen Fahrzeugen spielen ebenfalls die Befragungen eine große Rolle. Auch hier ist durch die Technik der Befragung und durch das Versuchsdesign eine hohe Qualität der Aussagen zu erreichen. An dieser Qualität müssen sich die vorangegangenen Untersuchungen messen lassen.

Auch wenn es unrealistisch wäre zu fordern, daß Untersuchungsergebnisse aus allen Phasen der Entwicklung so präzise sein sollten wie bei Untersuchungen am realen Fahrzeug, so muß dennoch bekannt sein, in welchem Verhältnis die Qualität des vorliegenden Ergebnisses zu dem theoretisch maximal möglichen Ergebnis steht. Und der Wunsch, daß dieses Verhältnis gegen 1 streben sollte, darf als Motivation verstanden werden, die Qualität der erzielbaren Ergebnisse als wesentlichen Faktor bei der Entwicklung von Ergonomie-Tools zu betrachten.

In jedem Fall spielt die Validität des Tools eine hervorragende Rolle. Je besser und fundierter ein Tool durch Versuche validiert wurde, desto eher gewinnt es das Vertrauen der Anwender, der Entscheidungsträger und auch der Vertreter der anderen, technisch geprägten Disziplinen in der Entwicklung.

6. Fazit und Anforderungen zur Weiterentwicklung der Tools

Die Mehrzahl der Tools hat einen Schwerpunkt in einer Anwendung, für weitere Anwendungen ist es entweder nur eingeschränkt tauglich oder der Anwender muß ein anderes Tool einsetzen. Durch die bereits beschriebenen Inkompatibilitäten zwischen den meisten Tools ist es aber sehr schwierig einen sauberen Datenübergang zwischen verschiedenen Tools zu erhalten. Entweder muß in „Handarbeit“ eine Prozeßlücke geschlossen werden, oder der Verlust von Informationen wird mangels besserer Alternativen in Kauf genommen.

Es ist daher wichtig, daß die Tools ausgerichtet sind an:

- a. den verfügbaren Darstellungsformen des Produktes bzw. Fahrzeuges in den unterschiedlichen Projektphasen,
- b. den erforderlichen Entscheidungen in den einzelnen Reifegraden des Entwicklungsprojektes,
- c. den Tools, die vorher und nachfolgend im Prozeß eingesetzt werden, und mit denen die Ergebnisse und sonstigen Input/Output-Daten ausgetauscht werden sollen,
- d. der Akzeptanz durch den Anwender und dessen Auftraggeber.

Dies alles muß auf der Basis eines belastbaren Datenmaterials stattfinden, durch das die Fähigkeiten und Eigenschaften des Menschen möglichst genau beschrieben werden. Während dieses bisher vor allem in der klassischen, anthropometrisch orientierten Ergonomie hervorgehoben wurde, muß die Forderung nun auch für die Bedien- und Anzeigeergonomie, also den kognitiven Anteil der Ergonomie erhoben werden.

Der Entwicklungsingenieur muß die Konditionserhaltung, die Wahrnehmungssicherheit und die Reduzierung der Komplexität in der Bedienung bei steigendem Leistungs- und Funktionsumfang der Produkte gewährleisten. Dies ist nur dann zielgerichtet möglich, wenn auch für diese Größen transparentes und belastbares Datenmaterial verfügbar gemacht werden kann.

Aus der Perspektive des Produktentwicklers sind dazu weitere Ziele an die Adresse der Tool- Entwickler gerichtet, die belastbare und reproduzierbare Untersuchungsergebnisse ermöglichen müssen:

- Die Ergebnisse ergonomischer Untersuchungen müssen in der technischen **Entscheidungskultur** verankert werden können, d.h. die Über- oder Unterschreitung ergonomischer Zielwerte muß künftig präzise bewertet werden können- etwa mit der zu erwartenden Beanstandungsquote (ppd = predicted percentage of dissatisfied).
- Die Basis eines jeden Tools müssen statistisch sichere Zahlen und Zusammenhänge sein, die durch den Abgleich mit realen Versuchen **validiert** worden sind.
- **Komplexität** und Präzision von Bewertungskennzahlen oder Benotungen müssen **überschaubar** bleiben, dürfen aber deswegen nicht unscharf werden.

Mathematical human body modeling for impact loading and comfort

*R. Happee, M.M. Verver, R. de Lange
TNO Automotive, Delft, The Netherlands*

Summary

Mathematical modeling of the human body is widely used for automotive crash-safety research and design. Currently such simulations are largely performed using occupant models based on crash dummies. Mathematical modeling of the real human body offers improved biofidelity and allows the study of aspects like body size, posture, muscular activity and post fracture response. Human body models for impact loading have been developed using the RAMSIS anthropometric database and extended for dynamic simulation in MADYMO.

Comfort is a major aspect in which car manufacturers can distinguish their products with respect to their competitors. Comfort analysis is still mainly based on subjective driver observations in prototype tests. This time consuming way of development induces a need for virtual testing using mathematical human body models. We are currently validating our human models for static and dynamic comfort evaluation. As a first step the predictive capability will be verified for results like seat pressure and body accelerations. As a next step the objective simulation results will be correlated to subjective driver comfort.

Keywords: Biomechanics, Impact, Comfort, Human Models, Cadavers, Volunteers, Validation.

Introduction

In automotive research and design the usage of human body models is common. The current crash-safety design and research is largely based on mechanical human body models: crash dummies. In addition to mechanical testing, mathematical modelling is widely used. However, most occupant models used in crash simulations are based on dummies and thereby inherit apparent differences between dummies and the real human body. Mathematical modelling of the real human body offers improved biofidelity and allows the study of aspects like body size, posture, muscular activity and post fracture response. Detailed human body modelling potentially allows analysis of injury mechanisms on a material level.

A large number of models describing specific parts of the human body have been published but only a few of these models describe the response of the entire human body in impact conditions. Models simulating the response of car occupants have

been published for lateral loading (Huang *et al.*, 1994a, 1994b; Irwin, 1994), frontal loading (Ma *et al.*, 1995), and rearward loading (Jakobsson *et al.*, 1994, Kroonenberg *et al.*, 1997). Lizee *et al.* (1998) validated an occupant model for frontal and lateral loading. A model for vertical loading has been published by Prasad and King (1974) and pedestrian models have been published by Ishikawa *et al.* (1993) and Yang *et al.* (1997).

The application and validation of the above-mentioned human models is limited to specific loading directions. A human body model representing a mid size male for multi-directional impact loading has been presented in (Happee *et al.*, 1998a). A combination of modelling techniques was applied using rigid bodies for most segments, but describing the thorax as a deformable structure. In Happee *et al.* (2000a) this modelling strategy was employed to also develop a model representing a small female and both models were extended and validated for lateral loading.

Up till now for comfort analysis mainly anthropometric human body models are used. These models mostly base their analysis on joint angles. According to the authors, the problem of comfort contains more aspects like e.g. force models, joint moments and pressure distribution. Another limitation of these models is that the input of an H-point is required, which has to be determined experimentally. Biomechanical human body models allow comfort analysis not only based on the joint angles, but also on the additional parameters mentioned before.

The current paper presents MADYMO human body models (Fig. 1) as well as an overview of validations performed. Finally applications for simulation of impact conditions and dynamic comfort are given.



Fig. 1: Human models representing a mid size male (left) and a small female (right).

Model Setup

The MADYMO multibody human model has been developed aiming at omnidirectional biofidelity where the highest priority was given to the torso and the head-neck system. The model has to provide a biofidelic interaction with the seat back, which requires a realistic surface description for pelvis, spine, thorax, neck and head. The whole spine has to be biofidelic in forward/rearward as well as lateral bending, but also in compression/elongation and the surface description of the model has to be coupled realistically to the spinal model. For all loading directions an accurate prediction of head kinematics and neck loads is needed. For frontal impact the model has to provide a biofidelic interaction with belts and airbags which requires an accurate surface description for the frontal area of upper and lower torso. Especially for the sternal area a realistic prediction of the chest deflection is needed. To provide realistic interactions with car interiors and airbags during lateral impact the model has to predict biofidelic lateral kinematics on the level of shoulder, thorax, abdomen and pelvis.

The model was set up for optimal efficiency and robustness. This has been achieved using multibody techniques available in MADYMO version 5.4. Most skeletal structures have been modelled as rigid bodies connected by joints. Deformation of the rib cage has been accomplished using flexible bodies (Koppens *et al.*, 1993) and the outer skin has been implemented as an "arbitrary surface". The lumped joint resistance resulting from ligamentous and muscular tissues has been implemented using non-linear stiffness functions and energy dissipation was implemented using hysteresis or damping.

Anthropometry

In the area of vehicle crash-safety design, limited attention is being paid to variations of body size. For adults, current regulations prescribe testing with dummies representing a "50th percentile male" only. For frontal impact two other dummy sizes are available representing a small female (5th percentile) and a large male (95th percentile) (Mertz *et al.*, 1989). A small female dummy for side impact has been introduced as well (Daniel *et al.*, 1995). Due to the time and cost involved in design and production of new physical dummies, the number of available dummy sizes will remain limited. Where the current dummy sizes do represent variations in length and the associated body mass they do not cover variations in body proportions. Published anthropometric human body models do describe such variations in body proportions. As motivated in Happee *et al.* (1998a) the RAMSIS model has been selected as main anthropometry source for the MADYMO human model. RAMSIS has primarily been developed for ergonomic analyses and allows the generation of models with a wide range of anthropometry parameters. The RAMSIS model describes the human body as a set of rigid bodies connected by

kinematic joints and the skin is described as a triangulated surface. RAMSIS provides a detailed geometric description of the body segments based on extensive anthropometric measurements on various civilian populations including automotive seated postures. A translator has been developed to convert RAMSIS models in any body size into MADYMO models.

In addition to the mid size male model a small female model was developed. Comparable to the Hybrid III and the SID2s 5th percentile female dummies, this small female human model was defined small with respect to both length and weight. The RAMSIS human models were converted to MADYMO which provided: joint locations, joint ranges of motion, segment masses and centres of gravity, and a triangulated skin connected to various body segments. This model was extended as follows. Rotational inertia was derived by integration over segment volume where for each segment a homogeneous density was assumed. Joint resistance models were added and the vertebrae were modelled as rigid bodies connected by joints allowing rotations as well as translations. The required additional parameters for the male model were based on biomechanical data from the literature (see further Happee *et al.*, 1998a). These parameters were verified by validation of the complete male model. Then these parameters were scaled for application in the small female model. Scaling procedures have been used widely in the field of crash safety. The design of the Hybrid III small female and large male dummies is partly based on scaling (Mertz *et al.*, 1989) and biofidelity requirements for adults have been used to estimate requirements for children (van Ratingen, 1997; Irwin and Mertz, 1997). Based on the known anthropometry parameters, scaling supplied joint characteristics (stiffness, friction, damping and hysteresis), contact characteristics and all other force models. Established scaling rules have been applied where for the current adult models it has been assumed that material properties are invariant with subject size.

Thorax

In impact the human thorax deforms in a complex 3D manner due to contacts, but also due to spinal deformations. Deforming thorax models have been developed using finite elements but the resulting calculation times are a major drawback for common applications. Therefore MADYMO flexible bodies have been applied (Koppens, 1993). These flexible bodies (or super elements) describe 3D deformations with only a few degrees of freedom and are therefore extremely efficient. The flexible bodies describe global deformations while the contact algorithm describes local deformation. The resulting capability to model torso deformation was found sufficient to match the available validation data (Happee *et al.*, 2000a). Spring damper models (point restraints) are attached between the flexible bodies and the spine and in between the flexible bodies. These provide frontal and lateral non-linear stiffness and damping to match impactor biofidelity requirements in a comparable way as the Lobdell model (Lobdell, 1973).

Arbitrary Surface Description

Traditional contact algorithms used in crash or comfort simulations describe interactions between analytical surfaces like ellipsoids, planes and cylinders, and also finite elements. Recently a contact algorithm has been developed for “arbitrary surfaces” (MADYMO, 1999). Arbitrary surfaces consist of triangular or quadrangular facets, which are supported by nodes (vertices) on rigid bodies and/or flexible bodies. Contact can be specified with other arbitrary surfaces, with ellipsoids, planes and cylinders or with finite elements. In these contacts the compliance of the materials is taken into account by allowing penetrations in the contacting surfaces. For each node of the facet surface the local contact stress is calculated applying a user-defined function of the penetration. The contact force on each node is obtained by multiplying the calculated contact stress by the area around the node. This contact force is transferred from the surface model to the applicable rigid body or flexible body.

The outer surface of our human model (skin) is described as an arbitrary surface consisting of around 2000 triangular facets connecting around 1000 vertices (nodes). This surface is largely supported by rigid bodies. However, in the thorax area the skin is supported by flexible bodies. This allows the thorax skin to “continuously” deform in response to contact loading and spinal deformation.

Validation

The mid size male model has been validated extensively for impact loading as shown in Table 1. Two major categories of impact tests were conducted: volunteer tests for low severity loading and post mortem human subjects (PMHS) tests for higher severity loading. Within these two categories, sled tests and blunt impactor tests have been used in various loading directions and for various body parts. Validation for frontal loading can be found in Happee *et al.* (1998a). Rearward validation is published by Happee *et al.* (2000b) and further validation including volunteers on deformable seats is to be published. Lateral validations can be found in Happee *et al.* (2000a). An illustration of the frontal and lateral thorax impactor tests is given in Fig. 2 and Fig. 3. In the impact validations in Table 1, a satisfactory prediction has been obtained for kinematics, chest deflections, impactor forces, and accelerations in several body parts.

The small female model was validated in Happee *et al.* (2000a) using published small female impactor corridors for the SID2s dummy (Daniel *et al.*, 1995) and PMHS tests with a deploying side airbag. Validation of the small female model in rearward PMHS loading is in preparation, where also a large male model is being validated.

Table 1: Overview of validations performed with the mid size male human model, # indicates the number of different test conditions within the severity range applied

Test set-up	Loading direction								
	Frontal			Rear			Lateral		
	Type	Severity	#	Type	Severity	#	Type	Severity	#
Whole body sled	Volunteer	3-15 g	3	Volunteer	4-5 g	2			
				PMHS	9-12 g	3	PMHS	21, 37 g	2
Spine quasi-static	Volunteer		1	Volunteer		1			
Thorax impactor	PMHS	3-10 m/s	8				PMHS	3-6 m/s	2
Abdomen impactor	PMHS	6-9 m/s	2						
Shoulder impactor							PMHS	4-7 m/s	4
Pelvis impactor							PMHS	3-10 m/s	4

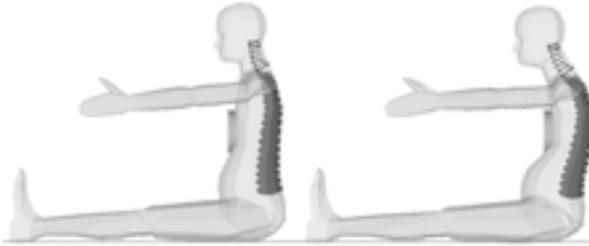


Fig. 2: Frontal thorax impact at $t = 8$ ms and $t = 28$ ms (max. deflection) after the initial impact. $M = 23.4$ kg, speed 6.7 m/s.

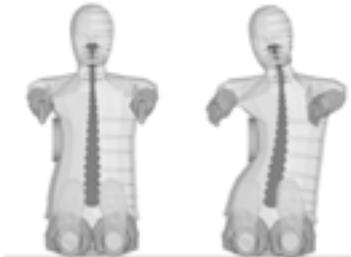


Fig. 3: Lateral thorax impact at $t = 8$ ms and $t = 28$ ms after the initial impact. $M = 23.4$ kg, speed 5.9 m/s.

Seat models

In the past many MADYMO seats models were developed describing the geometry with planes and ellipsoids. Computation with such seat models is efficient, but an accurate geometry description is not possible and contact interactions between the occupant model and the seat model cannot be modelled accurately. Since arbitrary surfaces are available in MADYMO, an accurate description of the (undeformed) geometry can be made. This is an improvement in modelling occupant-seat interactions. And since the seat is built using rigid bodies, the seat model is computationally efficient.

Fig. 4 shows a model of a standard car seat that is widespread among the current car fleet. The seat model can be divided into the seat cushion, the seat back, the head restraint and the belt attachment. The definition of the seat model took place via the definition of the mass and moments of inertia and the CG-locations of the various parts and the locations of the joints. The seat cushion is connected with a PLANAR-joint to inertial space allowing translation in the X-Z-plane and rotation around the Y-axis. The seat back is connected to the seat cushion by means of a REVOLUTE joint allowing rotations around the Y-axis. In this way the seat back inclination can be adapted. The head restraint tubes are connected to the seat back by a REVOLUTE joint. Also here rotation around the Y-axis is possible. For the connection of the head restraint cushion to the head restraint tubes a TRANSLATIONAL joint is used. Vertical displacement is possible in the direction of the tubes. In this way the height of the head restraint is adaptable.

For an accurate description of the seat geometry it was decided to measure the seat with a 3 Dimensional Measuring System. All measured points were translated into HYPERMESH and the seat was meshed. For the complete seat model about 2800 vertices and 3400 facets have been used.

Joint characteristics were directly derived from experiments. To derive load-deflection curves for the seat cushion, seat back and the head restraint, the experiments were simulated and the results of the experiments and the simulations were compared. The contact characteristics of the human-seat interaction were implemented as stress – strain functions. In all contacts, hysteresis and friction is used.

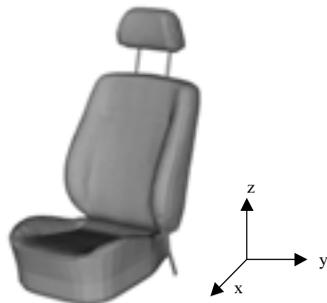


Fig.4: The seat model

Posture Prediction

Accurate posture prediction is important for both impact and comfort analysis. In MADYMO several methods can be used to calculate initial postures. The simplest one is the method of settling. The idea behind settling is that the body will settle to a stable equilibrium position when the applicable force interactions are simulated. The human model is positioned just above the seat in a position and posture based on photographs of experiments or a RAMSIS posture calculation. As a next step the human body is left to sink into the seat due to gravity forces. As a first approximation all joints can be locked. This method provides whole body equilibrium, however it is not human like. When the joints are unlocked some muscle activation has to be incorporated to help the head resisting the gravity forces.

A more sophisticated method for posture prediction is the usage of posture optimisation methods. In literature several methods are described, like the Cascade Prediction Model (CPM) and Optimisation Prediction Model (OPM) both introduced by Reed *et al.* (1999/2000). The CPM method is included in RAMSIS and places highest priority to an accurate prediction of hip and eye locations. The OPM method, which is based on an earlier model predicted by Seidl (1994), identifies the most likely posture based on the observed distribution of joint angles from laboratory experiments. However, these methods do not take into account aspects like force models, joint moments and pressure distribution. The usage of biomechanical human body models allows a posture prediction including these parameters. Due to physical modelling of the human seat interaction realistic positions will be obtained, without H-point measurement as needed for posture prediction with current anthropometric models. The required joint torques for posture equilibrium have to be generated by muscle action and thereby represent the effort needed to maintain this posture. Hence the positioning task can be defined as an optimisation problem in the following way:

- Parameters to be optimised are the body position and orientation in space and the rotations in the applicable joints.
- A criterion to be minimised can represent joint torques and many other aspects related to comfort.
- Constraints include equilibrium of the whole body, and may include hand position; head orientation and other task related aspects.

Applications

Impact Design Studies

The human models are being used to study and improve vehicle passive safety design for all typical accident scenarios. Examples simulating belt, airbag and seat interaction are shown in Fig. 6 and Fig. 7. Real human body models are used in particular for those loading scenarios where the current crash dummies are considered insufficiently biofidelic. These include rearward loading (Wu et al., 1998) and side airbag arm interaction (Happee et al., 2000a).



Fig. 5: Human model restrained by finite element belts

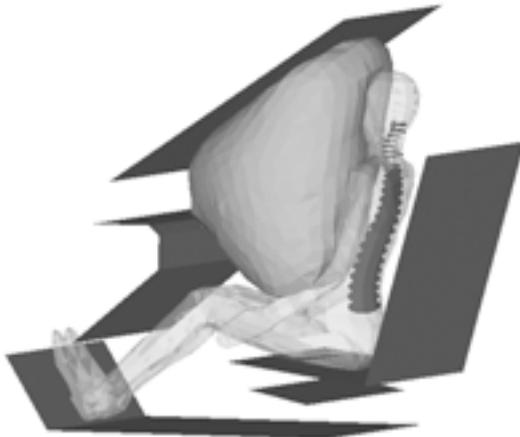


Fig. 6: Human model in frontal impact with a passenger airbag



Fig. 1a: Human body in rear impact at t=0 ms



Fig. 7b: Human body in rear impact at t=61 ms



Fig. 7c: Human body in rear impact at t=101 ms



Fig. 7d: Human body in rear impact at t=171 ms

Impact Accident Reconstructions

The reconstruction of real accidents can provide valuable insight in injury mechanisms. Analysis of large numbers of cases with and without injury can help to provide tolerances above which injury is to be expected. Current crash dummies are developed for laboratory testing in specific loading directions like frontal, lateral and recently also rearward loading. Real life accident scenarios like vehicle roll over, provide complicated 3D loading which cannot be simulated realistically with current dummies. BMW uses the numerical simulation of real road accident to support the accident research group with the reconstruction of accidents and the analysis of injury mechanisms (Fig. 8, Fig. 9).



Fig. 8: Accident reconstruction, initial position shown with transparent skin

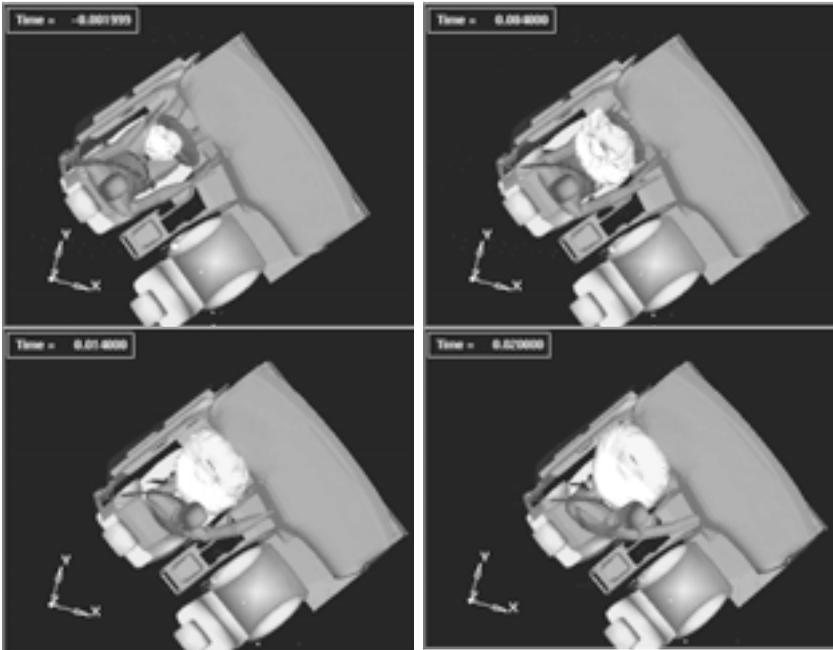


Fig. 9: Accident reconstruction, top view at different timesteps

Comfort

The MADYMO human models are currently being validated for static as well as dynamic comfort analysis. In this paragraph two examples of vibration analysis are described. In the first example, the human body model is positioned on a standard automotive seat (see Fig10). The motion of the seat is prescribed by a sine with a frequency of 5 Hz.

Results of this simulation are plotted in Fig.12. The figure shows that the human body accelerations in vertical direction are reduced with respect to the seat accelerations. However, the head shows larger maximum accelerations than the pelvis and the spine. The same experiment is simulated with a frequency of 20 Hz. Fig. shows the results of this simulation. In contrast to the simulation with a frequency of 5 Hz, in this simulation the seat and the human body model damp out the vertical accelerations; all maxima are smaller than the maxima of the input signal and the maxima are decreasing from pelvis to head.

A simulation with the human model on the same seat implemented in a standard car model (see Fig.11) shows similar results.



Fig. 10: Vibration simulation with human model in standard car seat

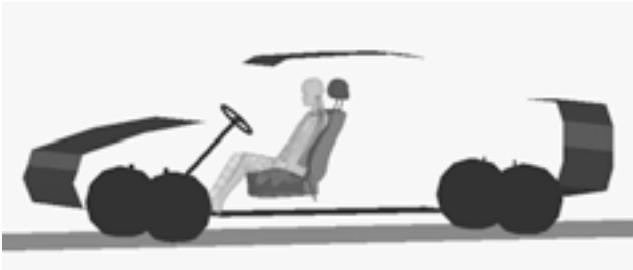


Fig. 11: Human model on standard car seat implemented in a standard car model

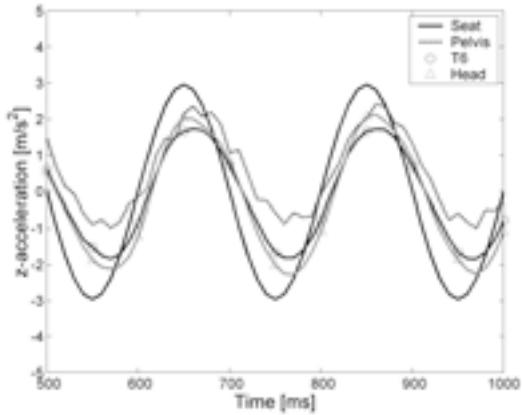


Fig. 12: Results of the vibration simulation with the human model on a standard car seat. The prescribed displacement is a sine with a frequency of 5 Hz and amplitude of 3 mm.

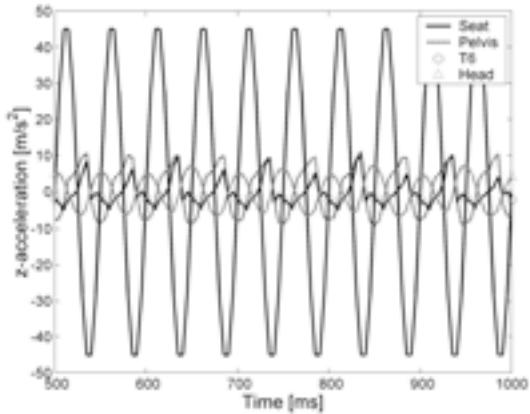


Fig. 13: Results of the vibration simulation with the human model on a standard car seat. The prescribed displacement is a sine with a frequency of 20 Hz and amplitude of 3 mm.

Discussion

Human models in two body sizes have been developed and validated. The human geometry was derived from the RAMSIS anthropometric model, which provided a realistic surface description in particular for seated automotive postures. The model was extended for crash- and comfort- simulations and validated for frontal, lateral and rearward impact loading with volunteer and PMHS validation sets. The model allows simulation of global injury criteria like chest-deflection, acceleration, and neck loads. For a more detailed analysis, submodels can easily be integrated into the current whole body model. The detailed lower leg model by Cappon *et al.* (1999) and the detailed neck model by van der Horst (1997) shown in Fig. 14 have already been integrated into the mid size male model. A full body deformable Finite Element model in MADYMO is being developed as part of the EC project “Humos” (Fig 15). This model will for instance simulate rib-cage deformation in impact in more detail than the current multibody model. For comfort, deformation of soft tissues due to seat loading will be particularly relevant.

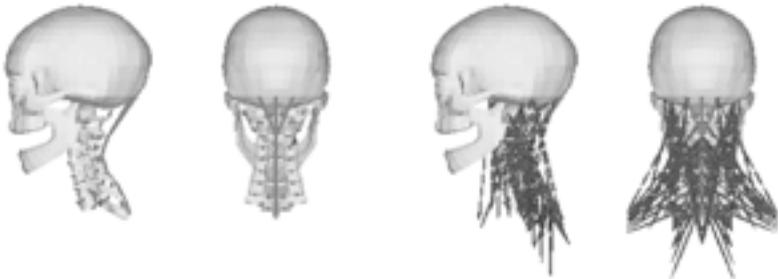


Fig. 14: Detailed neck model by van der Horst (1997) shown without muscles (left) and with muscles (right).



Fig. 15: Finite Element human model

It is important to know where the human model responses differ from the response of crash dummies like Hybrid III, Eurosid-1 and SID2s. The human models satisfy biofidelity requirements also used to design these dummies. Some comparisons were performed between the response of the mid size male human model and a Hybrid III model. In frontal airbag and/or belt loading, the human model provided larger chest deflections even though the human thorax model matches Hybrid III biofidelity requirements for blunt impact. In the human model much more flexibility is observed in the lumbar as well as the cervical spine. A substantial torsion is observed in the torso, making the human model more susceptible to shoulder belt roll out than the Hybrid III. These results are comparable to those of Baudrit et al. (1999) and indicate benefits of human models in simulating belt roll out. The spinal flexibility is of course also very important for simulation of rearward loading. Another important benefit of the human models presented is the multi-directional biofidelity allowing simulation of complex 3D accident scenarios like roll over.

We are currently validating the human models for quasi-static and dynamic comfort simulation. For the quasi-static experiments a driving simulator on a moving base will be used. In these tests aspects like seat characteristics, seat height and seat inclination will be varied. The human models will be validated with respect to pressure distribution, joint torques and joint angles. In the experiments, subjective comfort will be assessed and statistical analysis will be performed to correlate subjective comfort to objective parameters as predicted by human models. Further, transfer of acceleration signals through the body will be investigated. The dynamic experiments will contain driving tests with a real car. The results of both experiments will serve as validation data for the human body model for comfort analysis.

The current crash-safety and comfort design is largely based on a limited set of body sizes (usually 5th, 50th and 95th percentile crash-dummies). Happee *et al.* (1998b) simulated frontal impacts with 30 different body sizes. Using RAMSIS anthropometries a series of human body models of different sizes will be developed and validated using test data from biological specimens of varying anthropometry. This will allow, on the longer term, to base crash-safety and comfort design on real human body models taking into account the large anthropometry variations in current and future populations.

Conclusions

Multi-directional human models in two body sizes have been developed. These models are validated for impact situations. The models are considered a first step towards an omni-directional human model of variable body dimensions.

In impact validations a satisfactory prediction has been obtained for kinematics,

chest deflections, impactor forces, and accelerations in several body parts. The vibration examples show promising results for the usage of the MADYMO human body models for comfort analysis.

Recommendations include the validation of the models for comfort analysis, further development of the pelvis and abdomen model and further validation for different body sizes. In addition detailed segment models are being prepared retrofitting the current full body models.

References

- Baudrit P., Hamon J., Song E., Robin S., Coz J. le (1999). Comparative studies of dummy and human body models behavior in frontal and lateral impact conditions. STAPP Conference 1999, Paper 99SC05.
- Cappon H.C., Kroonenberg A.J. van den, Happee R., Wismans J. (1999). An improved lower leg multibody model. 1999 International IRCOBI Conference on the Biomechanics of impact, Sept 23-24, 1999, Sitges, Barcelona, Spain.
- Daniel *et al.* (1995). Technical specifications of the SID-II's Dummy. SAE paper 952735.
- Happee R., Hoofman M., Kroonenberg A.J. van den, Morsink P., Wismans J. (1998a). A mathematical human body model for frontal and rearward seated automotive impact loading. STAPP Conference 1998, SAE 983150.
- Happee R., Haaster R. van, Michaelsen L., Hoffmann R. (1998b). Optimisation of vehicle passive safety for occupants with varying anthropometry. ESV Conference 1998, Paper 98-S9-O-03.
- Happee R., Ridella S., Nayef A., Morsink P., Lange R. de, Bours R., Hoof J. van. (2000a). Mathematical human body models representing a mid size male and a small female for frontal, lateral and rearward impact loading. IRCOBI Conference, Sept 2000.
- Happee R., Meijer R., Ono K., Horst M.J. van der, Yamazaki K. (2000b). Analysis of rear end impact using mathematical human modelling. JSAE spring convention 2000, JSAE paper No 20005335.
- Horst M.J. van der, Thunnissen J.G.M., Happee R., Haaster R.M.H.P van. (1997). The influence of muscle activity on head-neck response during impact. STAPP Conference 1997.
- Huang Y., A.I. King, J.M. Cavanaugh (1994a). A MADYMO Model of Near-Side Human Occupants in Side Impacts. Journal of Biomechanical Engineering, vol. 116, may 1994, p.228-235.
- Huang Y., A.I. King, J.M. Cavanaugh (1994b). Finite Element Modelling of Cross Motion of Human PMHSs in Side Impact. STAPP 1994, SAE 942207.
- Irwin A.L. (1994). Analysis and CAL3D Model of the Shoulder and Thorax Response of Seven PMHSs Subjected to Lateral Impacts. Ph.D. Thesis Wayne State University, 1994.
- Irwin, A.L., Mertz H.J. (1997). Biomechanical bases for the Crabi and Hybrid III

- child dummies. SAE 973317, STAPP-1997.
- Ishikawa H., Kajzer J., Schroeder G. (1993). Computer simulation of impact response of the human body in car-pedestrian accidents. Stapp Conference, 1993.
- Koppens W.P., Lupker H.A., Rademaker C.W. (1993). Comparison of modelling techniques for flexible dummy parts. STAPP Conference 1993, SAE933116.
- Kroonenberg A. van den, Thunnissen J., Wismans J. (1997). A human model for low severity rear-impacts. IRCOBI conference, 1997.
- Lizee E., Robin S., Song E., Bertholon N., Coz J. le, Besnault B., Lavaste. (1998). Development of a 3D finite element model of the human body. STAPP Conference 1998, SAE-983152.
- Lobdell T.E., Kroell C.K., Schneider D.C., Hering W.E., Nahum A.M. (1973). Impact response of the human thorax, Human impact response, Plenum press, New York.
- Ma D., Obergefell A., Rizer A. (1995). Development of human articulating joint model parameters for crash dynamics simulations. STAPP Conference 1995, SAE 952726.
- MADYMO (1999). MADYMO Theory Manual Version 5.4. TNO Road-Vehicles Institute, Delft, The Netherlands.
- Mertz H.J., Irwin A.L., Melvin J.W., Stalnaker R.L., Beebe M.S. (1989). Size weight and biomechanical impact response requirements for adult size small female and large male dummies. SAE-890756.
- Prasad P., King A.I. (1974). An experimentally validated dynamic model of the spine. *J Appl Mech*, 1974, pp. 546-550.
- Ratingen M.R., Twisk D., Schrooten M., Beusenberg M.C., Barnes A., Platten G. (1997). Biomechanically based design and performance targets for a 3-year old child crash dummy for frontal and side impact. SAE 973316. Child Occupant Protection Symposium 1997.
- Reed, M.P., Manary, M.A., Flannagan, C.A.C., Schneider, L.W. (1999). Automobile occupant posture prediction for use with human models. SAE paper 1999-01-0966.
- Reed, M.P., Manary, M.A., Flannagan, C.A.C., Schneider, L.W. (2000). Comparison of methods for predicting automobile driver posture. SAE paper 2000-01-2180.
- Seidl, A (1994). Das Menschmodell RAMSIS: Analyse, Synthese und Simulation dreidimensionaler Körperhaltungen des Menschen. PhD dissertation, Technical University of Munich, Germany.
- Wu R., Shanmugavelu I. Mondeau S.R., Kant A.R. (1998). Improved seat and manikin models to study rear impact protection. MADYMO Users Conference, Windsor Canada, June 5, 1998.
- Yang J.K, Lovsund P. (1997). Development and validation of a human body mathematical model for simulation of car-pedestrian impacts. IRCOBI Conference 1997.

Sidesticks im Kraftfahrzeug - ein alternatives Bedienkonzept oder Spielerei?

*Lutz Eckstein
DaimlerChrysler AG, Sindelfingen*

Zusammenfassung

Das dargestellte Sidestick-Bedienkonzept umfaßt zwei rechts und links des Fahrers positionierte aktive Handstellteile, die sowohl der Beeinflussung der Fahrzeuglängs- als auch querdynamik dienen. Zur Entwicklung des Ergonomiekonzeptes kamen das Menschmodell RAMSIS und der Ergonomieprüfstand der DaimlerChrysler AG zum Einsatz. Die Beantwortung der systemergonomischen Fragen, die den wechselseitigen Informationsfluß zwischen Mensch und Fahrzeug betreffen, erfolgte mit Hilfe von Drive-by-wire Fahrzeugen, die mit programmierbaren aktiven Sidesticks ausgerüstet waren.

Zur Überprüfung dieses alternativen Bedienkonzeptes wurde ein Fahrversuch mit siebzehnjährigen Fahrneulingen in einer eigens dafür aufgebauten Kabine durchgeführt. Eine Gruppe von 32 Siebzehnjährigen lernte das Fahren mit Sidesticks, eine zweite, gleichgroße Stichprobe das Fahren mit Lenkrad und Pedalen. Die Ergebnisse zeigen bezüglich der längsdynamischen Fahrgüte eine deutliche Überlegenheit der aktiven Sidesticks gegenüber der herkömmlichen Art der Fahrzeugführung, die querdynamische Fahrgüte ist vergleichbar. Das Fahren mit in beiden Richtungen isometrischen Stellteilen führt gegenüber den aktiven Sidesticks zu niedrigerer Fahrgüte, einer höheren Beanspruchung des Fahrers und folgerichtig zu einer schlechteren subjektiven Bewertung. Insgesamt belegt die beschriebene Untersuchung ein großes Potential des Sidestick-Bedienkonzeptes als Alternative zur herkömmlichen Fahrzeugführung mit Lenkrad und Pedalen.

1 Einführung – Problemstellung

Die Idee, ein Kraftfahrzeug mittels eines zweidimensionalen Stellteils zu steuern, ist nicht neu: Bereits 1959 präsentierte General Motors ein Fahrzeug (Bild 1), das mit einem in der Fahrertür plazierten federzentrierten zweidimensionalen Stellteil bewegt wurde /BIDWELL 1959/. In /BOLTE 1991/ wird über Vorteile des „Aktiven Bedienelements“ hinsichtlich Fahrgüte und Beanspruchung des Fahrers gegenüber der Fahrzeugführung mit Lenkrad und Pedale berichtet. Im gleichen Jahr präsentierte Saab ein Fahrzeug, das mit einem in der Mittelkonsole angebrachten Handstellteils gelenkt wird /BRÄNNEBY 1991/.



Bild 1: Chevrolet Impala mit zweiachsigem federzentrierten Stellteil (unicontrol) zur Steuerung der Längs- und Querdynamik /Einzelbild aus 16mm-Film von J.B.BIDWELL/

Bei allen Ansätzen, ein Kraftfahrzeug statt mit Lenkrad und Pedalen mittels seitlich des Fahrers platzierten Handstellteilen, im folgenden „Sidesticks“ genannt, zu führen, wird der Frage nach einer geeigneten Rückmeldung besonderes Augenmerk gewidmet. Im Fahrzeug von GM sollte die Griffmasse des „unicontrol“ genannten Bedienelementes dem Fahrer eine Rückmeldung über die aktuelle Querschleunigung geben. BOLTE und BRÄNNEBY nutzten das Prinzip des aktiven Stellteils /Definition s. TICHY 1995/, um den Rückfluß von Energie und Information von der Regelstrecke an den Menschen wiederherzustellen. Bild 2 stellt den Informationsfluß zwischen Mensch und Regelstrecke bei Verwendung eines aktiven Stellteils mit dem Prinzip Kräfteingabe und Wegrückmeldung dar.

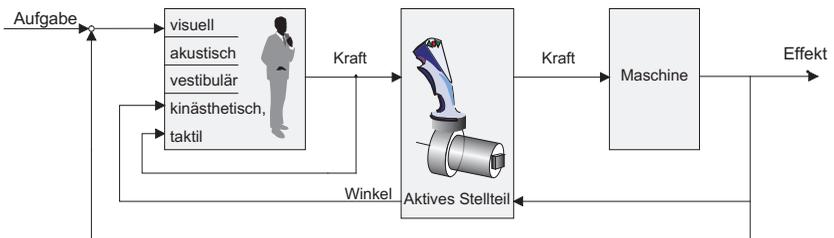


Bild 2: Prinzip des aktiven Stellteils mit Kraftvorgabe und Weg- bzw. Winkelrückmeldung

Aus der auf das Stellteil ausgeübten Kraft wird der Sollwert für die Stellgröße der Regelstrecke bzw. Maschine ermittelt, das tatsächliche Verhalten der Regelstrecke wird dem Fahrer in geeigneter Weise in Form der Stellteilauslenkung angezeigt/spürbar gemacht.

In zahlreichen Veröffentlichungen wurden anhand unterschiedlicher idealisierter Regelaufgaben grundsätzlicher Natur /z.B. HERZOG 1969; MERHAV 1976; MAYER 1987; HOSMAN 1988; MÜCKE 1999/, aber auch bezüglich des Kraftfahrzeugführens /BOLTE 1991/ deutliche Leistungsverbesserungen und z.T. Reduktionen der menschlichen Beanspruchung durch den Einsatz aktiver Stellteile nachgewiesen. Die Bestätigung dieser Vorteile bei der praktischen Fahrzeugführung stand bislang aus.

Nachdem die „Drive-by-wire“ Technologie während der vergangenen Jahrzehnte u.a. in europäischen Projekten wie PROMETHEUS erforscht wurde /METZLER 1992/ und mittlerweile bereits in Form von Brake-by-wire (Mercedes-Benz Nfz „Actros“), elektronischer Drosselklappe und Shift-by-wire in aktuellen Fahrzeugen zu finden ist, werden in der Zukunft die technischen Voraussetzungen gegeben sein, ein Fahrzeug mit alternativen Bedienelementen zu führen.

Das heutige Bedienkonzept im Kraftfahrzeug kann zwar auf eine lange Entwicklungsgeschichte zurückblicken, basiert aber dennoch auf den Randbedingungen technischer Lösungen /BUBB 1985/, die in zunehmendem Maße der Vergangenheit angehören werden. Sidesticks, die mittlerweile in militärischen und zivilen Flugzeugen, in Fähren (MTU) und Forstfahrzeugen Einzug gehalten haben, bieten gerade im Kraftfahrzeug ideale Voraussetzungen, das Bedien- und Anzeigekonzept gemäß den Fähigkeiten und Bedürfnissen des Menschen zu optimieren.

Offensichtliche Vorteile der Fahrzeugführung mittels Sidesticks anstelle von Lenkrad und Pedalen sind:

- Verbesserung der Sicht sowohl auf Anzeigen und Bedienelemente im Fahrzeug als auch nach außen (Wahrnehmungssicherheit);
- Minimierung der Lenkarbeit bei niedrigen Geschwindigkeit (Konditionssicherheit);
- Entlastung der Schultermuskulatur durch Auflagemöglichkeit der Unterarme (Konditionssicherheit);
- Eindeutigkeit der Beziehung zwischen Fahrzeugzustand und Stellteilwinkel (Bediensicherheit);
- Vergrößerung des Überlebensraumes und Entfall des Verletzungsrisikos durch Lenkrad und Pedale (Passive Sicherheit).

Darüber hinaus lassen sich aus theoretischen Betrachtungen eine Reihe von *Hypothesen* ableiten, die einer eingehenden Prüfung bedürfen:

- Verkürzung des Bremsweges wegen des Entfalls des Umsetzungsvorgangs des rechten Fußes;
- Herabgesetztes Risiko von Fehlbedienungen, da nicht mehrere Gliedmaßen koordiniert werden müssen;
- Bessere Fahrzeugstabilisierung wegen höherer Kompatibilität von Fahrzeugbewegung und Bedienung;
- Bessere Kontrollierbarkeit des Fahrzeugs bei hohen Geschwindigkeiten durch geschwindigkeitsabhängige Sollwertvorgabe und Rückmeldung.

Es besteht daher die Notwendigkeit, auf der Grundlage ergonomischer Vorüberlegungen und Untersuchungen ein auf aktiven, programmierbaren Sidesticks basierendes Bedienkonzept zu entwickeln, in einem geeigneten Versuchsträger zu realisieren und obige Hypothesen sowohl mit diesem im kontrollierten Feld als auch durch Fahrsimulatorversuche zu prüfen.

2 Zielsetzung

Das übergeordnete Ziel der 1993 initiierten Forschungsarbeiten der DaimlerChrysler AG war die umfassende Klärung der Frage, ob die Fahrzeugführung mittels aktiver Sidesticks der herkömmlichen Fahrzeugbedienung in Bezug auf die Fahrgüte (Leistung) und deren zeitliche Entwicklung (Erlernbarkeit) mindestens ebenbürtig ist und darüber hinaus zu einer Reduktion menschlicher Beanspruchung bei der Fahrzeugführung führt

Aus dieser Zielsetzung resultieren zahlreiche Fragestellungen, welche die Arbeitsgebiete Anthropometrie und Systemergonomie sowie versuchsmethodische und technologische Aspekte betreffen (Tabelle 1).

Im Mittelpunkt der anthropometrischen Untersuchungen stand die Frage nach Anzahl, Position, Geometrie, Kinematik und erforderlicher Leistung der aktiven Sidesticks. Die daraus resultierende Spezifikation technisch umzusetzen und in ein Drive-by-wire Fahrzeug zu integrieren, stellte eine technologische Herausforderung dar.

Fahrdynamik, Regelungstechnik und Systemergonomie bildeten die Grundlage für die Generierung geeigneter Sollwerte für Lenkung, Drosselklappe und Bremse in Abhängigkeit der Bedienkräfte des Fahrers und die Synthese einer aktiven haptischen Rückmeldung in Form des Stellteilwinkels

Die Überprüfung der Hypothesen zur Fahrgüte (Leistung) und deren zeitliche Entwicklung im Vergleich zum Fahren mit Lenkrad und Pedalen, zur Beanspruchung des Fahrers und zur Akzeptanz erfolgte auf dieser Grundlage in Versuchen im kontrollierten Feld und am Fahrsimulator der DaimlerChrysler AG.

Tabelle 1: Fragestellungen zum Fahren mit Sidesticks

Arbeitsgebiet	Aufgaben-/ Fragestellung
Anthropometrie	<ul style="list-style-type: none"> - Anzahl, Position, Verstellbereiche von Sidesticks und Fahrersitz - Kinematik, Dynamik, Kraftniveau der aktiven Sidesticks - geeignete Griffform - Anordnung sonstiger Bedienelemente
Technologie	<ul style="list-style-type: none"> - Konzeption und Realisierung eines geeigneten, zweiachsigen aktiven Stellteils - Integration der aktiven Sidesticks in Steer-by-wire Fahrzeuge - Konzeption und Aufbau einer geeigneten Fahrsimulatorkabine zur Darstellung beider Bedienkonzepte - Reduzierung von Bauraum, Gewicht und Kosten des aktiven Stellteils
Systemergonomie	<ul style="list-style-type: none"> - Generierung geeigneter Sollwerte für Lenkung, Drosselklappe und Bremse in Abhängigkeit der Bedienkräfte des Fahrers - Synthese einer aktiven haptischen Rückmeldung in Form des Stellteilwinkels - Algorithmen zur Kombination von Sidesticks und unterlagerter Fahrdynamikregelung
Versuchsmethodik	<p>Bewertung ...</p> <ul style="list-style-type: none"> - der Fahrgüte mit Lenkrad&Pedalen im Vergleich zu aktiven Sidesticks, - der Erlernbarkeit des Fahrens mit Lenkrad bzw. Sidesticks durch Fahranfänger, - des Gewöhnungsprozesses von Führerscheininhabern, - der Beanspruchung bei herkömmlicher Fahrzeugführung und derjenigen mit Sidesticks, - der Akzeptanz der Fahrzeugführung mittels Sidesticks.

3 Entwicklung des Sidestick-Bedienkonzepts

3.1 *Anthropometrie*

Im Zentrum der **anthropometrischen** Untersuchungen stand einerseits die Frage nach den erforderlichen Eigenschaften (Kinematik, Kraftniveau, Griffgestaltung) des aktiven Stellteils und andererseits diejenige nach der Anordnung der Sidesticks relativ zum Fahrer in den vier Versuchsfahrzeugen.

Die Festlegung von Kinematik und Leistung der aktiven Sidesticks erfolgte ausgehend von anthropometrischen Grundlagen /z.B. BUBB und SCHMIDTKE 1993; ROHMERT, RÜCKERT et al. 1992/ und den bereits erwähnten Arbeiten zur Regelleistung mit Handstellteilen.

Das Sidestick-Bedienkonzept basiert auf 2 Sidesticks, die fest in die Mittelkonsole bzw. Tür integriert sind. Der maximale Stellteilwinkel in Querrichtung beträgt +/- 20°. Dadurch, daß sich linker und rechter Sidestick immer synchron bewegen und die Betätigungskräfte addiert werden, entsteht beim Fahrer der Eindruck einer mechanischen Kopplung zwischen den Stellteilen.

Auf den Bedienelementflächen der Sidestickgriffe sind jeweils zwei Blinkertaster und im Bereich des Zeigefingers ein Hupentaster untergebracht. Alle anderen Bedienelemente befinden sich entweder in unmittelbarer Umgebung der Sidesticks oder vor dem Fahrer.

Zur systematischen Untersuchung der erforderlichen Verstellkennfelder von Sidesticks, Sitz und Fußauflage in verschiedenen Fahrzeugkonzepten bei Konstanthaltung von Augpunkt, Hand, H-Punkt und Versenpunkt wurde das Menschmodells RAMSIS /GEUSS, KRIST, SEIDL 1995/ eingesetzt. Ein Ergebnis war, daß die Augellipse für das Sidestick-Bedienkonzept deutlich kleiner und günstiger positioniert ist als diejenige für ein konventionell bedientes Fahrzeug, da nur noch ein Anbindungspunkt zwischen Fahrer und Fahrzeug besteht.

Aus den Reinkonzepten wurde ein Ergonomiekonzept für ein sportliches Versuchsfahrzeug (Mercedes-Benz SL500 (R129)) mit Hilfe von RAMSIS synthetisiert. Für die Validierung dieses Konzeptes stand der Ergonomieprüfstand der Forschung der DaimlerChrysler AG zur Verfügung /PETZEL 1995/.

3.2 *Algorithmen zum Fahren mit Sidesticks*

Die **Algorithmenentwicklung** zur Fahrzeugführung mittels Sidesticks beschäftigte sich einerseits mit der Frage der Sollwertbildung für Lenkung, Motor und Bremse aus den Stellteilkräften unter Berücksichtigung des Fahrzeugzustands und andererseits mit der Synthese einer geeigneten Rückmeldung in Abhängigkeit vom Fahrzeugverhalten.

Die beiden für die Algorithmenentwicklung eingesetzten Drive-by-wire Fahrzeuge - ein Mercedes-Benz 300E (W124E30) und ein Mercedes-Benz S500 (W140) - waren mit einem zweidimensionalen aktiven Sidestick zwischen Fahrer- und Beifahrersitz ausgerüstet (Bild 3).

Die in weiten Grenzen freie Programmierbarkeit des aktiven Stellteils ließ auch die Darstellung eines passiven, isometrischen oder isotonischen Stellteilverhaltens zu. Aktiver Sidestick und Fahrzeugkomponenten waren so spezifiziert, daß weder das Übertragungsverhalten des Stellteils noch der unterlagerten Lenkwinkel-, Bremsdruck- und Motormomentenregelkreise des Fahrzeugs limitierende Faktoren für die Entwicklung des Sidestick-Bedienkonzeptes darstellten.



Bild 3: Drive-by-wire Fahrzeuge Mercedes-Benz 300E (W124) und Mercedes-Benz S500 (W140) mit einem aktiven, programmierbaren Sidestick zwischen Fahrer- und Beifahrersitz

Im Rahmen der Algorithmenentwicklung wurden zwischen 1995 und 1998 mehrere tausend Kilometer in Expertenversuchen und mit firmeninternen Probanden zurückgelegt, um die Algorithmen zur Beeinflussung der Fahrzeuglängs- und -querdynamik systematisch einzugrenzen. Die Entwicklung von Algorithmen zur querdynamischen Fahrzeugführung mittels Sidesticks in Kombination mit einer unterlagerten Fahrdynamikregelung auf der Basis von Lenkeingriffen erfolgte in Expertenversuchen in Schweden.

Ein Ergebnis dieses Prozesses waren in Längsrichtung isometrische, d.h. feststehende Stellteile. Aus der Betätigungskraft des Fahrers wird ein Sollwert für die Fahrzeugbeschleunigung bzw. -verzögerung berechnet, der durch einen unterlagerten Regler über Drosselklappen- bzw. Bremseneingriffe eingestellt wird. Ist die auf das Stellteil ausgeübte Längskraft Null, wird die Fahrzeuggeschwindigkeit konstant gehalten. Dies gilt auch für die Geschwindigkeit Null (Standbremsfunktion). Vorteile der in Längsrichtung

isometrisch ausgeführten Sidesticks sind konstante Winkelverhältnisse der oberen Extremitäten, wodurch ein präzises Sensieren des Stellteilwinkels in Querrichtung ermöglicht wird. Damit geht eine starke Reduktion der Problematik des Übersprechens einher. Mit dem Entfall der Längsbewegung des Unterarms werden reibungsähnliche Effekte zwischen Unterarm und Armauflage vermieden. Ergonomisch gestaltete Armauflagen ermöglichen ein bequemes Abstützen des Oberkörpers über die Ellenbogen. Ferner kann ein Verzögerungsvorgang ohne durch Bewegungsabläufe verursachten Zeitverzug eingeleitet werden. Die Isometrie der Stellteile in Längsrichtung wird vom Fahrer nicht wahrgenommen, sofern der Phasenverzug zwischen der geforderten Beschleunigung und Fahrzeugreaktion genügend klein ist.

Zur Beeinflussung der Fahrzeugquerdynamik dient das Prinzip des aktiven Stellteils mit Kraftvorgabe und Wegrückmeldung. Aus der gemessenen Stellteilkraft wird unter Berücksichtigung fahrdynamischer Größen ein Sollwert für den unterlagerten Lenkwinkelregler gebildet. Umgekehrt wird in Abhängigkeit des Regelstreckenausgangs (Fahrzeugverhalten) eine geeignete Rückmeldung in Form eines Sollwerts für den Sidestickwinkel synthetisiert. Meldet man beispielsweise bei kleinen Geschwindigkeiten den Radlenkwinkel zurück, spürt der Fahrer am Sidestick, ob die Radlenkbewegung durch einen Bordstein behindert wird oder nicht.

Bei Kombination von Sidesticks mit einer unterlagerten Fahrdynamikregelung wird aus der Stellteilkraft in Abhängigkeit weiterer Parameter ein Giergeschwindigkeitssollwert gebildet, den der Fahrdynamikregler durch Lenk- und/oder Bremsengriffe einstellt. Aufgrund der hohen Kompatibilität zwischen Fahrzeugbedienung und Fahrzeugreaktion läßt sich die Stabilisierungsaufgabe auf niedrigen Reibwerten durch den Fahrer auch ohne unterlagerte Regelung sehr gut lösen: Der Fahrer zeigt quasi mit Unterarm und Hand in diejenige Richtung, in welche er das Fahrzeug bewegen möchte, und kann so untersteuerndes oder übersteuerndes Fahrzeugverhalten intuitiv korrigieren.

4 Überprüfung im Fahrsimulator

Nachfolgend wird auf eine Untersuchung mit zentraler Bedeutung näher eingegangen: Den Bedienkonzeptvergleich Lenkrad versus Sidesticks mit siebzehnjährigen Fahrneulingen am Fahrsimulator der DaimlerChrysler AG in Berlin.

4.1 Ziel und Hypothesen des Fahrsimulatorversuchs

Das Ziel dieser Untersuchung bestand in dem Vergleich des Sidestick-Bedienkonzeptes mit der herkömmlichen Fahrzeugführung mittels Lenkrad und Pedalen hinsichtlich der Fahrgüte, der Erlernbarkeit und der Beanspruchung der Probanden. Dies erforderte, daß die Probanden idealerweise keine Vorkenntnisse bezüglich des Autofahrens oder ähnlicher, möglicherweise konditionierend wirkenden Tätigkeiten (z.B. Kart-Sport /RICHTER 1969/) besaßen, weshalb Siebzehnjährige als Probanden gewählt wurden. Die Wahl von führerscheinlosen Minder-jährigen als Probanden bedingte ein Versuchsdesign, das einerseits jegliches Risiko ausschloß, aber andererseits hinreichende Anforderungen an die Versuchspersonen stellte, um differenzierte Ergebnisse zu erhalten. Der Fahrsimulator der DaimlerChrysler AG erfüllt diese Randbedingungen in geradezu idealer Weise und bietet gegenüber einem Feldversuch den zusätzlichen Vorteil der Reproduzierbarkeit, weshalb er als Untersuchungsinstrument eingesetzt wurde. Neben dem Faktor „Bedienkonzept“ fand ein zweiter Faktor, das Geschlecht, Berücksichtigung. Dies geschah insbesondere im Hinblick auf Untersuchungen, die bei Männern eine bis zu 10% geringere Hand- und Fingergeschicklichkeit festgestellt haben /HETTINGER 1975; RUTENFRANZ 1982/.

Grundvoraussetzung dafür, daß das Sidestick-Bedienkonzept eine ernstzunehmende Alternative zur herkömmlichen Art der Fahrzeugführung darstellt, war die Bestätigung der Hypothese H_{F1} : Die mit aktiven Sidesticks erreichbare Fahrgüte ist mindestens so hoch wie diejenige mit Lenkrad und Pedalen.

Isometrische Stellteile lassen lediglich das propriozeptive Sensieren von Kraft, nicht aber von Bewegung zu. Eine geeignet gewählte propriozeptive Rückmeldung des dynamischen Verhaltens der Maschine in Form einer aktiven Stellteilbewegung stellt eine wichtige Unterstützung des Reglers Mensch dar. Deshalb besagte Hypothese H_{F2} , daß die Fahrgüte mit aktiven Sidesticks diejenigen mit isometrischen Stellteilen signifikant übertrifft.

Aufgrund der verbesserten Kompatibilität von Stellteil- und Fahrzeugverhalten wurde die Bestätigung der Hypothese H_{F3} erwartet: Als Auswirkung dieser verbesserten Kompatibilität treten beim Fahren mit aktiven Sidesticks im Vergleich zur herkömmlichen Fahrzeugführung in reaktionskritischen Situationen

weniger Fehlbedienungen und Unfälle auf (Erhöhung der aktiven Sicherheit).

Die Hypothesen zur **Erlernbarkeit** beruhen einerseits auf der beim Sidestick-Bedienkonzept entfallenden Notwendigkeit, bei gleichzeitiger Beeinflussung der Längs- und Querdynamik des Fahrzeugs mehrere Gliedmaßen zu koordinieren, andererseits auf der bereits angeführten These der verbesserten Kompatibilität von Stellteil- und Fahrzeugverhalten. Daraus resultierte für den Vergleich von Lenkrad und Pedalen mit aktiven Sidesticks die Hypothese H_{F1} : Die relative Verbesserung der Fahrgüte während der Fahrstunden fällt mit aktiven Sidesticks höher aus als mit Lenkrad und Pedalen. In Entsprechung zu der Hypothese H_{F2} lautete die Hypothese H_{F2} : Die relative Verbesserung der Fahrgüte mit isometrischen Stellteilen ist geringer als diejenige mit aktiven Stellteilen.

Dem Belastungs-Beanspruchungs-Konzept zufolge, das auf einer Analogie zur technischen Mechanik fußt /LUCZAK 1993/, sind Güte- bzw. Leistungsmaße für eine Bewertung der Aufgabenschwierigkeit oder verschiedener Entwürfe technischer Systeme allein nicht ausreichend /JOHANNSEN 1980/. Nach JOHANNSEN kann man von der Hypothese ausgehen, daß sich der Operateur intern ein eigenes Leistungskriterium vorgibt, zu dessen Erfüllung er unter verschiedenen Bedingungen unterschiedliche Anstrengung aufbringen muß. Es war offensichtlich notwendig, außer Leistungsgrößen auch die Anstrengung bzw. die dadurch verursachte **Beanspruchung** des Menschen zu erfassen bzw. bei der Formulierung der Hypothesen zu berücksichtigen. Gemäß dem Ziel, dem Fahrer mit dem Sidestick-Bedienkonzept eine optimierte Schnittstelle zur Maschine Kraftfahrzeug zur Verfügung zu stellen, sollten folgende Hypothesen zur Beanspruchung überprüft werden: Das Fahren mit aktiven Sidesticks verursacht eine geringere Beanspruchung als dasjenige mit Lenkrad und Pedalen (H_{B1}). Hinsichtlich des Vergleichs von aktiven und isometrischen Sidesticks wurde davon ausgegangen, daß das Fahren mit aktiven Sidesticks mit einer geringeren Beanspruchung verbunden ist als dasjenige mit isometrischen Stellteilen (H_{B2}).

4.2 Fahrimulator und Fahrimulatorfahrzeug

Der Fahrimulator der DaimlerChrysler AG (Bild 4) wurde 1984 erstmals in Betrieb genommen und seitdem aufgrund des Zuwachses an Erfahrung in verschiedensten Anwendungen immer weiter verbessert /DROSDOL 1985; HAHN 1988; MERT 1990; SCHILL 1990; KÄDING 1995/. Die erste Stufe des Bewegungssystems besitzt sechs Freiheitsgrade und basiert auf sechs Hydraulikzylindern (Stewart Plattform). Die zweite Stufe des Bewegungssystems, welche die Sechsheinordnung trägt, wird durch den ebenfalls hydraulisch angetriebenen Querschlitzen dargestellt (Fertigstellung 1994). Zentraler Bestandteil dieser Anordnung ist ein großer Hydraulikzylinder mit 5,6 m Hub, der den Schlitten auf einem linearen Schienensystem bewegt.

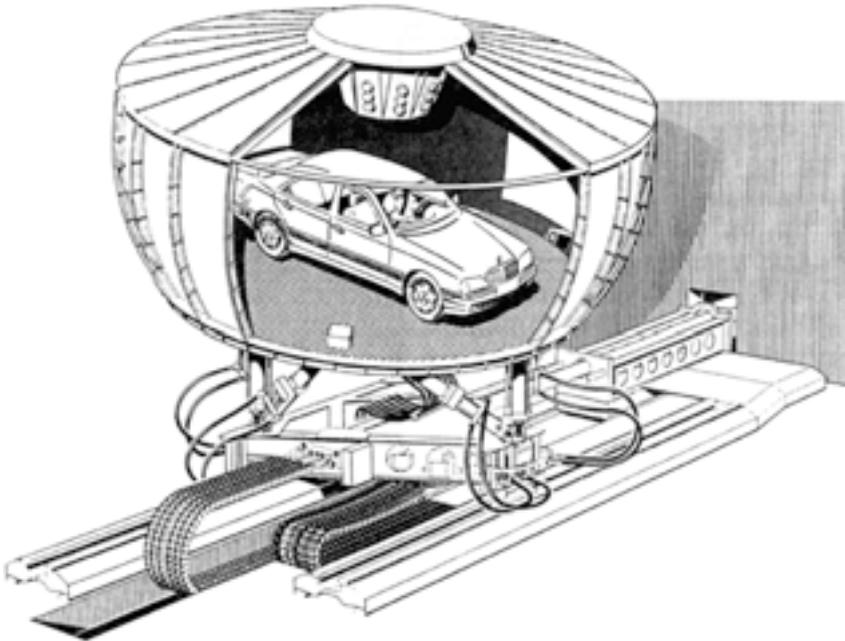


Bild 4: Fahr Simulator der DaimlerChrysler AG

Mit diesem Bewegungssystem können dem Fahrer realistische laterale Beschleunigungsinformationen ohne irgendeine Skalierung zur Verfügung gestellt werden. Andere Bewegungen werden auf 30% der in Wirklichkeit auftretenden Beschleunigungen herunterskaliert.

Die speziell für diesen Versuch aufgebaute **Fahr Simulatorkabine** basiert auf dem 1995 vorgestellten Forschungsfahrzeug Vario Research Car (VRC) der DaimlerChrysler AG. Das Bedienkonzept ist modular aufgebaut: Durch Austauschen der Fahrertür und Teilen der Armaturentafel und der Mittelkonsole kann das Fahrzeug von Lenkrad und Pedalen auf das Sidestick-Bedienkonzept umgebaut werden. Dadurch, daß beide Bedienkonzepte in ähnlichem Design und in demselben Fahrzeug dargestellt werden, kann ein Einfluß der Form- und Farbgebung des Fahrzeugs auf das Urteil und Verhalten der Probanden weitestgehend ausgeschlossen werden.

Die Anordnung von Lenkrad und Pedalen wurde unverändert aus dem fahrbaren VRC übernommen und ist in Bild 5 dargestellt.

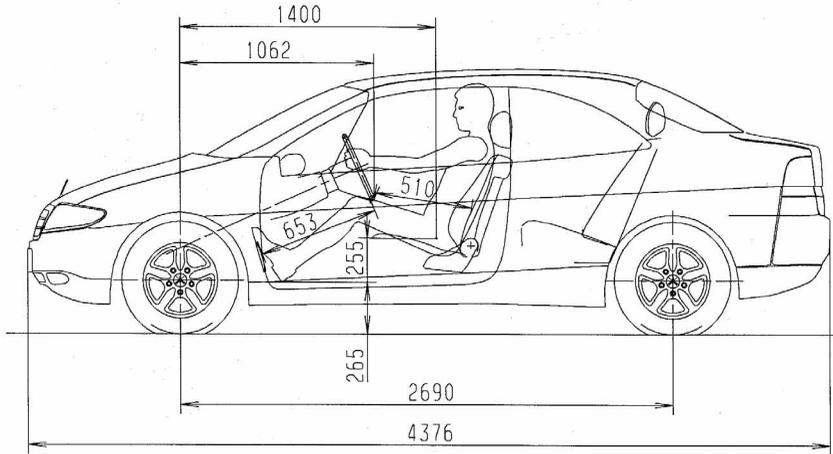


Bild 5: Maßkonzept des VRC-II-Innenraumes mit Lenkrad und Pedalen

Das Ergonomiekonzept der Fahrsimulatorfahrzeuge mit Sidesticks (Bild 6) mußte dagegen neu entwickelt werden. Dazu wurde die Sitzkiste des VRC-I mit Sidestick-Dummies ausgerüstet, deren Position in der x- und z-Richtung des Fahrzeugs variiert werden konnte. Mit Hilfe von 12 Probanden mit sehr unterschiedlicher Anthropometrie (von 1,5 m bis 2,06 m Körpergröße) wurden die Sidesticks so positioniert, daß für alle Probanden eine akzeptable Sitzposition sowohl bezüglich der Stellteile als auch der Sicht nach außen allein durch Verstellen des Sitzes erzielbar war. Die Position der Sidesticks in y-Richtung war durch die Breiten von Tür, Sitzanlage und dem Abstand zwischen Fahrer- und Beifahrersitz nahezu fest vorgegeben.

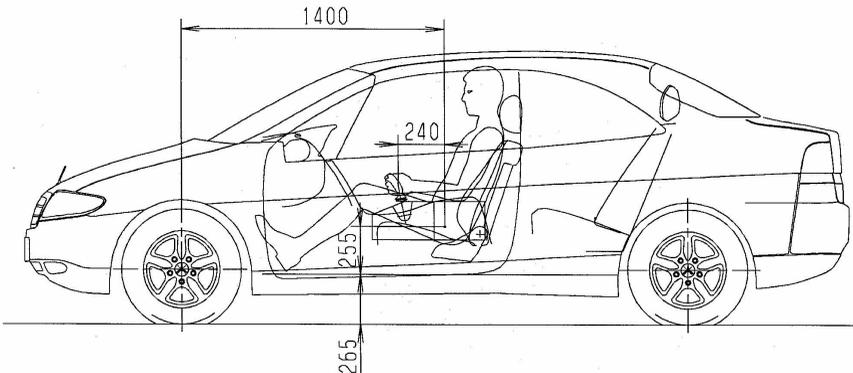


Bild 6: Maßkonzept des VRC-II-Innenraumes mit Sidesticks

Die sich aus der Positionierung der Sidesticks ergebenden Greifräume waren maßgebend bei der Festlegung der Anordnung der übrigen Bedienelemente (vgl. Bild 7). Die wichtigsten Bedienelemente sind auf den Stellteilgriffen selbst untergebracht: Blinker und Hupe können mit dem Daumen bedient werden, mit dem Zeigefinger kann die Lichthupe bzw. Umschaltung zwischen Abblend- und Fernlicht aktiviert werden.

Die übrigen Lichtfunktionen sowie die Scheibenwischerbetätigung befinden sich in einer halbmondförmigen Vertiefung zwischen Griff und Armauflage. Dieser Bereich ist sehr leicht durch Zurückbewegen des Unterarms zu erreichen, ohne daß der Fahrer unabsichtlich Kräfte auf das Stellteil ausüben kann. Direkt vor dem Sidestickgriff (aus Fahrersicht) dürfen nur im Stand zu betätigende Funktionen angeordnet werden, da die Erreichbarkeit dieser Bereiche je nach Stellteilwinkel stark eingeschränkt ist.



Bild 7: Sidestick-Bedienkonzept des VRC-II

Sehr wertvoll ist hingegen der Platz direkt vor dem Fahrer, der in herkömmlichen Fahrzeugen durch das Lenkrad teilweise verdeckt wird. Da die Armaturentafel für beide Varianten des VRC-II dieselbe ist, war eine konsequente Nutzung dieses Bereiches nicht möglich.

4.3 Versuchsablauf / Versuchspersonenkollektiv

Der mehrstündige Umbau des Fahrsimulatorfahrzeugs von Sidesticks auf Lenkrad und Pedale bedingte eine Untersuchung mit unabhängigen Stichproben, der Vergleich des aktiven mit dem isometrischen Sidestickkonzept wurde hingegen mit abhängigen Stichproben durchgeführt.

Die beiden jeweils 32 Versuchspersonen umfassenden unabhängigen Stichproben erhielten jeweils zwei dreißigminütige Fahrstunden mit Sidesticks bzw. mit Lenkrad und Pedalen. Zwecks des Vergleichs zwischen isometrischen und aktiven Sidesticks absolvierte die Sidestick-Stichprobe eine dritte Fahrstunde. Das Stickkonzept wurde bei 26 der 32 Probanden zwischen der zweiten und dritten Fahrstunde gewechselt, sechs Versuchspersonen fuhren alle drei Fahrstunden mit aktiven Sidesticks (Tabelle 2).

Tabelle 2: Probanden- und Fahrstundenzahlen, sowie die sich daraus ergebende Bedienkonzept-folge (Stichprobengröße in Klammern)

	Lenkradprobanden (32)	Sidestickprobanden (32)		
1. Fahrstunde	Lenkrad&Pedale	aktiv, (22)		isometrisch
2. Fahrstunde	Lenkrad&Pedale	aktiv, (22)		isometrisch
3. Fahrstunde	-	isometrisch	aktiv	aktiv
Bedien- konzeptfolge	l-l	a-a-i (16)	a-a-a (6)	i-i-a (10)

l := Lenkrad&Pedale

a := aktive Sidesticks

i := isometrische Sidesticks

Die ungleiche Aufteilung der Sidestickprobandengruppe während der ersten beiden Fahrstunden spiegelt die Priorisierung des Vergleichs von aktiven Sidesticks und der herkömmlichen Fahrzeugführung gegenüber dem Vergleich der beiden Sidestick-Bedienkonzepte wieder. Die Geschlechterverteilung war in allen Gruppen ausgewogen.

Vor der ersten Fahrstunde wurden mittels Fragebögen personenbezogene Daten erhoben, Persönlichkeitsmerkmale kontrolliert, der Eigenzustand erfaßt und Hinweise zur Versuchsdurchführung gegeben. Die ca. 30-minütigen Pause zwischen den Fahrstunden diente neben der Regeneration der Beurteilung der Schwierigkeit der Fahraufgaben durch die Versuchspersonen und der Erfassung der subjektiv empfundenen Beanspruchung. An die jeweils letzte Fahrstunde schloß sich neben der Beanspruchungs- und Eigenzustandseinschätzung sowie der Beurteilung der Aufgabenschwierigkeit ein standardisiertes Interview mit Fragen zum Bedienkonzept im allgemeinen an. Die Betreuung der Versuchsperson erfolgte durch psychologisch geschultes Personal.

4.4 Fahraufgaben

Die Fahraufgaben umfaßten das Fahren auf Landstraßen mit einer Geschwindigkeit von bis zu 80 km/h und auf Autobahnen mit bis zu 130 km/h. Während der ersten Fahrstunde auf Landstraßen wurde das Fahren ohne und mit Gegenverkehr, Anhalten und Anfahren an Ampeln und das Abstandhalten zu einem Führungsfahrzeug anhand eines über Head-up-Display eingeblendeten Abstandsbalkens (Bild 8) vermittelt.

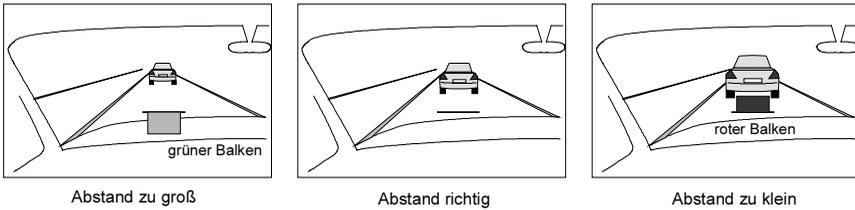


Bild 8: Anzeige des Abstandes zum Führungsfahrzeug

Die zweite Fahrstunde bestand sowohl aus Landstraßen- als auch aus Autobahnabschnitten, wiederum teilweise mit Führungsfahrzeug. In die Autobahnfahrt waren zwei reaktionskritische Situationen integriert (Bild 9).

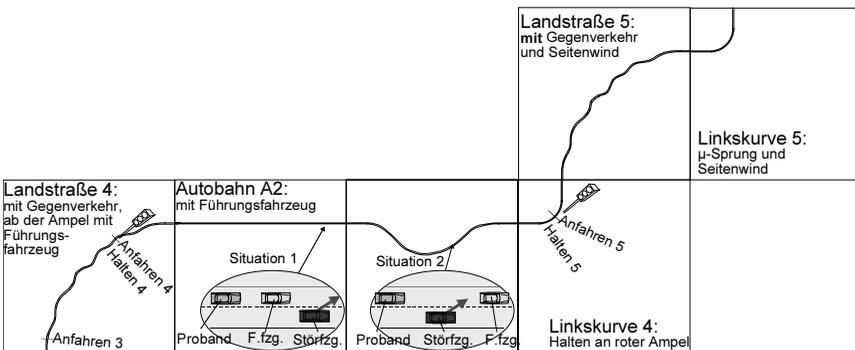


Bild 9: Streckenverlauf (Ausschnitt) und Fahraufgaben der zweiten Fahrstunde (Kantenlänge eines Streckenquadrats = 4 km)

Bei einer durch das Führungsfahrzeug vorgegebenen Sollgeschwindigkeit von 120 km/h und einem Abstand von 2 Sekunden verzögerte das Führungsfahrzeug wegen eines ausscherenden Störfahrzeugs mit 6 m/s^2 . In der zweiten Situation scherte ein 80 km/h fahrendes Störfahrzeug in den Abstand zwischen Führungsfahrzeug und Proband. Während des letzten Landstraßenabschnitts

herrschte an drei Stellen stochastischer¹ Seitenwind. Die nur von den Side-stickprobanden gefahrene dritte Fahrstunde entsprach bezüglich der Streckenführung der zweiten, wobei ein Wiedererkennen aufgrund der Streckenlänge (ca. 40 km) und der geänderten Landschaft, Bebauung und Fahrzeugtypen der anderen Verkehrsteilnehmer weitgehend ausgeschlossen wurde.

4.5 Meßgrößen

Bedienelementbetätigung, Verhalten des eigenen Fahrzeugs, Straßeneigenschaften und die Bewegung anderer Verkehrsteilnehmer wurden durch vierzig mit 50 Hz aufgezeichnete objektive Meßgrößen erfaßt. Sie stellten die Grundlage für die Entwicklung geeigneter Fahrgütekriterien dar. Zusätzlich wurde die Fahrzeugbedienung durch die Versuchspersonen mit Einblendung der mittleren 30° der Frontprojektion auf Video aufgezeichnet.

Neben der Berechnung der Fahrgüte bzw. -leistung mußte dem Belastungs-Beanspruchungs-Konzept zufolge die Beanspruchung des Probanden ermittelt werden. In dieser Untersuchung stand die Forderung nach einfacher Durchführbarkeit der Beanspruchungsermittlung im Vordergrund, weshalb der NASA-Task-Load-Index /HART 1988; SEPEHR 1988/, ein Verfahren der subjektiven Beanspruchungsbewertung, eingesetzt wurde. Aus den gewichteten Beurteilungen von sechs Subskalen wird ein Gesamtbeanspruchungsmaß berechnet. Die Subskalen erfassen die subjektiv empfundenen geistigen, körperlichen und zeitlichen Anforderungen sowie die Anstrengung, die erbrachten Leistung/ Aufgabenerfüllung und die dadurch verspürte Unzufriedenheit.

Zur Kontrolle von Variablen, die außer den systematisch variierten unabhängigen Variablen Geschlecht und Bedienkonzept einen Einfluß auf die Ergebnisse des Fahrsimulatorversuchs haben könnten, wurden spezifische Vorkenntnisse, Persönlichkeitsmerkmale sowie die Befindlichkeit der Probanden vor und nach dem Versuch abgefragt.

Die zusammen mit personenbezogenen Daten mit Hilfe eines Fragebogens erfaßten Vorkenntnisse bezogen sich auf Erfahrungen mit Geschwindigkeit im allgemeinen sowie speziell mit den Stellteilen Lenkrad und Computerjoystick. Ferner wurde nach Hobbys wie Malen, Zeichnen und Musizieren einerseits sowie handwerklichem Geschick andererseits gefragt.

Die Erfassung von Persönlichkeitsmerkmalen erfolgte insbesondere im Hinblick auf eine Überprüfung der Zusammensetzung der unabhängigen Probandenkollektive. Zu diesem Zweck wurde das Neo-Fünf-Faktoren Inventar (NEO-FFI) nach /COSTA 1992/ ausgewählt. Dieses faktorenanalytisch konstruierte Fragebogenverfahren diente der Erfassung individueller Merkmalsausprägungen in den

¹ Nachbildung einer Seitenwindmessung in Richtung und Stärke, Dauer ca. 10 Sekunden.

Bereichen Neurotizismus, Extraversion, Offenheit für Erfahrungen, Verträglichkeit und Gewissenhaftigkeit.

Die Befindlichkeit der Probanden wurde vor Beginn und nach den Fahrsimulatorfahrten mit Hilfe der Baseler Befindlichkeitsskala /Hobi 1985/ erfaßt, um die Veränderung der subjektiven Befindlichkeit zu kontrollieren. Die Skala erfaßt vier Faktoren: Vitalität (VT), Intrapsychischen Gleichgewichtszustand (IG), Soziale Extravertiertheit (SE) und Vigilanz (VG).

Der abschließend durchgeführte standardisierte Interview zielte auf Eigenschaften der Bedienkonzepte, einzelner Fahraufgaben und der Akzeptanz des Sidestick-Bedienkonzeptes.

5 Ergebnisse des Fahrsimulatorversuchs

Fahrgütevergleich zwischen aktiven Sidesticks und Lenkrad & Pedale (H_{F1})

Eine quantitative Aussage bezüglich der Fahrgüteunterschiede zwischen den Bedienkonzepten bzw. den Geschlechtern erforderte die Anwendung von Verfahren der analytischen Statistik. Mit Hilfe einer zweifaktoriellen Varianzanalyse /BORTZ 1993/ mit den Faktoren Geschlecht und Bedienkonzept war es möglich, die Signifikanz des Beitrags der einzelnen Faktoren sowie deren Wechselwirkung zur Aufklärung der gesamten Varianz der Merkmalsverteilung festzustellen.

Die Fahrgüte der beiden jeweils 32 Versuchspersonen umfassenden Stichproben auf Landstraßen (freies Fahren unter Einhaltung der vorgeschriebenen Geschwindigkeiten, Anhalten und Anfahren an Ampeln, Fahren mit optischer Abstandsvorgabe hinter einem Führungsfahrzeug) und Autobahnen mit 100 bis 120 km/h (Spurhalten, Spurwechsel, Überholen von Fahrzeugkolonnen) war quasi identisch. Signifikante Unterschiede wurden lediglich hinsichtlich des Fahrens unter stochastischem Seitenwind (siehe Ergebnisse zu H_{F3}) und in der reaktionskritischen Autobahnsituation 2 festzustellen.

Bild 10 zeigt die längsdynamische Fahrgüte, charakterisiert durch das Minimum des Kriteriums Time-to-collision² (TTC_{min}), für zwei Landstraßenabschnitte und die beiden reaktionskritischen Autobahnsituationen.

² Time-to-collision: Abstand in Sekunden unter Berücksichtigung der eigenen Fahrgeschwindigkeit

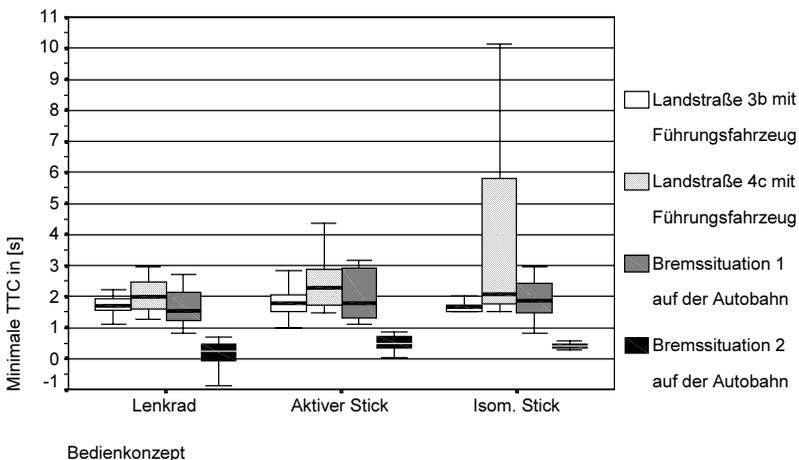


Bild 10: Minima der Time-to-collision (TTC) beim Fahren mit Führungsfahrzeug

Während beim Fahren auf Landstraßenabschnitten (L3b, L4c) und beim Bremsen in der Situation 1 auf der Autobahn von keiner Probandengruppe sicherheitskritische Werte des TTC_{\min} unterschritten wurden, führen 25% der Lenkradprobanden in der Situation 2 auf das Störfahrzeug auf, erkennbar an den negativen Werten für TTC_{\min} in Bild 10.

An dieser Situation kristallisierte sich ein grundlegender Unterschied zwischen dem herkömmlichen und dem Sidestick-Bedienkonzept heraus: Während der Normalfahrer beim Fahren mit Lenkrad und Pedalen in kritischen Situationen in der Regel sequentiell handelt /APEL 1996/, also entweder lenkt oder bremst, begünstigt das Sidestick-Bedienkonzept eine gleichzeitige Beeinflussung der Längs- und Querdynamik. Der Sidestick hat einerseits den Vorteil, daß man die Hand jederzeit auch „an der Bremse“ hat, andererseits zeigt die querdynamische Fahrgüte der Stickfahrer in Situation 2, daß die gleichzeitige Kontrolle von Längs- und Querdynamik eine gewisse Schwierigkeit in sich birgt. In der entsprechenden Situation der dritten Fahrstunde wird mit aktiven Sidesticks bereits die querdynamische Fahrgüte der Lenkradstichprobe erreicht.

Insgesamt wird die Hypothese H_{F1} , das Erreichen einer mindestens genauso hohen Fahrgüte mit aktiven Sidesticks wie mit Lenkrad und Pedalen, für alle Fahraufgaben bis auf die Spurhaltung in der Autobahnsituation 2 bestätigt.

Fahrgütevergleich zwischen aktiven und isometrischen Sidesticks (H_{F2})

Zur Prüfung der Hypothese H_{F2}, daß die Fahrgüte mit aktiven Sidesticks diejenige mit isometrischen Stellteilen signifikant übertrifft, wurden sowohl die zweite als auch die dritte Fahrstunde betrachtet. Besonders in der dritten Fahrstunde kristallisierte sich eine deutliche Überlegenheit der aktiven Sidesticks speziell hinsichtlich der querdynamischen Aufgabenerfüllung heraus. Das aktive Stellteilprinzip erwies sich insbesondere bei Fahraufgaben als vorteilhaft, die eine gleichzeitige Beeinflussung von Längs- und Querdynamik erforderten. Die Stellteilbewegung in Querrichtung reduziert demzufolge die Problematik des Übersprechens.

Kompatibilitätsvergleich zwischen aktiven Sidesticks und Lenkrad & Pedalen (H_{F3})

Unter Kompatibilität wird der vom Menschen zu bewältigende Umkodieraufwand zwischen verschiedenen Informationen verstanden /BUBB 1993/, speziell die Kompatibilität zwischen Bedienung, inneren Modellen des Fahrers und der Wirklichkeit (Fahrzeugdynamik). Wie im Rahmen verschiedener Experimente³ gezeigt werden konnte, lassen sich mit Mensch-Maschine-Systemen, die den Forderungen der Kompatibilität Rechnung tragen, kürzere Reaktionszeiten und bessere Aufgabenerfüllungen erzielen.

Angewandt auf die Hypothese H_{F3}, daß beim Fahren mit aktiven Sidesticks im Vergleich zur herkömmlichen Fahrzeugführung in reaktionskritischen Situationen weniger Fehlbedienungen und Unfälle auftreten, mußten speziell solche Fahraufgaben betrachtet werden, deren Bewältigung eine schnelle Reaktion erfordert und damit wissensbasiertes Verhalten nicht zuläßt. Diese Voraussetzung wurde im Hinblick auf die Längsdynamik durch die Situation des plötzlich ausscherenden Störfahrzeuges auf der Autobahn (Situation 2) und in querdynamischer Hinsicht durch den stochastischen Seitenwind auf dem Landstraßenabschnitt 5 erfüllt (vgl. Bild ..). Bezüglich der Längsdynamik wurde neben den Fahrgütekriterien zusätzlich die Häufigkeit der Fehlbedienungen von Gas und Bremse ausgewertet.

Bild 11 zeigt, daß Lenkradfahrer signifikant mehr Zeit benötigten, um den Verzögerungsvorgang einzuleiten (Zeit zwischen Leerlaufstellung der Drosselklappe bis zum Anstieg des Bremsdrucks). Mit Sidesticks wurden im Durchschnitt weniger als 0,05 Sekunden benötigt, ein erfahrener Autofahrer benötigt ca. sechsmal so lange.

3 z.B. in /Luczak 1993/ zitierte Beiträge aus /Wickens 1984/

In Bild 11 wurden solche Versuchspersonen ausgenommen, die entweder überhaupt nicht gebremst oder Gas und Bremse gleichzeitig betätigt haben. Zusätzlich zu diesen beiden Fehlbedienungen werden in nachfolgender Tabelle 3 diejenigen aufgeführt, welche die Betätigungsrichtungen für Gas und Bremse zunächst verwechselt hatten.

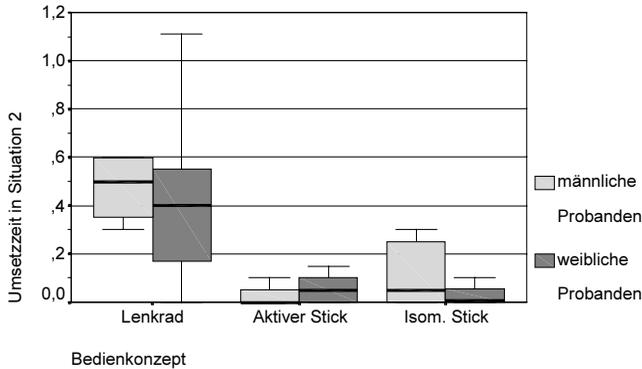


Bild 11: Zeit zwischen Betätigung von Gas und Bremse (Umsetzzeit) in der reaktionskritischen Situation 2 nach Geschlecht und Bedienkonzept getrennt

Tabelle 3: Anzahl von Fehlbedienungen durch Versuchspersonen beim plötzlichen Bremsen in der Autobahnsituation 2, nach Bedienkonzepten getrennt

	Lenkrad	Aktives Sticks	Isometrische Sticks
nicht gebremst	3	-	-
gleichzeitige Betätigung	4	-	-
anfängliche Verwechslung	4	2	-

Für die These einer höheren Kompatibilität der Fahrzeugführung mit Sidesticks sprach, daß alle Stickprobanden gebremst und nur zwei von ihnen zunächst die Betätigungsrichtungen verwechselt hatten, was aber bei keinem der Probanden zu einer Kollision mit dem ausscherehenden Störfahrzeug geführt hatte. Dem standen drei Lenkradprobanden gegenüber, die überhaupt nicht gebremst und vier, die zunächst die Pedale verwechselt hatten. Während beim Sidestick-Bedienkonzept die gleichzeitige Betätigung von Gas und Bremse von vornherein ausgeschlossen ist, bremsten vier Lenkradprobanden mit dem linken Fuß, während sie mit dem rechten noch das Gaspedal betätigten. Für acht Lenkradprobanden endete Situation 2 in einer Kollision mit dem Störfahrzeug.

Die Anwendung der zweifaktoriellen Varianzanalyse mit den Faktoren Geschlecht und Bedienkonzept auf die in Bild 12 dargestellte querdynamische Fahrgüte beim Befahren einer Landstraße unter **Seitenwindeinfluß** hatte einen signifikanten Beitrag des Bedienkonzeptes zur Varianzaufklärung zum Ergebnis: Sowohl mit aktiven als auch mit isometrischen Sidesticks erreichten männliche und weibliche Probanden bessere Fahrgüten (niedrigere Standardabweichungen des Gierwinkelfehlers⁴) als mit Lenkrad. Der Unterschied zwischen den Geschlechtern war nicht signifikant.

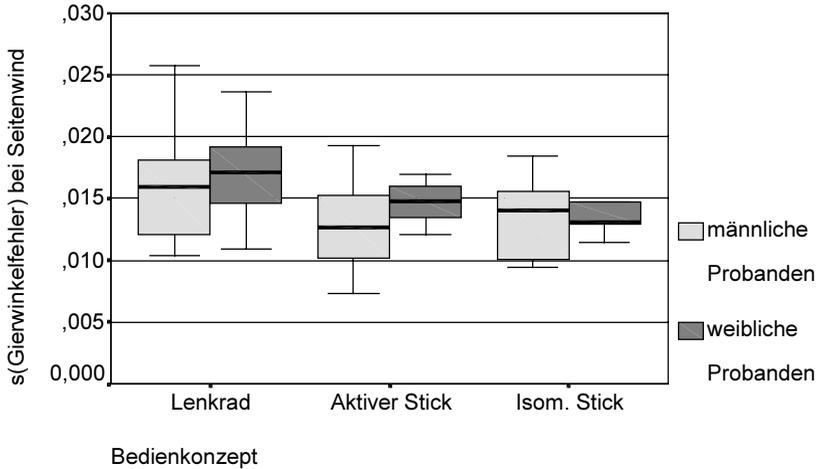


Bild 12: *Querdynamische Fahrgüte (Standardabweichung des Gierwinkelfehlers) beim Fahren auf Landstraße 5 mit Seitenwind*

Der signifikante Zusammenhang zwischen einer Erhöhung der Time-to-collision in Situation 2 und der Reduzierung der Umsetzzeit, die wesentliche geringere und folgenlose Anzahl der Fehlbedienungen sowie die bessere querdynamische Fahrgüte unter Seitenwindeinfluß wurden als eindeutige Indikatoren für eine bessere Kompatibilität des Sidestick-Bedienkonzeptes mit den inneren Modellen der Probanden als beim konventionellen Bedienkonzept gewertet. Die Hypothese H_{F3} wurde durch dieses Ergebnis, das auch als Verbesserung der Aktiven Sicherheit durch das Sidestick-Bedienkonzept interpretiert werden kann, bestätigt.

⁴ Der Gierwinkelfehler ist definiert als Differenzwinkel zwischen Fahrzeuglängsachse und Straßenrichtung. Die Standardabweichung des Gierwinkelfehlers ist folglich ein Maß für den „unproduktiven“ Anteil der Fahrzeuggierbewegung, das gleichzeitig unempfindlich gegenüber „Kurvenschneiden“ ist.

Zeitliche Entwicklung der Fahrgüte für aktive Sidesticks und Lenkrad & Pedale (H_{E1})

Die Überprüfung der Hypothese, daß die relative Verbesserung der Fahrgüte während der Fahrstunden mit aktiven Sidesticks höher als mit Lenkrad und Pedalen ausfällt, erfolgte anhand solcher Fahraufgaben, welche die Probanden im Verlauf der Simulatorfahrten wiederholt gestellt bekamen. Dazu zählten insbesondere das Fahren auf Landstraßen und durch langgezogene Kurven, sowie Halte- und Anfahrvorgänge.

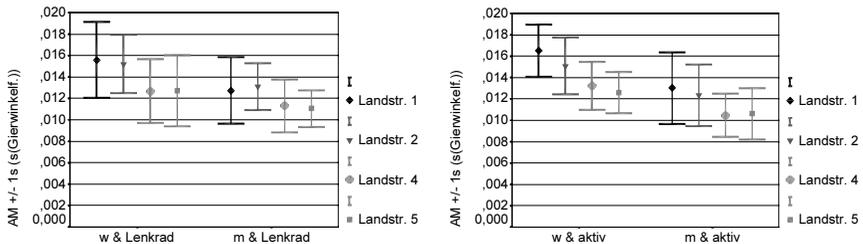


Bild 13: Entwicklung der querdynamischen Fahrgüte (Standardabweichung des Gierwinkelfehlers) im Verlauf von vier Landstraßenfahrten, linkes Diagramm für Lenkrad & Pedale, rechtes für aktive Sidesticks, für weibliche und männliche Probanden im Vergleich (Arithmetischer Mittelwert (AM) +/- 1 Standardabweichung)

Die querdynamische Aufgabenerfüllung bei Landstraßenfahrt (Bild 13) gruppiert nach Bedienkonzept und Geschlecht zeigte ein nahezu identisches Niveau und vergleichbare relative Verbesserungen für die Bedienkonzepte 'Lenkrad' und 'aktive Sidesticks'. Männliche Probanden (m) erreichten zu Beginn der ersten Fahrt bereits eine Fahrgüte, die Frauen (w) erst bei der letzten Fahrt auf dem Landstraßenstreckenabschnitt erzielten.

Auch bei den Fahraufgaben „Führungsfahrzeug folgen“ und „Halten an Ampeln“ hatte das Geschlecht einen vergleichbaren Einfluß: Zum einen lagen die Lernkurven für männliche Probanden auf einem besseren Niveau, zum anderen waren sie flacher als diejenigen der Frauen. Dies legte die Vermutung nahe, daß der bisher (unter Vorbehalt) dem Geschlecht zugeordnete Unterschied in der Fahrgüte in Wirklichkeit durch größere fahrzeugführungsspezifische Vorerfahrung der männlichen Probanden verursacht wurden.

Um zu einer statistisch abgesicherten Aussage zu kommen, wurde die absolute Fahrgüte zu Beginn des Lernprozesses und die relativen Änderungen während des Versuchs für alle interessierenden Fahraufgaben und Probandengruppen ermittelt und einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit den Faktoren Bedienkonzept und Geschlecht unterzogen.

Bezüglich der anfänglichen Fahrgüte ließen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Bedienkonzepten feststellen. In beiden Stichproben waren die männlichen Probanden den weiblichen hinsichtlich der meisten Fahraufgaben überlegen, was die weiblichen Versuchsteilnehmer im Fall der Fahraufgaben ‘Führungsfahrzeug folgen’ und ‘Kurvenfahren’ durch eine signifikant stärkere Verbesserung der querdynamischen Fahrgüte (Standardabweichung des Gierwinkelfehlers) kompensierten. Bei allen anderen Fahraufgaben hatten weder das Bedienkonzept noch das Geschlecht einen signifikanten Einfluß auf die relative Veränderung der Fahrgüte. Die Fahrgüteentwicklung verlief für beide Stichproben nahezu identisch.

Insgesamt wurde deshalb die Hypothese H_{E1} , die eine schnellere Verbesserung der Fahrgüte mit aktiven Sidesticks als mit Lenkrad und Pedalen postuliert, mangels signifikanter Unterschiede zwischen den Bedienkonzepten abgelehnt.

In der dritten, für die Prüfung der Hypothese H_{E1} nicht relevanten Fahrstunde wurden mit den aktiven Sidesticks in beiden reaktionskritischen Situationen vergleichbare Fahrgüten wie mit Lenkrad und Pedalen in der zweiten Fahrstunde⁵ erreicht. Generell war der Lernprozeß in der dritten Fahrstunde soweit fortgeschritten, daß mit Ausnahme der zweiten Autobahnsituation keine signifikanten Fahrgüteunterschiede zwischen den Geschlechtern zu beobachten waren. Daß sich die dem Geschlecht zugeordneten Fahrgüteunterschiede mit zunehmender Fahrpraxis nivellierten, sprach für die Richtigkeit der These, daß diese Fahrgüteunterschiede nicht durch das Geschlecht selbst, sondern durch eine unterschiedlich verteilte Vorerfahrung bezüglich der Fahrzeugführung und dem Umgang mit Geschwindigkeit verursacht wurde.

Zeitliche Entwicklung der Fahrgüte für aktive und isometrische Sidesticks

Die Hypothese H_{E2} , daß die relative Verbesserung der Fahrgüte mit isometrischen Sidesticks geringer ausfällt als mit aktiven Stellteilen, wurde aus dem Fehlen einer unterstützend wirkenden propriozeptiven Rückmeldung des Stellteilweges bei isometrischen Sidesticks abgeleitet.

Die zweifaktorielle Varianzanalyse ergab signifikante Vorteile der in Quer- richtung aktiven Sidesticks gegenüber den in beiden Achsen isometrischen Stellteilen insbesondere bei Fahraufgaben, die eine gleichzeitige Beeinflussung der Längs- und Querdynamik erforderten, z.B. dem Anhalten und Anfahren.

⁵ Dieser Vergleich kann gezogen werden, weil sich die Fahrgüte mit Lenkrad und Pedale in dieser Situation bereits in der zweiten Fahrstunde auf einem absolut hohem Niveau bewegte.

Hinsichtlich der zeitlichen Entwicklung der Fahrgüte ließ sich feststellen, daß weibliche Probanden beim Durchfahren langgezogener Kurven und beim Folgen des Führungsfahrzeugs signifikant größere Fortschritte in der Verbesserung ihrer querdynamischen Fahrgüte erzielten als männliche Probanden. Dies konnte wiederum als Hinweis dafür gelten, daß der statistisch dem Geschlecht zugeschriebene Fahrgüteunterschied in Wirklichkeit durch eine geringere Vorerfahrung der Frauen verursacht wurde, der sich im Laufe des Versuches durch zunehmende Fahrerfahrung nivellierte.

Die Hypothese H_{E2} konnte im Hinblick auf die nur teilweise signifikanten Unterschiede in der zeitlichen Entwicklung der Fahrgüte mit isometrischen und aktiven Sidesticks nicht generell angenommen werden.

Beanspruchungsvergleich zwischen aktiven Sidesticks und Lenkrad & Pedalen

Die Hypothese H_{B1} zur Beanspruchung besagt, daß das Fahren mit aktiven Sidesticks eine signifikant geringere Beanspruchung des Fahrers zur Folge hat als die herkömmliche Fahrzeugführung. Die Beanspruchung der Probanden wurde mit Hilfe des NASA-Task-Load-Index erfaßt.

Die in Bild 14 wiedergegebenen Unterschiede zwischen den Nasa-TLX-Werten der Probanden, die mit Lenkrad oder aktiven Sidesticks fahren, sind nicht signifikant. Auch die Werte derjenigen Probanden, die in den ersten beiden Fahrstunden mit dem isometrischen Stickkonzept fahren, sind mit denen der anderen beiden Gruppen vergleichbar.

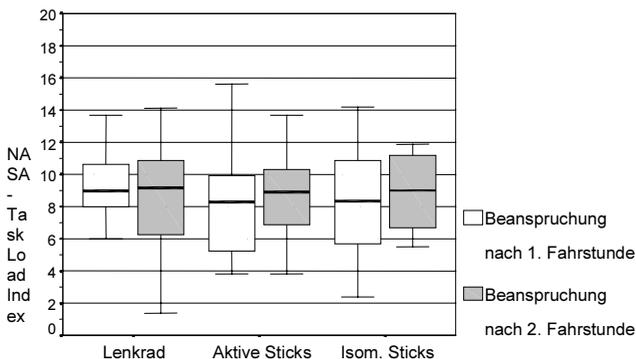


Bild 14: Gesamtwert des NASA-TLX für die ersten beiden Fahrstunden

Die Anwendung der zweifaktoriellen Varianzanalyse auf die Skalen Aufgabenerfüllung, Unzufriedenheit, geistige Anforderungen und Anstrengung des Nasa-TLX Fragebogens ergab keine signifikanten Zusammenhänge.

Insgesamt ließ sich trotz kleinerer geschlechts- und bedienkonzeptspezifischer Besonderheiten feststellen, daß das Fahren mit Lenkrad und aktiven Sidesticks zu einer sehr ähnlichen subjektiven Bewertung der Beanspruchung führte. Die Hypothese H_{B1} wurde deshalb abgelehnt.

Beanspruchungsvergleich zwischen aktiven und isometrischen Sidesticks (H_{B2})

Zur Überprüfung der Hypothese H_{B2} , daß das Fahren mit isometrischen Sidesticks eine höhere Beanspruchung verursacht als mit aktiven Stellteilen, mußten alle drei Fahrstunden berücksichtigt werden. Die Änderung des NASA-TLX von der zweiten zur dritten Fahrstunde ist besonders aufschlußreich, weil abhängige Stichproben vorlagen (vgl. Bild 15).

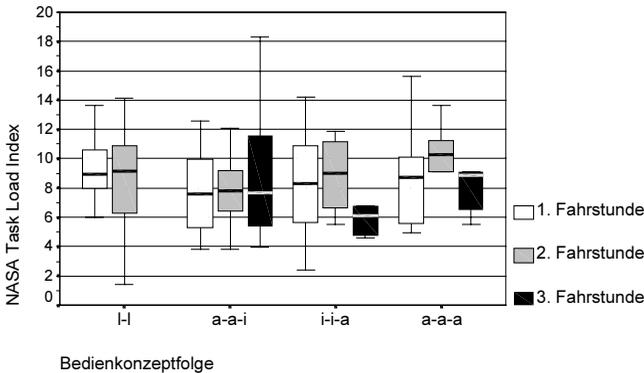


Bild 15: Gesamtwert des NASA-TLX für alle drei Fahrstunden, getrennt nach der Bedienkonzeptfolge („l“:= Lenkrad, „a“:= aktive Sidesticks, „i“:= isometrische Sidesticks)

Der NASA-TLX nahm von der zweiten zur dritten Fahrstunde am stärksten für diejenigen Probanden ab, die zunächst mit isometrischen und anschließend mit aktiven Sidesticks gefahren sind. Im Gegegensatz dazu erhöhte sich im Mittel die Beanspruchung derjenigen, die in der dritten Fahrstunde erstmals mit isomerischen Sidesticks führen. Dieser Einfluß der Bedienkonzeptfolge auf die Veränderung der subjektiv bewerteten Beanspruchung ist laut zweifaktorieller Varianzanalyse signifikant.

Erklären läßt sich diese Beobachtung durch die Überlagerung von zwei Effekten: Zum einen wirkt sich die von der zweiten zur dritten Fahrstunde zunehmende Fahrerfahrung beanspruchungsmindernd aus, abzulesen bei denjenigen, die alle Fahrten mit dem aktiven Stick zurückgelegt haben. Zum anderen hat der Wechsel zwischen unterschiedlichen Bedienkonzepten einen entscheidenden Einfluß auf

die subjektiv beurteilte Beanspruchung: Das Fahren mit aktiven Sidesticks verursachte nach Bild 5.14 eine geringere Beanspruchung als dasjenige mit isometrischen Stellteilen.

Die Hypothese H_{B2} , daß das Fahren mit isometrischen Sidesticks eine höhere Beanspruchung verursacht als mit aktiven Stellteilen, wird durch die Ergebnisse des NASA-TLX verifiziert.

6 Diskussion

Das **aktive Sidestick-Bedienkonzept** war der Fahrzeugführung mittels Lenkrad und Pedalen bezüglich der längsdynamischen Fahrgüte eindeutig überlegen. Während die gleichmäßigere Fahrweise mit aktiven Sidesticks hauptsächlich auf den in den Fahralgorithmen integrierten Tempomaten zurückzuführen war, kam beim Einleiten eines Verzögerungsvorgangs in reaktionskritischen Situationen der Vorteil des Entfalls der Umsetzzeit des Fußes vom Fahr- auf das Bremspedal voll zum Tragen: Kein einziger Sidestickfahrer, aber ein Viertel aller Lenkradfahrer kollidierten mit dem Störfahrzeug.

Bezüglich der Fahrzeugquerdynamik wurde mit dem aktiven Stellteilkonzept eine nahezu identische Fahrgüte wie mit Lenkrad und Pedalen erreicht. Einen Erklärungsansatz dafür liefert die informatorische Betrachtung der Fahrzeugführung: Durch das Bedienkonzept wird lediglich die Informationsumsetzung des Menschen bzw. –eingabe in das Fahrzeug geändert. Die komplexen Prozesse der Informationsaufnahme und –verarbeitung bleiben für beide Bedienkonzepte quasi identisch. Geschwindigkeitsunerfahrene Versuchspersonen beider Gruppen neigten während der ersten Fahrstunde bei Landstraßenfahrt dazu, eine Lenkkorrektur - gleich mit welchem Bedienelement - zu spät einzuleiten. Eigentlich stetige Straßenverläufe wurden quasi durch Polygonzüge angenähert, die im Verlauf der Fahrstunden immer runder wurden.

Die wenigen Unterschiede in der Aufgabenerfüllung offenbarten dennoch grundlegende Unterschiede zwischen den Bedienkonzepten: Die Analyse der reaktionskritischen Situationen auf Autobahnabschnitten belegte eine für Normalfahrer typische sequentielle Handlungsweise /APEL 1996/ beim Fahren mit Lenkrad und Pedalen, d.h. der Fahrer betätigt entweder das Bremspedal oder das Lenkrad. Das Sidestickbedienkonzept macht dieses Handlungsmuster unmöglich. Statt Bein(e) und Arme muß der Sidestickfahrer nur die oberen Extremitäten koordinieren und profitiert gleichzeitig von einfacheren und richtungskompatibleren Bewegungsabläufen. Beleg dafür waren u.a. die unter Seitenwindeinfluß erzielten besseren Fahrgüten, die signifikant höheren (besseren) Werte der Time-to-collision und die wesentlich geringere Anzahl von Fehlbedienungen der mit Sidesticks fahrenden Probanden.

Folgerichtig wurde die Erlernbarkeit des Fahrens mit aktiven Sidesticks auf der fünfstufigen Skala (von sehr einfach bis sehr schwierig) subjektiv als einfach bewertet, die Lenkradprobanden und solche, die überwiegend mit isometrischen Stellteilen führen, urteilen geringfügig negativer. Die subjektive Bewertung der Beanspruchung mit Hilfe des NASA-TLX nach der ersten und zweiten Fahrstunde führte zu sehr ähnlichen Ergebnissen für das Fahren mit Lenkrad und Pedalen sowie mit aktiven Sidesticks.

Die mit **isometrischen Sidesticks** erreichten Fahrgüten unterschieden sich in der zweiten Fahrstunde kaum von denjenigen mit aktiven Sidesticks. In der dritten Fahrstunde kamen die theoretisch einleuchtenden Vorteile des aktiven Stellteils insbesondere bei solchen Fahraufgaben zum Tragen, wo Längs- und Querdynamik des Fahrzeugs gleichzeitig beeinflußt werden mußten: Beim Abstandhalten auf Landstraßen und Autobahnen sowie beim Halten und Anfahren an Ampeln zeigt sich das aktive Stellteilprinzip dem isometrischen als signifikant überlegen, in reaktionskritischen Situationen wurden mit dem in Querrichtung aktiven Stellteil im Mittel bessere Fahrgüten erzielt. Demnach erleichtert die propriozeptive Rückmeldung der Fahrzeugquerdynamik die unabhängige, aber dennoch gleichzeitige Beeinflussung von Fahrzeuglängs- und querdynamik.

Die Überlegenheit des in Querrichtung aktiven Stellteilprinzips wurde durch eine signifikant geringere subjektive Beanspruchung für das Fahren mit aktiven Sidesticks versus mit feststehenden Stellteilen und eine signifikant bessere subjektive Bewertung der aktiven Sidesticks untermauert.

Der Vergleich der **zeitlichen Entwicklung der Fahrgüte** zwischen aktiven Sidesticks und Lenkrad mit Pedalen hatte zum Ergebnis, daß sowohl das Niveau als auch der zeitliche Verlauf der Lernkurve für beide Bedienkonzepte nahezu identisch sind. Die Unabhängigkeit der Lernkurve vom Stellteilkonzept kann wiederum als Indiz dafür gewertet werden, daß der Lernvorgang weniger durch die bedienkonzeptspezifische Informationsumsetzung als durch die aufgabenspezifischen Prozesse der Informationsaufnahme und -verarbeitung geprägt wird.

Im Gegensatz zum Bedienkonzept wurde dem Geschlecht ein signifikanter Einfluß auf den Verlauf der Lernkurve zugeschrieben: Einerseits lag die Lernkurve für männliche Probanden auf einem besseren Niveau, andererseits verlief sie flacher als die der Frauen. Tatsächlich wurden hinsichtlich der kontrollierten Vorkenntnisse signifikante Unterschiede in Abhängigkeit des Geschlechts festgestellt. Da sich die geschlechtsspezifischen Fahrgüteunterschiede mit zunehmender Fahrpraxis nivellierten, konnte davon ausgegangen werden, daß die dem Geschlecht zugeordneten Fahrgüteunterschiede eigentlich durch die geschlechtsabhängige Verteilung der Vorkenntnisse verursacht wurden.

Ausgehend von den anfangs zitierten Untersuchungen zum Prinzip des aktiven Stellteils war eine eindeutige Überlegenheit des aktiven Sidestickbedienkonzeptes gegenüber der herkömmlichen Fahrzeugführung zu erwarten. In der vorliegenden

Untersuchung haben sich die aktiven Sidesticks zwar gegenüber den isometrischen Sidesticks als überlegen erwiesen, im Vergleich zu Lenkrad und Pedalen war die Aufgabenerfüllung quasi identisch. Als Ursache hierfür kommen die grundlegenden Unterschiede zwischen dem in der Literatur häufig betrachteten System Pilot-Flugzeug und dem System Fahrer-Kraftfahrzeug in Betracht. Während das Autofahren ein Beispiel für direkte Informationsaufnahme darstellt, ist im bemannten Flugzeug eine direkte sensorische Kontrolle aufgrund des begrenzten sensorischen Auflösungsvermögens bzw. in Ermangelung adäquater Sensoren nicht immer möglich /JOHANNSEN 1977/. Der Pilot kann aufgrund der räumlichen Bewegung des Flugzeugs die auf ihn wirkenden Beschleunigungen nicht eindeutig interpretieren: Die Kurvenbeschleunigung, die im Kraftfahrzeug als solche wahrnehmbar ist, führt im Flugzeug lediglich zu einer virtuellen Erhöhung der Gewichtskraft des Piloten - er wird stärker in seinen Sitz gepreßt. Derselbe Beschleunigungseindruck des Piloten ergibt sich, wenn das Flugzeug nicht quer, sondern vertikal zur Erdoberfläche beschleunigt wird. Zum anderen kann der im Kraftfahrzeug eindeutig interpretierbare Eindruck einer Längsverzögerung im Flugzeug außer durch Schubkraftreduzierung auch durch Fliegen mit einem entsprechenden Nickwinkel hervorgerufen werden.

Das aktive Bedienelement bietet die Möglichkeit, dem Piloten Informationen über den Flugzustand (z.B. Rollwinkel oder Rollwinkelgeschwindigkeit, Lastvielfache oder Nickwinkel) kinästhetisch zurückzumelden, die er bei schlechter Sicht direkt oder indirekt aus Anzeigen extrahieren müßte. Es ersetzt aber nicht den unterlagerten „Flugzustandsregler“, der die Sollwerte des Piloten in Stellgrößen für die einzelnen Leitwerke umsetzt und zugleich ein in der Nickachse aerodynamisch instabiles Hochleistungsflugzeug stabilisiert /WÜNNENBERG 1991/.

Ein weiterer wichtiger Unterschied zu bisherigen Veröffentlichungen zum aktiven Stellteil ist darin zu suchen, daß in dieser Untersuchung bei der Entwicklung und Überprüfung der Fahralgorithmen zum ersten Mal mit einer realen bzw. sehr realistischen Bewegungsrückmeldung gearbeitet werden konnte. Befindet sich der Mensch als Regler hingegen im ortsfesten Koordinatensystem in Ruhe, kann er ohne aktives Stellteil nur visuell wahrgenommene Informationen zur Lösung seiner Aufgabe verarbeiten. Die Rückmeldung des Regelstreckenverhaltens über das vestibuläre und das kinästhetische Rezeptorsystem verbessert jedoch die Regelleistung des Menschen, wie vergleichende Untersuchungen von bewegungsfreier Simulation und Simulation mit Bewegungsrückmeldung belegen /BAILEY 1987; HOSMAN 1981; VAART 1987/. In /HOSMAN 1990/ wird eine erstaunliche Ähnlichkeit des Einflusses durch Aufschalten der Bewegungssimulation und den Wechsel vom passiven zum aktiven Bedienelement hinsichtlich der Veränderung des menschlichen Regelverhaltens und seiner Leistung festgestellt.

Dennoch macht der Wegfall der mechanischen Verbindung zwischen Bedienelement und Regelstrecke den Einsatz aktiver Stellteile zwingend notwendig. Nur

durch dieses in Abschnitt 2.2 ausführlich erläuterte Prinzip ist es möglich, eine definierte Phasenbeziehung zwischen dem dynamischen Verhalten der Stellteile und demjenigen der Regelstrecke zu gewährleisten. Vor allem eröffnet das aktive Stellteilprinzip über den Ersatz einer mechanischen Verbindung hinaus große Gestaltungsfreiheiten, wie beispielsweise die Implementation einer geschwindigkeitsabhängigen Lenkübersetzung, einer fahrzustandsabhängigen Rückmeldung oder die Kombination mit Assistenzsystemen zur Fahrzeugstabilisierung und Bahnführung.

Zweifelloos läßt der beschriebene Fahrsimulatorversuch viele Fragen offen, z.B.:

- Wie lange ist die Adaptationszeit von Normalfahrern an das Sidestick-Bedienkonzept und wovon ist sie abhängig?
- Wie fällt ein Vergleich der Beanspruchung beim Fahren mit Sidesticks versus Lenkrad und Pedalen im realen Straßenverkehr aus?
- Wieviel Variabilität der Fahralgorithmen hinsichtlich Kraftniveau und Fahrzeugverhalten darf dem Fahrer zur Verfügung gestellt werden?
- Wie läßt sich die Fahrzeugführung mit aktiven Sidesticks besonders vorteilhaft mit Assistenzsystemen, beispielsweise zur Bahnführung, kombinieren?

Um zumindest einen Teil dieser Fragen beantworten zu können, wurden die bis 1998 erarbeiteten anthropometrischen, systemergonomischen und technologischen Erkenntnisse in einem Mercedes-Benz SL 500 (R129) umgesetzt (Bild 16). Entsprechend den Ergebnissen der Algorithmenentwicklung und des Fahrsimulatorversuchs wurden die Stellteile in Querrichtung aktiv und in Längsrichtung isometrisch ausgeführt, so daß Größe, Gewicht und Kosten erheblich reduziert werden konnten.



*Bild 16:
Bedienkonzept
des 1998 fertig-
gestellten
Sidestick-
Versuchsträgers
auf Basis eines
Rechtslenkers des
Mercedes-Benz
SL 500 (R129)*

In diesem für die Weiterentwicklung und Überprüfung des Sidestick-Bedienkonzeptes wertvollen Fahrzeug können sowohl die Funktionalität als auch

die ergonomischen Vorzüge des Sidestick-Bedienkonzeptes verpackt in serien-nahem Interieurdesign erfahren und erlebt werden.

Gegenüber den im Zuge von über 100 Jahren Automobilgeschichte durchgeführten zahllosen Untersuchungen zum Fahren eines Kraftfahrzeugs mit Lenkrad und Pedalen bietet der beschriebene Fahrsimulatorversuch bislang keine absolute Gewißheit darüber, daß das hier beschriebene alternative Bedienkonzept der klassischen Fahrzeugführung im realen Straßenverkehr mindestens ebenbürtig ist. Dennoch lassen die hier vorgestellten Ergebnisse und die Tatsache, daß in der Luftfahrt mit der Einführung der Fly-by-wire Technologie Sidesticks alternativ zu lenkradähnlichen Steuerhörnern erfolgreich Einzug in die Cockpits erhielten, berechnete Hoffnung aufkommen, daß es sich bei diesem Bedienkonzept um eine echte Alternative zu Lenkrad und Pedalen handelt und nicht um Spielerei.

Literatur

- Apel, A. (1996): Fahrermodell für kritische und normale Fahrsituation. Vortragsausdrucke der IX. IfF-Tagung, Institut für Fahrzeugtechnik, TU Braunschweig, S. 171-210.
- Bailey, R.E.; Knotts, L.H. et al. (1987): Effect of Time Delay on Manual Flight Control and Flying Qualities during In-Flight and Ground-Based Simulation. Proceedings of the AIAA Flight Simulation Technologies Conference, Washington D.C. Nr. 87-2370, S. 30-38.
- Bidwell, J.B. (1959): Vehicles and Drivers - 1980. Vortrag beim SAE Annual Meeting, General Motors Corporation, Research Laboratories, Detroit, USA.
- Bolte, U. (1991): Das Aktive Stellteil - ein ergonomisches Bedienkonzept. Fortschr.-Ber. VDI, Reihe 17, Nr. 75. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Bortz, J. (1993): Statistik für Sozialwissenschaftler. 4.Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Bränneby, P.; Palmgren, B. et al. (1991): Improved Active and Passive Safety by Using Active Lateral Dynamic Control and an Unconventional Steering Unit. 13th International Technical Conference on Experimental Safety Vehicles. Proceedings Band 1, Paris, France. S. 224-230.
- Bubb, H. (1985): Arbeitsplatz Fahrer - Eine ergonomische Studie. Automobil-Industrie, 3/85, S. 265-275.
- Bubb, H.; Schmidtke, H. (1993): Systemergonomie. In Schmidtke, H. (Hrsg.): Ergonomie. 3. Auflage. München, Wien: Hanser Verlag.
- Costa, P.T.; McCrae, R.R. (1992): Revised NEO Personality Inventory (NEO-PI) and NEO Five Factor Inventory. Professional Manual. Odessa, Fl.: Psychological Assessment Resources.
- Drosdol, J.; Panik, F. (1985): The Daimler-Benz Driving Simulator - A Tool for Vehicle Development. SAE Technical Paper Series 850334. International Congress & Exposition, Detroit, Michigan.

- Geuss, H.; Krist, R.; Seidl, A. (1995): Ein System zur Erhebung und Vermessung dreidimensionaler Körperhaltungen von Menschen zur ergonomischen Auslegung von Bedienelementen und Sitzplätzen im Auto. FAT Frankfurt.
- Hahn, S.; Käding, W. (1988): The Daimler-Benz Driving Simulator - Presentation of Selected Experiments. SAE Technical Paper Series 880058. International Congress and Exposition, Detroit, Michigan.
- Hart, S.G.; Staveland, L. (1988): Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. In P.A. Hancock and N. Meshkati (Eds.), Human Mental Workload, S. 139-183. Amsterdam: Elsevier.
- Herzog, J.H. (1969): Proprioceptive Cues and their Influence on Operator Performance in Manual Control. NASA Contractor Report 1248.
- Hettinger, Th.; Eissfeldt, G.; Olbrich, K.-H.; Seibert, W. (1975): Geschicklichkeit und deren Übbbarkeit. Zeitschrift für Arbeitswissenschaften 29, Heft 4, S. 223-229.
- Hobi, V. (1985): Manual zur Baseler Befindlichkeitsskala - Ein Self-Rating zur Verlaufs-messung der Befindlichkeit. Weinheim: Beltz Test Gesellschaft.
- Hosman, R.H.; Vaart, J.C. van der (1981): Effects of Vestibular and Visual Motion Perception on Task Performance. Acta Psychologica 48, S. 271-287.
- Hosman, R.J.; Vaart, J.C. van der (1988): Active and Passive Sidestick Controllers: Tracking Task Performance and Pilot Behaviour. Proceedings of the AGARD Conference on „The Man Machine Concept in Tactical Aircraft Design and Combat Automation“. AGARD CP-425.
- Hosman, R. J.A.W.; Benard, B.; Fourquet, H. (1990): Active and Passive Sidestick Controllers in Manual Aircraft Control. IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. Conference Proceedings, L.A., CA, USA. New York: IEEE, S. 527-529.
- Johannsen, G.; Boller, E.; Donges, E.; Stein, W. (1977): Der Mensch im Regelkreis - Lineare Modelle. München, Wien: R. Oldenbourg Verlag.
- Johannsen, G. (1980): Manuelle Regelung in Mensch-Maschine-Systemen. Habilitation TH Aachen.
- Käding, W. (1995): The Advanced Daimler-Benz Driving Simulator. IPC-8, Yokohama, Japan. Technical Paper 9530012.
- Luczak, H. (1993): Arbeitswissenschaft. Springer-Lehrbuch. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- Mayer, A. (1987): Untersuchung über den Einfluß eines Aktiven Bedienelementes auf die menschliche Regelleistung. VDI Fortschr.-Ber. Reihe 17, Nr. 37. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Merhav, S.J.; Ya'acov, O.B. (1976): Control Augmentation and Work Load Reduction by Kinesthetic Information from the Manipulator. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Band SMC-6, Nr. 12, S. 825-835.

- Mert, M.; Hahn, S.; Käding, W. (1990): Das digitale Geräuschsystem des Daimler-Benz Fahrstimulators. VDI-Bericht Nr. 791, S. 109-119. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Metzler, H.G. (1992): Prometheus-Projekte im Hause Daimler-Benz; AVL – Motor und Umwelt: Was können Elektroniksysteme leisten? Grazer Congress, AVL LIST, S. 231 – 245, Graz.
- Mücke, S. (1999): Ergonomische Gestaltung aktiver Stellteile. Dissertation TU Darmstadt. Fortschr.-Ber. VDI Reihe 8 Band 803.
- Petzel, J.P. (1995): The Ergonomics Laboratory: Tools and Methods to solve ergonomical Problems. Daimler-Benz AG, Stuttgart.
- Richter, B. (1969): Unterschiedliches Lenkverhalten verschiedener Versuchspersonen. ATZ 71, Nr. 8, S. 255-257.
- Rohmert, W.; Rückert, A.; Schaub, K. (1992): Körperkräfte des Menschen; Institut für Arbeitswissenschaft der Technischen Hochschule Darmstadt.
- Rutenfranz, J.; Klimmer, F.; Ilmarinen, J. (1982): Arbeitsphysiologische Überlegungen zur Beschäftigung von weiblichen Jugendlichen und Frauen im Bauhauptgewerbe. Schriftenreihe Arbeitsmedizin, Sozialmedizin, Präventivmedizin, Band 70. Stuttgart: Gentner 1982.
- Schill, V.; Käding, W. (1990): The Daimler-Benz Driving Simulator - Research for Road Safety and Traffic Environment. International Conference in Gothenburg, Sweden.
- Sepehr, M. (1988): Nasa Task Load Index - Deutsche Version. Bericht Nr. 284/88, Institut f. Fahrzeugtechnik, TU Berlin.
- Tichy, F. (1995): Theoretische und experimentelle Untersuchungen zu aktiven geregelten Steuerknüppeln. VDI Fortschr.-Ber. Reihe 12, Nr. 233. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Vaart, J.C. van der; Hosman, R.J.A.W. (1987): Compensatory Tracking in Disturbance Tasks and Target Following Tasks. The Influence of Cockpit Motion on Performance and Control Behaviour. TU Delft, Report LR-511.
- Wünnenberg, H. (1991): Handling Qualities of Unstable Highly Augmented Aircraft. AGARD Advisory Report 279.

"Drive by wire" - Potenziale aus heutiger Sicht

Jürgen Hoffmann, Jörg Kreft, Carsten Semmler
Volkswagen AG, Wolfsburg

Motivation und Einleitung

Die zunehmende Leistungsfähigkeit und Miniaturisierung sowie der Preisverfall im Bereich elektronischer Bauelemente ermöglichen die Entwicklung immer komplexerer Systeme zur Unterstützung des Fahrers im Alltag. Die konsequente Nutzung der Ergebnisse aus der Unfallforschung führte zur Einführung von Assistenzsystemen zur Verbesserung der aktiven Sicherheit wie beispielsweise Antiblockiersystem, Antriebsschlupfregelung oder das Elektronische Stabilitätsprogramm.

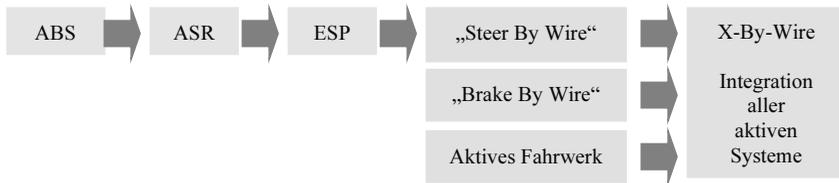


Bild 1: Entwicklung fahrdynamischer Assistenzsysteme

Ziel dieser Systeme ist es, den Fahrer in kritischen Situationen sinnvoll zu unterstützen, ohne ihm die Kontrolle über das Fahrzeug zu entziehen. Untersuchungen aus dem realen Unfallgeschehen zeigen, daß viele Verkehrsunfälle vermeidbar wären, wenn eine optimierte Abstimmung des Kraftfahrzeuges auf den Regelkreis Fahrer-Fahrzeug-Umfeld erfolgen würde.

Der technische Fortschritt ermöglicht das Vordringen vollelektronischer Regelstrecken in Bereiche, die bisher rein mechanischen / hydraulischen Übertragungswegen vorbehalten waren, wie Bremsen („Brake By Wire“) und Lenkung („Steer By Wire“). Beide Systeme sind sowohl durch elektrohydraulische als auch durch elektromechanische Lösungen realisierbar und bilden die Basistechnologie für zukünftige Fahrzeuggenerationen. Die Integration und Vernetzung weiterer Subsysteme wie

- Elektronisches Gaspedal
- Elektromechanische Schaltungsbetätigung
- Elektromechanische Feststellbremse
- Aktives Fahrwerk (aktive Beeinflussung der Dämpfung und der Federrate)

führt zu einem vollelektronisch geregelten Gesamtfahrzeug. Durch Integration immer weiterer aktiver Systeme in das Fahrzeug werden neue Freiheitsgrade für die Fahrzeugauslegung erschlossen, die - konsequent genutzt - den Kundennutzen erhöhen.

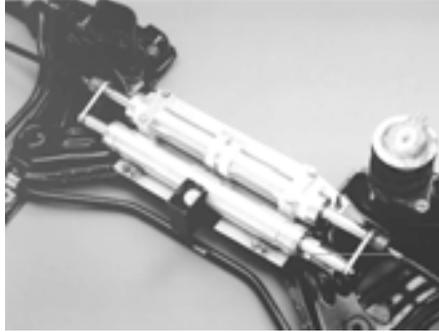


Bild 2: Lenkhydraulik mit Wegmessung

Prinzipiell wird in „Drive By Wire“-Systemen der Fahrerwunsch nicht direkt in Lenk- und Bremsbewegungen umgesetzt, sondern über geeignete Sensoren gemessen und durch ein Fahrzeugrechnersystem in entsprechende elektrische Stellgrößen für die Aktoren überführt, die schließlich die Räder und die Bremssättel bewegen. Daneben werden permanent fahrdynamische Größen wie die Querbeschleunigung und die Giergeschwindigkeit erfaßt, um daraus den aktuellen Fahrzeugzustand und die aktuelle Fahrsituation zu ermitteln. Das Ergebnis ist ein aktives Fahrzeugsystem, in welches bestehende und zukünftige Assistenzsysteme ohne großen Aufwand integriert werden können. Damit kann dann allein durch Software-Modifikationen das Fahrverhalten eines Fahrzeuges beeinflußt werden.

Der Einsatz dieser in der Luftfahrtindustrie schon lange bewährten Technologie wird auch dem Autofahrer der Zukunft einen erheblichen Mehrnutzen bieten. So sind aktive Unterstützung in fahrdynamischen Grenzbereichen oder Komfortfunktionen, die bisher nur sehr aufwändig realisierbar und damit der fahrzeugtechnischen Oberklasse vorbehalten waren, auch in Volumenmodellen vorstellbar.

Daher beschäftigt sich die Fahrzeug-Forschung der Volkswagen AG seit einigen Jahren mit „Drive By Wire“-Systemen. Im Frühjahr 2000 wurde anlässlich einer Veranstaltung des TÜV Süddeutschland in München ein Volkswagen T4 mit „Steer By Wire“-System und unabhängig voneinander lenkbaren Vorderrädern dargestellt (Bild 3).

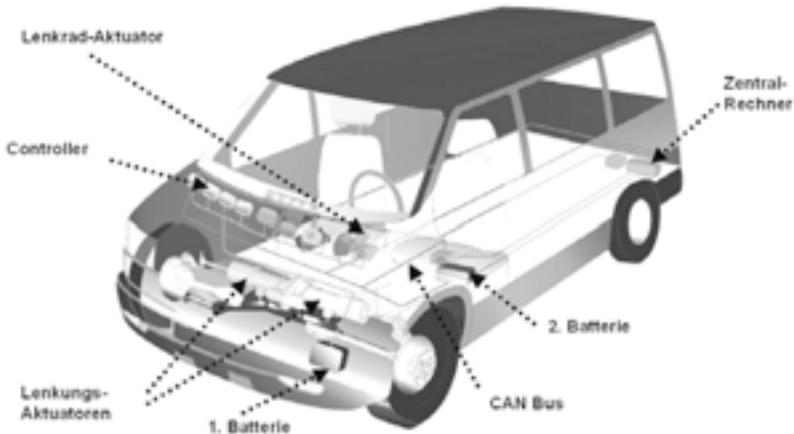


Bild 3: VW T4 mit "Steer By Wire"

Systemsicherheit

Im Gegensatz zu heute eingesetzten Systemen wie ABS, ASR oder ESP, die im Fehlerfall deaktiviert und damit in einen sicheren Zustand überführt werden, ohne die Basisfunktion zu gefährden („fail safe“-Prinzip), gibt es für reine „By Wire“-Systeme keine konventionelle Rückfallebene, d.h. sie müssen auch im Fehlerfall Lenk- und Bremsbarkeit des Fahrzeuges gewährleisten („fail operational“-Prinzip).

Um diesen hohen Sicherheitsanforderungen gerecht zu werden, muß die für die Fahrzeugführung relevante Sensorik, Aktorik und Elektronik (inklusive Stromversorgung) redundant ausgelegt werden. Nur so kann bei Ausfall einzelner Komponenten ein (evtl. zeitlich befristeter) Notbetrieb realisiert werden. Voraussetzung hierfür ist natürlich eine sichere und frühzeitige Fehlererkennung.

Durch den Einsatz von fehlertoleranten echtzeitfähigen Bussystemen, die die Kommunikation zwischen den Subsystemen jederzeit sicherstellen, ist eine modulare Systemarchitektur realisierbar. Sie erlaubt einerseits eine flexiblere, d.h. crashoptimierte und dezentrale, Montage der Komponenten und erhöht andererseits die Austauschbarkeit sowie die Wartbarkeit des Systems.

Passive Sicherheit

Durch den Entfall der Lenksäule und der starren Verbindung zwischen Bremspedal und Bremskraftverstärker kann der Fahrer im Falle eines Frontalcrashes zukünftig besser geschützt werden. Einerseits können die konventionellen Bedienelemente Lenkrad / Pedalerie *weicher* montiert werden, andererseits die entsprechenden kritischen Bauräume durch neue Bedienkonzepte zur Fahrzeugführung wie z.B. die Sidesticksteuerung in hohem Grade entschärft werden. Craschoptimierte Fußraumgestaltung sowie neue Airbagkonzepte am Fahrerarbeitsplatz können das Risiko von Fuß- und Oberkörperverletzungen erheblich senken.

Aktive Sicherheit

Die durch den Wegfall der direkten mechanischen Kopplung gewonnenen Freiheitsgrade können genutzt werden, um z.B. variable Lenkübersetzungen oder fahrstabilisierende Lenkeingriffe im Grenzbereich zu realisieren. Eine geschwindigkeitsabhängige, adaptive Lenkübersetzung erleichtert ebenso das Parkieren wie sie bei höheren Fahrgeschwindigkeiten die Fahrsicherheit positiv beeinflusst. Sämtliche relevanten Parameter dieser elektronischen Regelstrecken können hierbei über variable Kennfelder individuell an den Fahrer angepaßt werden.

Die beiden folgenden Grafiken zeigen im Vergleich reale Meßergebnisse von konventioneller Lenkung (links) und Gierratengeregeltem „Steer By Wire“ (rechts) beim doppelten Fahrspurwechsel („Elchtest“).



Bild 4: Sidestick-Positionierung nach RAMSIS

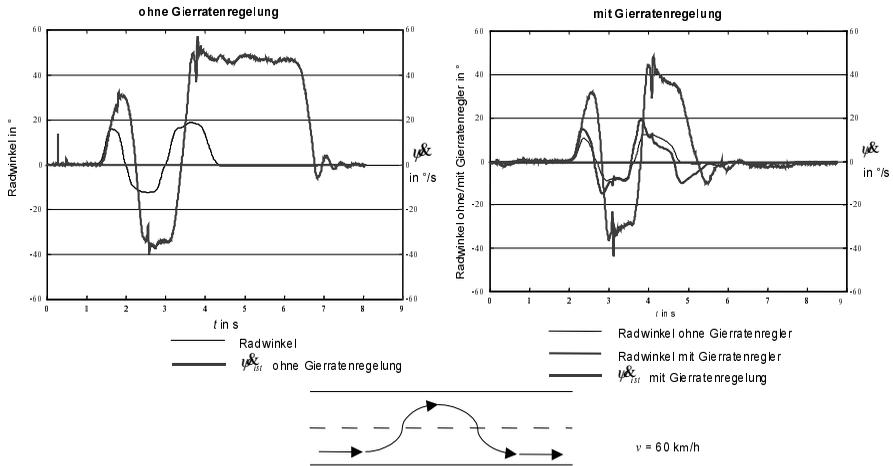


Bild 5: Doppelter Fahrspurwechsel mit konventioneller Lenkung und „Steer By Wire“

In diesem Versuch wurde der doppelte Fahrspurwechsel mit einer Geschwindigkeit von 60 km/h gefahren. Ohne Gierratenregler ergibt sich der Zeitverlauf aus der linken Abbildung. Der Radwinkel ist in diesem Falle bis auf einen konstanten Übersetzungsfaktor identisch mit der Lenkradwinkelvorgabe. Der Fahrer lenkt das Fahrzeug zunächst nach links. Kurz darauf lenkt er nach rechts, um das Fahrzeug auf der linken Spur gerade zu ziehen und anschließend wieder die Spur nach rechts zu wechseln. Bis hierhin folgt das Fahrzeug dem Lenkwinkel, wenn auch mit größer werdender Verzögerung. Beim letzten Lenkwinkelschlag nach links, der das Fahrzeug auf der alten Spur wieder geradeziehen soll, wird an den Hinterrädern die maximal übertragbare Seitenkraft überschritten, das Fahrzeug schleudert über die Hinterräder. Das Zurücklenken des Fahrers in die Nullstellung hat nun keinen Effekt mehr, die Gierraten bleibt durch das anhaltende Schleudern annähernd konstant, bis das Fahrzeug irgendwann zum Stehen kommt.

Der gleiche Versuch mit dem PID-Gierratenregler ist in der rechten Abbildung dargestellt. Hierbei ist dünn der Radwinkelverlauf gezeichnet, der sich ohne Gierratenregler ergeben würde. Dieser ist bis auf eine konstante Übersetzung erneut identisch mit der Lenkradwinkelvorgabe des Fahrers und kann somit als Sollvorgabe gedeutet werden. Zunächst verhält sich das Fahrzeug ähnlich dem unregulierten. Beim entscheidenden Lenkradeinschlag nach links bei $t \approx 3,7 \text{ s}$ aber

erkennt man, daß der Gierratenregler den Radwinkel schneller und weiter nach links führt, damit die Giergeschwindigkeit der Vorgabe noch folgt. Anschließend wird der Radwinkel aber auch sehr rasch wieder reduziert, im Gegensatz zur Lenkwinkelvorgabe des Fahrers, die zunächst auf hohem Niveau verbleibt. Dies ist der entscheidende Zeitpunkt, zu dem der Regler erkennt, daß die Giergeschwindigkeit zu groß wird, da das Fahrzeug an den Hinterrädern die maximale Seitenführungskraft überschritten hat. Dem Gierratenregler gelingt es durch schnelles Gegenlenken, das Fahrzeug zu stabilisieren. Das Fahrzeug schleudert nicht und bleibt vom Fahrer zu jeder Zeit beherrschbar.

Existierende Assistenzsysteme wie ABS oder ESP können statt mit hohem zusätzlichen Hardwareaufwand allein durch sinnvolle Nutzung vorhandener Sensorik / Aktorik und Modifikation der Steuersoftware integriert werden.

Andere Assistenzen werden darüberhinaus erst durch den Einsatz von DBW-Systemen möglich. Beispielhaft seien hier die Seitenwindkompensation oder die Anfahrhilfe am Berg (Hill Holder) erwähnt.

Weiteres Potenzial steckt implizit in der Wahl geeigneter Bedienelemente: die Realisierung der Quer- und Längsdynamikregelung in einem einzigen Bedienelement wie einem Sidestick kann so zum Beispiel allein bauartbedingt eine Notbremsung sinnvoll unterstützen, weil das Umsetzen des Fußes vom Gas- aufs Bremspedal entfällt. Um dieses vorhandene Potenzial auszuschöpfen, muß in Zukunft auf den Gebieten

- Ausführung und Positionierung der Bedienelemente
- Vermeidung einer unerwünschten gegenseitigen Beeinflussung beider Bewegungsrichtungen
- Minimierung der Umgewöhnungsphase von Lenkrad / Pedalerie auf alternative Bedienelemente

noch intensive Forschungsarbeit geleistet werden.

Komfort und Fahrerlebnis

Die Realisierung der Lenk- und Bremsfunktionalitäten mittels elektronischer Regelstrecke vermittelt dem Fahrer nicht mehr direkt ein Gefühl für die Straßenbeschaffenheit. Prinzipbedingt gehen ihm durch die mechanische Entkopplung der Komponenten Informationen verloren wie beispielsweise leicht- oder schwergängigeres Lenkgefühl auf verschiedenen Fahrbahnoberflächen.

Der Einfluß dieser Verluste auf die qualitative Beurteilung des Gesamtsystems ist allerdings subjektiv und wird von Fahrer zu Fahrer sehr unterschiedlich bewertet. Wesentliche Bedeutung in Hinblick auf eine mögliche Kundenakzeptanz hat daher die Realisierung der Mensch-Maschine-Schnittstellen, d.h. die Gestaltung der Bedienelemente, mit denen der Fahrer seine Bahnführungs- und Navigationsaufgaben zu bewältigen hat. Untersucht werden hier sowohl die konventionelle Kombination „Lenkrad plus Pedalerie“ als auch alternative Bedienkonzepte wie z.B. die in der Luftfahrt bewährten Sidesticks oder andere Bedienelemente, die Längs- und Querdynamikregelung in sich vereinen.

Die Anforderung, dem Fahrer ein natürliches Fahrgefühl und eine Rückwirkung des Systems vermitteln zu können, führt teilweise zu aktiven Bedienelementen, die mittels geeigneter Elektromotoren Kräfte, bzw. Momente erzeugen und damit selbst wieder ein Sensor-Aktor-System darstellen.

Die haptische Rückwirkung von Stellgrößen des Regelkreises Mensch-Fahrzeug-Fahrbahn bietet sich insbesondere für die Regelung der Querdynamik an, wo es auf diese Art sowohl möglich ist, dem Fahrer fahrdynamische Größen wie die Querschleunigung oder die Giergeschwindigkeit zu vermitteln als ihn auch beispielsweise durch Vibrationen darauf hinzuweisen, daß er den Grenzbereich des Fahrzeuges erreicht. Situationsgerechte bzw. fahrerspezifische Lenkübersetzungen, -kräfte und Dämpfungseigenschaften sorgen je nach Bedarf für sportliches oder komfortables Lenkgefühl / Fahrzeughandling in Verbindung mit beliebigen Kraft / Weg-Kennlinien eines Pedalkraftsimulators für die Bremse.



Bild 6: Sidestick und modifiziertes Cockpit

Der Grundgedanke für alternative Bedienelemente wie den Sidestick besteht darin, für die zweidimensionale Aufgabe Bahnführung / Navigation auch nur ein solches Bedienelement zu verwenden und nicht wie heute mit Brems-, Gas- und Kupplungspedal, Schalthebel und Lenkrad bis zu fünf Bedienelemente koordinieren zu müssen. Der Fahrer hat das Fahrzeug sprichwörtlich „im Griff“, bedient es intuitiv und kann sich besser auf das Geschehen in seinem Umfeld konzentrieren. Die relativ freie Positionierbarkeit der Bedienelemente eröffnet daneben neue Freiräume zur ergonomischen und designerischen Gestaltung des Cockpits.

Offene Punkte

Zur Zeit stehen dem Einsatz von „By Wire“-Systemen zur Fahrzeugführung im wesentlichen die geltenden gesetzlichen Vorschriften entgegen. So sind beispielsweise im Großserienfahrzeugbereich nur Lenkanlagen mit rein mechanischen Übertragungseinrichtungen zugelassen, ausgenommen Hilfslenkanlagen.

Die vorliegenden Vorschläge zur Modifizierung bestehender fahrzeugtechnischer Vorschriften für Lenkanlagen (ECE-Regelung 79, Richtlinie 70/311/EWG) sehen vor, daß das Sicherheitskonzept der Elektronik nach Annex 6 - „Special requirements to be applied to the safety aspects of complex electronic vehicle control systems“ zu überprüfen ist, sofern Lenkanlagen mit elektronischen Steuerungskomponenten ausgerüstet sind. Diese Vorschläge wurden national von VDA und FKT (Fachausschuß Kraftfahrzeugtechnik) vorbereitet und dienen als Grundlage für internationale Beratungen in der ECE.

Ein weiterer wichtigerer Aspekt ist die Akzeptanz des Kunden, d.h. seine Bereitschaft, zukünftigen elektronischen Regelungen im Bereich Lenkung und Bremse eben so großes Vertrauen zu schenken wie konventionellen Systemen. Hierbei werden Verfügbarkeit und Sicherheit im Vordergrund vor Komfort- und Fahrspaßfunktionalitäten stehen.

Fazit und Ausblick

„By Wire“-Systeme bieten aufgrund neu gewonnener Freiheitsgrade große Potenziale für die zukünftige Automobilentwicklung, sei es zur Verbesserung der aktiven und passiven Sicherheit oder zur Steigerung von Komfort und Fahrerlebnis.

Eine modulare Systemarchitektur vereinfacht den Entwicklungsprozeß und minimiert die Variantenvielfalt aus Sicht des Herstellers, so daß gleichermaßen Kunde und Industrie von dieser Technologie profitieren. Durch die System-

integration der „By Wire“-Technik mit den Fahrerassistenz- und den passiven Sicherheitssystemen liegt hier ein hohes Potenzial zur Verminderung der Unfallschwere sowie der Vermeidung von Unfällen. Dem gegenüber stehen (zur Zeit noch) bestehende gesetzliche Regelungen.

Zukünftige Assistenzsysteme wie

- automatische Parkmanöver
- automatisches Spurhalten / Ausweichen
- autonomes Fahren

rücken mit dieser Basistechnologie in greifbare Nähe.

S.A.N.T.O.S

Situations-angepasste und Nutzer-Typ-zentrierte Optimierung von Systemen zur Fahrerunterstützung

*W. König, K.E. Weiß, H. Gehrke
Robert Bosch GmbH, Stuttgart
R. Haller
BMW AG, München*

Problemstellung

Die Einführung technischer Hilfen für den Kraftfahrer soll eine Entlastung sowie Sicherheits-, Effizienz- und Komfortsteigerung des Autofahrens bewirken. Technische Hilfsmittel sind für viele Teilbereiche der Fahrtätigkeit verfügbar oder in der Entwicklung.

Dazu gehören Hilfen für die Fahrzeugstabilisierung (z.B. ABS, ASR, ESP), Assistenzsysteme für Fahrmanöver (Tempomat, ACC, HC, zukünftig Abbiege- und Spurwechselhilfen) bis hin zu Hilfen für die Fahrtplanung und Zielführung (Navigationssystem, PTA, GSM-basierte Reiseinformationssysteme).

Sie treten neben eingeführte Servosysteme aber auch Informations- und Kommunikationssysteme wie Radio mit RDS-TMC und Mobil-Telefon. Damit erweitert sich die klassische Einteilung der Fahrzeugführungsaufgabe, wie sie in Bild 1 dargestellt ist, um einen Kommunikationsteil. Es entsteht so im Kraftfahrzeug eine dem Flugzeug zumindest vergleichbare Situation, die durch die Tätigkeitsfelder "Aviate (Fahren), Navigate, Communicate" beschrieben werden kann.

Für eine verkehrssichere Nutzung dieser Systeme sind 3 Aufgaben zu lösen:

1. Priorisierung der Tätigkeiten des Fahrers entsprechend den Anforderungen des Straßenverkehrs und der aktuellen Situation. Das oben beschriebene Aufgabentripel aus der Luftfahrt gibt die dort bei der Ausbildung trainierte Reihenfolge der Wichtigkeit wieder. Integrierte Informations- und Assistenzmanagementsysteme müssen für den weniger trainierten Autofahrer hier unterstützend mitwirken.
2. Anpassung der Wirkung der im Fahrzeug eingebauten Assistenz- und Kommunikationssysteme an die Erfordernisse der Nutzer, insbesondere älterer Kraftfahrer, und an den aktuellen Fahrerzustand (Ermüdung, Beanspruchung, Leistungsfähigkeit und Leistungsbereitschaft).

3. Anpassung der Wirkung der Assistenzsysteme an den Situationskontext (räumliche Linienführung einschließlich der Straßenbedingungen, Verkehrsgeschehen, Fahrdynamik). Insbesondere die häufig beobachteten Diskrepanzen zwischen Fahrbahnbeschaffenheit, Linienführung und der vom Fahrer realisierten Fahrdynamik sollen durch Assistenzsysteme verringert werden.

Fahrzeugführungsaufgabe

hierarchisches 3-Ebenen-Modell

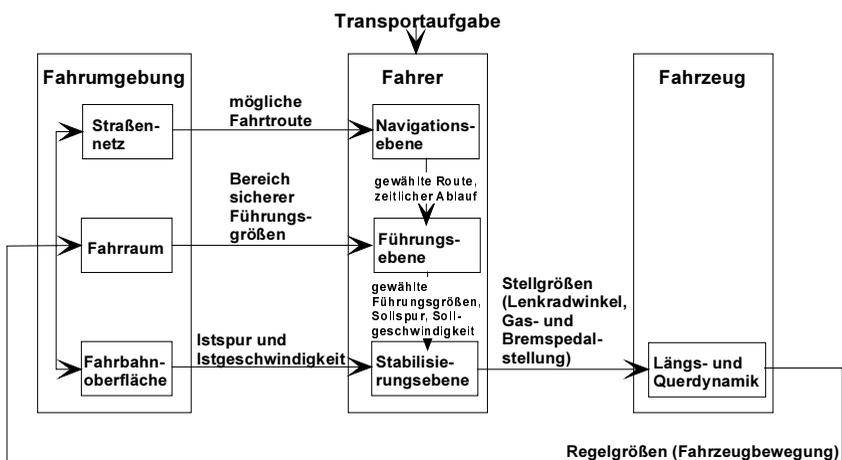


Bild 1: Drei-Ebenen Modell der Fahrzeugführungsaufgabe

Projektziele

Globales Ziel von SANTOS ist die Erhöhung der aktiven Sicherheit durch situations-angepasste und nutzerorientierte Gestaltung der Assistenz- und Kommunikationsfunktionen im System Fahrer-Fahrzeug-Umgebung (Bild 2).

1. Insbesondere für integrierte Lösungen der Fahrerunterstützung wird eine verträgliche Gestaltung der Einzelsysteme angestrebt und im Experiment validiert. Die Interaktion des Fahrers mit dem Fahrzeug und der Fahrumgebung darf in keiner Situation zu dessen Überforderung führen. (z.B. Lenken, Abstand halten und Parkplatz-Buchung dürfen sich nicht gegenseitig negativ beeinflussen). Sie muss auf der anderen Seite aber auch immer so anspruchsvoll gehalten werden, dass eine Unterforderung des Fahrers vermieden wird.

2. Die Notwendigkeit und Wirkung der Anpassung von Assistenzsystemen an den Situationskontext (Straßenbedingungen, Verkehrsgeschehen, Fahrdynamik) und den Nutzer werden untersucht und in einem Versuchsträger erfahrbar gemacht. Z.B. kann der Autonomiegrad der Abstandhaltung der aktuellen Belastung und den Bedürfnissen des Fahrers angepasst werden. Mit zunehmender Belastung kann die Assistenz auch verstärkte Aufgaben übernehmen, denen der Fahrer geringere Aufmerksamkeit widmen kann oder will.
3. Die Interaktion zwischen Fahrer und Fahrzeug soll situationsgerecht mit wechselnden Mitteln erfolgen. Dazu gehören haptische, optische und akustische Ein- und Ausgabeelemente.

Systemmodell Fahrer-Fahrzeug-Fahrumgebung

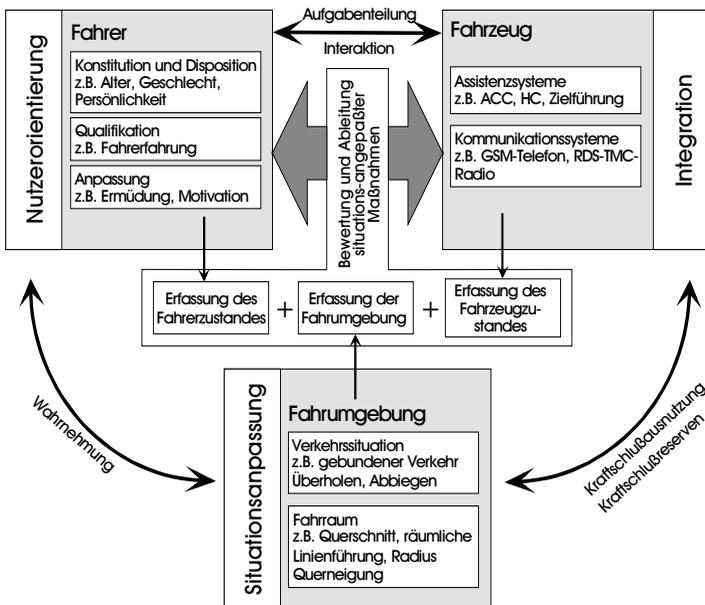


Bild 2: Systemmodell Fahrer-Fahrzeug-Umgebung

Projektkonzept

Im Projekt SANTOS werden 5 Kernfelder exemplarisch untersucht:

1. Die Rolle der Haptik für sicheres Autofahren. Dazu werden die Leistungen von Fahrern in Normal- und Grenzsituationen in Abhängigkeit von der verfügbaren haptischen Rückmeldung ermittelt. Mögliche positive aber auch irritierende Wirkungen zusätzlicher haptischer Informationen, welche aktive Bedienelemente von Assistenzsystemen dem Fahrer übermitteln, werden analysiert.
2. Die Wirkung von zusätzlichen Interaktionsprozessen des Fahrers mit Verkehrstelematikdiensten über Bedienelemente oder Sprache auf die Wahrnehmung relevanter haptischer Informationen wird untersucht. Die zeitliche Abfolge der Teiltätigkeiten spielt hierbei eine wichtige Rolle.
3. Die zuverlässige Erkennung der aktuellen Leistungsfähigkeit, Leistungsbereitschaft und Beanspruchung des Fahrers bildet die Basis für ein Benutzermodell. Dieses Modell steuert die adaptive Systemauslegung der in der Untersuchung eingesetzten Assistenzsysteme mit dem Ziel, die Beanspruchung des Fahrers auf einem optimalen Niveau zu halten.
4. Die Diskrepanz zwischen der Bedeutung des Kraftschlusses für die Fahrsicherheit und dem Grad der Fahrerinformation im Kontext Fahrzeug-Fahrer wird eingehend betrachtet. Dazu gehören die Fahrbahnbeschaffenheit und der Einfluss der räumlichen Linienführung von Strassen, aber auch eine geeignete Informationsdarbietung für den Fahrer.
5. In zwei Demonstratorfahrzeugen und in zwei Fahrsimulatoren werden situationsabhängige, fahrerzustandsabhängige und fahrerwunschabhängige Assistenz- und Interaktionsformen realisiert. Diese Versuchsplattformen bilden die Basis für den Nachweis des erhofften Sicherheitsgewinns durch flexible Assistenz. Hierfür werden ACC (Adaptive Cruise Control), HC (Heading Control) und ein Informationssystem zusammengeführt (Bild 3).

Aus der Menge der möglichen Interaktionen der Teilsysteme werden besonders interessante Szenarien ausgewählt und eingehend untersucht. Einige werden in den Demonstratorfahrzeugen realisiert, andere, deren Untersuchung besonders aufwendig oder für den realen Straßenverkehr zu gefährlich wäre, werden im Simulator realisiert.



Bild 3: Individuelle, situationsangepasste und integrierte Form der Fahrerassistenz

In der folgenden Tabelle sind einige Beispiele für flexible situations- und nutzerorientierte Assistenz bei ACC, HC und ein Zielführung erläutert:

Tabelle 1: Beispiele für flexible situations- und nutzerorientierte Assistenz

Situation / Nutzer	Assistenzsystem		
	ACC	HC	Zielführung
Offline- oder online berechnete Geschwindigkeitsempfehlung: Bei Kurvenfahrt (Landstrasse)	Geschwindigkeitsanpassung	Kraftschluss-Anzeige haptische Lenkhilfe	Hinweis auf gefährliche Kurven
Bei Geradeausfahrt mit hoher Geschwindigkeit	Geschwindigkeitsanpassung variable Bremsverzögerung	überwachte Spurführung	

Situation / Nutzer	Assistenzsystem		
	ACC	HC	Zielführung
Stadt- bzw. Langsamfahrbereich	ACC im Gaspedalmode		Sprachliche statt textliche Ausgabe von Verkehrsmeldungen
Wetter: schlecht	keine automatische Umschaltung von Folgemode auf Tempomatmode		
Fahrer: Nebentätigkeit (z.B. Telefon, Radio)	Warnmodus bei Unterschreitung eines kritischen Abstandes; automatische Vergrößerung des Abstandes	überwachte Spurführung; Verhinderung des Verlassens der Fahrbahn	Unterdrückung/Verzögerung von Telefonanrufen oder sprachlichen Zielführungsmeldungen
Fahrer: Lernzustand, Fahrstil, Alter	Abstandswahl abhängig von Strecke und Verkehr; Wechsel von automatischer Abstandshaltung zum aktiven Gaspedalmode		Anpassung der Sprachmeldegestaltung an Fahrertyp

Darüber hinaus wird eine Anpassung des MMI in Abhängigkeit der aktuellen Systemkonfiguration und Nutzung erprobt. Dies umfasst die freie Wahl des Bedienmediums, aber auch die Anpassung der Informationsdarstellung an Situation und Fahrer (Text, Zeichengröße, Wechsel /Redundanz zwischen Optik, Akustik, Haptik).

Es ist leicht zu verstehen, dass die Realisierung dieser situations- und nutzerzentrierten Assistenz eine aufwendige und flexible Systemarchitektur erfordert.

Projektpartner

Das Projekt wird gemeinsam von den beiden Partnern

- BMW AG, Abteilung Fahrzeugforschung und
- Robert Bosch GmbH, Forschung und Voraentwicklung (Abt. FV/SLN)

im Zeitraum von 1999 bis 2001 durchgeführt (Bild 4).

Kooperationspartner

Im Unterauftrag sind die folgenden Institute beteiligt:

- Fachgebiet Fahrzeugtechnik (fzd), TU Darmstadt (Prof. Breuer)
- Institut für Arbeitswissenschaft (IAD), TU Darmstadt (Prof. Landau)
- Interdisziplinäres Zentrum für Verkehrswissenschaften, Uni Würzburg (Prof. Krüger)
- Lehrstuhl für Ergonomie (LfE), TU München (Prof. Bubb):
- Institut für Verkehrswegebau (IVW), Lehrstuhl Planung und Entwurf von Strassenverkehrsanlagen und Anlagen des Luftverkehrs,
- TU Dresden (Prof. Weise):
- Lehrstuhl für Psychologie, Uni Regensburg (Prof. Zimmer):

Wesentliche Teile der Software entstehen bei der Firma XCC AG in Karlsruhe. Das Projekt wird gefördert aus Mitteln des BMBF und vom TÜV Rheinland betreut.

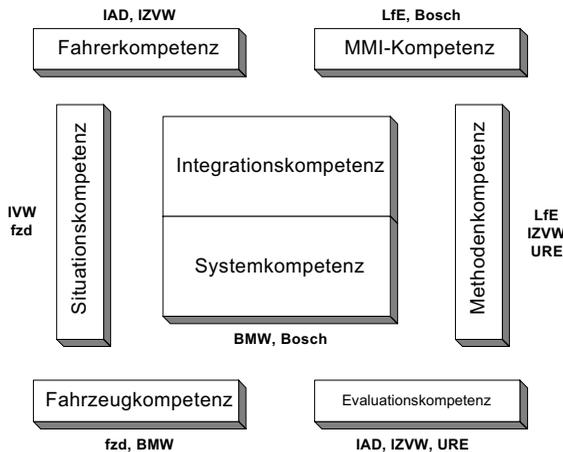


Bild 4: Kompetenz der Partner

Umsetzung

Die Umsetzung der Ergebnisse in die Praxis erfolgt durch:

- Simulation von Teilsystemen und Erprobung in Simulatoren
- Realisierung zweier Versuchsträger, mit denen in Feldversuchen die Sicherheitswirksamkeit der vorgeschlagenen Massnahmen untersucht wird.
- Demonstration der erfolgversprechenden Lösungsansätze
- Verwertung in zukünftigen Produktentwicklungen der beiden Industriepartner BMW und BOSCH.

Bedienung des Bordcomputers im 911 turbo: vom Entwurf zur Serienlösung

*Albrecht Böttiger, Dr. Dieter Marx
Porsche AG, Stuttgart*

Einleitung

Mit dem 911 Turbo hat Porsche im Jahr 2000 den Klassiker für den fahrorientierten Sportwagenfahrer neu aufgelegt. Für dieses Fahrzeug wurde auch das Kombiinstrument neu gestaltet. Dabei kam für den Bordcomputer eine Flüssigkristall-Punktmatrixanzeige zum Einsatz. Der gegenüber einer Segmentanzeige größere Gestaltungsspielraum der Punktmatrixanzeige sollte im Sinne der Fahrzeugphilosophie des 911 Turbo genutzt werden:

- Das Anzeige- und Bedienkonzept muß die Handhabung des Bordcomputers mit minimaler Zuwendung erlauben.
- Es muß einfach zu erlernen und selbsterklärend sein.
- Der erfahrene Porschefahrer soll sich "Zuhause" fühlen.
- Der Funktionsumfang soll gegenüber dem klassischen 911 fahrorientiert erweitert werden.
- Das Anzeige- und Bedienkonzept soll mit anderen Bedienabläufen im Fahrzeug im Einklang stehen und das Potential für Funktionserweiterungen bieten.

So einfach solche Ziele zu definieren sind, so schwer sind sie umzusetzen. Daher wurde zu Entwicklungsstart ein Entwicklungsablauf festgelegt, mit dem sich diese Ziele erreichen lassen. Dabei sind die Erfahrungen aus anderen ergonomieorientierten Entwicklungsprojekten, wie dem PCM (Porsche Communication Management), eingeflossen.

Eine der Erfahrungsregeln war, darauf zu achten, dass im Laufe der Entwicklung keine Optimierungen des Bedien- und Anzeigeconzeptes durchgeführt werden, die die Bedienbarkeit des Systems zu Lasten des ungeübten Benutzers und nur zu Gunsten eines versierten Nutzers optimieren.

Als wesentliche Entwicklungsschritte wurden festgelegt:

- Auf Basis einer groben Funktionsbeschreibung des Gesamtinstruments werden in der eigenen Vorentwicklung, beim Zulieferer für das Kombiinstrument (Mannesmann VDO) sowie bei einem weiteren externen Partner (Spiegel Institut Mannheim) unabhängige Entwürfe für ein Bedien- und Anzeigeconzept erstellt.
- Diese Vorarbeiten dienen als Grundlage für einen zusammenfassenden Lösungsansatz, der zunächst extern (Spiegel Institut Mannheim) als

Basiskonzept der Anzeige- und Bedienphilosophie ausgearbeitet wird. Das Basiskonzept legt die Konzeptelemente fest, die die einfache Erlernbarkeit und die Minimierung der Zuwendung sicherstellen.

- Dieses Basiskonzept wird um Merkmale erweitert, die sich in früheren Bordcomputern bei Porsche bewährt haben. Weitere Funktionen werden aufgenommen.
- Die Detailausarbeitung des Konzeptes erfolgt durch den Zulieferer des Kombiinstrumentes, der Firma VDO. Er wird von dem Ersteller des Basiskonzeptes dabei unterstützt, dieser ist für die Umsetzung der wesentlichen Konzeptelemente des Basiskonzeptes verantwortlich.
- In regelmäßigen zeitlichen Abständen wird das Konzept Projekt-Reviews unterworfen, in denen insbesondere die Berücksichtigung porschetypischer Elemente sowie die Kompatibilität mit dem Styling-Entwurf des Gesamtinstrumentes betrachtet werden.
- In Geräteprototypen wird das Anzeige- und Bedienkonzept von repräsentativen Anwendern erprobt. Die Rückmeldungen fließen in die Konzeption ein. Dabei wird immer berücksichtigt, dass die im Basiskonzept festgelegten Konzeptelemente beibehalten werden.

Mit diesem Entwicklungsablauf ist es gelungen, ein Bedien- und Anzeigekonzept umzusetzen, das auf wenigen, einprägsamen Regeln beruht und trotzdem dem geübten Nutzer den schnellen Zugriff auf die gewünschte Funktion erlaubt.

Dieses Konzept wollen wir im Folgenden darstellen und auf wesentliche Meilensteine im Entwicklungsablauf detaillierter eingehen.

Grundlagen des Bedien- und Anzeigekonzeptes

Als unveränderliche Vorgaben für das Bedien- und Anzeigekonzept wurden nur

- das Bedienelement (linker, unterer Lenkstockhebel mit vier Betätigungsrichtungen; Übernahme aus anderen Porschefahrzeugen; Bild 1, Bild 2)
- das Anzeigeelement (Lage, Größe, Form und Auflösung der Punktmatrixanzeige, Bild 2)

festgelegt.

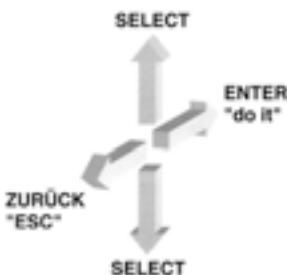
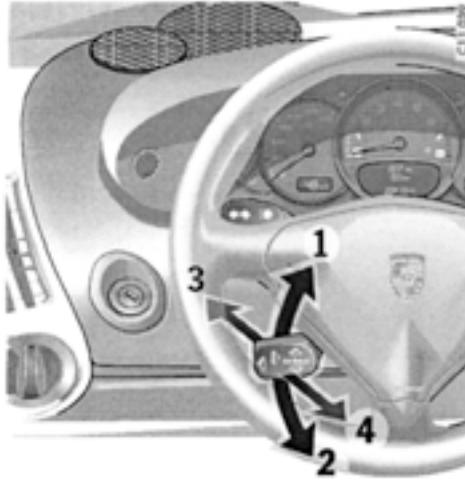


Bild 1: Die vier Betätigungsrichtungen des Lenkstockhebels.

- „Select“: Bewegung des Cursors nach oben/unten
- „Enter“: Wechsel in nächsttiefere Menüebene oder Ausführung der Funktion
- „Zurück“: Wechsel in die nächst höhere Bedienebene



*Bild 2:
Anzeigeelement und Lenkstockhebel im Cockpit des 911 turbo.*

Punktmatrixanzeige: 132 x 65 Bildpunkte,

*Abmessungen (sichtbar):
B 76 mm, H 38 mm*

Lenkstockhebel:

1 Cursor nach oben,

2 Cursor nach unten,

3 Enter, 4 Zurück/ Escape

Auf dieser Basis entwickelte das Spiegel-Institut die Grundlagen des Anzeige- und Bedienkonzeptes.

Als Richtlinie für die Gestaltung des Konzeptes wurden – ausgehend von der Sicht des „Gebrauchers“ -- eine Reihe von "Leitsätzen" definiert:

- Gleiche Anzeigen an gleichem Ort, ähnliche Anzeigen an ähnlichem Ort.
- Möglichst "ruhiges" Display. Selbsttätige Bildwechsel sollen auf ein Minimum beschränkt bleiben.
- Wahrnehmungspsychologischer Grundsatz: Maximal fünf bis sieben Vorlagen können auf einen Blick erkannt werden. Daher nicht mehr als fünf bis sieben Begriffe auf der Standard-Bildschirmseite verwenden.
- Sprachökonomie steht vor dem Prinzip der Einsprachigkeit, wenn die Begriffe in die Alltagssprache eingegangen sind. Beispiele: "SET“, "DISPLAY".
- Jede Betätigung führt zu einer sichtbaren Veränderung im Display.
- Möglichst keine Zeitschleifen (Time-out) einsetzen. Die Anzeige im Display verändert sich nur, wenn der Fahrer eine Betätigung ausführt.
- Keine "versteckten Funktionen" vorsehen. Ständige Information des Fahrers über seinen "Standort" im Menue.

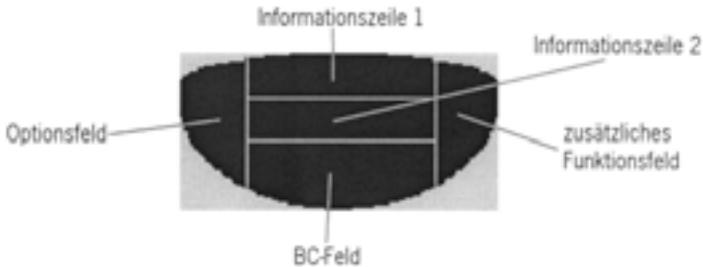


Bild 3: Bildschirm-Aufteilung (Display-Layouttyp 1)

Auf der Basis des darzustellenden Funktionsumfangs erwies sich für die spezielle, in das Styling des Gesamtinstruments harmonisch eingefügte Bildschirmform folgende Aufteilung der Standard-Anzeigehalte als besonders günstig (Display-Layouttyp 1, Bild 3):

Zu dieser Aufteilung wurden folgende Regeln formuliert:

- Optionen erscheinen immer auf der linken Seite des Displays. Zur optischen Differenzierung gegenüber anderen Anzeigehalten werden sie in Versalien dargestellt.
- Beim Einschalten der Zündung wird stets der Display-Layouttyp 1 dargestellt in der zuletzt angewählten Konfiguration („Set Display“); das Optionsfeld ist stets leer. Aufruf der Optionen durch Drücken des Bedienelements; der Cursor steht auf der obersten Position.
- Die Informationszeilen 1 und 2 sind ab Werk mit Gesamt- und Tageswegstrecke belegt, können aber durch den Benutzer mit Bordcomputer-Funktionen belegt werden.
- Negativdarstellung; Cursor als Highlight-Balken mit invertierten Ziffern.
- Dialoghistorie soll durchgängig über Menuebedienug, Überschriften und Cursorsteuerung wiedergegeben werden.

Das Basiskonzept sah vor, dass diese Aufteilung nach Layouttyp 1 für bestimmte Einstellfunktionen modifiziert werden konnte.

Dieses Konzept wurde dann vom Zulieferer des Kombiinstrumentes, der Firma Mannesmann VDO, auf das Zielgerät übertragen. Als besondere Herausforderung stellte sich dabei die Berücksichtigung der realen Bildschirmauflösung heraus. Einige Änderungen an der Bildschirmdarstellung waren dadurch erforderlich:

- Die im Konzept zunächst rasterfrei dargestellten Schrifttypen wurden nach Umsetzung in die Bildpunkte des Displays vergrößert, um eine gute Ablesbarkeit zu gewährleisten. Verfügbare Fonts (Angaben für Ziffer/Großbuchstaben): 9 x 13 Punkte (Bordcomputerfeld; Größe angepasst an Sieben-segment-Displays für Digitaltachometer und Uhr), 6 x 9 Punkte (Informationszeilen 1 und 2), 5 x 7 Punkte (Optionen und alle Texte).
- Die Anzahl der auf dem Standard-Bildschirm dargestellten Vorlagen wurde auf drei reduziert. Dadurch konnte eine noch übersichtlichere Darstellung bei vergrößerten Schriftfonts gewählt werden.
- Die Breite des Optionsfelds wurde vergrößert. Begriffe können so in der Regel voll ausgeschrieben werden; Abkürzungen oder Akronyme sind nur dann erlaubt, wenn selbsterklärende Begriffe daraus entstehen.
- Für die möglichst unabgekürzte Darstellung von Optionsnamen in tieferen Menue-Ebenen wurde eine zweite Aufteilung von Display-Inhalten definiert (Display-Layouttyp 2, Bild 4).
- Die zunächst zusätzlich zum Zahlenwert vorgesehene Klartext-Darstellung wurde für verbesserte Übersichtlichkeit weggelassen.



Bild 4: Display-Layouttyp 2

In den folgenden Bildern 5 bis 12 sollen die wichtigsten Anzeigefunktionen näher beschrieben werden. Der Bedienablauf „Wechsel zurück in die nächst höhere Bedienebene“ wurde dabei über Menüführung beschrieben. Der von geübten Gebrauchern praktisch ausschließlich genutzte, aus jeder Bediensituation mögliche Weg über das Ziehen des Bedienhebels („short-cut“) wurde zur besseren Übersichtlichkeit weggelassen.



Bild 5: Anzeige nach Einschalten der Zündung (Werkseinstellung). Gesamtwegstrecke, Tageswegstrecke, Bordcomputer. Die Werkseinstellung wird auch stets angezeigt nach Einschalten des Kombiinstrumentes und während einer Nachlaufzeit nach Abschalten der Zündung.

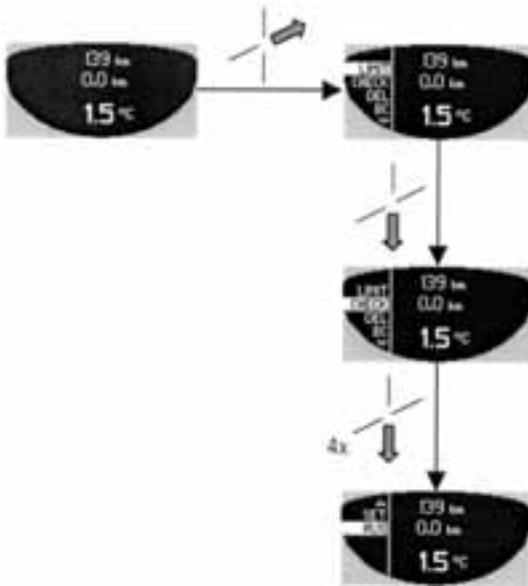


Bild 6: Aufruf der Hauptoptionen, Übersicht über Hauptoptionen Aufruf durch "Drücken". Durchschalten der Optionen durch „Select“. Ausblenden der Optionen durch „Ziehen“.

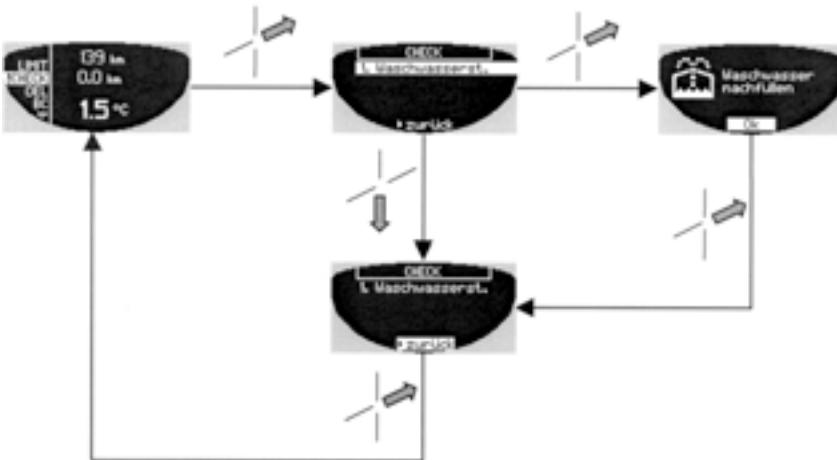


Bild 7: Beschreibung der Funktion CHECK Während eines Fahrtzyklus aufgetretene Warnmeldungen werden zur Anzeige gebracht und bei Quittierung (Option „O.K.“) unter CHECK abgelegt; der Option CHECK wird dann ein Ausrufezeichen vorangestellt. Quittierte Meldungen können unter CHECK wieder abgerufen werden.

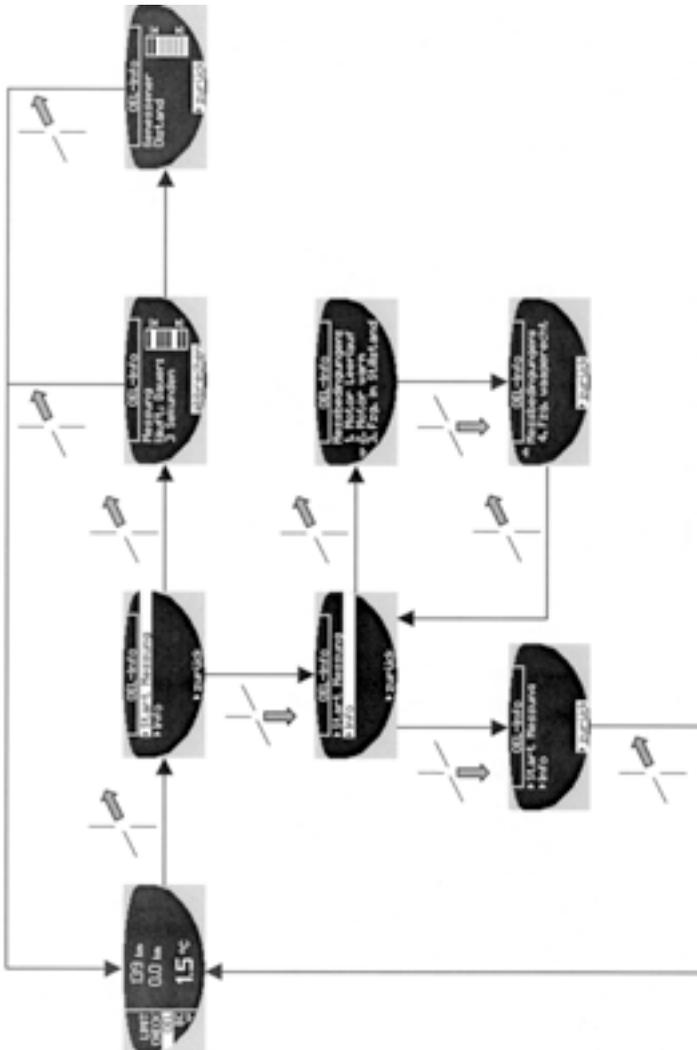


Bild 8: Beschreibung der Funktion OEL; Möglichkeiten:

- Start einer Ölstandsmessung, dabei Wartezeit-Anzeige bis Erscheinen des Messwerts
- Info-Anzeige zu den Messbedingungen, die eingehalten werden müssen
- Die Einhaltung der Messbedingungen – etwa betriebswarmer Motor, Leerlaufdrehzahl, waagrecht stehendes Fahrzeug -- wird durch das System automatisch überwacht. Sind Messbedingungen verletzt, so werden entsprechende Klartext-Meldungen gegeben.

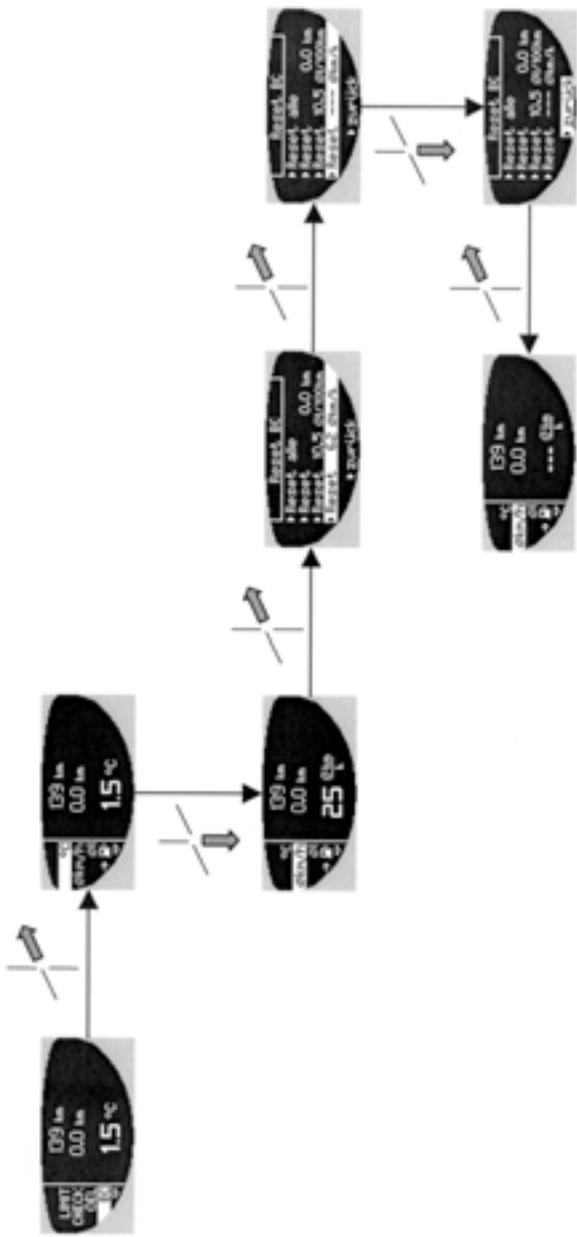


Bild 9: Beschreibung der Funktion BC (Bordcomputer)

BC-Funktionen: Anzeige von Außentemperatur, Durchschnittsgeschwindigkeit, Durchschnittsverbrauch, Restreichweite und Ladedruck.
 Durchschalten der BC-Funktionen durch Anwahl mit dem Cursor. Das Reset-Menü wird bei den Durchschnittsfunktionen durch Drücken erreicht; Rücksetzen ist dann für jede Funktion einzeln möglich oder für alle Funktionen gemeinsam („Reset alle“).

In der Erprobung zeigte es sich, dass das zentrale Entwicklungsziel der leichten Erlernbarkeit erreicht wurde: mit wenigen Hinweisen zum Bedienkonzept können alle Funktionen des Gerätes erfreulich schnell bedient werden. Feldversuche mit einer repräsentativen Auswahl von Versuchspersonen bestätigten das Konzept. Selbst ohne jeden Hinweis ist das Gerät nach kurzer „Probierphase“ voll bedienbar. Interne und bei externen Partnern durchgeführte Benchmarking-Tests mit Wettbewerbsfahrzeugen sicherten das Ergebnis eines besonders einfach erlernbaren Bedien- und Anzeigeconzepts weiter ab.

Besonders die erfahrenen Porsche-Anwender bemängelten manchmal die Bedienung, die in einigen Fällen durch die starke Ausrichtung auf den Erstgebraucher mehrere Bedienschritte erforderte, und den Unterschied zur Bedienung des konventionellen Bordcomputers in den anderen Porsche-Fahrzeugen. Daher wurden in einem weiteren Optimierungsschritt die Bedienvorgänge aus dem gewohnten Bordcomputer als sogenannte "Klassik-Rolle" übernommen. Das war möglich, ohne für den ungeübten Nutzer den selbsterklärenden Charakter des Systems zu beeinträchtigen:

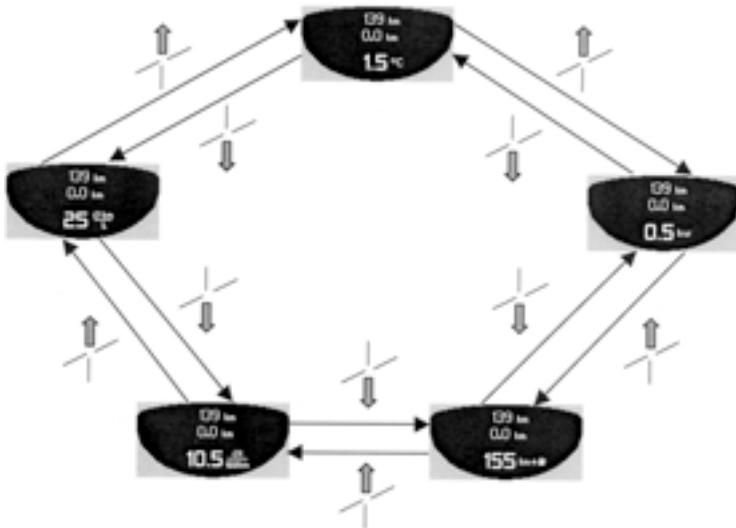


Bild 10: „Klassik-Rolle“

Im Grundbildschirm – bei ausgeblendeten Haupt-Optionen – wird ein Bedienmodus erreicht, der die Auswahl der Bordcomputer-Funktionen in der aus bisherigen Porsche-Serienfahrzeugen gewohnten Weise erlaubt: Durchschalten der Funktionen durch Select (Bedienhebel oben/unten). Bei Aufruf der Hauptoptionen wird dieser Modus verlassen.

Der Grundaufbau des Systems ermöglichte auch weitere Feinoptimierungen während Erprobungsschleifen. Als Beispiele seien genannt:

- Abkürzung für den geübten Nutzer: Ziehen des Bedienhebels wird als durchgängig gleichwertige Alternative zur Auswahl der Option „zurück“ oder auch der Quittierung bei Warnmeldungen („O.K.“) umgesetzt. Durch Ziehen des Bedienhebels gelangt der Gebraucher somit stets zurück, bei mehrmaligem Ziehen in die oberste Bedienebene.
- Vereinfachung von Bedienabläufen durch Weglassen von Zwischenabfragen, die nach strenger Anwendung der Regeln erforderlich sind, jedoch ohne Nachteil für den (Erst-) Gebraucher weggelassen werden können, da erwartungskonforme Reaktionen erfolgen.
- Die Reset-Funktion des bisherigen Bordcomputers wird in der Klassik-Rolle in erweiterter Form umgesetzt: Durch Ziehen gelangt man aus der Klassik-Rolle in das Reset-Menü; dort ist das Rücksetzen für Einzelfunktionen oder für alle Durchschnitts-Funktionen gemeinsam möglich.
- Keine Wiederholung der jeweils letzten Option einer Seite auf Folgeseiten.

Selbstverständlich wurde während der Erprobung auch eine Vielzahl von Bedienerwünschen erfasst, die dann nicht weiterverfolgt wurden, weil sie das Grundprinzip „leichte Bedienbarkeit und Eindeutigkeit für Erstbenutzer und geübte Benutzer“ verletzt hätten. Als Beispiele seien genannt:

- Scrollen über Anfang und Ende der Optionsliste hinweg. Bei einer Realisierung wäre die Blindbedienbarkeit beeinträchtigt und die Analogie zur Bedienung des PCM verlassen worden.
- Vertauschen der Bedeutung der Bedienrichtungen „Drücken“ und „Ziehen“: Analogie zu PCM und Tempostat verletzt.
- Reduzierung der Anzahl der Zeilen in Displaytyp 2: Häufigeres Umblättern.

Zusammenfassung:

Mit dem für das Kombiinstrument des Porsche 911 turbo entwickelten Anzeige- und Bedienkonzept wurde ein leicht erlernbares, intuitiv bedienbares Konzept mit sechs Hauptfunktionen auf den Markt gebracht. Bei der Entwicklung wurde ein Basiskonzept als Synthese aus mehreren Lösungsansätzen gemeinsam mit einem externen Institut ausgearbeitet. Die bei dieser ersten Ausarbeitung mit dem Ziel der leichten Bedienbarkeit definierten Leitsätze wurden von der ersten Umsetzung in Simulation und Fahrzeug bis zur Serienreife beibehalten. Optimierungen – etwa zur Verbesserung der Ablesbarkeit oder zur Vereinfachung von Bedienabläufen – wurden stets so umgesetzt, dass die Bedienbarkeit für den Erstbenutzer nicht beeinträchtigt wird.

Das entwickelte Konzept wurde ausgelegt auf leichte Erweiterbarkeit und bietet großes Potential im Hinblick auf die Fortführung in Nachfolgesystemen mit erweitertem Funktionsumfang und modifizierter Anzeigetechnik. Somit wurde mit diesem System die Basis für eine langfristig anwendbare Bedienphilosophie für den Bordcomputer im Porsche Sportwagen gelegt.

Ergonomische Aspekte bei der Gestaltung zukünftiger Cockpits

*Ernst Hafner
TRW Automotive Electronics, Radolfzell*

Zusammenfassung

Die weiter ansteigende Durchdringung der Fahrzeuge mit elektronischen und mechatronischen Komponenten und Modulen basiert auf dem Wunsch nach einem mehr an Komfort, Effizienz und Sicherheit. Die Fahrer-Fahrzeug-Schnittstelle hat sich bereits und wird sich weiter verändern. Displays, Sprachbedienung, aktive Stellteile sind nur einige der neuen Technologien, welche diese Veränderung unterstützen.

Die Entwicklung von Cockpits, die Zentrale der Fahrer-Fahrzeug-Schnittstelle, wird heute hauptsächlich unter Berücksichtigung der Produkt- bzw. Systemergonomie und der antropometrischen Parameter durchgeführt. Simulations- und Animationstools sind bei den meisten Automobilentwicklern während der verschiedenen Entwicklungsphasen im Einsatz. Auch durch die konsequente Anwendung dieser Möglichkeiten sind bei der Umsetzung in traditionelle mechanische Hardware (Schalter, Hebel, Knöpfe, Zeiger) bereits die Grenzen der Integration und Bedienbarkeit erreicht. Die Flut von unterschiedlichsten Informationen und Daten und die notwendigen Interaktionen an der bereits reichhaltig bestückten Armaturentafel führt zu einem erheblichen Bedienstress für den Fahrer. Diese Überforderung kann nur durch neue intelligente Systeme und Abläufe optimiert werden.

Nicht der Benutzer sollte sich an das System anpassen, sondern das System sollte so beschaffen sein, dass es sich für den Benutzer intuitiv und komfortabel ist.

Bei der Entwicklung der neuen Generationen von Cockpits werden deshalb neue Wege notwendig sein. Hierbei sind vor allem die physiologischen Aspekte des Fahrer und das intelligente Datenmanagement im Fahrzeug von besonderer Bedeutung. Mit der Einführung von Fahrerassistenzsystemen gewinnt dies zusätzlich an Wichtigkeit. Mehr Funktionen - weniger Schalter, auf der eine Seite, eine einfache Informationsdarstellung und eine logische Funktionsrückmeldung, abhängig vom Fahrzeugzustand und der Verkehrssituation, auf der anderen Seite, ist eine wesentliche Aufgabe der optimierten Gestaltung zukünftiger Cockpits.

1 Einleitung

Die Effektivität der Fahraufgabe hängt im wesentlichen auch von der Art und Gestaltung der Fahrer-Fahrzeug-Schnittstelle ab. Die Auswahl und Gestaltung der Bedienelemente und der Informationsanzeigen werden mit zunehmender Komplexität der Systeme im Fahrzeug immer wichtiger. Aber auch die Einflüsse des Individualverkehrs und nicht zuletzt die Möglichkeiten der Kommunikations-technologien gewinnen an Bedeutung und werden das Cockpit entscheidend verändern. Sind es bisher die Regeln der Produkt- und System-ergonomie, welche Anwendung finden, müssen zukünftig intelligente Systeme eine Benutzer-freundlichkeit sicherstellen.

2 Produktergonomie

Bei der Produktergonomie handelt es sich im Wesentlichen um die konstruktive Umsetzung von ergonomierelevanten Faktoren in die einzelnen Bedien- und Anzeigeelemente. So sollten schon bei der Konzeption die folgenden Richtlinien beachtet werden:

Schaltgefühl

Ein optimales Schaltgefühl ist das Zusammenwirken mehrerer Einflussgrößen. Der eindeutige Kraft-Weg-Verlauf ist hierbei die entscheidende Größe. Wie in Bild 1 dargestellt, können die verschiedenen Schaltgefühle durch das Verändern der absoluten Maximalkräfte und deren entsprechenden Verhältnisse erreicht werden. Eine taktile Rückmeldung, d.h. ein Kraftanstieg bis zum Schalterpunkt und ein entsprechend starker Abfall danach, ist eine weitere Forderung. Endanschlag und der Schaltgefühlbereich ergänzen den Gesamteindruck.

Kodierung

Eine Kodierung der Bedienelemente dient der Verbesserung der Bediensicherheit. Größen-, Form- und Farbkodierungen unterstützen den Fahrer und verringern die Gefahr von Fehlbedienungen. Hierbei ist zu beachten, dass gleiche, vergleichbare oder ähnliche Funktionen eine gleichartige Kodierung erhalten.

Fingerdruck

Dieses Kriterium ist die Kombination von Betätigungskraft und Formkodierung. Es versucht die subjektive Empfindlichkeit beim Betätigen zwischen konkaven oder konvexen Tastenformen und der entsprechenden Betätigungskraft zu beschreiben.

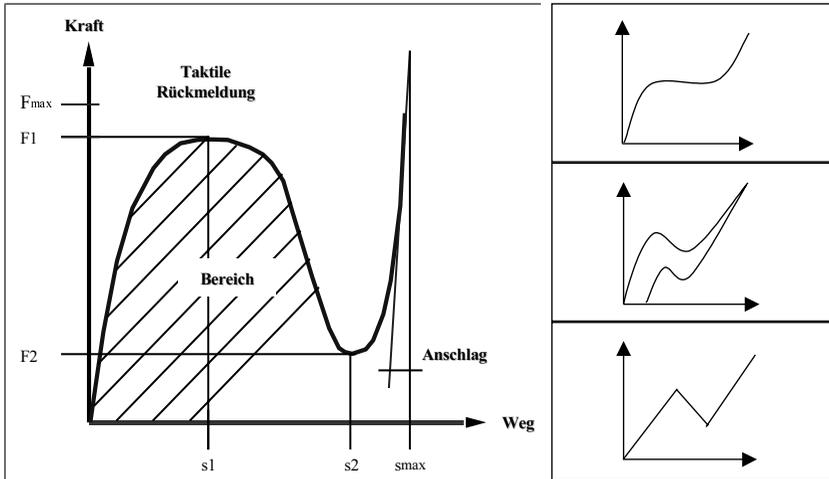


Bild 1: Schaltgefühl-faktoren und -charakteristiken

Ausleuchtung

Für die optische Gestaltung ist die sichere Erkennbarkeit der Zeichen, Zahlen und Symbole unter allen möglichen Lichtverhältnissen entscheidend. Wichtigstes Merkmal ist hierbei die Leuchtdichte. Der Leuchtdichteunterschied des Symbols zum Hintergrund in Abhängigkeit der Umgebungsleuchtdichte ist die ausschlaggebende Beurteilungsgröße. Bei der Auswahl der Lichtquelle müssen die verschiedenen Farben und die Akkommodationsfähigkeit des menschlichen Auges berücksichtigt werden. Des weiteren sind vor allem Glanz und Reflexionsgrade der Oberfläche zu beachten.

3 Systemergonomie

Im Bereich der Systemergonomie werden die Zusammenhänge zwischen dem Bedienelement und der Funktion bzw. der Integration in das Fahrzeug betrachtet. Erwartungen und Gegebenheiten des Fahrers sind ebenfalls von Bedeutung und müssen bei der Gestaltung berücksichtigt werden.

Die Systemergonomie lässt sich in mehrere Einzelkriterien unterteilen, wobei immer ein Top-Down Ansatz, d.h. die maximale Funktionsausstattung als Ausgangsbasis, herangezogen werden sollte.

Selbsterklärungsfähigkeit

Die Auswahl eines geeigneten Bedienelementes für die jeweilige Funktion, den Einbauort und die Einbaulage, gehören zu den Unterkriterien der Selbsterklärungsfähigkeit. Auch die Formkodierung des Bedienelementes, ein Kriterium der Produktergonomie, kann hier einen entscheidenden Beitrag leisten.

Der Fahrer sollte sich auf Anhieb in einem Fahrzeug zurechtfinden und ohne langen Lernprozess, Auffinden und Betätigen der Funktion intuitiv, sicher und schnell durchführen können.

Kompatibilität

Die Kompatibilität für Bedienelemente unterteilt sich in äussere, innere und sekundäre Kompatibilität. Die äussere Kompatibilität bedeutet, dass die Betätigungsrichtung möglichst der Richtung der Wirkung entspricht.

Die innere Kompatibilität bezieht sich auf das Übereinstimmen von Bedienung und den Stereotypen, welche sich aus der Erfahrung des Benutzers gebildet haben.

Die sekundäre Kompatibilität bedeutet, dass die stereotypischen Erwartungen und die tatsächliche Bewegungsrichtung übereinstimmen und nicht mit der entsprechenden Beschriftung und Symbolik im Widerspruch stehen.

Logische Handlungsfolgen

Durch das Anordnen der Bedienelemente unter Berücksichtigung von Handlungsabfolgen des Fahrers vor, während und nach der Fahraufgabe, kann eine Optimierung des Bedienkonzeptes erreicht werden.

Positionskodierung

Dieses Kriterium beschreibt die Positionierung des Bedienelementes entsprechend der Erwartungshaltung des Fahrers, d.h. der Fahrer erwartet die Heizungsbedienung in der Mittelkonsole oder den Blinkerhebel auf der linken Lenkradseite.

Ortskodierung

Hier wird die Integration des Bedienelementes in räumlicher Nähe zu der entsprechenden Funktion betrachtet z.B. Fensterbedienung nahe dem Fenster.

Gruppierung von logischen Einheiten

Das Zusammenfassen der Bedienung von ähnlichen Funktionen in Module ist ebenfalls bei der Entwicklung von Bedienkonzepten zu beachten.

Sicht- und Greifräume

Bei der Einteilung in Sicht- und Greifräume müssen sowohl die Fahrzeuggeometrien, als auch die verschiedenen Personentypologien berücksichtigt werden. Die entstehenden Schnittmengen zwischen Sicht- und Greifräumen sind für die Gestaltung des Bedienkonzeptes von besonderer Bedeutung, da sich hierdurch Rückschlüsse hinsichtlich notwendiger Maßnahmen zur Bediensicherheit und notwendiger Funktionsrückmeldungen ergeben.

Funktionalität

Die Funktion lässt sich in den eigentlichen Aufgabeninhalt und die Auslegung, die durch den Systementwickler vorgenommen wurde, zerlegen. Der Aufgabeninhalt charakterisiert die Schwierigkeit bzw. die Komplexität einer Aufgabe selbst, die prinzipiell durch die Auslegung nicht beeinflussbar ist. In diesem Fall können ergonomische Maßnahmen nur den Schwierigkeitsgrad soweit reduzieren, wie es durch die Aufgabe möglich ist. Die Aufgabe des Systemdesigners ist es also hierbei, dafür Sorge zu tragen, dass keine zusätzlichen, durch die gewählte Technik bedingten Schwierigkeiten, hinzukommen /1/.

4 Human Factors

Eine Vielzahl der Faktoren für die Gestaltung der Fahrer-Fahrzeug-Schnittstelle werden von den 'Human Factors' abgeleitet. Die produkt- und systemergonomischen Betrachtungen bei der Cockpitentwicklung basieren vor allem den äusseren Faktoren des Menschen. Daten der Anthropometrie, Eigenschaften des Auges und des Gehörs, sind in unterschiedlichen Formaten verfügbar. Zahlreiche Studien befassen sich mit den kognitiven Eigenschaften des Menschen. Typische Denkstrukturen des Menschen werden analysiert und in das Bedien- und Anzeige-konzept umgesetzt. So sollte die Displaydarstellung von stationären Information mit höchster Priorität auf oberer linken Displayseite erfolgen, weniger wichtige Informationen sind unten rechts abzubilden. Auch wenn Bordcomputer mit Navigation, Telefonie und Online-Kommunikation einen zusätzlichen Gewinn an Sicherheit bedeuten, sind die Gefahren einer möglichen Ablenkung nicht zu vernachlässigen. Man unterscheidet die visuelle, akustische, biomechanische und die kognitive Ablenkung.

Durch die Einführung von Sprachbedienung und 'Text-to-speech' Umwandlung wird eine Vereinfachung erreicht, aber teilweise auch nur eine Umschichtung

innerhalb der Ablenkungskategorien durchgeführt. Untersuchungen haben gezeigt, dass manuelle Bedienungen das Fahrverhalten auf geraden und kurvigen Strecken sowohl in longitudinaler als auch lateraler Richtung beeinflussen. Visuelle Informationen haben vor allem Einfluss bei kurvigem Streckenverlauf durch Geschwindigkeitsveränderungen und Lenkrichtung. Akustische Informationen zeigen lediglich einen Einfluß auf die Fahrgeschwindigkeit. /2/ Die Fähigkeit des Menschen verschiedene Sinneskanäle zu nutzen darf nicht überfordert werden.

5 Funktionen

Schon bei den traditionellen Funktionen ergeben sich die unterschiedlichsten Lösungsansätze, wie die heutigen Serienfahrzeuge zeigen. Bei völlig neuen Funktionen müssen produkt- und systemergonomische Einschätzungen in umfangreichen Tests und Stimulationen erst ermittelt und definiert werden. Neben sehr einfachen, allgemein bekannten Funktionen, wie Heckscheibenheizung und Fahrlicht, finden sich in den Fahrzeugen immer komplexere Systeme wieder, die über einen erheblichen Funktionsumfang verfügen. Autoradio, CD-Player, Navigationssysteme, Mobiltelefone gehören heute schon zum Standard. Diese beiden Bedienebenen (einfach und komplex) müssen für zukünftige Cockpitkonzepte berücksichtigt werden. Der Fahrer möchte das Navigationssystem ebenso einfach bedienen können, wie die Heckscheibenheizung.

Automatisierung von Funktionen

Eine Reduzierung des Bedienstresses kann durch die Automatisierung verschiedener Funktionen erreicht werden. Diese Funktionen sind meist ausschließlich im Bereich des Komforts zu finden, da die Automatisierung sicherheitsrelevanter Funktionen meist an der 100% Zuverlässigkeitsforderung oder an den Kosten gescheitert sind. Als Beispiele seien hier die automatische Insassenerkennung und die PreCrash-Sensierung genannt. Eine Auswahl an Funktionen, die bereits teilweise oder ganz automatisiert wurden, sind

- Scheibenwischer mit Regensensor
- Fahrlicht mit Lichtsensor
- Abblendbarer Rückspiegel mit Lichtsensor
- Abstandsregelung mit Radarsensor
- Klimatisierung mit Temperatursensoren

Für die Automatisierung von Funktionen gilt jedoch: Der Fahrer muss sich über die Funktionen bewusst sein, welche automatisiert sind und welche noch manuell überwacht und bedient werden müssen.

6 Technologien und Möglichkeiten

Um die Funktionalität der neuen komplexen Systeme zu gewährleisten, sind eine Vielzahl von Sensoren erforderlich. Für Mittelklassewagen wird eine Verdoppelung von heute etwa 20 Sensoren bis auf 40 Sensoren im Jahr 2005 prognostiziert /3/.

Neben den bereits erwähnten neuen Systemen der Informationstechnologie und des Komforts werden vor allem die X-by-wire Technologien eine entscheidende Veränderung in der Cockpitgestaltung bewirken.

X-by-wire

Drive-by-wire, das elektronische Gaspedal, und Shift-by-wire, die adaptive Getriebesteuerung, sind bereits in Serienfahrzeugen zu finden.

Neue Systementwicklungen beschäftigen sich mit Brake-by-wire und Steer-by-wire. Mit der Einführung dieser Systeme wird eine neue Dimension in der Fahrer-Fahrzeug-Schnittstelle erreicht. Durch die Entkopplung von Aktion und Reaktion bei der elektrischen Lenkung zum Beispiel, wird u.a. eine Anpassung von Lenkübersetzungen ermöglicht. Diese situationsabhängige Anpassung reduziert den Lenkaufwand und erhöht damit den Fahrkomfort und die Fahrsicherheit. Unzulänglichkeiten des Fahrers werden durch die Lenkungselektronik kompensiert. In kritischen Situationen kann eine Momentenüberlagerung in der Lenkung beim Fahrer eine 'rettende' Lenkbewegung herbeiführen.

Auch für die Brake-by-wire Systeme gelten ähnliche Erkenntnisse. Durch die Auftrennung der konventionellen hydraulischen Bremsanlage können verschiedene Bremscharakteristiken eingestellt werden. Es können sowohl ein situations-unabhängiger gleichmäßiger Bremsdruck, als auch ein situations-abhängiges Bremsgefühl erzeugt und an den Fahrer weitergegeben werden. Dies geschieht in Abhängigkeit der objektiv erfassten Fahrzeugdaten und erwarteten psychomotorischen Reaktionen des Fahrers.

Bei einer Befragung der Fahrer nach einem Unfall über ihre Reaktion unmittelbar vor dem Ereignis, bekommt man häufig Antworten wie: 'Ich habe die Augen einfach geschlossen' oder 'Ich habe überhaupt nicht reagiert'. Hier bieten zukünftige Fahrdynamiksystemen einen deutlichen Sicherheitsvorteil. Durch die Integration der X-by-wire Funktionen zu kompletten, vernetzten Systemen wird der Fahrer vor allem in sicherheitskritischen Situationen unterstützt. Ist keine Reaktion des Fahrers vorhanden, können teil- oder komplette Fahraufgaben zeitweise vom System übernommen werden. Laufen die automatische Vorgänge ab, muss aber eine unbeabsichtigte oder unvorher-

gesehene Reaktion des Fahrers ausgeschlossen oder kompensiert werden. Gleichzeitig muß der Fahrer auf diesen automatischen Zustand hingewiesen werden.

Fahrer(status)erkennung

Nicht nur diese neuen Systeme im Fahrzeug werden die Gestaltung zukünftiger Cockpits beeinflussen. Auch die Systeme, welche zusätzliche Informationen über den Fahrer selbst aufnehmen, führen zu neuen Ansätzen. Biometrische Erkennungsverfahren, wie die Fingerabdruckererkennung, ermöglichen eine erste Stufe zur individuell angepassten Bedien- und Anzeigeoberfläche. So kann zum Beispiel die Aus- und Beleuchtung in Relation auf die Akkomodationsfähigkeit des menschlichen Auges abhängig vom Lebensalter eingestellt werden.

Als weiterer Schritt zur Erfassung des Fahrerzustandes gelten die Entwicklungen zur Fahrer-Zustands-Erkennung. Die Echtzeit-Erfassung von Biosignalen, wie Herzrhythmus und Atemfrequenz, wird bereits erfolgreich in der Medizin- und Militärtechnik eingesetzt. Entwicklungslinien, welche diese Erkenntnisse auch auf den Automobilbereich übertragen.

Wie aus Bild 2 zu erkennen ist, besteht ein Zusammenhang zwischen dem Unfallrisiko und dem Fahrerzustand.

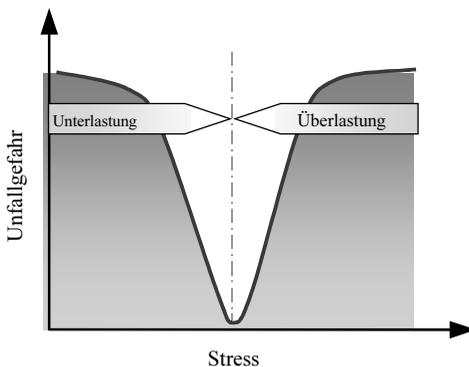


Bild 2: Zusammenhang zwischen Stress und Unfallrisiko

Ist ein Fahrer überfordert, zum Beispiel durch Navigieren, Telefonieren, Umwelteinflüsse und Verkehrsdichte, steigt sein Unfallrisiko erheblich. Auch bei Unterforderung, zum Beispiel mehrstündigen Autobahnfahrten bei Nacht mit geringer Verkehrsdichte, erhöht sich das Unfallrisiko. Diese Fahrerzustände gilt es zu identifizieren und die gewonnenen Daten sogenannten 'Dialogue Managern' oder 'Workload Managern' zur Verfügung zu stellen.

Dialogue Management

Der Dialogue Manager benutzt die verschiedenen Sensordaten, die den Fahrzeugzustand beschreiben. Motordaten, Fahrgeschwindigkeit und Fahrtrichtung sind zum Beispiel über das Fahrzeugnetzwerk verfügbar. Gleichzeitig werden die persönlichen Daten des Fahrers und seines aktuellen Zustandes verwendet, um eine Unter- bzw. Überlastung zu überwachen. Bei einer Überlastung kommt beim Fahrer der sogenannte 'kognitiven Tunnel'-Effekt zum tragen, d.h. der Fahrer reduziert seine Aufnahmefähigkeit und fokussiert seine Handlungen auf einige von ihm priorisierten Aktivitäten.

Die Dialogue Manager-Software führt abhängig von den vorhandenen Daten eine Prioritätenverteilung oder eine Automatisierung von Funktionen durch und hilft dadurch den Stressbereich mit reduziertem Unfallrisikos zu erreichen. So können eingehende Telefonanrufe in kritischen Fahrsituationen automatisch an die Mailbox weitergeleitet oder es können kritische Fahrzeug- oder Fahrbahnzustände den allgemeinen Komfortinformationen überlagert werden. Dies gilt auch für die Fahrer-Assistenz-Systeme, welche Fahraufgaben teil- oder zeitweise übernehmen können. Ist ein Fahrer unterfordert, kann der Dialogue Manager den Fahrer über seine Einschlafgefahr informieren, und helfen, über sinnvollen Komforteinstellungen oder -veränderungen, den kritischen Zustand zu überwinden.

7 Neue Komponenten und Module

Die Erfassung von zusätzlichen Daten über das Fahrzeug, die aktuelle Verkehrssituation und den Fahrer selbst wird weiter voranschreiten. Infotainment, Kommunikation und das Internet tragen zu einer mehrfachen Erhöhung dieser Datenmenge bei. Neben der reinen Erfassung von Daten und Informationen gilt es hauptsächlich diese Datenmengen zu verwalten und zu verteilen. Hierbei ist vorallem die Geschwindigkeit der Bussysteme von grosser Wichtigkeit. Erst die effektive Vernetzung und die Definition entsprechender Gateways ermöglicht den Aufbau eines integrierten Fahrerinformationssystems. Unterschiedliche Bussysteme (MOST, CAN, LIN) und damit die zur Verfügung stehen Daten sind miteinander zu verknüpfen.

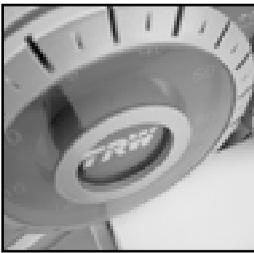
Bedienung

Die Sprachbedienung wird sicherlich einen wichtigen Beitrag in der Gestaltung zukünftiger Cockpits übernehmen. Dennoch werden weiterhin die Funktionalitäten wichtiger und sicherheitskritischer Funktionen über konventionelle Bedienelemente und damit auch die Bedienung in der Verantwortung des Fahrers ausgelöst. Für die Bedienung umfangreicher Systeme für Komfort, Infotainment und Entertainment helfen haptische Bedienelemente dem Fahrer durch die unterschiedlichen Menüstrukturen.

Anzeigen

Neben den traditionellen Zeigerinstrumenten sind heute verschiedene Displays in unterschiedlichsten Technologien in den Fahrzeugen zu finden. Eine neue Generation, sogenannte OLEDs (Organic Light Emitting Displays) sind in der Entwicklung und ermöglichen zukünftig neue und innovative Darstellungsmöglichkeiten. Die einzelnen Pixel dieser niedermolekularen organischen Verbindungen (Aufdampfschichten von 50-200 nm Dicke), werden über eine geeignete elektrische Kontaktierung angesprochen. Diese Technologie ermöglicht den Bau von sehr flachen Bildschirmen mit ausgezeichnetem Kontrastverhältnis und Sichtwinkel.

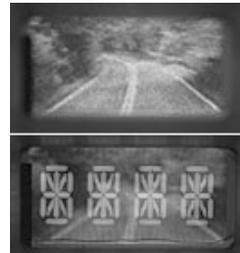
Weitere Anwendungen entstehen durch die Verwendung von transparentem bzw. flexiblen Trägermaterialien. Somit können zukünftig die notwendigen Anzeigen sehr viel besser im optimalen Sichtbereich, zum Beispiel in der Windschutzscheibe, integriert werden. Bilder 3a-c zeigen Anwendungen der unterschiedlichen OLED-Technologien.



*Bild 3a: Rundes OLED
in Kombi-
Instrument*



*Bild 3b: Flexible OLED
auf Basis PE-
Folie*



*Bild 3c: Transparente
OLED*

Neue Lenkradkonzepte

Ein weiterer Schwerpunkt bei der ergonomischen Gestaltung zukünftiger Cockpits ist das Lenkrad. Nachteile konventioneller Lenkräder durch Sichtbehinderung auf Bedien- und Anzeigeelemente können durch neue Konzepte verbessert werden. Ein weiterer Aspekt ist die Visualisierung der neuen elektronischen/elektrischen Lenkungen durch eine neuartige Interface (Bild 4). Bei diesem Konzept liegen die verschiedenen Bedienaktivitäten auf einer Ebene, wodurch keine Sicht- und Bedienbehinderung besteht. Desweiteren befinden sich die verschiedenen Bedienelemente immer in der gleichen Position, und können somit ohne Umgreifen, auch während einer Lenkbewegung, optimal bedient werden. Ebenfalls ist eine direkte Erkennbarkeit der Radstellung über die Lenkelemente gegeben.



Bild 4: TRW Lenkradkonzept für elektrische Lenkung

8 Ausblick

Die Gestaltung zukünftiger Cockpits wird hauptsächlich durch die Daten- und Informationsflut, durch neue Technologien und durch die Echtzeit-Erfassung des Fahrerzustandes geprägt sein. Somit wird sich das visualisierte Cockpit verändern. Doch weit wichtiger ist die Veränderung auf der 'unsichtbaren' Seite. Durch die Erfassung der Zustände und Situationen, des Fahrers, des Fahrzeuges und des Verkehrs, werden unterschiedliche Anzeigen und Funktionen abgebildet. Durch zusätzliche Sensoren werden innerhalb und außerhalb des Fahrzeuges weitere Daten erfasst und über die Kommunikationsschnittstellen mit der Aussenwelt verknüpft. Es entsteht eine Zusammenarbeit, eine adaptive Automatisierung, zwischen dem Fahrer und dem Fahrzeug. Persönliche Einstellungen, Anforderung und Überwachung von Entscheidungen werden zwischen Fahrer und Fahrzeug geteilt. Persönliche Einstellungen unter Berücksichtigung seines individuellen ergonomischen Profils in Abhängigkeit des aktuellen Zustandes werden ermöglicht. Das zukünftige Fahrzeug wird zu einem intelligenten 'Butler'.

Literatur

- /1/ Auszug aus Bubb: Systemergonomische Gestaltung, 1993
- /2/ In-Vehicle Communication and Driving, Mark Vollrath, Ingo Totzke, Universität Würzburg
- /3/ Elektronik Journal, x-by-wire Systeme, Fa. Bosch, Juni 2000

Simulationswerkzeuge für die Komfortentwicklung

*Gerhard Schmale, Dr. Wolfgang Stelzle
Johnson Controls GmbH, Burscheid*

1. Einleitung

Das im Jahre 1885 in den USA gegründete Unternehmen Johnson Controls hatte seinen Ursprung in der Vermarktung eines vollelektrischen Raumthermostaten, der von Professor Warren Johnson erfunden worden war. In den 115 Jahren bis heute stieg Johnson Controls zum Weltkonzern für vollständige Autoinnenräume auf.

Diese rasante Geschäftsentwicklung ging nicht nur einher mit steigenden Umsätzen und Stückzahlen. Gleichzeitig hat sich die Rolle von Johnson Controls als Partner der Automobilindustrie grundsätzlich gewandelt. Johnson Controls tritt heute als kompletter Systemlieferant auf, der für die Automobilindustrie die Entwicklung und Produktion von kompletten Fahrzeuginnenräumen übernimmt.

Der größere Entwicklungsumfang und die zunehmende Komplexität bei steigendem Kostendruck erfordern, dass schon im Vorfeld der Entwicklung Simulationswerkzeuge zur Verfügung stehen, um schnell und ohne großen Kostenaufwand verschiedene Konzepte miteinander vergleichen und das Erfolg versprechendste auswählen zu können. Im Bereich der Metallentwicklung ist der Einsatz von FEM-Berechnungen schon seit langem selbstverständlich. Dagegen standen bislang keine befriedigenden Simulationswerkzeuge für den Sitzkomfort zur Verfügung. Die Firma Johnson Controls hat deshalb das Programm JC VIPS entwickelt, das die Simulation des Sitzkomforts auf dem Computer ermöglicht. Das Programm setzt nicht auf einem bestehenden, kommerziellen FEM-Programm auf, sondern stellt eine komplette Eigenentwicklung dar. Anfängliche Versuche, kommerzielle FE-Programme zur Simulation des Sitzkomforts einzusetzen, zeigten keine befriedigenden Ergebnisse. Als weiteres Simulationswerkzeug für die Komfortentwicklung kommt bei Johnson Controls das kommerzielle Softwarewerkzeug RAMSIS zum Einsatz, um bei der Packageauslegung den Haltungskomfort zu optimieren. Ergänzt werden die Simulationsmöglichkeiten durch umfangreiche Testverfahren, die bei Johnson Controls zur Verifikation des Entwicklungsprozesses eingesetzt werden.

2. RAMSIS als Simulationswerkzeug für den Haltungskomfort

Die anspruchsvolle Aufgabe, einen komfortablen Fahrzeugsitz zu entwickeln, kann nur dann gelingen, wenn die im Rahmen der Packageauslegung festgelegte Anordnung von Pedalerie, Lenkrad und Sitzverstellfeld die Voraussetzungen dafür liefert. Für die Packageauslegung ist bei Johnson Controls das Simulationswerkzeug RAMSIS (rechnerorientiertes anthropometrisch-mathematisches System zur Insassensimulation) im Einsatz.

RAMSIS wurde Ende der 80er Jahre im Rahmen eines Forschungsprojekts der Forschungsvereinigung Automobiltechnik entwickelt und wird heute von der Firma TecMath in Kaiserslautern laufend erweitert und vertrieben. Die Grundlage von RAMSIS bildet eine anthropometrische Datenbank, in der die Kennwerte von über 6000 Menschen abgespeichert sind. Durch Vorgabe der Leitmaße Körperhöhe, Stammlänge und Taillenumfang kann ein bestimmter Populationstyp ausgewählt und als dreidimensionales CAD-Modell zur Verfügung gestellt werden (Bild 1).



The image shows a screenshot of the RAMSIS software interface. It features a grid of selection options for creating a human model. The options are organized into several sections:

- Gender:** Male, Female, Child
- Length (Key Dimension: Body Height):** Very Short, Short, Medium, Tall, Very Tall
- Complexion (Key Dimension: Waist Circumference):** Slim Waist, Medium Waist, Large Waist
- Proportion (Key Dimension: Sitting Height):** Short Torso, Medium Torso, Long Torso
- Hand Model:** Milan-like, 5-Finger Hand
- Foot Model:** Naked, GNO, DIN / SAE
- Nation:** Germany
- Reference Year:** 2005
- Age Group:** 18 - 70



Bild 1: RAMSIS-Auswahlmenü für die Leitmaße und daraus erzeugtes CAD-Modell

Für die Packageauslegung von Innenräumen bilden die Dimensionen des Menschen nur die Grundlage. Um das Package beurteilen zu können, muß zusätzlich die Frage beantwortet werden, welche Haltung der Mensch in der Fahrzeugumgebung einnimmt. RAMSIS bietet dazu die Möglichkeit, das Computermodell des Menschen durch Vorgabe von Restriktionen in die CAD-Daten der Fahrzeugumgebung zu integrieren. Die Restriktionen beschreiben beispielsweise, dass die Hände das Lenkrad greifen sollen und der rechte Fuß auf das Gaspedal gestellt werden soll. RAMSIS berechnet intern die wahrscheinlichste Körperhaltung, die unter Einhaltung dieser Restriktionen eingenommen wird.

Ein in RAMSIS integriertes Komfort- und Gesundheitsmodell analysiert anschließend verschiedene Sitzhaltungen hinsichtlich Körperteilkomfort, Ermüdung und Wirbelsäulenbelastung (Bild 2).



Assessment of Posture										
Overall Comfort	0	1	2	3	4	5	6	7	8	Reference
Fatigue	[Progress bar]									0
Comfort Rating	[Progress bar]									0
Body Part Comfort										
Back	[Progress bar]									0
Shoulders	[Progress bar]									0
Neck	[Progress bar]									0
Arms/Hands	[Progress bar]									0
Left Leg	[Progress bar]									0
Right Leg	[Progress bar]									0
Left Arm	[Progress bar]									0
Right Arm	[Progress bar]									0
Muscle Index (Optimal)										
Spinal Curves	[Progress bar]									0

Bild 2: Von RAMSIS berechnete Sitzhaltung und Komfortbewertung

3. JC VIPS als Simulationswerkzeug für den Sitzkomfort

So hilfreich die Simulationsmöglichkeiten von RAMSIS für die Packageauslegung sind, für die eigentliche Sitzkonstruktion sind sie nicht ausreichend. Die Stärken von RAMSIS liegen auf dem Gebiet des *Haltungskomforts*. Da für diesen Einsatzzweck RAMSIS aber keine Eingabedaten über den konstruktiven Aufbau des Sitzes (z.B. Schaumhärte, Dimensionen, Konturen) benötigt, ist mit RAMSIS natürlich auch keine Aussage über den *Sitzkomfort* möglich. Dies führt zu der unbefriedigenden Situation, dass man einerseits mit RAMSIS ein Simulationstools für den Haltungskomfort zur Verfügung hat. Andererseits war aber eine Beurteilung des Sitzkomforts in der frühen Phase der Konzeptentwicklung nicht möglich, da dafür wegen des fehlenden Elementansatzes keine Simulationen möglich waren und man auf den Bau von Prototypen angewiesen war. Um diese Lücke zu schließen, hat die Firma Johnson Controls das Simulationswerkzeug JC VIPS entwickelt.

3.1 Leistungsumfang von JC VIPS

Die Abkürzung JC VIPS steht für “Johnson Controls Vibration Insulation, Pressure Distribution, and H-Point-Simulation“. Der H-Punkt (Hüft-Punkt) ist ein gedachter Punkt, durch den die Drehachse läuft, um den sich der Oberschenkel und der Rücken drehen. Seine exakte Lage ist in der H-Punkt-Messmaschine nach SAE J826 definiert (Bild 3).

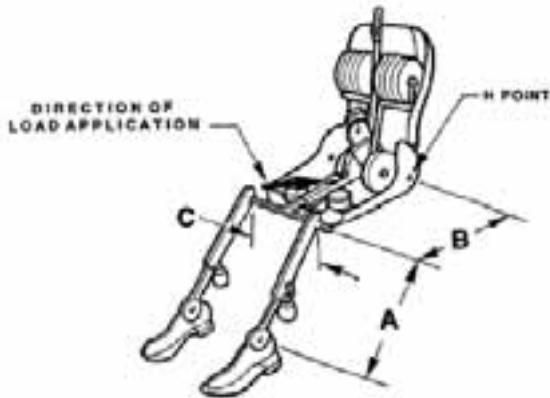


Bild 3: H-Punkt-Messmaschine nach SAE J826

Eingabegrößen des Programms JC VIPS sind:

- 3D-CAD-Daten des Menschmodells
- Packagedaten
- 3D-CAD-Daten des Sitzes
- Materialbeschreibung

Als 3D-CAD-Daten des Menschen können sowohl von RAMSIS erzeugte Menschmodelle als auch die in CAD überführte Kontur der H-Punkt-Messmaschine nach SAE J826 verwendet werden. Ein dem eigentlichen Rechenlauf vorgelagertes Programm kombiniert die CAD-Daten des Menschmodells mit denjenigen der Sitzkonstruktion (Bild 4). Dazu werden die Packagegrößen Fußaufstandspunkt, Fußwinkel, Seat Reference Point (SRP) und Torsowinkel eingelesen und zur automatischen Positionierung des CAD-Modells des Menschen in die CAD-Beschreibung des Sitzes verwendet. Gleichzeitig berechnet dieses Programm, welche Kraft in Abhängigkeit von der Packagestellung auf das Sitzkissen übertragen wird.

Die geometrische Beschreibung des Mensch-Sitz-Systems wird ergänzt durch in Datenbanken abgelegte Materialdaten, die die Polsterauflagen und den Bezug beschreiben.

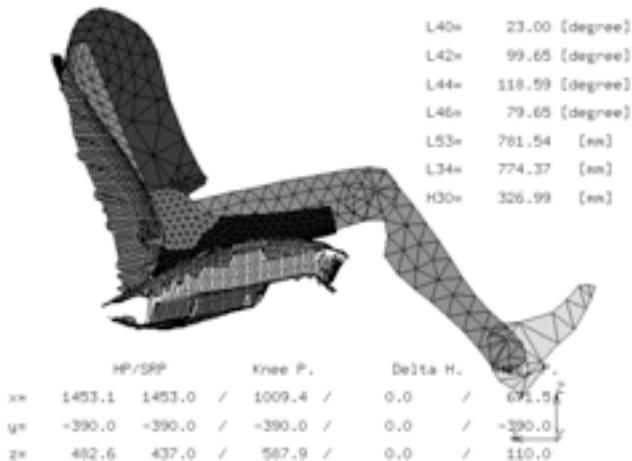


Bild 4: Mensch-Sitz-System

Das Programm JC VIPS unterstützt eine Vielzahl von Sitzvarianten. Als Metallkonstruktion sind

- Vollschaumsitze (mit und ohne Löcher in der Wanne)
- Unterfederungssitze

möglich. Im Bereich der Polsterauflagen können Sitze mit

- Polsterauflagen mit und ohne Löcher
- Mehrzonenpolsterung
- Mehrlagenpolsterung

berechnet werden. Unter Mehrzonenpolsterung versteht man, dass verschiedene Bereiche des Sitzes in verschiedenen Polstermaterialien ausgeführt sind. Das typische Beispiel ist ein Sitz, bei dem die Seitenpolster härter als der Sitzspiegel sind. Bei der Mehrlagenpolsterung kommen in vertikaler Richtung verschiedene Materialien zum Einsatz. Beispiele sind der Kaschierungsschaumstoff unter dem Bezug oder der Einsatz von Gummihaar zur Komfortverbesserung. Der aktuelle Trend zu Klimasitzen verstärkt den Einsatz von mehrlagigen Polsteraufbauten, da für Klimasitze luftführende und –verteilende Schichten erforderlich sind, die typischerweise in Gummihaar oder ähnlichem ausgeführt werden. In Bild 5 ist ein aufwendig aufgebauter Sitz dargestellt, wie er mit dem Programm JC VIPS berechnet werden kann.

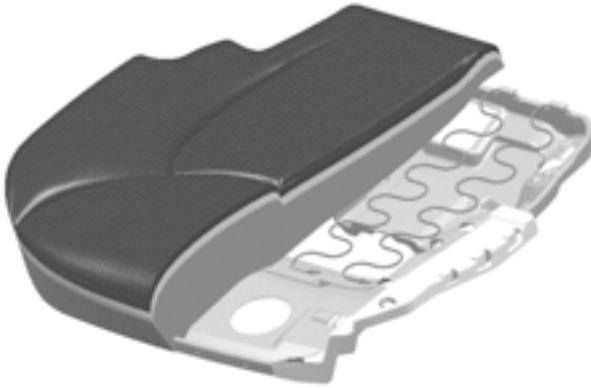


Bild 5: Sitz mit Unterfederung und mehrlagigem Polsteraufbau

Der Sitz ist mit Sinusfedern als Unterfederung ausgestattet. Darüber kommt eine Schaumschicht und eine Gummihaarschicht zur Komfort- und Klimaverbesserung. Eine Kaschierung unter dem Bezug dient der Optimierung des Ansitzverhaltens.

3.2 Eigenschaften von JC VIPS

Das Programm JC VIPS setzt nicht auf einem bestehenden, kommerziellen FE-Programm auf, sondern stellt eine komplette Eigenentwicklung der Firma Johnson Controls dar. Anfängliche Versuche, kommerzielle FE-Programme zur Simulation des Sitzkomforts einzusetzen, zeigten keine befriedigenden Ergebnisse.

Der Kern des Programms JC VIPS besteht aus einem eigens entwickelten FE-Code, der speziell auf die Belange der Simulation des Sitzkomforts zugeschnitten ist. Für die mathematische Modellierung des Schaumes wird ein speziell entwickeltes nichtlineares Modell verwendet, das auf der Formänderungsenergie basiert. Der Schaum wird durch seine vorab gemessene Spannungs-Dehnungs-Hysterese spezifiziert (Bild 6). Dadurch wird der Stauchanteil der Formänderungsenergie festgelegt. Alle weiteren Formänderungsenergieanteile, wie sie z.B. aus der Schub- und Biegebeanspruchung herrühren, werden automatisch berechnet. Dies bietet den besonderen Vorteil, dass keine aufwendigen Messungen nötig sind, um die Schaumeigenschaften zu spezifizieren. Eine einfache Messung einer Schaumhysterese genügt, um den Schaum zu beschreiben.

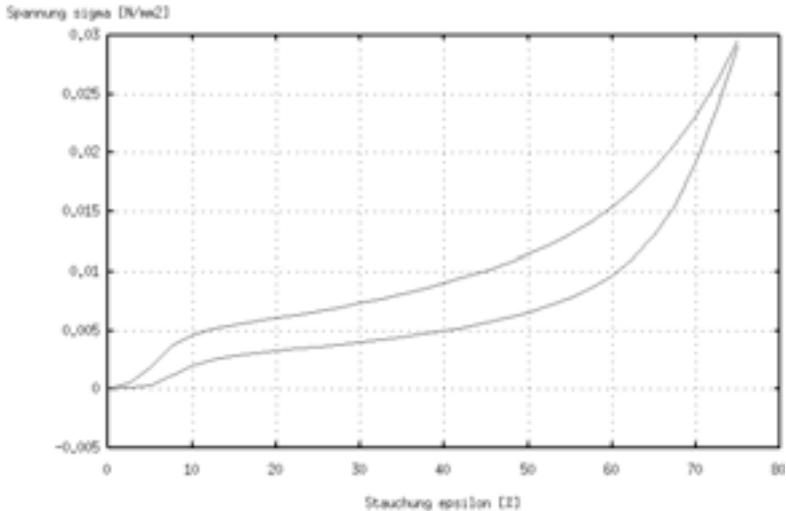


Bild 6: Schaumhysterese

Eine Schaummaterialdatenbank umfaßt eine große Palette verschiedener Schäume. Mit JC VIPS kann man einen vorgesehenen Schaum auf seine Eignung überprüfen oder aus der Materialdatenbank einen besser geeigneten Schaum vorschlagen.

Während des Einsitzens kommt es zu einer fortlaufenden Änderung der Kontaktsituation, da mit zunehmender Einsinktiefte immer größere Bereiche der Sitzoberfläche in Kontakt mit dem Gesäß kommen. Viele kommerzielle FE-Programme haben mit Kontaktsituationen, die sich laufend ändern, Schwierigkeiten. Dagegen ist der in JC VIPS eingesetzte Algorithmus in der Lage, Knoten automatisch festzusetzen und zu lösen. Der gesamte Rechengang benötigt keine manuellen Benutzereingriffe. Dies ist besonders hilfreich, da es damit möglich ist, im Batchbetrieb eine Reihe von Variationen durchrechnen zu lassen und die Ergebnisse anschließend auszuwerten.

Der FE-Code berechnet iterativ den Einsinkvorgang in den Sitz und gibt zu jedem Inkrement den Zustand aus. Der Rechengang ist beendet, wenn die auf das Sitzkissen ausgeübte Kraft mit der im Präprozessor berechneten Kraft übereinstimmt. Der Rechengang liefert, unterstützt durch grafische Utilities, die Einsinkkurve des Sitzes (und damit insbesondere die H-Punkt-Lage), die Druckverteilung und die Übertragungsfunktion. Die Berechnung des H-Punktes und der Druckverteilung erlauben eine Beurteilung der statischen Qualitäten eines Sitzes (Bild 7), die Simulation der Übertragungsfunktion gibt über das Dämpfungsverhalten des Sitzes unter dynamischer Belastung Auskunft.

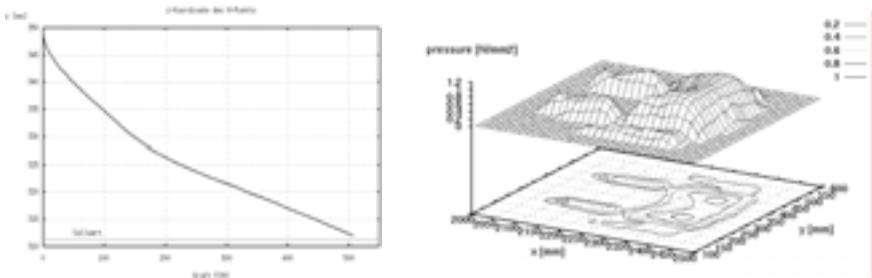


Bild 7: Mit JC VIPS simulierte Einsinkkurve und Druckverteilung

Zur Simulation des dynamischen Verhaltens des Schaumes wird ein viskoelastisches Schaummodell verwendet. In Bild 8 ist dargestellt, wie ein Schaumblock auf eine schwellende Belastung reagiert. Ein Schaumblock (Ausgangshöhe 56mm) wird auf eine Höhe von 40mm bzw. 30mm vorgepresst und anschließend einer schwellenden Belastung (Amplitude 5mm) mit der Geschwindigkeit 2mm/s bzw. 5mm/s ausgesetzt. Mit in das Diagramm eingezeichnet sind der Be- und Entlastungsast sowie die Mittellinie der Schaumhysterese.

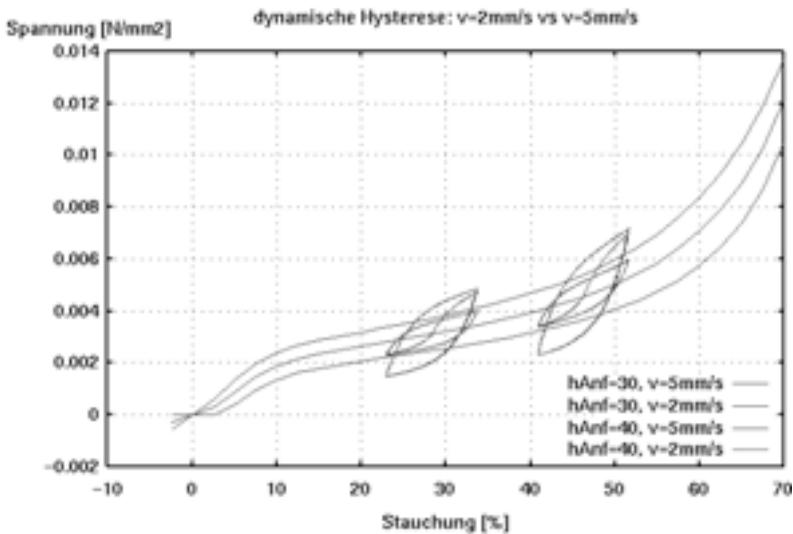


Bild 8: Schwellende Belastung eines Schaumblocks

Bei einer schwellenden Belastung mit 2mm/s schwingt der Spannungs-Dehnungs-Verlauf auf die Schaumhysterese ein, da diese ebenfalls mit 2mm/s gemessen wird. Dagegen ruft die höhere Geschwindigkeit 5mm/s eine bauchigere Hysterese der Schwellbelastung hervor, da die größere Geschwindigkeit zu größeren Dämpfungskräften im Schaum führt.

Die in Bild 8 dargestellte Reaktion eines Schaumblocks auf eine dynamische Belastung bildet die Grundlage für die Berechnung der Übertragungsfunktion des Sitzes. Dabei wird das dynamische Verhalten des Gesamtsystems gebildet aus Sitz und Mensch untersucht. Die Übertragungsfunktion gibt an, in welchem Maße der Sitz eine an der Sitzschiene eingeleitete Beschleunigung verstärkt oder dämpft. In Bild 9 ist der Vergleich eines Simulationsergebnisses mit einer gemessenen Übertragungsfunktion dargestellt. Es zeigt sich eine gute Übereinstimmung.

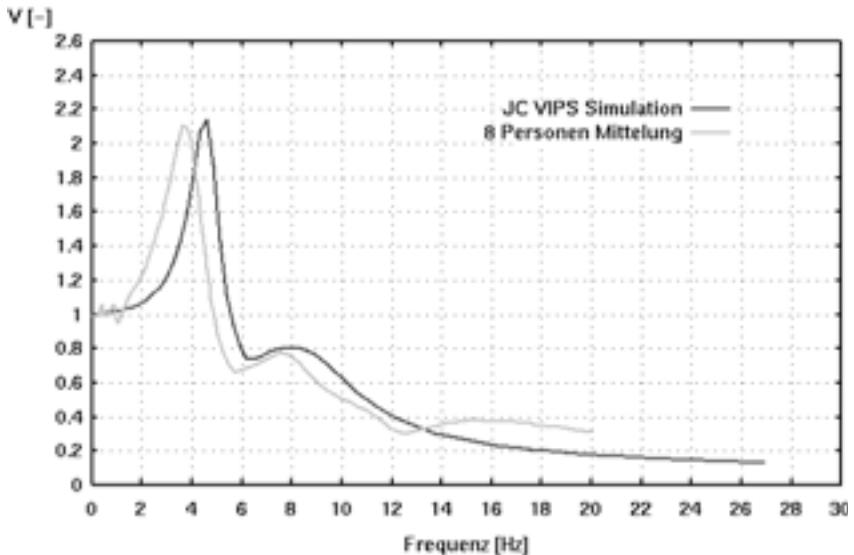


Bild 9: Simulierte und gemessene Übertragungsfunktion

Selbstverständlich sind Einsinkkurve, Druckverteilung und Übertragungsfunktion nicht die einzigen Größen, die mit JC VIPS berechnet werden können. Bei der Berechnung dieser Größen fallen gleichzeitig eine Vielzahl von weiteren Ergebnissen an, die für eine gezielte Optimierung des Sitzes genutzt werden können. So erlaubt die Berechnung der kompletten Kraft-Weg-Kurve vom anfänglichen Berühren der Sitzoberfläche bis zum Gleichgewicht im einge-

sessenen Zustand eine Optimierung des Ansitzverhaltens. Als weitere Größen werden z.B. die Stauchung der einzelnen Schaumschichten oder die deformierte Sitzoberfläche ausgegeben (Bild 10). Hier zeigt sich neben der Zeit- und Kostenersparnis ein weiterer Vorteil der Simulation. Die Simulation liefert Größen für die Sitzoptimierung, die messtechnisch nicht oder nur mit großem Aufwand erfaßt werden könnten. Für eine Reihe von Größen, wie z.B. die Stauchungsverteilung stehen noch gar keine praktikablen Meßverfahren zur Verfügung.

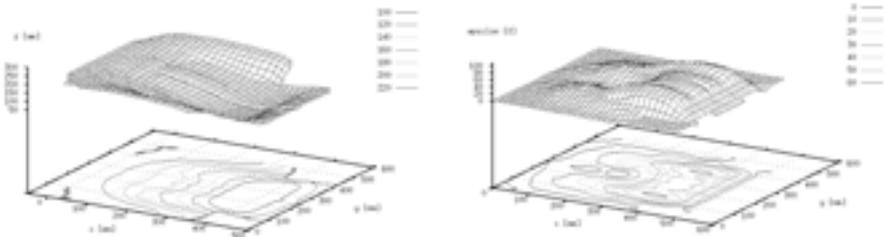


Bild 10: Mit JC VIPS simulierte Deformation der Schaumoberfläche und Stauchungsverteilung des Schaums

4. Anwendungsbeispiele

4.1 Einfluß des Package auf den Komfort

Als Beispiel wie durch eine Kombination von RAMSIS und JC VIPS eine Sitzoptimierung durchgeführt werden kann, ist im folgenden dargestellt, welche Auswirkungen eine Verschiebung des Fußaufstandspunkts auf den Komfort hat .

In Bild 11 ist die von RAMSIS berechnete Körperhaltung für die beiden untersuchten Positionen des Fußaufstandspunkts dargestellt. Das RAMSIS-Menschmodell ist in die Fahrzeugumgebung integriert, so daß man kontrollieren kann, zu welchen geometrischen Überschneidungen es zwischen Dummy und Sitzkontur kommt. Damit kann man den Sitzkomfort aber nur überschlägig beurteilen. Mit JC VIPS werden mögliche Problemstellen viel augenfälliger aufgedeckt, da JC VIPS neben der Ursache (Überschneidung zwischen Body- und Sitzkontur) auch die Wirkung (Druckverteilung an der Kontaktfläche Body-Sitzkontur) zeigt. In diesen Beispiel führte die ursprünglich gewählte Position des Fußaufstandspunkts zu einer Haltung, bei der das Bein weit nach vorne gestreckt war. Die Untersuchung mit JC VIPS zeigte, dass dies aufgrund der starken Oberschenkelauflage zu unzulässig großen Drücken im Oberschenkelbereich führte (Bild 12, linke Hälfte).

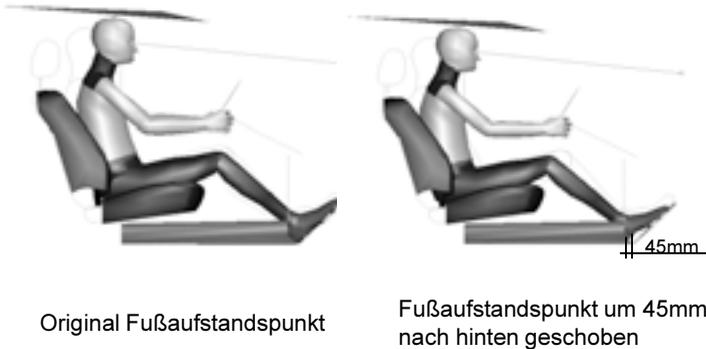


Bild 12: Variation des Fußaufstandspunkts

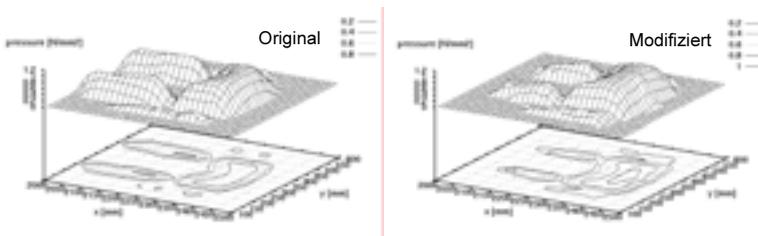


Bild 11: Vergleich der Druckverteilungen

Außerdem führte die starke Oberschenkelauflage dazu, dass der H-Punkt zu hoch lag, da zuviel Kraft über den Oberschenkel abgetragen wurde (Bild 13). Das Simulationstool JC VIPS wurde anschließend dazu benutzt, eine bessere Position des Fußaufstandspunkts zu bestimmen. Es zeigte sich, dass sich das optimale Ergebnis sowohl für die Druckverteilung (Bild 12, rechte Hälfte) als auch für den H-Punkt (Bild 13) einstellte, wenn man den Fußpunkt um 45 mm nach hinten verschiebt. Eine noch größere Verschiebung würde dazu führen, dass der H-Punkt zu tief liegen und der Druck unter dem Gesäß zu groß würde.

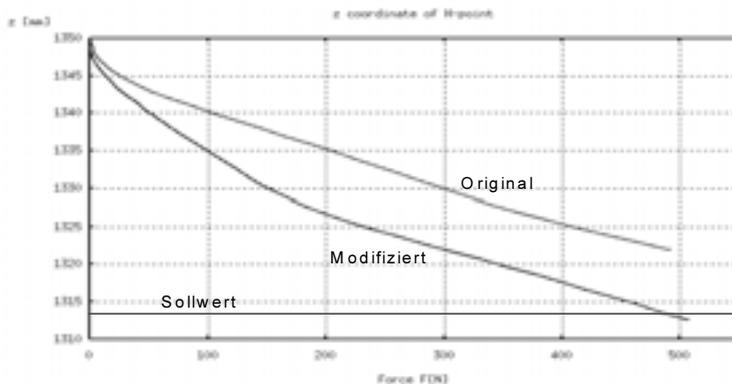


Bild 13: Vergleich der Einsinkkurven

Eine RAMSIS-Untersuchung bestätigte, dass die neue Fußaufstandsposition auch für den Haltungskomfort bessere Ergebnisse liefert (Bild 14).

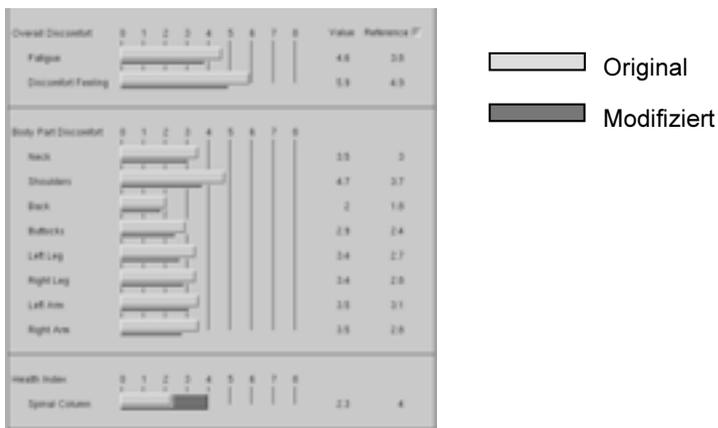


Bild 14: RAMSIS Haltungskomfortwerte

Es zeigt sich, dass die um 45mm nach hinten geschobene Position durchgehend bessere Bewertungen für den Haltungskomfort liefert. Der Gesundheitsindex für die Wirbelsäule hat sich allerdings verschlechtert. Hier zeigt sich noch Optimierungsbedarf zwischen den beiden Zielkonflikten gesunde und komfortable Sitzhaltung.

4.2 Modifikation einer Sitzwanne

Das zweite Anwendungsbeispiel behandelt eine Simulationsstudie mit JC VIPS, bei der die optimale Position von Löchern in einer Sitzwanne bestimmt werden soll. Als Startpunkt der Untersuchung diente eine Sitzwanne ohne Löcher. Bild 15 zeigt die Sitzwanne und die zugehörige Druckverteilung.

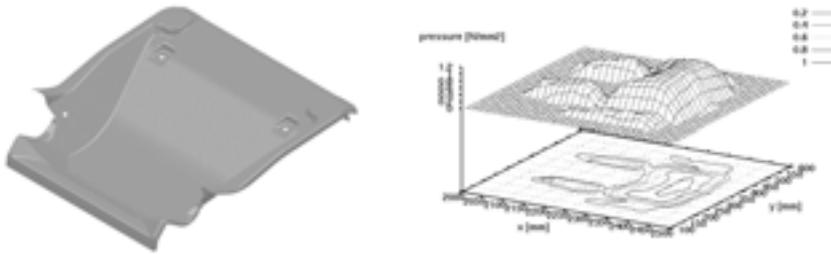


Bild 16: Sitzwanne und Druckverteilung vor der Modifikation

Aus Gründen der Gewichtsersparnis sollte die Sitzwanne mit Löchern versehen werden. Eine JC VIPS-Untersuchung wurde durchgeführt, um die optimale Position und Form der Löcher zu bestimmen.

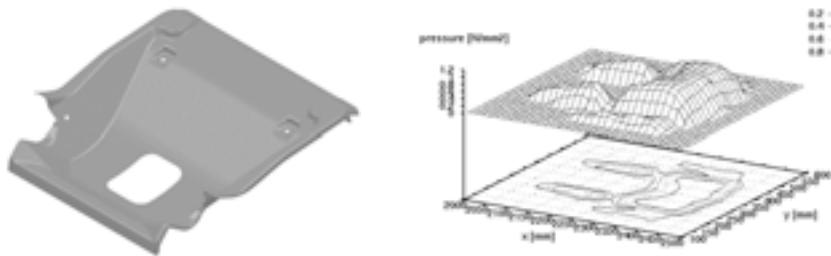


Bild 15: Sitzwanne und Druckverteilung nach der Modifikation

Bereits die unmodifizierte Sitzwanne zeigte eine gute Druckverteilung (Bild 15). Einziger Schwachpunkt war, dass der Sitzdruck unter den Sitzbeinhöckern im Vergleich zur Gesäßmitte nicht genügend ausgeprägt war. Durch das Loch in der Mitte der Sitzwanne konnte erreicht werden, dass der Druck nach der Modifikation wie gewünscht unter den Sitzbeinhöckern etwas angehoben wurde (Bild 16). Gleichzeitig hat sich auch der maximale Druck von $1,0\text{N/cm}^2$ auf $0,8\text{N/cm}^2$ reduziert.

Welche Anforderungen sind an komfortbezogene Ergonomiedaten zu stellen?

Wolfram Remlinger,
AUDI AG, Ingolstadt

Einleitung

Die praktische Tätigkeit des Ergonomien in der Fahrzeugindustrie kristallisiert sich um die zwei bekannten wissenschaftlichen Zusammenhänge der Ergonomie: Dies sind zum einen der Regelkreis Fahrer-Fahrzeug-Umgebung mit der Mensch-Maschine-Schnittstelle (MMS), besser Mensch-Maschine-Nahtstelle (*W. Hacker 1999*), als Bindeglied zwischen Fahrer und Fahrzeug, zum anderen die Maslow'sche Bedürfnispyramide respektive ihre Fokussierung in der Komforthierarchie nach Bubb (*Maslow 1978, H. Bubb 1995*).

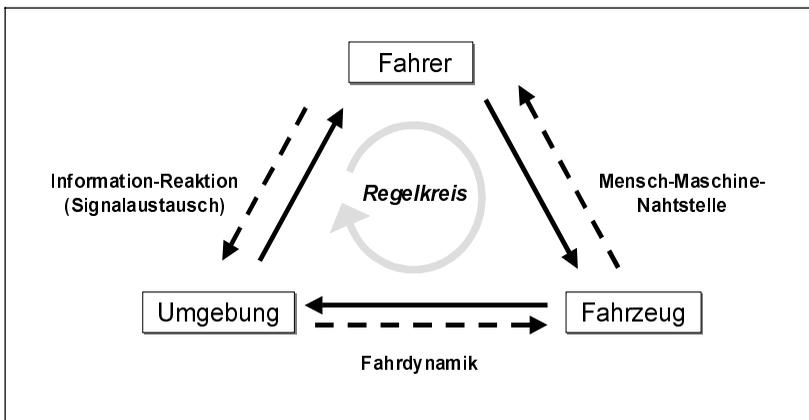


Bild 1: Regelkreis Fahrer-Fahrzeug-Umgebung

Bedingt durch den Einsatz von elektronischen Informations-, Kommunikations- und Assistenzsystemen im Fahrzeug wird sich der Regelkreis deutlich verändern und vor allem komplizieren. Dies soll jedoch hier weniger unser Thema sein. Vielmehr sollen in diesem Beitrag die „Eckpfeiler“ des Regelkreises oder „Dreiecksverhältnisses“ näher beleuchtet werden. Die weitere Betrachtung will aufzeigen, dass die drei bestimmenden Größen Fahrer, Fahrzeug und Umgebung keinesfalls als Konstanten zu verstehen sind, sondern dass sie sich vielmehr durch viele äußere Parameter ständig verändern. Diese Variabilität verlangt vom Praktiker bei der Gestaltung der zunehmend komplexeren und anspruchsvolleren

Mensch-Maschine-Nahtstelle besondere Anstrengungen. Die Gestaltungsaufgabe ist überhaupt nur dann angemessen zu bearbeiten, wenn entsprechend aktuelle, hochwertige und differenzierte Ergonomiedaten zur Verfügung stehen. Welche Daten dazu benötigt werden und wo noch Handlungsbedarf besteht, soll im Folgenden an einfachen Zusammenhängen und Beispielen aufgezeigt werden.

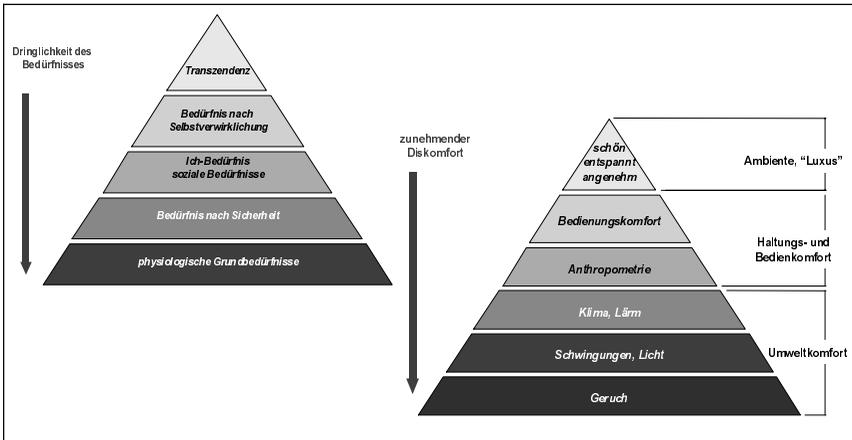


Bild 2: Bedürfnishierarchie nach Maslow und Komforthierarchie nach Bubb

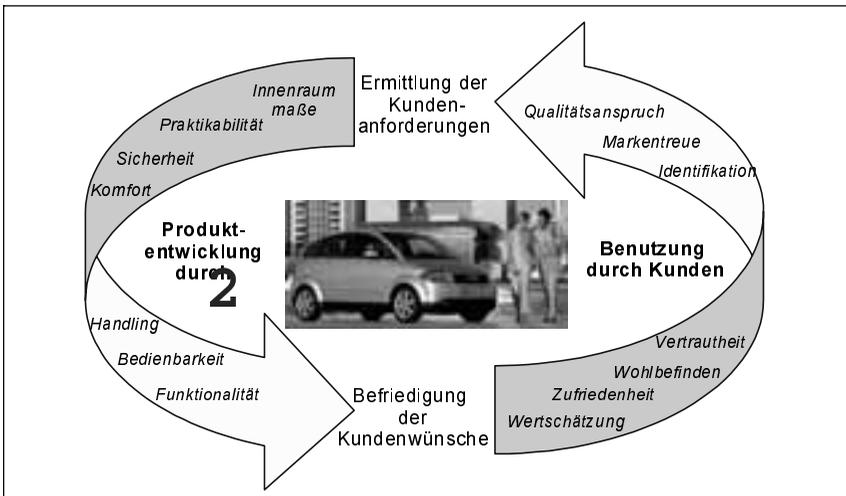


Bild 3: Aufgabe der Ergonomie: kundengerechte Gestaltung des Fahrzeugs

Arbeitsbereiche der Fahrzeugergonomie

Die Priorisierung der Empfindungsbereiche in der Komforthierarchie findet ihr Pendant in der Fahrzeugentwicklung eines Automobilherstellers. Die Auseinandersetzung mit verschiedenen Komfortaspekten obliegt unterschiedlichen Fachabteilungen. Ihr Spezialisierungsgrad auf die Empfindungsbereiche entspricht in etwa der Stufenposition in der Komforthierarchie.

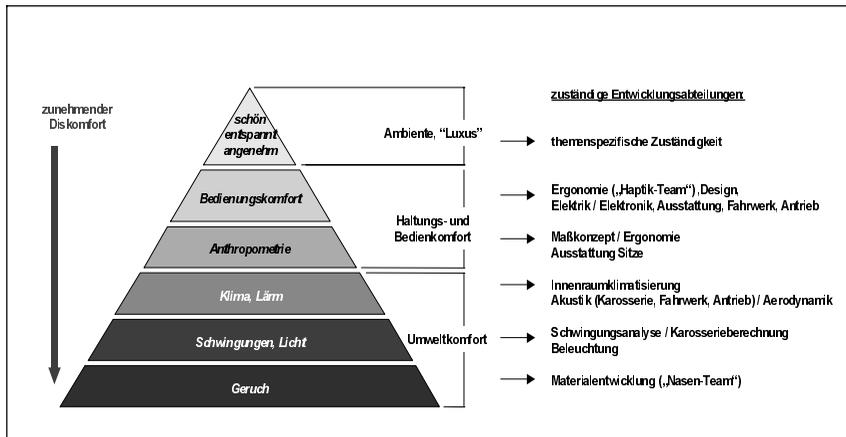


Bild 4: Verteilte Zuständigkeiten für Komfort in der Fahrzeugentwicklung

Bemerkenswert dabei ist, dass die Empfindungsbereiche der drei unteren Stufen von Spezialisten bearbeitet werden, die sich in der Regel nicht als Ergonomien im engeren Sinne verstehen. Die eigentlichen Ergonomiespezialisten der Fahrzeugentwicklung sind aus diesen Themen nahezu ausgekoppelt. Sie konzentrieren ihre Tätigkeit auf die Themen Haltungs- und Bedienkomfort. Der Themenbereich Ambiente / „Luxus“ erfährt quasi als „Sahnehäubchen“ für das Produkt auch meist eine spezielle Form der Bearbeitung.

Allen Disziplinen gemeinsam ist die Tendenz, ihre jeweiligen Auslegungen und Verbesserungen stetig zu einem mathematischen Optimum zu führen:

- Die Innenraummaße werden systematisch, nach Fahrzeugklassen getrennt auf Maximalwerte gedehnt.
- Bedienkräfte und Schalterwege sollen leichtgängig und kurz ausfallen.
- Die Klimatisierung wird auf ein zugfreies, trockenes Temperaturoptimum getrimmt.
- Gerüche, Schwingungen und Lärm werden eliminiert oder zumindest reduziert.

Nichts darf den ungetrübten Fahrgenuss beeinträchtigen! Aber aus welchem Sinneserlebnis besteht dann der eigentliche Fahrgenuss eigentlich noch?

Selbstverständlich ist es richtig und wichtig, negative äußere Einwirkungen auf die Fahrzeuginsassen schädigungsfrei abzumindern und keine Belästigung entstehen zu lassen. Die Optimierungsbestrebungen nähern sich mit immer größerem Aufwand einem Grenzwert an. Eventuell ließe sich mit der bewussten Existenz oder sogar dem gezielten Einsatz positiver Reize das Erlebnis und auch das Wohlbefinden steigern.

Denn das Verlangen der anspruchsvolleren Fahrzeugkundschaft geht inzwischen in eine andere Richtung als sie von der klassischen Arbeitsplatzergonomie gelehrt wird. Hier wird das charaktervolle, ausdrucksstarke Produkt gesucht, das seinen Besitzer in seiner Individualität unterstützt und widerspiegelt. In diesem Anspruch äußern sich verschiedene Antagonismen. Einerseits wird in Hinsicht auf die Betätigung von Fahrzeugfunktionen eine Einheitlichkeit verlangt. Andererseits strebt der Kunde zunehmend nach Erlebnisvielfalt und Abwechslung. Aus Sicherheitsgründen plädiert man für eine Standardisierung oder Normung von Funktionselementen, gleichzeitig wird das Verwischen des Markenprofils durch Ähnlichkeit von Stellteilen unterschiedlicher Hersteller bemängelt. Ältere Personen benötigen und fordern öffentlich aufgrund ihrer körperlichen Einschränkungen unterstützende Maßnahmen vom Hersteller, sie selbst bevorzugen beim Kauf jedoch Produkte mit betont junglichem Image.

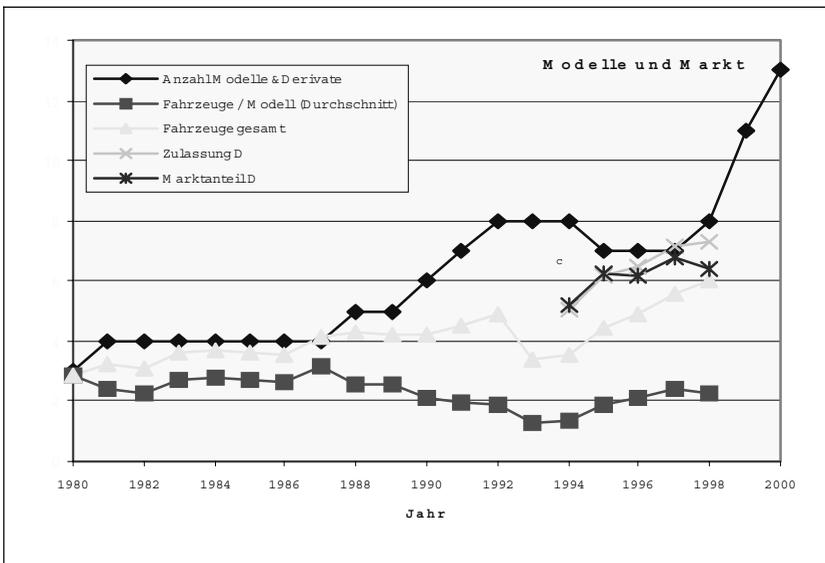


Bild 5: Typenvielfalt und Fahrzeugzahlen am Beispiel Audi

Das Verlangen nach Vielfalt und Differenzierung äußert sich in der steigenden Anzahl von Modellen und Karosserievarianten der Automobilhersteller. Auch im Fahrzeuginnenraum versucht man dieser Nachfrage durch unterschiedliche Ausstattungen, Stoffdessins, Farben und Applikationselementen nachzukommen. Unter dem „Blech“ jedoch wird im Sinne von Rationalisierung und Preisdruck bei allen Herstellern die Verwendung von Gleichteilen verfolgt. Diese Gleichteile besitzen häufig auch unter ergonomischen Aspekten einen hohen Perfektionsgrad bei akzeptablen Kosten. Aber führen diese Maßnahmen auch dazu, die Kundenansprüche zu befriedigen und seinem Produkt ein markantes Profil zu geben? Zu einem harmonischen und stimmigen Gesamtcharakter eines besonderen Fahrzeuges gehört auch eine abgestimmte ergonomische Differenzierung von anderen Modellen.



Bild 6: Audi TT mit markanter Innenraumauslegung

Verschiedene Hersteller versuchen einzelne Empfindungsbereiche wieder aus Ihrem Schattendasein hervorzuholen. So wird im Bereich von Abgasanlagen gezielt „sound-engineering“ betrieben, um die Abgabe der Antriebsleistung akustisch präsent zu machen. Fahrzeuge erhalten Innenlicht mit „Ambientebeleuchtung“ und „Nachtdesign“. Spezielle Entwicklungsfirmen arbeiten sogar an Duftspendern, um fein abstimmbare Wohlgerüche zu erzeugen.

All diese Maßnahmen bewirken einzelne, durchaus positive Erlebniseffekte. Sie zeigen vor allem, dass die kundenrelevanten Verbesserungspotentiale der Fahrzeuge vielfach erschöpft sind und die Isolierung des Fahrers von Fahrzeug und Umwelt bereits als kontraproduktiv erlebt wird.

Ein umfassendes, durchgängiges und vor allem modifizierbares Konzept zur abgestimmten Gestaltung von Komfort, Fahrerlebnis und aktiver Sicherheit ist jedoch nicht erkennbar. Was wird in Zukunft den Sportwagen von der Luxuslimousine vom Geländefahrzeug einer Marke ergonomisch unterscheiden?

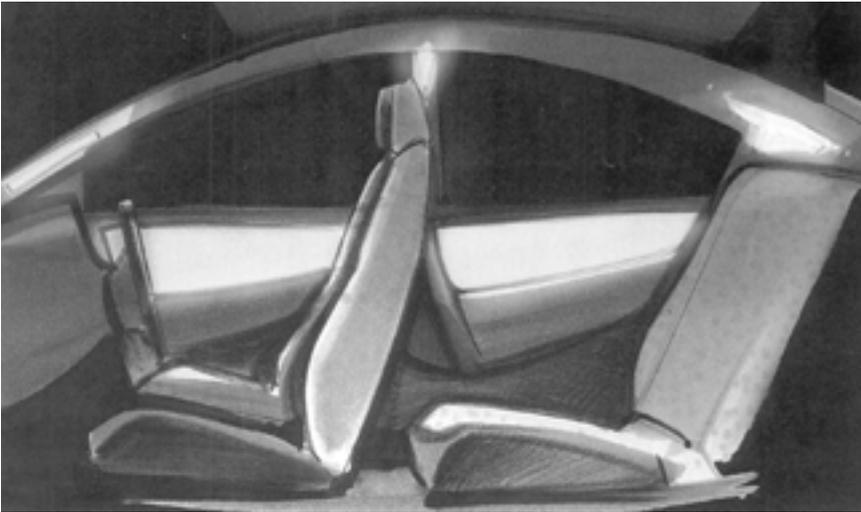


Bild 7: Ambientebeleuchtung (Designstudie) (Abb. Reitter & Schefenacker)

Es sollte mehr sein als die Einstiegshöhe über der Fahrbahn.

Soziodemographische Veränderungen der Bevölkerung

Der Markt der Automobilkunden verändert sich rapide. Aus dem Rückblick der letzten 20 Jahre sind in Deutschland folgende markante Veränderungen festzustellen:

- **Die Bevölkerung wird älter.** Der Anteil der über 60-Jährigen ist um 16 % gestiegen, der Anteil der unter 18-Jährigen um 21 % gesunken.
- **Die Bevölkerung wird qualifizierter.** Der Anteil der (Fach-) Hochschulabsolventen hat sich auf 9,5 % der Bevölkerung nahezu verdoppelt.
- **Die Haushalte werden immer kleiner und die Zahl der Haushalte nimmt zu.** Der Anteil der 1-Personenhaushalte hat um 29% zugenommen. Der Anteil an 4-Personenhaushalten hat um 21% abgenommen.

Die Ausstattung und Nutzung von Pkw hat sich ebenfalls verändert:

- **Die Ausstattung der Haushalte mit Pkw hat enorm zugenommen.** Der Anteil der Haushalte mit Pkw hat sich um 22% vergrößert.
- **Die Fahrleistung pro Fahrzeug nimmt deutlich ab.** Die gefahrenen Jahreskilometer pro Fahrzeug haben sich um 8% verringert, obwohl die Gesamtfahrleistung weiter ansteigt.

Innerhalb von 10 Jahren hat sich die Nutzung des Pkw auf dem Weg zur Arbeit deutlich verändert:

- **Die Berufspendler nutzen häufiger den Pkw.** Der Anteil der Pkw-Nutzer ist um 22% gestiegen.

- **Die Fahrtstrecken zur Arbeit werden länger.** Der Anteil der Kurzstreckenfahrer (<10 km) hat sich um 9,5% reduziert, der Anteil der Langstreckenfahrer (>25 km bzw. >50 km) hat sich um ein Viertel bzw. ein Drittel erhöht.

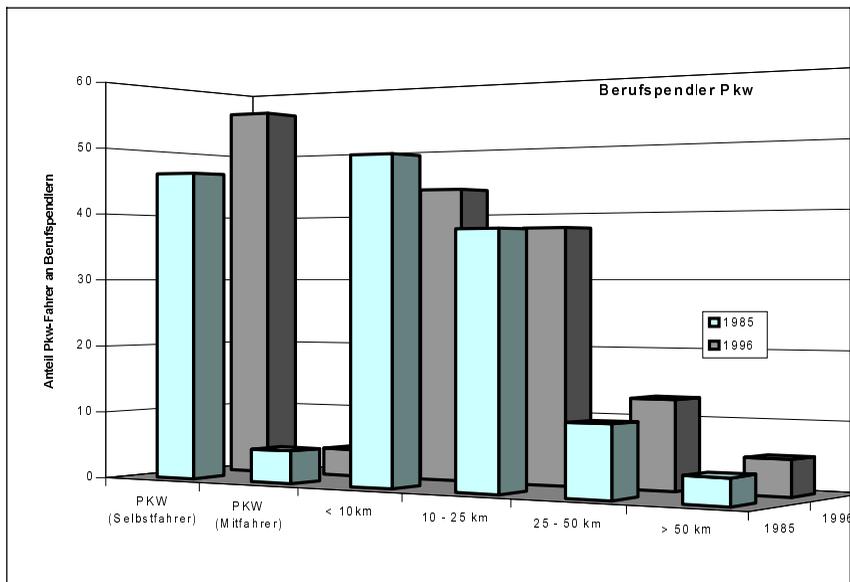


Bild 8: Fahrzeugnutzung bei Pendlern

Das private Auto gilt trotz aller gesellschaftspolitischen Diskussion bei der deutschen und europäischen Bevölkerung weiterhin als der zentrale Verkehrsträger und die Kraftfahrzeugbranche stellt den wichtigsten Wirtschaftsfaktor in Deutschland dar.

Aus den o.g. Zahlen wird auch deutlich, dass sich die Nutzung des Fahrzeuges verändert hat:

- Immer mehr Personen haben ihr eigenes Fahrzeug zur Verfügung, das sie immer seltener mit anderen Nutzern (z.B. Partner, Kinder, Eltern) abwechselnd oder gemeinsam nutzen. Deshalb kann und soll das eigene Fahrzeug individueller auf seinen Besitzer zugeschnitten sein. Verlangt ausnahmsweise eine besondere Nutzung Eigenschaften, die das eigene Fahrzeug nicht bieten kann, so findet sich bei einer anderen Person im persönlichen Umfeld meist ein passendes Fahrzeug.

- Die Fahrzeugkäufer werden statistisch immer älter. Das bedeutet, dass sie mehr Erfahrung als Autofahrer und Autokunden besitzen und gleichfalls anspruchsvoller sind.
- Aus wirtschaftlichen Kenndaten (steigendes Bruttosozialprodukt, steigendes Einkommen mit dem Lebensalter) ist zu entnehmen, dass der Bundesbürger ebenfalls wohlhabender wird. Als Konsument steht ihm damit mehr Kaufkraft zur Verfügung.

Dies sind statistische Trends, die uns Prognosen über die Entwicklung der Nutzung des Fahrzeuges allgemein aufzeigen. Wie sieht jedoch die Auseinandersetzung der Fahrzeugentwickler mit den Kunden im speziellen aus?

Transfer von Marktforschungsdaten in die ergonomische Auslegung

Grundlage für die tägliche Arbeit der Auslegung von Fahrzeugen ist die Auseinandersetzung mit dem Nutzer, sprich Fahrzeuginsassen, und seinen Bedürfnissen. Leider besteht nur in seltenen Fällen eine direkte Kommunikationsmöglichkeit zwischen dem auslegenden Ergonomen und realen Kunden in größerer Zahl. Diese Kommunikation ist für die Lösung von Einzelproblemen erstrebenswert. Für die Berücksichtigung quantitativ relevanter Kundengruppen ist eine statistische Betrachtung des Marktes unabdingbar. Dies geschieht in Bezug auf die Anthropometrie durch Probandenkollektive, sogenannte Sitzteams, und rechnerbasierte 3D-Menschmodelle auf Basis extrapolierter Datenpools. Exemplarisch für diesen Abgleich von Praxisversuch und theoretischer Simulation ist der Einsatz von RAMSIS unter Einbeziehung von realen Probanden, deren Körpermaße auch im 3D-Menschmodell-System zur Verfügung stehen.

Die Wünsche und Bedürfnisse der Kunden werden sehr ausführlich durch die Marketingabteilungen eines Fahrzeugherstellers analysiert. Diese nutzen verschiedenste Studien von erfahrenen Marktforschungsinstituten oder lassen ergänzend spezielle Befragungen & Clinics durchführen. Die wohl bekannteste und meistverbreitete ist die NCBS (New Car Buyers Survey). Sie gibt uns ausführliche Auskunft über die Kraftfahrzeugkunden und ihr Kaufverhalten. Sie sagt uns das Alter, den Familienstand, die Kinderzahl, das Einkommen und die Hobbies des Kunden. Sie weist aus, warum ebenjenes Auto gekauft wurde, warum ein anderes nicht und welches Fahrzeug vorher gefahren wurde. Wir erfahren die Vor- und Nachteile des erworbenen Fahrzeuges, die Zufriedenheit damit und die Einstellung zum Fahrzeug insgesamt.

Aus anderen Studien wird deutlich, welchen „Sozialen Milieus“ die Kundschaft entstammt. Diese Milieugliederung ordnet die Kundengruppen nach ihren persönlichen Werteorientierungen und finanziellen Möglichkeiten. Auch in diesem gesellschaftlichen Spektrum werden Vorlieben und Abneigungen bei der Fahrzeugnutzung beleuchtet. Ergänzend dazu werden einzelne Zielgruppen wie Kinder, ältere Personen oder Männer/Frauen näher betrachtet.

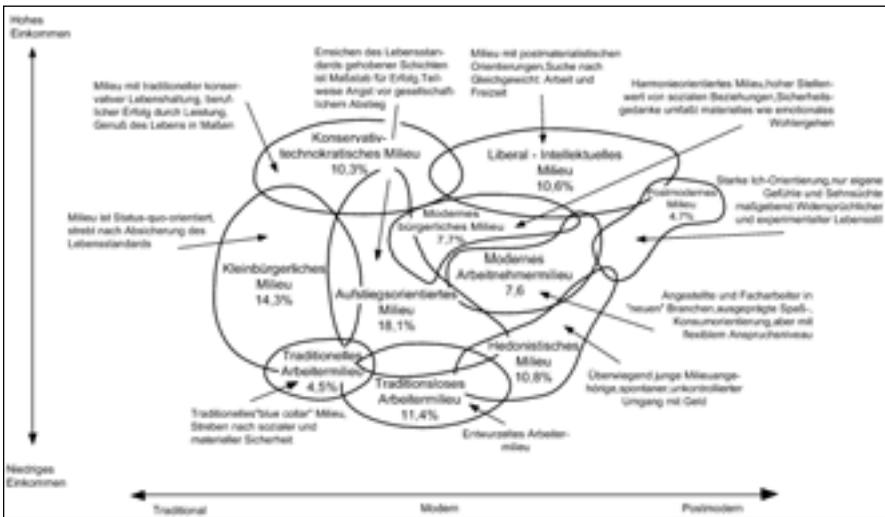


Bild 9: Soziale Milieus in Deutschland (Abb. global@ccss)

Aus diesen Studien können wir nahezu alles über den Kunden erfahren bis auf eines:

Was macht der Kunde mit seinem Fahrzeug?

Aus all den Informationen der Marktforschung wird ein sehr umfangreiches, aber unvollständiges Bild des Automobilkunden gezeichnet. Um daraus Informationen für die ergonomische Auslegung des Fahrzeugs zu ziehen, dazu ist die Beobachtung des Kunden nicht fein genug. Sein detailliertes Alltagsverhalten mit dem Fahrzeug bleibt unscharf.

Der Autofahrer, das unbekannte Wesen?!

Im folgenden wird das Grundgerüst einer Methode dargestellt, mit deren Hilfe ergonomisch-konzeptionelle Anforderungen an ein Fahrzeug systematisch erarbeitet werden können. Dazu ist jedoch eine Menge von Basisinformationen erforderlich, die eigentlich als „Katalogwissen“ bereitstehen sollte.

A) Nutzungsprofile

Bereits das Nutzungsprofil des Kunden ist verschwommen. Es fehlen Basisangaben über:

- Anzahl, Eigenschaften und Anforderungen der Insassen
- Länge, Dauer, Häufigkeit und Art der Fahrtstrecken
- Größe, Gewicht und Gestalt des Transportgutes
- Beschaffenheit und Situation der Parkmöglichkeiten für das Fahrzeug

Vor allem die Kombination zwischen diesen Information entbehrt jeder soliden statistischen Erfassung.

B) Nutzungskombinationen und Nutzungswechsel

Das Nutzungsprofil aus A) ist zudem keinesfalls isoliert zu betrachten. In der Praxis ergeben sich für ein einzelnes Fahrzeug Nutzungskombinationen und Nutzungswechsel wie:

- berufliche und private Nutzung
- Repräsentations- und Funktionsnutzung
- wechselnde Nutzung durch verschiedene Familienmitglieder oder Mitarbeiter / Kollegen
- Kurzstrecken und Reisefahrten

Diese kombinierte Nutzung ist weniger als Ausnahme- denn als Regelfall anzusehen. Die Eignung eines Fahrzeuges ist für alle kundenspezifischen Nutzungen in einem Mindestumfang erforderlich.

C) Auslegungsfälle

Die optimale Auslegung eines Fahrzeuges kann schwerpunktmäßig aber nur für ein Nutzungsprofil erfolgen. Deshalb müssen die potenziell auftretenden Nutzungsprofile des Kunden in zwei Bereiche kategorisiert werden:

- Regelnutzung
- Sondernutzung

Die Regelnutzung beschreibt den Anwendungsfall für den überwiegenden Fahreinsatz. Beispiele dafür sind die Fahrt zur Arbeitsstätte oder zum Einkauf. Für diese Schwerpunktnutzung ist ein optimaler Zuschnitt des Fahrzeuges mit guter Eignung erforderlich.

Die Sondernutzung umfasst zumeist mehrere unterschiedliche Anwendungsfälle, die teilweise selten aber mit hoher Wahrscheinlichkeit irgendwann von den Fahrzeugnutzern verlangt werden. Mögliche Fallbeispiele sind der Transport sperriger Güter (auch Anhänger- oder Dachtransport) oder Urlaubsreisen. Für diese Nutzungen ist eine nur ausreichende Eignung durchaus hinreichend für einen Kaufentscheid.

Sind die häufigsten oder wichtigsten Nutzungsprofile für die potentiellen Kunden eines neuen Fahrzeuges ermittelt worden, so sind nun die unterschiedlichen Nutzungsprofile hinsichtlich der Nutzungskombinationen zusammenzufassen und hinsichtlich Regelnutzung und Sondernutzung zu gewichten.

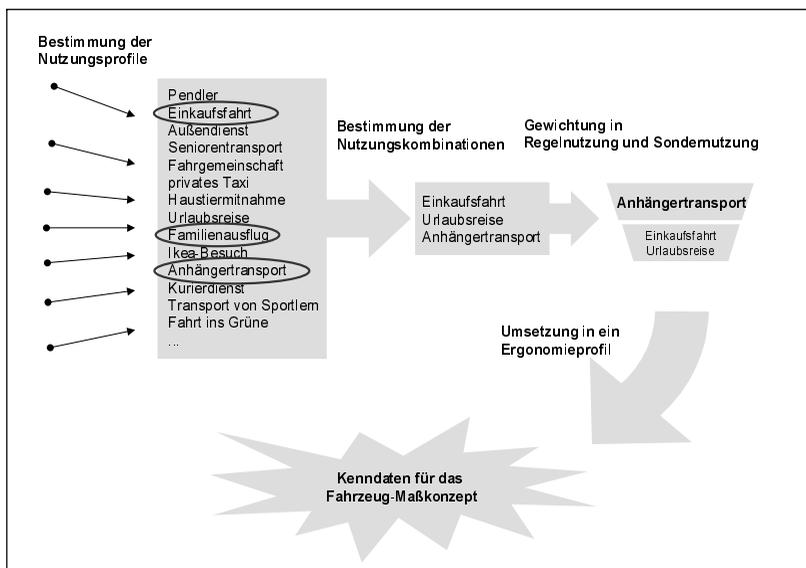


Bild 10: Vom Nutzungsprofil zum Ergonomieprofil

D) Ergonomieprofil

Anschließend folgt die Umsetzung in ein Ergonomieprofil. Dies geschieht durch den Transfer der ermittelten Nutzungsprofile in Kenndaten für das Fahrzeug. Die Eckdaten der Nutzungsprofile können folgendermaßen überführt werden:

- Insassen ⇒ Zahl der Sitzplätze und Komfortbedarf für Fahrer, Beifahrer und Fondpassagiere; erforderliche maßliche Auslegung; Raumbedarf und Komfortgrad bei Ein- und Ausstieg
- Fahrtstrecke ⇒ Sichtbereiche; Sitzauslegung; Bedienkonzept; Häufigkeit von und Komfortgrad bei Ein- und Ausstieg
- Transportgut ⇒ Größe und Zugang von Kofferraum; Beladungsbedingungen; Ablagen & Befestigungselemente
- Parkmöglichkeiten ⇒ Sichtbedingungen beim Einparken; Öffnungsbereiche Türen; Raumbedarf und Komfortgrad bei Ein- und Ausstieg

Die Problematik besteht nun hauptsächlich daraus, dass für das auszuarbeitende Ergonomieprofil verhältnismäßig wenige charakteristische Werte im Sinne einer Güteskala bekannt sind. Jedes Automobilunternehmen besitzt Kataloge mit Erfahrungswerten, die nach Fahrzeugklassen gewichtet sind. Durch interne Versuchsreihen und Forschungsprojekte wird lediglich für Brennpunktfragen spezielles Knowhow erarbeitet. Für die evolutionäre Optimierung erfolgreicher Modellreihen der Hersteller ist dies durchaus ausreichend. Für die Entwicklung

eines Maßkonzeptes für ein brandneues Fahrzeug ist jedoch eine deutlich umfassendere Herangehensweise verlangt. Eine erfolgsversprechende Auslegung des Neufahrzeuges auf die angestrebte Zielgruppe ist sonst nicht zu garantieren.

Eine durchgehende wissenschaftliche Beobachtung der Fahrzeugnutzung mit Bestimmung der ergonomie- bzw. komfortbestimmenden Faktoren und deren Gewichtung ist bis heute im PKW-Bereich nicht bekannt. Auch im Bereich der Auto-Tests von Motorjournalisten erfolgt eine sehr subjektive und unstrukturierte Begutachtung, die den Leser auf Kunden wie auch auf Herstellerseite eher verunsichert denn informiert.

Fazit: Die Fahrzeugnutzung stellt also einen großen weißen Fleck auf der Landkarte der Fahrzeugergonomie dar, der dringend erkundet werden muss.

Ablauf von Fahrten

Um die Abläufe bei der Benutzung des Kraftfahrzeuges besser zu analysieren, sind vor allem auch die Handlungsschritte vor und nach einer Fahrt genauer unter die Lupe zu nehmen. Sie haben einen erheblichen Einfluss auf die erlebte Qualität und den Komfort eines Fahrzeuges.

Darauf aufbauend sind typische Tätigkeitsabläufe während der Fahrzeugbenutzung genauer zu analysieren:

- Vorbereitung einer Fahrt
- Annäherung an das Fahrzeug
- evt. Beladung des Fahrzeuges
- Einstiegsprozedur evt. mit erforderlichen Einstellungen
- Beginn einer Fahrt
- Abläufe und Handlungen während einer Fahrt
- Abschluß einer Fahrt
- Ausstiegsprozedur
- evt. Entladung des Fahrzeuges
- Verlassen des Fahrzeuges
- Auswirkungen / Folgen der Fahrt

Diese Abläufe variieren abhängig vom Nutzungsprofil aus A). Aber auch Variationen aufgrund anderer Einflussfaktoren (z.B. Kulturraum, Wetter, räumliche Bedingungen) sind naheliegend.

Nach Analyse von charakteristischen und aussagekräftigen Ablaufschritten können einzelne als sogenannte Szenarios für praktische Analysen und Tests herangezogen werden. Typische ‚Szenarien‘ der Automobilhersteller sind beispielsweise der „Mietwageneinstieg“, der „Wochenendgroßeinkauf“, der „Kleinkindtransport“, die „Wochenendtour mit Sportgerät“ oder die „Navigationseingabe mit Telefonanruf“.

Bewegungsstrategien

Die Auslegung eines Fahrzeuges und von Arbeitsplätzen allgemein verlief in den vergangenen Jahrzehnten verstärkt unter der Prämisse der Belastungsreduktion für den Nutzer. Dies wurde durch Minimierung der Betätigungskräfte und Reduzierung von wiederkehrenden Bewegungsfolgen erreicht. Durch den eingeschränkten Raum im Fahrzeug und den stetigen Automatisierungstrend ergeben sich für den Fahrer nur noch selten die Notwendigkeit, sich zu bewegen. Bei der ergonomischen Fahrzeugauslegung sollten deshalb gezielt Bewegungsmöglichkeiten geschaffen werden, um dem physiologischen Bedürfnis nach Bewegung entgegenzukommen.

Allerdings beginnt man erst langsam, sich gezielt fördernd mit den Bewegungsmöglichkeiten des Menschen innerhalb des Fahrzeuges auseinander zusetzen. Beispielsweise wird das 3D-Man-Model-System RAMSIS erst langsam entsprechende Simulationsmöglichkeiten erhalten.

Im Zusammenhang mit der Betrachtung der Tätigkeitsabläufe des Menschen am und im Auto wird sehr schnell der Blickwinkel auf Unterschiede in den Bewegungsfolgen verschiedener Personen gelenkt. Abhängig von Körpermaßen und Beweglichkeit des Insassen, den Raumverhältnissen und der Gestaltung des Fahrzeuges, aber auch Gewohnheiten oder Kleidung werden vom Insassen bestimmte Bewegungsstrategien verfolgt. Diese unterschiedlichen Strategien sind beispielsweise bekannt beim:

- Einstieg mit den Strategien „Fädler“, „vorwärts Kopf voraus“ oder den „Standard-Rückwärtsplumpser“ mit der Unterart „Beine eindrehen“ (*Gilgenrainer 1997*)
- Gurtanlegen mit „Außenarm Beugen“, „Außenarm Strecken“ und „Innenarm Übergreifen“
- Schalten der Knüppelschaltung mit „Pistolengriff“, „Krückstockgriff“ oder „Umfassung, Handrücken zum Körper“

Solch unterschiedliche Bewegungsstrategien existieren des weiteren für die Betätigung von Lenkrad, Pedalerie, Türöffner, Fensterheber, Spiegelversteller, Öffnen der Tür und Schließen der Heckklappe u.v.m. .

Allen Bewegungsstrategien ist gemeinsam, dass sie einen jeweils anderen Raumbedarf für den Körper oder das Körperteil erfordern. Steht dieser Raumbedarf nicht zur Verfügung, wird dies massiv als Diskomfort empfunden. Konflikte bestehen dabei in nahezu jedem Fahrzeug mit Innenverkleidungen, Armlehnen und Sitzwangen. Ein beschränktes Raumangebot führt oftmals mittelfristig zum Wechsel der Bewegungsstrategie. Über die jeweils beeinflussenden Geometrien oder die erforderlichen Freiräume sind nur vereinzelte Untersuchungen bekannt. Die praktikable Umsetzung mittels Simulationsmethoden für die praktische Anwendung ist zur Zeit noch eine Illusion.

Auch hier öffnet sich ein weites Arbeitsfeld für die Forschung.



Bild 11: Varianten Gurtanlegen

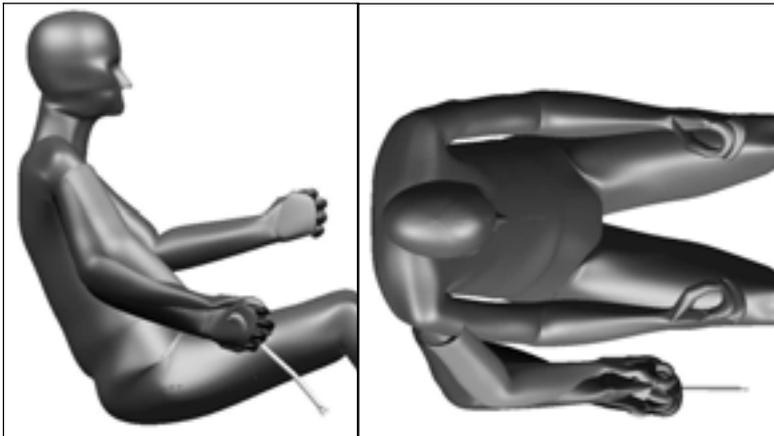


Bild 12: Varianten des Hand-/Armsystems beim Schalten in RAMSIS

Sichtbedingungen und „Psycho“-Faktoren

Ein weiteres bedeutendes Thema in der Fahrzeugergonomie sind die Sichtbedingungen im Fahrzeug. Zu diesem Themenbereich gibt es eine Reihe von klassischen Messverfahren und Auslegungsvorschriften. Diverse wissenschaftliche Untersuchungen haben das Blickverhalten im Fahrzeug analysiert, indem detailliert das Fixationsverhalten in unterschiedlichen Fahrzeugen beobachtet wurde. Trotzdem haben die daraus abzuleitenden Gestaltungshinweise vereinfacht gesagt lediglich den Differenzierungsgrad von „Bauernregeln“:

- je mehr unverdeckte Sichtfläche besteht, desto besser
- je weniger sichtverdeckende Elemente sich im Sichtbereich befinden, desto besser
- je schmaler ein einzelnes verdeckendes Element ist, desto besser

Diese könnte jeder Laie formulieren. Die allgemein zugänglichen Veröffentlichungen leiten nichts Allgemeingültiges ab aus den Blickdichten in Winkelbereichen oder dem Aufmerksamkeitseinfluss durch „Stolpern und Springen“ der Fixationen.

Zu diesem Manko der Bewertbarkeit von Sichtqualität im Sinne der Verkehrssicherheit gesellt sich eine zweite Unbestimmte. Die Sichtverhältnisse im Fahrzeug haben eine sogenannte „psychologische“ Komponente auf die Insassen. Die persönlich bevorzugte Sitzhaltung und das individuell empfundene Wohlbefinden werden fundamental durch die Sichtbedingungen im Fahrzeug mitbestimmt.

Folgende Komponenten sind in ihrem auch wechselseitigen Einfluss auf die Sichtbedingungen numerisch mess- aber nicht ergonomisch bewertbar:

- Augenhöhe über der Fahrbahn
- Fahrbahnsicht vor dem Fahrzeug
- einsehbare Karosserielänge vorn und hinten (Referenzkonturen)
- Dachrahmenposition
- Frontscheibenabstand zum Auge
- Position und Neigungen Dachpfosten A
- Größe und Form von Sichtverdeckungen (Spiegel, Scheibenwischer, Sensoren, Dachpfosten)
- Sicht zur Seite
- direkte Sicht nach hinten und schräg hinten
- indirekte Sicht mittels Spiegel (auch Videokameras)

In dieser Thematik steckt also ebenfalls ein erheblicher Nachholbedarf.

Kognitivität und Systemergonomie

Als relativ neues Arbeitsgebiet im Tätigkeitsbereich der Fahrzeugergonomie bildet sich mehr und mehr die kognitive Gestaltung der Anzeigen und Stellelemente heraus. Bedingt durch die rasante Entwicklung der Elektronik und den Einzug von bildschirmgestützten Informations- und Kommunikationssystemen im Fahrzeug wird das Bedienkonzept neben dem Maßkonzept zu einem zweiten Schwerpunkt der ergonomischen Fahrzeuginnenraumgestaltung. An diesem „modernen“ und attraktiven Thema wird allseits sehr rege gearbeitet und referiert. Aufgrund des stetigen technischen Fortschrittes sind dabei die für den Praktiker abzuleitenden Gestaltungsregeln zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vielfach bereits überholt.

Aber gerade deshalb wäre auch hierbei der Beginn einer allgemeingültigen wissenschaftlichen Bewertung hinsichtlich der ergonomischen Qualität dringend von Nöten. Wie in den zuvor angesprochenen Themenfeldern fehlen dem Praktiker auch hier abgesicherte praktikable Analyse- und Bewertungsmethoden und fahrzeugspezifische Gestaltungsregeln für folgende Aspekte:

- Größe, Formate und Positionen für Stellelemente und Anzeigen von interaktiven Informations- und Kommunikationssystemen im Fahrzeug
- Optische Anforderungen an Helligkeits- und Kontrastverhalten der Bildschirme
- Farb- und Gestaltungsregeln von Software-Bildschirmdarstellungen
- Gestaltungsregeln für die innere Bedienlogik von Systemen (Systemergonomie)
- Berücksichtigung von Alter, Geschlecht, Kulturkreis, Vorbildung des Kunden und Fahrzeugumfeld

Resümee

Um den Bogen zurück zum Titel dieses Beitrages zu spannen, möchte ich hier die klassischen Anforderungen an komfortbezogene Ergonomiedaten nennen. Sie unterliegen den üblichen wissenschaftlichen Ansprüchen. Es werden Aktualität, Präzision, Nachprüfbarkeit, Allgemeingültigkeit, Detailgenauigkeit und Vollständigkeit gefordert.

Alle diese Kriterien werden bei der Erarbeitung von Datenmaterial berücksichtigt. Allein die Vollständigkeit lässt aus der Sicht des Praktikers zu wünschen übrig. Wie diese Abhandlung zeigt, sind für eine umfassende und hochwertige ergonomische Produktgestaltung zusätzliche Methoden und Werkzeuge notwendig.

Welche Ansätze zur Verbesserung dieser Situation sind denkbar? Maßnahmen dazu sind auf allen Ebenen und bei allen Beteiligten anzustrengen:

- Intensivierung der Ausbildung im Bereich der Ergonomie
- Steigerung sowohl der Anzahl und Qualität von Spezialisten als auch der Kenntnisse bei Managern, Ingenieuren, Medizinnern und Designern allgemein
- Aufklärungsarbeit, um den Stellenwert der Ergonomie im Bewusstsein der Bevölkerung als Nutzer und Kunden auszubauen
- Erhöhung der produktbezogenen Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten
- Intensivierung der Zusammenarbeit innerhalb der Industrie und mit praxisorientierten Hochschulen
- Stärkung des Angebotes an kompetenten freien Dienstleistern im Bereich Ergonomie
- Verstärkung des Fortbildungsangebotes für Praktiker in der Ergonomie .

Dem Praktiker wie dem Theoretiker muss bewusst sein, dass speziell die Ergonomie nicht einem Selbstzweck dienen darf. Sie hat vielmehr einzig den

Sinn, das Zusammenspiel von Mensch und Maschine im täglichen Leben zu optimieren.

Wir alle haben es also in der Hand, die Lebensqualität im Umgang mit technischen Hilfsmitteln weiter zu steigern.

Quellen:

W. Hacker, „Arbeitstätigkeiten und Mensch-Maschine-Systeme:
Welche Arbeitstätigkeiten?“,

3. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme Berlin 1999

A.H. Maslow, „Motivation und Persönlichkeit“, Freiburg i.Br. 1978

H. Bubb, „Ergonomie in Mensch-Maschine Systemen“, Tagungsbeitrag HdT
Essen 1995

Statistisches Bundesamt Wiesbaden (diverse Tabellen)

Deutsche Shell AG, „Mehr Autos – weniger Emissionen“, 1999

Verband Deutscher Automobilindustrie, „Tatsachen und Zahlen“, 1999

Gilgenrainer, „Untersuchung des Einstiegsvorganges am PKW“,
Diplomarbeit LfE 1997

AUDI AG, „Audi executive summary NCBS Germany 99“,
vertrauliche Studie 1999

Komfortuntersuchungen aus der Anthropometrie

*Dr.-Ing. Ernst Assmann, Sonja Hermann
BMW AG, München*

Einleitung

Komfortfragestellungen sind von besonderem Interesse in der Ergonomie. Dies gilt besonders für die Produktergonomie. Laut Pheasant (1998) ist Komfort neben Leistungsfähigkeit, Gesundheit und Sicherheit ein Kriterium, das bestimmt, ob ein Designprozess als erfolgreich angesehen wird. Das Duden Fremdwörterbuch (1990) erläutert den Komfortbegriff mit „Komfort ist Annehmlichkeit, Bequemlichkeit und luxuriöse Ausstattung“. Hertzberg (1958) versteht unter Komfort „das Nichtvorhandensein von Diskomfort“. Diese kurze aber pragmatische Übersetzung des Begriffs macht deutlich, wie notwendig die wissenschaftliche Betätigung auf diesem Gebiet ist. Aus der Forschung sind bisher deutlich mehr Erkenntnisse über die Grenzen der menschlichen Leistungsfähigkeit vorhanden, als über praxisnah umsetzbare Ergebnisse auf dem Gebiet des Komforts. Diese Tatsache kommt zweifelsohne dem Tätigkeitsbereich der Arbeitswissenschaft entgegen. Für die Produktgestaltung zeigt sich jedoch die Notwendigkeit, möglichst viele und gut abgesicherte Erkenntnisse über den Zusammenhang von Produkteigenschaften und menschlichen Komfortempfindungen zu haben.

Die verschiedenen Komfortansprüche im Hinblick auf mechanische Schwingungen, Geruch, Beleuchtung, Lärm, Klima und anthropometrischer Gestaltung können nach Krist in einer Pyramide angeordnet werden (Seidl, Krist, Geuss 1995). Die relative Position ergibt sich aus einer Befragung von Versuchspersonen. Dabei wurde von der Hypothese ausgegangen, dass diejenigen Komfortparameter, die am häufigsten genannt wurden, weniger gut erfüllt sind und deshalb in der Pyramide auch weiter oben angesiedelt sein müssen. Der Parameter Anthropometrie ist nach dieser Erhebung ganz oben zu finden, also gemäß der Hypothese am wenigsten erfüllt.

Im folgenden werden exemplarisch zwei Untersuchungen aus dem Bereich der Anthropometrie betrachtet, die entweder unmittelbar in die praktische Anwendung eingegangen sind oder kurz davor stehen. Zwei weitere Erhebungen befinden sich zur Zeit in der Durchführung.

RAMSIS Komfortmodell

RAMSIS) ist ein CAD Tool zur Auslegung, Gestaltung und Überprüfung von Fahrzeugkonzepten in der frühen Phase der Automobilentwicklung. Es wurde im Auftrag der deutschen Automobilindustrie entwickelt und wird inzwischen auch von grossen Teilen der internationalen Industrie verwendet. In Gegensatz zu anderen Menschmodellen verfügt Ramsis über ein mathematisches Haltungsmodell, das die Vorhersage einer durchschnittlichen wahrscheinlichen Körperhaltung eines Insassen erlaubt.

Diese Haltungsprognose hängt dabei sowohl von den anthropometrischen Eigenschaften der Person, als auch von den Gegebenheiten des Fahrzeugkonzeptes ab. Gleichzeitig mit der Entwicklung dieses Haltungsmodells wurde ein Komfortmodell aufgestellt, das es erlauben sollte, die gefundenen Haltungen hinsichtlich des Komforts zu beurteilen. Der objektive Parameter, der mit den subjektiven Aussagen korreliert wurde, war die Haltung der Versuchspersonen.

Diese mussten in drei verschiedene Sitzpositionen (sportlich, mittel und hoch) in einem Fahrsimulator eine virtuelle Fahraufgabe absolvieren. Ihre jeweilige Haltung wurde aufgenommen und die Versuchsperson wurden nach ihrem subjektiven Diskomfortempfinden bezüglich einzelner Körperteile, wie Nacken, Arm rechts/links, Bein rechts/links etc. befragt. In einer weiteren Versuchsreihe wurde für die mittlere Fahrzeugauslegung der Zeitanteil des Komfortempfindens untersucht. Korrelationsberechnungen der Komfortangaben für die verschiedenen Körperteile zeigten, dass die Komfortbewertungen an den verschiedenen Körperteilen nicht unabhängig voneinander sind. Deswegen wurden Regressionsrechnungen durchgeführt und damit die Zusammenhänge zwischen den Körperwinkeln und den Komfortfunktionen der einzelnen Körperteile bestimmt. Letztendlich münden diese Komfortfunktionen in ein Analyse-Tool, das in das Programm RAMSIS integriert ist. Die Haltung, die in einer RAMSIS Animation gefunden wurde, kann hiermit sowohl die einzelnen Körperteile, als auch den Gesamtkomfort betreffend, auf einer achtstufigen Skala bewertet werden. Die praktische Anwendung zeigt, dass nur relative Aussagen möglich sind. So können z.B. zwei oder mehrere Lenkradpositionen bezüglich des Komforts miteinander verglichen werden. Absolute Aussagen sind, wie in der Arbeit dargelegt, nicht möglich. Darüber hinaus wird ein Unterschied von mindestens einer Bewertungsstufe zwischen zwei Haltungen als notwendig angesehen, um die beiden Haltungen bezüglich des Komforts als "verschieden" zu betrachten.

In einer weiteren Arbeit zu diesem Thema hat Estermann (1999) das subjektive Komfortempfinden von Versuchspersonen in Abhängigkeit von der Körperhaltung, den Gelenkwinkelmomenten und der Sitzdruckverteilung untersucht. Hier wurden die Versuche unter realen Fahrbedingungen im öffentlichen Strassenverkehr durchgeführt. Die Probanden nahmen jeweils ihre individuelle Optimalhaltung ein und eine vorgegebenen Haltung, die entweder aufrechter oder

flacher als die individuelle war. Diese beiden Versuchsdurchläufe dauerten jeweils zwei Stunden. Im Anschluss an die Versuchsfahrten wurden die Schnittstellenkräfte und die Sitzdruckverteilung gemessen. In einer dritten Versuchsreihe wurde das Komfortempfinden bei einer mehrstündigen ununterbrochenen Fahrt gemessen. Auch bei dieser Arbeit wurde das subjektive Empfinden durch Fragebögen erfasst und auch hier wurde nach dem Diskomfort bezüglich einzelner Körperteile gefragt.

Ein interessantes Ergebnis dieser Arbeit ist, dass bei dem verwendeten Sitz kein Zusammenhang der unterschiedlichen Sitzdruckverteilungen mit dem subjektiven Komfortempfinden gefunden wurde. Dies liegt sicher an dem sehr komfortablen und in vielerlei Hinsicht verstellbaren Sitz. Das Ergebnis gibt aber auch einen Hinweis auf den für ein detailliertes Experiment des Sitzkomforts notwendigen Umfang der in der Untersuchung zu berücksichtigenden Sitze. Da die Entwicklung der Fahrzeugsitze in allen Automobilfirmen dank der intensiven Forschung einen sehr hohen Stand erreicht hat, ist es notwendig, sehr unterschiedlich konzipierte Sitze zu untersuchen, um überhaupt einen messbaren Effekt zu erhalten. Auch Krist (Seidl, Krist, Geuss 1995) hatte in ihrer Arbeit festgestellt, dass die Versuchspersonen ihre Aussagen um so zuverlässiger machen konnten, je geringer der empfundene Komfort war. Die Ergebnisse von Estermann führen letztlich zu neuen Komfortgleichungen, mit denen sowohl ein Zusammenhang des Empfindens für ein Körperteil mit den verschiedenen Gelenkwinkeln, als auch eine zeitliche Korrelation beschrieben wird. Die Gelenkwinkel gehen dabei nicht absolut, sondern als Differenz zu den Optimalwinkeln ein. Diese werden wiederum aus den Minima der die Diskomfortänderung beschreibenden Funktion bestimmt wird (Bild 1).

Es gibt jeweils zwei Gleichungen, eine für Fahrzeiten bis zu 240 Minuten und eine für längere Fahrten. Bei der kürzeren Fahrzeit steigt nach der Prognose das Diskomfortempfinden mit der Zeit an, danach ist der Zeitanteil eine Konstante. Diese neuen Komfortfunktionen werden in den RAMSIS integriert und in die praktische Anwendung übernommen

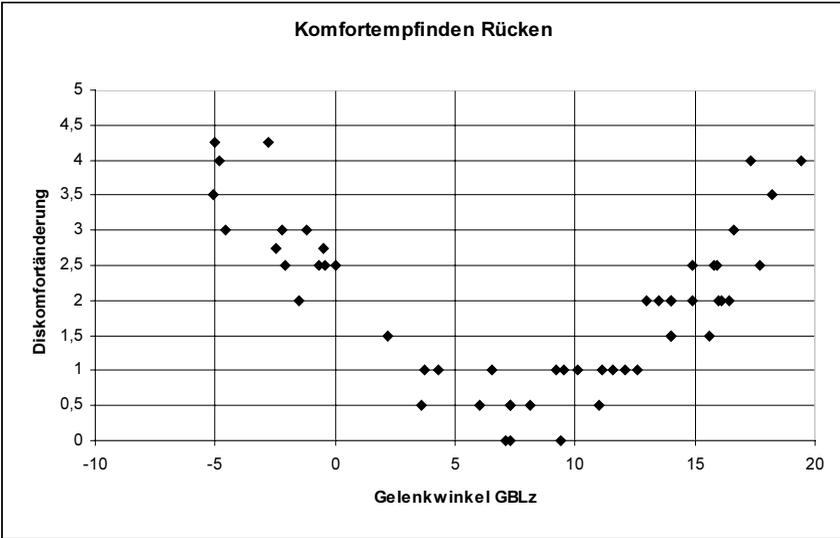


Bild 1: Diskomfortänderung Rücken in Abhängigkeit des z-Gelenkwinkels Brust-Lenden-Gelenk, Estermann 1999

Sitzkomfort

Ein nach wie vor nur unbefriedigend gelöstes Problem ist die Modellierung des Kontaktes eines Menschmodells mit dem Sitz. Bislang besteht die Vorgehensweise darin, dass der Hüftgelenkpunkt des RAMSIS mit einem definierten Offset in das H-Punkt Verstellfeld platziert wird. Der notwendige Offset wurde für verschiedene Sitze experimentell bestimmt. Es zeigt sich, dass diese Abweichung von Sitz zu Sitz sehr unterschiedlich sein kann. Somit kann das Einsitzen in noch nicht vermessene Sitze nicht hinreichend genau vorhergesagt werden. Darüber hinaus ist der Kontakt zur Sitzfläche und besonders der Sitzlehne derzeit nicht beschreibbar, so dass bei einer RAMSIS Simulation zwar die Position des Rückens des Menschmodells vorliegt, jedoch nicht die Position der Sitzlehne.

Einen Lösungsansatz bietet der Experimentalstuhl, der derzeit an der Technischen Universität München am Lehrstuhl für Ergonomie getestet wird. Sitzfläche und Sitzlehne bestehen aus neun Reihen, die wiederum aus neun Positionierungseinheiten zusammengesetzt sind. (Bild 2)

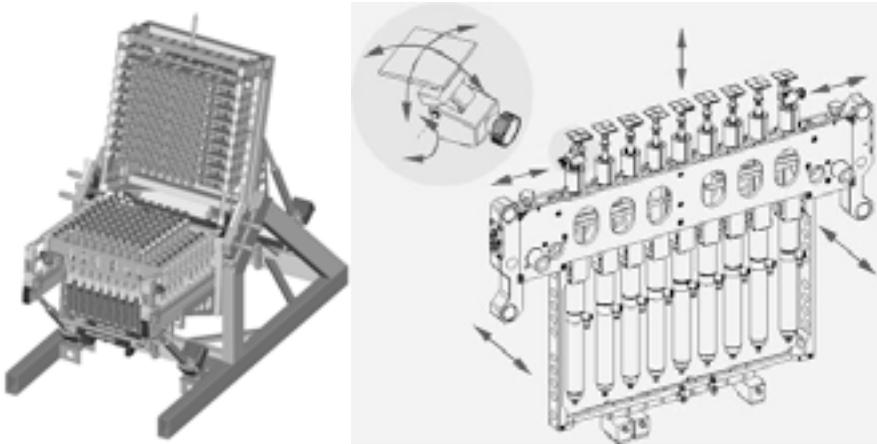


Bild 2: Mechanischer Aufbau des Experimentalstuhls, Hartung, 2000

Jede Positioniereinheit lässt sich individuell als Feder programmieren. Mit dieser Einrichtung ist es möglich bestehende Sitze zu vermessen. Dazu wird der Experimentalstuhl definiert auf den zu vermessenden Sitz gedrückt und sowohl die Form als auch die Federeigenschaften ortsabhängig gemessen. Anschließend lässt sich einerseits der vermessene Sitz nachbilden und die Einsinkprofile von Versuchspersonen bestimmen. Andererseits kann durch eine systematische Veränderung von Form und Härteverteilung der Sitzkomfort auch noch nicht existierender Sitze simuliert werden. Dadurch wird ein entscheidender Schritt in Richtung der realistischen Simulation einer eingesessenen Person getan. Durch eine gleichzeitig durchzuführende Befragung der Versuchspersonen zu ihrem subjektiven Komfortempfinden werden die Grundlagen für ein Sitzkomfortmodell geschaffen. Dabei ist durch die Vermessung der Sitzhaltung, ähnlich dem in den oben geschilderten Untersuchungen verwendeten Verfahren, der Messanteil der Haltung und der Anteil des Sitzkontaktes an dem Komfortempfinden unterscheidbar.

RAMSIS Dynamisch

Das ursprüngliche RAMSIS Haltungsmodell war zunächst nur für die statische Fahrerhaltung in einem Pkw ausgelegt. Derzeit verfügt RAMSIS auch über statische Haltungsmodelle für Motorradfahren, Lkw, Formel 1 und den Fond. In einer ersten Stufe des Projektes RAMSIS Dynamisch wurden Bewegungen des Hand-Arm-Systems und der Beine modelliert. D.h. der Griff des Fahrers nach dem Handschuhfach oder das Umsteigen von Gaspedal auf die Bremse kann in einer virtuellen Simulation untersucht werden. In dem nächsten Schritt soll der

Ein- und Ausstiegsvorgang untersucht und modelliert werden. Dazu werden Versuchspersonen mit Markern versehen und mit einem Laserscanner vermessen. Aus den Scandaten werden individuelle RAMSIS Modelle erstellt, die mit den Markerpositionen versehen sind. In einem Versuchsaufbau wird der Ein- und Ausstiegsvorgang der Versuchspersonen mit einem optischen Trackingsystem vermessen.

Die Bewegung der Marker im Raum liefern Trajektorien an die der individuelle RAMSIS angekoppelt werden kann. Der Ein- oder Ausstiegsversuch der Versuchspersonen wird so durch sein Menschmodell nachvollzogen. Da die Gelenkwinkel des RAMSIS zu jedem Zeitpunkt bekannt sind, erhält man neben der Veränderung der Gliedmaßen über Ort und Zeit auch die Veränderung der Winkel über der Zeit. Eine systematische Variation des Versuchsaufbaus hinsichtlich der Lage der A-Säule, der Dachhöhe, der Schwellerbreite und des Türöffnungswinkels etc. liefert die Daten für ein Ein-/Ausstiegsmodell.

Besonderes Interesse liegt hierbei auf den individuellen Bewegungsstrategien und den äußeren Bedingungen unter denen diese verändert werden. Genauso wichtig sind jedoch die Komfortempfindungen. Die Versuchspersonen werden deshalb parallel nach ihrem Diskomfortempfinden befragt. Eine besondere Herausforderung ist es, mögliche Erwartungshaltungen der Versuchspersonen nachzustellen. Das Einsteigen in einen flachen Sportwagen ist sicher grundsätzlich weniger komfortabel als in eine Limousine. Man kann jedoch vermuten, dass die subjektiven Diskomfortaussagen davon nicht betroffen sind, sondern dass die Personen je nach Fahrzeugtyp und -image unterschiedliche Komfortniveaus akzeptieren.

Zusammenfassung

An dem Beispiel von vier abgeschlossenen oder in Durchführung befindlichen Komfortuntersuchungen aus dem Bereich der Anthropometrie wurde gezeigt, in welchen Fragestellungen die Ergonomen in der Produktentwicklung Erkenntnisse über den Zusammenhang zwischen Komfortempfinden und Fahrzeugparametern benötigen. Diese Erkenntnisse müssen in aller Regel in virtueller Form anwendbar sein, da die wesentliche Festlegung der Produkte in der Konzeptphase stattfindet und damit weitgehend virtuell. Alle Methoden, die Komfortaussagen erlauben, werden mit hoher Wahrscheinlichkeit unmittelbar in der Praxis eingesetzt. Auch wenn hier nur Beispiele aus der Anthropometrie genannt wurden, gilt dies für alle Bereiche der Ergonomie. Als ein besonders vielversprechendes Beispiel außerhalb der geometrischen Produktgestaltung sei deshalb der kognitive Bereich der Mensch-Maschine-Schnittstelle angeführt.

Literatur

- Estermann, S.: Komfortprognose für ein CAD-Menschmodell auf der Basis realer Fahrversuche. Dissertation am Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München, 1999
- Duden: Band 5, Das Fremdwörterbuch, Dudenverlag, Mannheim, 1990
- Hartung, J.; Balzlat, J.; Hudelmaier, J.; Bubb, H.: Ein Versuchsaufbau zur Parametrisierung und Simulation von Polstersitzen. Bericht zum 46. Arbeitswissenschaftlicher Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, Dortmund, 2000
- Hertzberg, H.T.E.: zitiert nach Estermann: Seat Comfort. In: Hansen, R. (Hrsg.), Annotated Bibliography of Applied Physical Anthropology in Human Engineering. Wright Air Development Center, 1958
- Pheasant, S.: Anthropometrics and the design of workspaces. In: Wilson, J.R., Corlett, E.N. (Eds)(1998). Evaluation of human work, a practical ergonomics methodology. 2nd ed. (London: Taylor and Francis)
- Seidl, A; Krist, R; Geuß, H: RAMSIS - ein System zur Erhebung und Vermessung dreidimensionaler Körperhaltungen von Menschen zur ergonomischen Auslegung von Bedien- und Sitzplätzen im Auto. Forschungsvereinigung Automobiltechnik Schriftenreihe Nr. 123, Frankfurt: FAT, 1995

Gestaltung von Ergonomietools zur prospektiven Komfortanalyse

*Dr. Andreas Seidl
tecmath AG, Kaiserslautern*

Ausgangssituation

Die Entwicklung innovativer und hochwertiger Produkte wird zunehmend von dem Zwang zur Entwicklungszeitverkürzung (time to market) bei gleichzeitig erhöhten Anforderungen an die Produktqualität geprägt. Dies kann aber nur durch die Bereitstellung und den Einsatz neuester, prozessübergreifender Technologien, Werkzeuge und Methoden erreicht werden. Durch die damit einhergehende Virtualisierung der Produktentstehung fordert die Industrie auch die vollständige Integration des Menschen in diesen gesamten Entwicklungsprozess. Arbeitswissenschaftliches und ergonomisches Know-how muss zu jeder Zeit und an jedem Ort eines Unternehmens zur Verfügung stehen.

Klassische Fachabteilungen werden sich in Zukunft von einer ausführenden Institution in die Rolle des standardisierenden Kompetenzcenters wandeln müssen. Grundvoraussetzung dafür ist aber die Verfügbarkeit von leistungsfähigen Softwarewerkzeugen, in die das Know-how und damit die Produktphilosophie eines Unternehmens integriert sind. Langjährige Erfahrungen in Ergonomie, Komfort und Sicherheit der eigenen und der Konkurrenzprodukte kombiniert mit internationalen Standards und Vorschriften werden so in prozessübergreifenden Systemen überall und jederzeit innerhalb eines Unternehmens zugänglich.

Die optimale Plattform für solch übergreifende Ergonomiewerkzeuge stellen 3D-Menschmodelle dar. Sie schaffen die Grundlage für die Simulation der Morphologie, der Biomechanik, der Dynamik sowie der psychischen und der physischen Eigenschaften des Menschen (Seidl, 1997). Solche Systeme sind heute schon fester Bestandteil in der Produktentwicklung von Unternehmen. So nutzen fast 70% der Automobilunternehmen weltweit das Menschmodell RAMSIS.

Neben der globalen Verfügbarkeit stellen die Unternehmen dabei höchste funktionale Anforderungen an solche Lösungen. Bei einer Vielzahl der heutigen Produkte werden Optimierungen auf höchstem Qualitätsniveau durchgeführt. Beispielsweise kann heute jeder Automobilhersteller den Innenraum eines Fahrzeugs und die Positionierung der Bedienteile im Fahrzeuginnenraum auf hohem Qualitätsniveau entwickeln: der Unterschied zwischen einer guten und einer sehr guten ergonomischen Fahrzeuggestaltung bewegt sich lediglich im Zentimeterbereich.

Heute reicht es nicht mehr aus, nur die Geometrie des Innenraumes zu berücksichtigen. Vielmehr müssen alle objektiven Belastungsfaktoren im Zusammenspiel mit den beim Anwender hervorgerufenen Beanspruchungen integrativ betrachtet werden. Die Ausprägung mehrdimensional zusammengesetzter, individuell wahrgenommener Beanspruchung wird typischerweise als Komfort bezeichnet. Die Untersuchung, d.h. die Analyse und die Simulation des Komforts werden größte Bedeutung für die zukünftige Grundlagenentwicklung in der Ergonomie und Arbeitswissenschaft bekommen.

Was ist Komfort ?

Was ist eigentlich Komfort ? Im allgemeinen Sprachgebrauch dient dieser Begriff unterschiedlichen Definitionen: Ausprägungen von Behaglichkeit, Luxus, Bequemlichkeit oder Zufriedenheit werden damit beschrieben. Komfort wird typischerweise als integrativer Begriff benutzt, eine Differenzierung nach Ursachen eines Diskomforts liefert inkonsistente Ergebnisse. Beispielsweise wird der Komfort eines Fahrzeuges als negativ beurteilt, wenn nur ein Einflussfaktor (z.B. Lärmpegel) negativ empfunden wird.

Damit stellt sich die Frage: Ist Komfort überhaupt definierbar ? Welche physikalischen Faktoren beeinflussen eine Komfортаussage, welchen Einfluss hat die persönliche Einstellung und Erfahrung auf den Gesamtkomfort ? Gibt es Modelle, mit deren Hilfe Komfort „greifbar“ und analysierbar gemacht werden kann ?

Als erstes gilt es, die Frage nach der Definition von Komfort zu beantworten. Die Literatur bietet unterschiedliche Ansätze, die sich in zwei Aussagegruppen zusammenfassen lassen:

Komfort ist ein Zustand des Wohlfühlens (Osborne und Clarke, 1973). Eine ähnliche Definition verwenden Griffin (1995) und Reynolds (1993). Sie beschreiben Komfort als eine empirische Wahrnehmung eines Wohlfühlens. Produkt- und Umgebungsdesign können ein solches Wohlfühl hervorrufen. Dieser Definitionsansatz hat aber den Nachteil, dass das Vorhandensein von Wohlfühl beim Menschen kaum bewertbar ist.

Komfort ist die Abwesenheit von Diskomfort. Hertzberg (1958) suchte eine Definition, um Komfort quantitativ untersuchbar zu machen, „although we tend to speak of comfort and discomfort as if they were two states of consciousness, for testing purposes it is more realistic to consider that there is only one, discomfort.“ Gerade in der Sitzentwicklung hat sich diese Definition etabliert. Branton (1969), Corlett (1973) und Verbrugge (1990) weisen darauf hin, dass Komfort nicht in ein Produkt hinein entwickelt, sondern dass nur der Diskomfort vermieden werden kann. Unter dem Gesichtspunkt einer späteren Komfortsimulation ist dieser Ansatz vielversprechender, da das Auftreten von Diskomfort vom Menschen wahrgenommen wird und damit in Versuchen quantifiziert werden kann.

Im nächsten Schritt gilt es die Frage nach den Einflussgrößen und -faktoren auf den Komfort eines Individuums zu beantworten. Wie bereits eingangs erwähnt ist Komfort als hochdimensionaler Gesamtvektor zu betrachten, der sich aus unterschiedliche Anteilen zusammensetzt. Richards (1980) definiert in seinem Ansatz einer Komforttheorie physikalische Faktoren, soziale Faktoren und Situationsfaktoren.

Physikalische Faktoren definieren sich über messbare Eingangsgrößen. Diese werden von den Sinneskanälen des Menschen aufgenommen und entsprechend seiner Erfahrung bewertet. Die wichtigsten physikalischen Faktoren sind Klima, Lärm, Schwingung, Druck und geometrische Abmessungen. Daneben spielen Faktoren eine besondere Rolle, die überwiegend aus der Erwartungshaltung (dem inneren Modell) des Benutzers generiert werden. Beispielsweise ist der Bedienkomfort ein zunehmend wichtiger Baustein des Gesamtkomforts.

Soziale Faktoren beschreiben die Beziehung zu anderen Menschen, die eine gleiche Aufgabe erfüllen müssen (z.B. Mitreisende in einem Auto). Dazu zählen auch Qualitätskriterien oder Komforteindrücke, die durch den Kulturkreis definiert werden.

Unter **Situationsfaktoren** schließlich sind Einflüsse zu verstehen, die sich durch die Benutzung selbst generieren. Der wichtigste Situationsfaktor ist die Zeit- bzw. Nutzungsdauer, die das Komfortempfinden stark negativ beeinflussen kann. Aber auch die angebotene Informationsmenge pro Zeiteinheit führt zu einer Diskomfortempfindung. Gerade bei komplexen Führungsaufgaben, z.B. im dichten Stadtverkehr und bei schlechter Orientierung (fehlendes inneres Modell), kann das Informationsüberangebot den stärksten Einfluss auf den Diskomfort haben, der sich dann z.B. im Übersehen von Ampeln oder Wegweisern äußert.

Darauf aufbauend leitet Krist (1993) ein **kognitionspsychologisches Komfortmodell** ab (siehe Bild 1). Die Grundlage dafür ist das Belastungs-Beanspruchungs-Modell (Bokranz und Landau, 1991). Sensorische Speicher legen die physikalischen Größen („Erlebtes“) kurzfristig ab und erlauben den Mustervergleich mit den inneren Modellen. Bei der Feststellung von größeren Differenzen werden diese in das Kurzzeitgedächtnis weitergeleitet und damit bewusst gemacht. Dieses Komfortmodell unterstützt nicht nur die Diskomfortthese von Hertzberg (1958), wonach ein komfortabler Zustand nicht bewusst gemacht werden kann, sondern kann auch als Grundlage für die Erklärung und das Zusammenspiel der unterschiedlichen Einflussfaktoren dienen.

Neben den physikalischen und den sozialen Faktoren spielt der Situationsfaktor Zeit eine wesentliche Rolle. Auch dazu kann das Belastungs-Beanspruchungs-Modell herangezogen werden. Der Potenzansatz der Psychophysik erklärt den Umstand mathematisch – angewendet auf die wahrnehmungsspezifische bewertete Intensität (Belastungshöhe) und auf die Expositionszeit (Belastungsdauer T) ergibt sich in doppeltlogarithmischer Darstellung eine abfallende Gerade

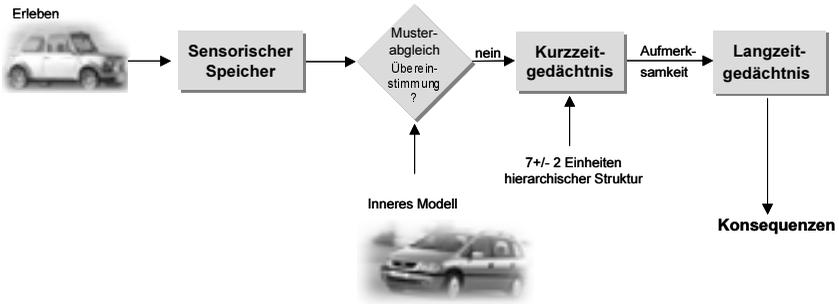


Bild 1: Das kognitionspsychologische Komfortmodell (Krist 1993).

(Bild 2). Die unterste Grenze stellt die Komfortgrenze dar. Damit lässt sich eine einfache Erfahrung aus dem Alltag erklären – ein kurzzeitiges Überschreiten einer höheren Belastungsintensität führt noch zu einem positiven Komfortwert, die gleiche Belastungsintensität über einen längeren Zeitraum wird dagegen mit einem negativen Komfortwert belegt.

Die einzelnen Faktoren stehen zusätzlich untereinander in Wechselwirkung. Krist (1993) erklärt die Mehrdimensionalität des Komforts über die Einordnung der einzelnen Faktoren in eine Hierarchie. Diese Komforthierarchie orientiert sich an der Bedürfnispyramide von Maslow (1978). Danach wird davon ausgegangen, dass die unterschiedlichen Faktoren vom Menschen in eine qualitative Reihenfolge gebracht werden. Griffin (1995) diskutiert in seinen Arbeiten den Einfluss der einzelnen Effekte untereinander und leitet ein Modell zu quantitativen Skalierbarkeit der physikalischen Komfortfaktoren ab. Er weist darauf hin, dass

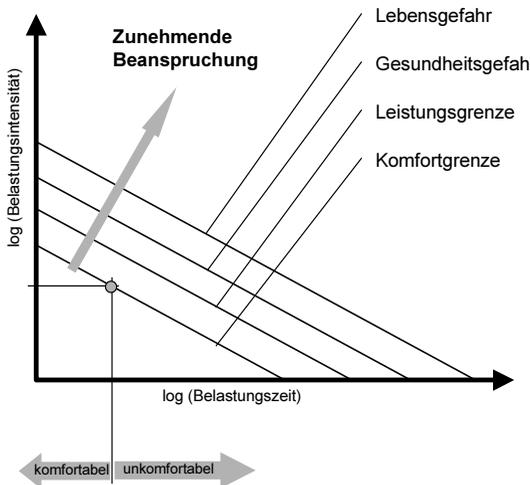


Bild 2: Zusammenhang zwischen bewerteter Belastung, Belastungshöhe und Expositionszeit

ein direkter Zusammenhang zwischen stimulierendem physikalischen Faktor und individuellem Komfort nicht direkt ableitbar ist. Jedes Individuum gewichtet den physikalischen Eingangsfaktor unterschiedlich und nichtlinear. Diese Erkenntnis wird durch das kognitionspsychologische Komfortmodell bestätigt, da das innere Modell des Probanden (das sich wiederum aus einer Vielzahl von sozialen und Situationsfaktoren zusammensetzt) unterschiedliche Bewertungen beim Musterabgleich hervorruft. In Bild 3 ist das von Griffin (1995) entwickelte Kombinationsmodell von Eingangsfaktoren am Beispiel der physikalischen Größen Geräusch, Vibration und Klima dargestellt. Zunächst werden die Faktoren einzeln gewichtet und linearisiert, erst danach erfolgt die Summation zum Gesamtdiskomfortwert.

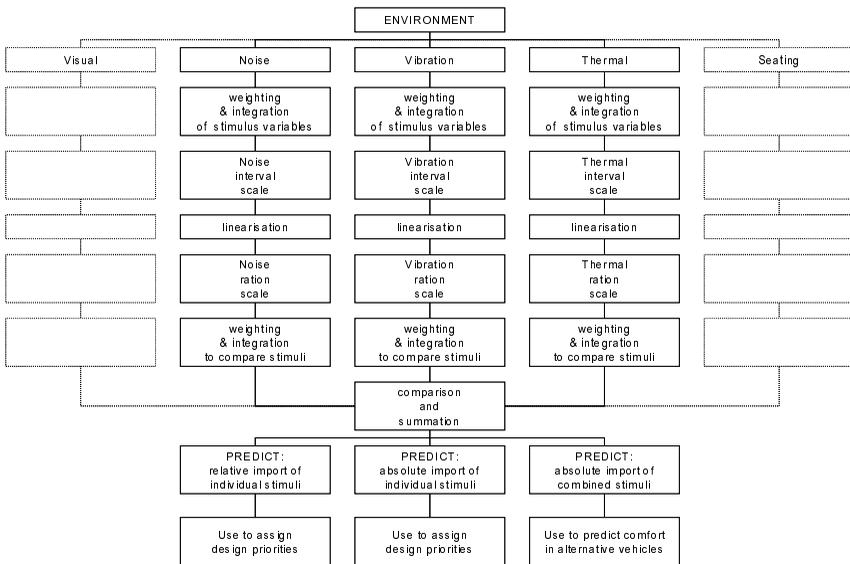


Bild 3: Diskomfortmodell zur Kombination von unterschiedlichen physikalischen Größen

Experimentelle Ansätze zur Komfortanalyse

Besteht auf Grundlage der vorgestellten Definitionen die Möglichkeit, Komfort bzw. Diskomfort zu messen? Die physikalischen Eingangsgrößen sind mit standardisierten Meßmethoden quantitativ zu bestimmen, das Muster des inneren Modells des Probanden kann aber weder in seine Einzelkomponenten zerlegt noch quantifiziert werden. Als Lösung hat sich die Befragung des Probanden nach dem Vorhandensein von Diskomfort mit Hilfe von geeigneten psychophysischen Fragebögen bewährt.

Die wichtigsten psychologischen Messinstrumente sind Ratingverfahren zum allgemeinen Komfort und zum Körperteilkomfort. Darüber hinaus können Ratings auf numerischen Skalen, Checklist-Rating, Paar-Vergleiche und direkte Rangreihenbildung zum Einsatz kommen. Am nachfolgenden Beispiel des Ergonomiewerkzeugs RAMSIS soll ein experimenteller Ansatz und möglicher Lösungsweg für Komfortuntersuchungen dargestellt werden.

Der Ablauf der Komfortuntersuchung, die Datenanalyse und die daraus resultierende Simulation in RAMSIS gestalten sich wie folgt: Aufbauend auf dem kognitionspsychologischen Komfortmodell wurde im Speziellen eine Komfortsimulation für Körperhaltungen in Personenkraftwagen entwickelt. Für die Untersuchungen wurde eigens ein spezieller Fahrerstand entwickelt, auf dem die Versuchspersonen durch die Variation der Bedienelementpositionen in unterschiedliche Körperhaltungen gezwungen wurden. Die daraus resultierenden Körperhaltungen wurden mit einem berührungslosen Haltungsmeßsystem vermessen (Seidl, 1994).

Simultan zur Messung der dreidimensionalen Körperhaltung wurde das Komfortempfinden der Versuchspersonen mittels psychologischer Fragebogen erhoben (Rating mit verbalen Ankerpunkten und Rating über Body Map). Die dreidimensionalen Körperwinkel wurden mit den Diskomfortaussagen statistisch verknüpft. Dabei kamen multiple Regressionsanalysen, multidimensionale Korrelationsanalysen (nach Pearson) und zur Prüfung der Unterschiedshypothesen der Friedman-Test zur Anwendung.

Zur Bestimmung der Abhängigkeit des Diskomforts von der Belastungsdauer, absolvierte eine reduzierte Auswahl von Versuchspersonen eine Serie von Langzeitversuchen (Fahrprogramm über vier Stunden), bei denen Komfort- und Körperhaltungsveränderung über größere Zeiträume untersucht wurden. Dieser Lösungsansatz wurde in den letzten Jahren von verschiedenen Autoren in ähnlicher Weise aufgegriffen und fortgeführt (Herrler, 1994; Kolling, 1996).

Komfortanalysen in 3D-Menschmodellen

Wie können nun solche Komfortuntersuchungen für den Anwender mit Hilfe eines Menschmodells verfügbar gemacht werden? Ein effizientes Werkzeug muss die Möglichkeit schaffen, unterschiedliche Körperhaltungen, die sich aus den verschiedenen Aufgaben ableiten, unter dem Gesichtspunkt des Komforts (in dem aktuellen Beispiel des Haltungskomforts) zu beurteilen. Damit kann indirekt sofort die Positionierung eines Bedienelementes oder der Verstellbereich einer Komponente überprüft werden.

Bei RAMSIS wurde daher die Haltungs- und Komfortsimulation kombiniert. Ein Optimierungsverfahren sorgt für eine korrekte Errechnung der Körperhaltung. Der Konstrukteur beschreibt nur noch die von RAMSIS zu simulierende Tätigkeit, indem er interaktiv die eigentliche Aufgabe definiert (z.B. Hände ans Lenkrad, Füße an die Pedalerie ...), anschließend wird die Körperhaltung automatisch berechnet.

Für einfache Aufgabenstellungen erfolgt die Haltungsberechnung in Echtzeit, komplexere Aufgaben benötigen etwas Rechenzeit. Die Haltungssimulation kennt auch die Beweglichkeit unterschiedlicher Benutzergruppen (z.B. von älteren Personen). Aufwendige Zusatzbedingungen wie z.B. das Vermeiden von Körperteildurchdringungen können ebenfalls berücksichtigt werden. Damit werden die Analyseergebnisse auf ein neues Qualitätsniveau gehoben und öffnen so die Tür zu wesentlich verfeinerten Aussagen.

Das nachgeschaltete Komfortmodell bewertet die resultierende Körperhaltung hinsichtlich des zu erwartenden Körperteil- und Gesamtkomforts. Die Ergebnisse der Komfortuntersuchung sind in Form einer multiplen Regression auf den aus der Aufgabe resultierenden Gelenkwinkeln aufgesetzt. Im ersten Schritt werden die Körperteilkomfortwerte, im zweiten Schritt der Gesamtkomfort der Körperhaltung bestimmt. In Bild 4 ist eine Körperhaltung im virtuellen Fahrzeug und der daraus errechnete Haltungsdiskomfort dargestellt. Damit ist der Konstrukteur nun in der Lage, Variationen der Umgebung (mit der dazu notwendigen Haltungsänderung) hinsichtlich ihres später bei den Nutzern zu erwartenden Effektes zu simulieren und sofort quantitativ zu beurteilen.

Der Untersuchungs- und Simulationsaufwand um die Korrelationen zwischen den physikalischen Eingangsgrößen und den Diskomfortaussagen abzuleiten, ist nicht nur auf der Untersuchungsseite sehr aufwendig. Auch die Simulations- und Analysemethoden im Ergonomiewerkzeug sind sehr rechenzeitintensiv, da typischerweise hochdimensionale Optimierungsverfahren zum Einsatz kommen.

Für bestimmte Aufgabenstellungen, z.B. einer Montagesimulation genügen bereits qualitative Aussagen um eine erste Schätzung über die Gestaltung des Arbeitsplatzes abgeben zu können. Auch ist die für den Konstrukteur zur Verfügung stehende Zeit für eine ergonomische Arbeitsplatzauslegung häufig



Bild 4: Die Diskomfortanalyse in RAMSIS

sehr kurz (z.B. stehen bei einer Fabrikplanung nur rund 25 Minuten für die vollständige Konstruktion eines manuellen Arbeitsplatzes zur Verfügung). Daher kommen für diesen Zweck typischerweise Komfortsimulationen zum Einsatz, deren Grundlagen intensive Literaturstudien und empirisches Know-how sind.

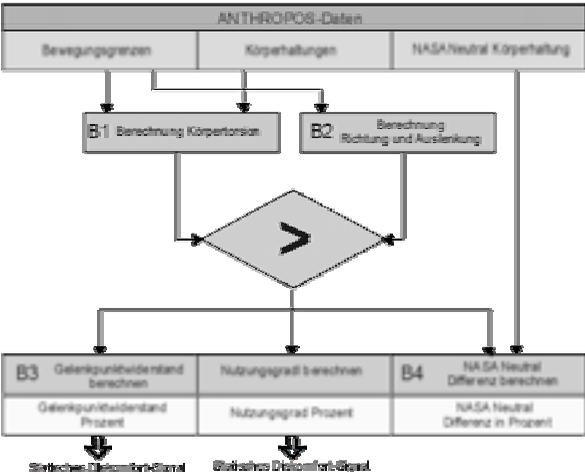


Bild 5: Diskomfortanalyse für Körperkräfte

In Bild 5 ist ein weiteres Verfahren zur Bewertung des Diskomforts von Körperkräften im Montagebereich dargestellt. In diesem Verfahren werden die physiologischen Haltungparameter (Bewegungsgrenzen, Neutralstellung im schwerelosen Zustand) mit den Körperhaltungen berechnet und zueinander in Beziehung gesetzt. Durch die Berücksichtigung des Gelenkpunktwiderstandes (Gegenkraft der Muskulatur durch die passive Auslenkung des Körperelementes) werden relative Diskomfortbewertungen für die einzelnen Gelenke und Körperelemente errechnet. In Bild 6 ist die grafische Umsetzung dieses Verfahren in einer Virtual Reality Umgebung dargestellt.



Bild 6: Umsetzung der Kraftdiskomfortanalyse in Virtual Reality

Leistungsfähigkeit, Grenzen und Wirtschaftlichkeit der Komfortsimulation

Komfortmodelle nehmen bei der Entwicklung hochwertiger Produkte eine immer wichtigere Rolle ein. Beispielsweise ist die geometrische Auslegung eines Fahrzeuginnenraumes heute bereits auf einem so hohen Niveau, dass eine Diskomfortbewertung für Körperhaltungen eine extreme Aussageschärfe besitzen muss, um überhaupt noch Verbesserungspotential bei der Anordnung der Bedienelemente ableiten zu können. Auf der anderen Seite kann die Diskomfortbeurteilung nur mit Hilfe psychophysischer Fragebögen erfolgen, sodass Grundlagenuntersuchungen mit hohem Probandenaufwand und damit hohen Entwicklungs- bzw. Forschungskosten verbunden sind.

Auf breiter Front existiert heute ein Bedarf an Komfortinformationen. In der Industrie können Fragen nach Schwingungs-, Klima-, Sitz- und Bedienkomfort mit Hilfe von Werkzeugen kaum oder nur sehr eingeschränkt beantwortet werden. Das Wissen steckt in den Köpfen einzelner Mitarbeiter oder externer Spezialisten. Die Integration dieses Know-hows, flankiert mit entsprechender Grundlagenforschung könnte der innovativen Produktgestaltung neue Impulse verleihen. Besonders wichtig erscheint in Zukunft auch die gleichzeitige mehrdimensionale Berücksichtigung der physikalischen Eingangsfaktoren. Dazu existieren lediglich Modellansätze, valide Methoden sind kaum zu erkennen.

Zur Lösung der anstehenden Probleme sind übergreifende Forschungsprojekte eine angemessene und attraktive Lösung. Tecmath entwickelt in Zusammenarbeit mit Automobilunternehmen und Forschungsinstituten derzeit neue Komfortmodelle für die Sitzsimulation; Lösungen für die Bedienbarkeit eines Fahrzeugs oder den Schwingungskomfort sind in Vorbereitung.

Die Grundvoraussetzung für den erfolgreichen Einsatz eines Computer-Menschmodells mit integrierter Komfortsimulation in einem Industrieunternehmen ist aber die gesicherte quantitative Aussage zur Wirtschaftlichkeit bzw. zum Kosteneinsparpotential.

Eine Analyse der Mercedes-Benz AG beim Einsatz von Menschmodellen in der Fabrikplanung ergab eine Amortisationszeit von rund drei Jahren und eine jährliche Einsparung von ca. 3,4 Mann-Monaten pro Arbeitsplatz. Die Siemens AG gibt für ihr Computer-Menschmodell CHAMP ein Einsparpotential von 40-50% an. Eine Analyse der BMW-AG für den Einsatz des Systems RAMSIS weist sogar ein Einsparpotential von rund 250% aus. Dies beruht auf der Tatsache, dass RAMSIS durch seine zielgerichtete Entwicklung eine Reduktion der in der Automobilindustrie bisher üblichen Konzeptaufbauten erlaubt. Bei einer vorsichtigen Schätzung kann über alle Computer-Menschmodellsysteme hinweg sicher ein Einsparpotential von 10-30% erreicht werden.

Darüber hinaus garantieren effiziente Komfortanalysemethoden in Verbindung mit 3D-Menschmodellen eine deutliche Erhöhung der Produktqualität. Und damit ist das wichtigste Ziel der Arbeitswissenschaft und der Ergonomie erreicht – wirtschaftliche Produkte für den Menschen menschengerechter und komfortabler zu machen !

Literatur

- Branton, P.: Behavior, body mechanics and discomfort. In Ergonomics, 12, Seite 316-327, 1969.
- Corlett, E. N.: Human factors in the design of manufacturing systems. In Human Factors, 15, Seite 105-110, 1973.

- Griffin M. J.: The ergonomics of vehicle comfort. In Proceedings of the 3rd International Conference of Vehicle Comfort and Ergonomics. March 29-31, Bologna, Italy. Paper No.95A1026, Seite 213-221, 1995.
- Herrler, M.: Validierung des 3D-Menschmodells RAMSIS mit Fahrversuchen in einem E38-Prototypenfahrzeug anhand einer Komfortuntersuchung und Fragebogenanalyse. Diplomarbeit an der TU-München und der BMW AG, München 1994.
- Hertzberg, H. T. E.: Seat comfort. In Annotated Bibliography of Applied Physical Anthropology in Human Engineering. WADC Technical Report 56-30, Whright Air Development Center, Whright-Patterson Air Force base, Appendix 1, Seite 297-300, Dayton, Ohio 1958.
- Kolling, J.: Validierung und Weiterentwicklung eines CAD-Menschmodells für die Fahrzeuggestaltung. Dissertation an der TU-München, München 1996.
- Krist, R.: Modellierung des Sitzkomforts – eine experimentelle Studie. Dissertation an der Katholischen Universität Eichstätt, 1993.
- Maslow, A. H.: Motivation und Persönlichkeit. Walter Verlag, Olten und Freiburg im Breisgau, 1978.
- Oborne, D.J. and Clarke, M.J.: The development of questionnaire surveys for the investigation of passenger comfort. Ergonomics, 16, 855-869, 1973.
- Reynolds, H. M.: Automotive seat design for sitting comfort. In Automotive Ergonomics, Seite 99-116, Talor&Francis 1993.
- Richards, L. G.: On the Psychology of Passenger Comfort. In Human Factors in Transport Research, Volume 2, Seite 15-23, Academic Press, London 1980.
- Seidl, A.: Computer-Menschmodelle in der Ergonomie. In Handbuch der Ergonomie, Teil 1, Kapitel 3.3.3, Carl Hanser Verlag, München und Wien 1997.
- Seidl, A.: Das Menschmodell RAMSIS – Analyse, Synthese und Simulation dreidimensionaler Körperhaltungen des Menschen. Dissertation an der TU-München, München 1994.
- Verbrugge, L. M.: Older adults and automotive seats. In report to General Motors an Biomechanically Compatible Automotive Seating, GM Research Lab, Seite 115-128, Michigan 1990.

Normatives Fahrerverhaltensmodell zur Vorhersage von Unfallhäufigkeiten

Dipl. Ing. G. Reichart
BMW AG, München

1. Einleitung

Die Verbesserung der Sicherheit im Straßenverkehr ist nach wie vor eine zentrale Aufgabe, der sich Verkehrspolitik, Wissenschaft und Industrie gleichermaßen annehmen müssen. Während auf dem Gebiet der passiven Sicherheit, d.h. der Minderung der Unfallfolgen, in den vergangenen Jahren deutliche Fortschritte erzielt wurden /Frank 2000/, gilt dies nicht in gleichem Maße für das Gebiet der aktiven Sicherheit, d. h. der Vermeidung von Unfällen /Bild 1/.

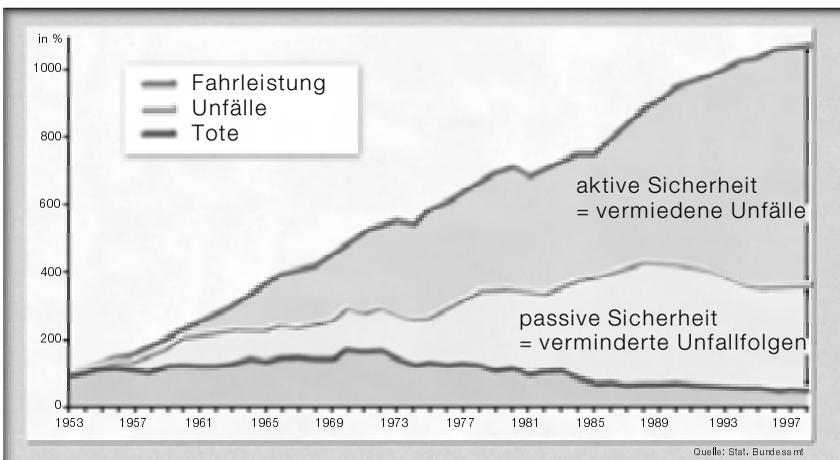


Bild 1: Erfolge von Verkehrssicherheitsmaßnahmen

Während die Unfallschwere gemessen in der Zahl der Verkehrstoten und Schwerverletzten trotz gestiegener Fahrzeuganzahlen deutlich rückläufig ist, wächst die Zahl der Unfälle annähernd proportional zum Fahrzeugbestand.

Maßnahmen der passiven Sicherheit, wie Airbags, Sicherheitsgurte, Verformungseigenschaften der Fahrzeugkarosserie, aber auch Verbesserungen des Rettungswesens und der medizinischen Versorgung, sind weitgehend ausgeschöpft. Eine weitere Erhöhung der Verkehrssicherheit lässt sich daher künftig vorwiegend durch die Verbesserung der aktiven Sicherheit erreichen. Dies

erfordert aber ein besseres Verständnis, der zu einem Unfall führenden Verhaltensweisen der Fahrer in der Vorphase von Unfällen.

Die traditionelle Unfallanalyse kann dies jedoch kaum leisten, da sie erst post factum einsetzt und in aller Regel Daten über die Vorphase der Unfälle nicht vorliegen. Hinzu kommt, dass Unfälle seltene Ereignisse mit sehr spezifischen Bedingungen darstellen, die eine systematische Auswertung für Fragen der aktiven Sicherheit kaum erlauben. Erheblich günstigere Möglichkeiten gezielt Daten im Feld oder Labor zu erheben, sind gegeben, wenn man Fehlhandlungen und daraus resultierende Verkehrskonflikte als Ausgangspunkt der Betrachtung wählt. Dies setzt jedoch voraus, dass der Fehlerbegriff so operationalisiert wird, dass er als Basis derartiger Datenerhebungen genutzt werden kann. Weiterhin muss gesichert sein, dass sich ein mehr als zufälliger Zusammenhang zwischen Fehlern, Verkehrskonflikten und Unfällen finden lässt.

Der vorliegende Betrag beschreibt einen Ansatz, der den Fehlerbegriff für verschiedene Fahraufgaben operationalisiert. Es wurden hierzu normative Modelle für akzeptable Verhaltensweisen bei definierten Fahraufgaben entwickelt. Das Überschreiten der Akzeptanzgrenzen definiert dann eine Fehlhandlung bei der jeweiligen Aufgabe. Es wird ferner ein Unfallentstehungsmodell als Fehlerbaummodell vorgestellt, das den Zusammenhang zwischen Fehlern, Verkehrskonflikten und Unfällen herstellt. Es konnte gezeigt werden, dass mit diesen Modellen das Unfallgeschehen für einige, wichtige Unfalltypen annähernd richtig prognostiziert werden kann. Die Fehlhandlungen selbst liefern Hinweise auf potentielle Verbesserungsmaßnahmen auf dem Gebiet der aktiven Sicherheit, die in ihrem Effekt auf die zu erwartenden Unfallhäufigkeiten abgeschätzt werden können.

2. Zum Fehlerbegriff

Nach DIN wird unter dem Begriff Fehler, die Abweichung eines Merkmals von einem Soll verstanden, die über ein definiertes Toleranzband hinausgeht. Da der Mensch beim Führen von Kraftfahrzeugen Aufgaben zu erfüllen hat, interessiert hier die Abweichung der Aufgabenerfüllung R von der Aufgabenstellung A , d.h. die Diskrepanz D . Analog zu einem von /Schmidtke 1993/ vorgeschlagenen Ansatz lässt sich D wie folgt bestimmen:

$$D = \frac{A - R}{A}$$

Da menschliche Aufgabenerfüllung nie exakt gleich stattfindet /Rigby 1970/ muss eine Akzeptanzschwelle festgelegt werde, unterhalb derer die Diskrepanz liegen muss.

Ein Fehler in der Aufgabenausführung liegt vor, wenn gilt:

$$D > G$$

Ein Fehler lässt sich also nur hinsichtlich eines geforderten Solls bestimmen. Für Fahraufgaben bedeutet dies, dass eine Modellvorstellung existieren muss, wie die Diskrepanz zwischen Aufgabenstellung und Aufgabenerfüllung bestimmt werden kann. Weiterhin muss definiert werden, ab welcher Schwelle von einem Fehler gesprochen werden kann.

Da sich Menschen hinsichtlich des Leistungsverhaltens erheblich unterscheiden, muss die Akzeptanzschwelle so gelegt werden, dass ein hinreichend großer Prozentsatz der Fahrerpopulation innerhalb der „normalen“ zu erwartenden Leistungsvariabilität die Aufgabe auch erfüllen kann. Eine Aufgabenstellung mit hohem Schwierigkeitsgrad wird einen erheblichen Prozentsatz der Population überfordern, d.h. zu einer erheblich höheren Zahl von Fehlern führen als eine leichte Aufgabe. Es besteht also ein enger Zusammenhang zwischen Schwierigkeitsgrad der Aufgabenstellung, den Leistungsmöglichkeiten der in Frage stehenden Personen und der Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Fehlern.

Fehler sind grundsätzlich nur als Handlungsfehler einer Beobachtung zugänglich, deshalb sind handlungsorientierte Fehlhandlungsklassifikationen eine wichtige Grundlage einer Datenerhebung in Labor oder Feld.

Die von / Swain 1983 / angegebene Klassifikation nach

- Ausführungsfehlern (errors of commission)
- Qualitätsfehler (zu viel zu wenig)
- Zeitfehler (zu früh, zu spät)
- Verwechslungsfehler
- Reihenfolgefehler
- Auslassungsfehler (errors of omission)

hat sich praktisch bewährt.

Es ist evident, dass viele der beobachteten Handlungsfehler auf Fehler im Bereich der Informationsaufnahme, -verarbeitung und -umsetzung zurückzuführen sind. Diese eher ursachenorientierte Betrachtung ist für die Ableitung von Verbesserungsmaßnahmen der aktiven Sicherheit von herausragender Bedeutung. Allerdings kann der gleiche Handlungsfehler durch eine Vielzahl unterschiedlicher Ursachen bedingt sein. Ein zu spätes Reagieren auf ein bevorrechtigtes Fahrzeug an einem Knotenpunkt, kann in einer

- zu spätem Erkennbarkeit des Fahrzeuges (objektive Umstände)
- Fehler in der Informationsaufnahme (z.B. Ablenkung, Abwendung)
- in Fehlern der Informationsverarbeitung (z.B. Fehlbeurteilung der Annäherungsgeschwindigkeit, zu langsamer Entscheidungsprozesse)

- in der Informationsansetzung (z.B. Umsetzungsgeschwindigkeit zwischen Gas und Bremse)

bedingt sein.

Treten bestimmte Handlungsfehler in einer Situation gehäuft und systematisch auf, liefern sie Hinweise auf Defizite in der objektiven Gestaltung und damit in der Wahrnehmbarkeit der Situation. Treten sie innerhalb einer Personengruppe, z.B. bestimmte Altersgruppe, auf liefern sie eher Hinweise auf Lern- oder Leistungsdefizite bzw. auf Überforderungen der Leistungsfähigkeit. Die Fehlerforschung (z.B. /Reason 1990/) hat hier in den letzten Jahren sehr viele Erkenntnisse zusammengetragen, die hier bestens genutzt werden können.

Fehler treten nun mehrere Größenordnungen häufiger als Unfälle auf, sie sind daher wesentlich besser einer Erfassung in Labor und Feld zugänglich. Da der Mensch zielorientiert handelt, vergleicht er das Ergebnis seines Handelns mit der Zielerreichung. In vielen Fällen, wenn nicht in den meisten Fällen, ermöglicht dies eine rechtzeitige Fehlerkorrektur bevor gefährliche Folgen des Fahrers eintreten. So werden Abweichungen von der Soll-Spur meist korrigiert, bevor ein Abkommen von der Fahrbahn oder eine Kollision drohen. Die Möglichkeit der Fehlerkorrektur muss daher in differenzierten Unfallentstehungsmodellen mit berücksichtigt werden. Hier bietet sich auch ein Ansatz für die Verbesserung der aktiven Sicherheit, in dem die Rückmeldung über Fehler an den Fahrer verbessert wird.

Unterbleibt die Fehlerkorrektur oder bleibt sie unzureichend, kann sich bei Vorhandensein eines Konfliktobjektes ein Verkehrskonflikt (VK) ergeben. Ein VK ist eine gefährliche Situation, die ohne Eingreifen des Verursachers oder eines Beteiligten in einen Unfall entwickelt. Als Konfliktobjekte kommen andere Verkehrsteilnehmer oder Tiere, statische Objekte, wie Bäume, Pfeiler, Geländer oder Gräben in Frage.

Der Übergang von der normalen Fahrt, über den Fehler zum Verkehrskonflikt und schließlich zum Unfall ist von einer Vielzahl von Einflüssen abhängig, wie Art des Fehlers, Korrigierbarkeit, Art der Konfliktobjekte. Diese Zusammenhänge lassen sich durch Zustandsgraphen, Markow-Modelle oder Fehlerbaummodellle beschreiben. Die Anwendung von Fehlerbaummodellen hat den Vorteil auf ein sehr etabliertes Verfahren zurückzugreifen, das sich sehr gut zur Top/down-analyse von unerwünschten Ereignissen eignet, wie sie Unfälle darstellen. Ein von /Reichart 2000/ vorgeschlagenes Fehlerbaummodell der Unfallentstehung zeigt /Bild 2/. Das Modell erklärt in grober Näherung die Übergangsbedingungen vom Fehler zum Verkehrskonflikt und zum Unfall. Der Einfluss der Wahrscheinlichkeit des Erfolges von Vermeidungsaktionen des Verursachers oder Beteiligten, erklärt auch, warum bisher keine konstante Übergangswahrscheinlichkeit zwischen Verkehrskonflikt und Unfall gefunden werden konnte.

3. Normative Modelle:

Das Verhalten, wie das Nichtanhalten an einer rot zeigenden Lichtsignalanlage oder das Nichtanhalten an einem Stoppschild ist sofort als Fehler klassifizierbar, da dies durch die Straßenverkehrsordnung klar definiert wird. Für andere Handlungen des Fahrzeugführers, wie das Einhalten der Fahrspur oder das Annehmen von Zeitlücken beim Durchqueren von Knotenpunkten gibt es aber bisher noch keine allgemein akzeptierten Kriterien, ab welchen Grenzen des beobachtbaren Verhaltens von einem Fehler zu sprechen ist. In /Reichart 2000/ wurden erstmalig normative Modelle des Fahrerverhaltens für ausgewählte Situationen entwickelt, für die auch jeweils Fehlerkriterien abgeleitet wurden. Implizit sind bereits in Kriterien des Straßenentwurfes, in sozialen Normen und in allgemeinen Verhaltensregeln für die Teilnahme am Straßenverkehr derartige Ausnahmen und Modellvorstellungen enthalten, die aber bisher kaum operationalisierbar gefasst waren.

An einigen Beispielen werden nachfolgend derartige normative Modelle erläutert:

3.1 Normatives Modell der Fahrspurhaltung

Vielfach wird in Arbeiten zur Fahrspurhaltung davon ausgegangen, das Überfahren der Fahrstreifenmarkierung als Fehlerkriterium für die Einhaltung der Fahrspur zu wählen. Eine derartige Betrachtung vernachlässigt aber die Anforderung, einen seitlichen Abstand zu entgegenkommenden oder benachbarten Fahrzeugen zu belassen. Ferner wird die Abhängigkeit der Aufgabenschwierigkeit von der Fahrstreifenbreite b_{FS} und von der Breite des Fahrzeuges b_{FZG} nicht berücksichtigt. Wie /Engels 1994/ gezeigt hat, ist eine gewisse Schwankungsbreite der Fahrspurhaltung unvermeidlich und auch durch Auslegungsparameter der Fahrzeuge bedingt.

Fahrstreifenbreite und Breite des Fahrzeuges legen den zulässigen Bewegungsfreiraum des Fahrzeuges innerhalb der Fahrstreifen fest. Zusätzlich ist der einzuhaltende Abstand zum begegnenden oder parallel fahrenden Fahrzeugen zu berücksichtigen. Zudem muss für stochastisch auftretende Störungen durch Fahrbahnunebenheiten oder Seitenwind noch eine gewisse Reserve der Fahrstreifennutzung eingehalten werden.

Beschreibt x_q die seitliche Abweichung des Fahrzeugmittelpunktes von der Fahrstreifenmitte so lässt sich die Qualität der Spurhaltung Q_s in Anlehnung an /Bolte 1981/ zu:

$$Q_s = 1 - \frac{2 \cdot x_q}{b_{FS} - b_{FZG}}$$

bestimmen. Der Ausnutzungsgrad A_{BS} des Bewegungsspielraumes ergibt sich zu:

$$A_{BS} = 1 - Q_S$$

Damit lässt sich ein normatives Modell der Fahrspurhaltung auf gerader Straße, wie folgt formulieren:

Als normatives Modell der Fahrsituation „Fahrspur folgen auf gerader Strecke“ wird eine maximale Ausnutzung des Bewegungsspielraumes von 90% bei mindestens 25 cm Abstand zur Fahrstreifenbegrenzung im Moment der Vorbeifahrt am Gegenverkehr festgelegt.

Als Fehler wird dementsprechend gewertet, wenn der Fahrer den sich so ergebenden „Bewegungsfreiraum“ um mehr als 90% ausschöpft.

Für das Befahren von Kurven sind weitere Faktoren wie der herrschende Kraftschluss zwischen Reifen und Fahrbahn, der Krümmungsradius der Strecke und deren Verlauf zu berücksichtigen, d.h. neben der Einhaltung der Fahrspur spielt auch die Wahl einer situationsgerechten Fahrgeschwindigkeit für das normative Modell des Verhaltens eine wichtige Rolle. Auch hierfür wurde ein normatives Modell formuliert:

Folgendes Verhalten in der Fahrsituation „Fahrspur folgen in Kurven“ wird als Fehler gewertet:

- *Ausnutzung des Bewegungsspielraumes um mehr als 90% oder Verletzung des 25 cm Mindestabstandes zur Fahrstreifenbegrenzung bei Gegenverkehr oder*
- *Kurvenschneiden bei nicht voll einsehbaren Kurven oder bei Gegenverkehr oder*
- *Eine geringere Anpassung der Fahrgeschwindigkeit an die Kraftschlussbedingungen als erforderlich (bei Nässe: 80% der zulässigen Höchstgeschwindigkeit, Geschwindigkeit < 120 km/h bei starker Nässe, bei Glätte höchstens 40% der zulässigen Höchstgeschwindigkeit, bei Eisglätte: Kriechgeschwindigkeit) oder*
- *Ausschöpfen des lateralen Kraftschlusspotentials > 90%*
- *Geschwindigkeiten, die zu einer theoretischen Entfernung des Vorausschaupunktes führen, die jenseits des einsehbaren Bereiches in Kurven liegen oder*
- *Querbeschleunigungen, die den Erfahrungsbereich durchschnittlicher Fahrer wesentlich, d.h. um mehr als 0,1g, überschreiten.*

Bezüglich der genaueren Herleitung dieser Kriterien wird auf die Arbeit von /Reichart 2000/ verwiesen.

3.2. Normatives Modell der Fahrsituation „Kreuzen“

Das Durchqueren von Knotenpunkten aus nachrangiger Straße wird als Kreuzen bezeichnet. Für das Modell wird von einem Anfahren aus dem Stillstand ausgegangen. Ein wesentliches Merkmal des Kreuzens bei nicht lichtsignalgeregelten Knotenpunkten besteht darin, dass eine ausreichende große Zeitlücke im bevorrechtigten Verkehrsstrom abgewartet werden muss, innerhalb derer dann der Knotenpunkt durchfahren werden kann. Der Fahrer muss also den bevorrechtigten Verkehr beobachten, die Zeitlücken aus den Fahrgeschwindigkeiten und der Sichtentfernung zu diesen Fahrzeugen abschätzen. Bei ausreichender Zeitlücke muss die Anfahrtscheidung getroffen werden und der Knotenpunkt mit ausreichender Beschleunigung des Fahrzeuges durchfahren werden. In der Verkehrstechnik erfolgt die Betrachtung des Kreuzungsvorganges anhand der sogenannten Grenzzeitlücke. Dies ist nach /Greenshields 1947/ diejenige Zeitlücke die von 50% der Fahrer angenommen wird. Typische Werte liegen im Bereich von ca. 6 bis 7 s. Die Werte hängen von einer Vielzahl von Parametern ab. /Harders 1976/ hat derartige Werte für typische Knotenpunktssituationen experimentell ermittelt und zusammengestellt. Innerhalb dieser Zeitlücke muss die Anfahrtscheidung getroffen werden und es wird auch noch die Umsetzungszeit für die Betätigung der Stelleinrichtungen Gas, Kupplung, Gangwahl benötigt. Die Breite des Knotenpunktes s und die realisierte Anfahrbeschleunigung a (typische Werte liegen bei 2 m/s^2) bestimmen die zum Queren benötigte Zeit t_q zu:

$$t_q = \sqrt{\frac{2 \cdot s}{a}}$$

Für einen Knotenpunkt mit je 2streifigen Richtungsfahrbahnen zu je 3,75m Breite, einem Abstand von ca. 3m zum ersten zu durchquerenden Fahrstreifen und dem vollständigen Durchqueren des Knotens mit dem Fahrzeug (Fahrzeuglänge 4,5m) muss also ein Weg von $s = 22,5 \text{ m}$ zurückgelegt werden. Hierfür werden ca. 4,75 s benötigt. Rechnet man die ca. 1,5-2s für die Entscheidungs- und Umsetzungszeit hinzu, kommt man für die benötigte Gesamtzeit t_{ges} in den Bereich der empirisch ermittelten Grenzzeitlücken.

Ein sich näherndes bevorrechtigtes Fahrzeug muss also in einer Entfernung erkannt und in seiner Fahrgeschwindigkeit eingeschätzt werden, die diese Zeitlücke erfordert. Fährt das Fahrzeug mit einer Geschwindigkeit von $v = 16,7 \text{ m/s}$ (60km/h) muss es in einer Entfernung x von :

$$x > v \cdot t_{ges}$$

erkannt und hinsichtlich der Annahme der Zeitlücke beurteilt werden, im konkreten Beispiel wären dies ca. 113 m. Die Bewegung von insbesondere kleineren Fahrzeugen kann in diesen Entfernungen teilweise schlecht erkannt werden, da je nach Geschwindigkeit und Abmessung Werte in der Nähe der menschlichen Wahrnehmungsschwellen erreicht werden. Zudem sind Blicke unter spitzem Winkel, wie bei der Beobachtung nach links, meist diesbezüglich noch kritischer.

Ein weiterer Faktor der zu beachten ist, liegt im Einfluss der Kraftschlussbedingungen. Hier können sich die realisierbaren Anfahrbeschleunigungen insbesondere bei Eisglätte deutlich reduzieren., wofür der Fahrer meist wenig Erfahrung hat. Für die Fahrsituation „Kreuzen“ wird daher als Fehler gewertet, wenn:

- *das nachrangige Fahrzeug bei Entfernungen des Bevorrechtigten anfährt, die die nach obiger Formel berechnete Entfernung um 10% unterschreitet (bei geringem Kraftschluss ist die entsprechend geringere Anfahrbeschleunigung für die Berechnung von x zu berücksichtigen) oder*
- *Die anzunehmende durchschnittliche Anfahrbeschleunigung um mehr als 20% unterschritten wird oder*
- *Bei lichtsinalgeregelten Knotenpunkten ein Überfahren der Haltelinie 0,5s nach Rotlichtbeginn erfolgt.*

Die hier nur beispielhaft genannten normativen Modelle zur Spurhaltung und zum Kreuzen sind erste Ansätze Fehler bei derartigen Fahrsituationen einer empirischen Erfassung zugänglich zu machen.

3.3 Generisches Unfallentstehungsmodell

Der Übergang von normaler Fahrt, dem Auftreten von Fehlern, des Ausbleibens oder Misslingens ihrer Korrektur hin zum Verkehrskonflikt, dem Erfolg oder Misserfolg von Unfallvermeidungsaktionen und schließlich zum Unfall stellt sich als eine komplexe schwer modellierbare Abfolge von Situationen, Handlungen der Beteiligten, Wechselwirkung von Eigenschaften der Fahrzeuge und Fähigkeiten und Grenzen der Fahrer sowie zufällig vorliegenden situativen Besonderheiten dar. Systemtheoretisch handelt es sich um Zustandsübergänge, deren Realisierung prinzipiell durch Übergangswahrscheinlichkeiten beschrieben werden kann. Die Zustandsübergänge sind zwar in aller Regel nicht unabhängig von der Vorgeschichte, zur Vereinfachung der Modellbildung wird dieser Aspekt aber außer Betracht gelassen. Für einen ersten Ansatz zur Modellierung dieser Zusammenhänge wurde ein generisches Unfallentstehungsmodell in Fehlerbaumdarstellung vorgeschlagen, das den Zusammenhang der

wesentlichen Komponenten in einer logischen Verknüpfung nach UND- und ODER-Gliedern enthält /Bild 2/.

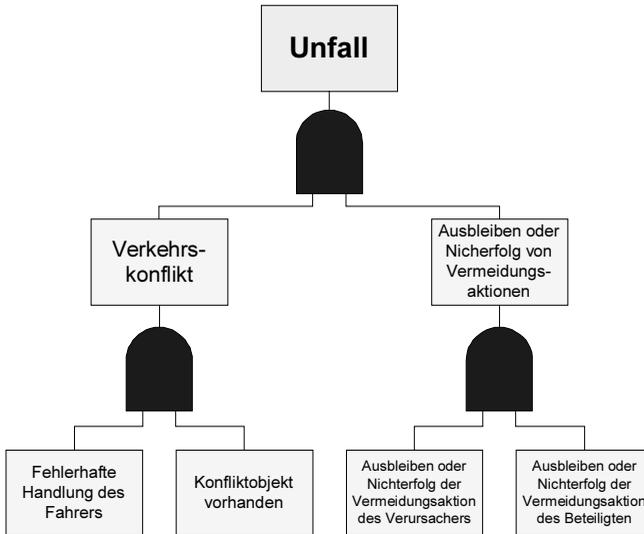


Bild 2: Generisches Fehlerbaummodell der Unfallentstehung im Straßenverkehr

Das Modell ist generisch, da es keine spezifischen Elemente einer konkreten Situation enthält, d.h. die Art des Konfliktobjektes, die genaue Beschreibung der konkreten Situation oder die Beschreibung der konkreten Vermeidungsaktionen sind in diesem allgemeinen Modell nicht enthalten. Dieses generische Modell war Grundlage, für ausgewählte Unfalltypen weiter konkretisierte Fehlerbaummodelle zu erstellen. /Bild 3/ zeigt ein Beispiel eines derartigen Fehlerbaumes.

Mit Hilfe von Daten aus der Literatur wurden grobe Hochrechnungen auf Unfalltypen vorgenommen und eine annähernde Übereinstimmung innerhalb einer Größenordnung mit Werten der amtlichen Unfallstatistik ermittelt. Während diese vergleichende Bewertung eher der Plausibilitätsprüfung des Verfahrens diene, liegt sein eigentlicher Wert in der Identifizierbarkeit von Verbesserungspotentialen für die aktive Sicherheit. Die im Fehlerbaummodell ausgewiesenen Handlungsfehler stellen Ansatzpunkte für Verbesserungsmaßnahmen dar. Durch technische Maßnahmen kann entweder ein bestimmter Handlungsfehler ausgeschlossen oder in seiner Wahrscheinlichkeit oder Auswirkung gemindert werden. Ferner kann durch technische Maßnahmen die Wahrscheinlichkeit der Fehlerkorrektur erhöht werden.

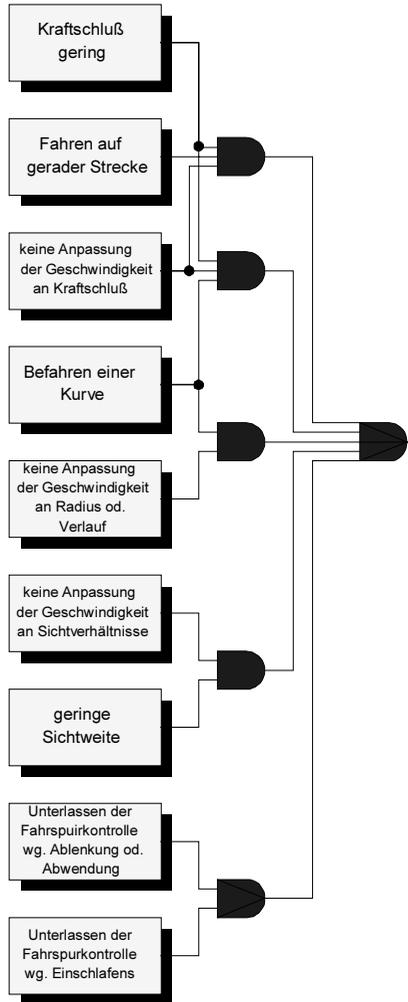


Bild 3: Beispielhaftes Fehlerbaummodell zum Verkehrskonflikt „Fahrerfall unter Einfluß der Linienführung oder Witterung“

Ein Beispiel für derartige Verbesserungsmaßnahmen ist das von BMW entwickelte System Heading Control /Naab 1998/ zur Assistenz des Fahrers bei der Spurhaltung /Bild 4/.

Eine Videokamera erfasst den vorausliegenden Spurverlauf. Anhand einiger fahrdynamischer Größen und der Videobildauswertung kann die Ist-Position des Fahrzeuges relativ zur Fahrstreifenbegrenzung bestimmt werden. Weicht das

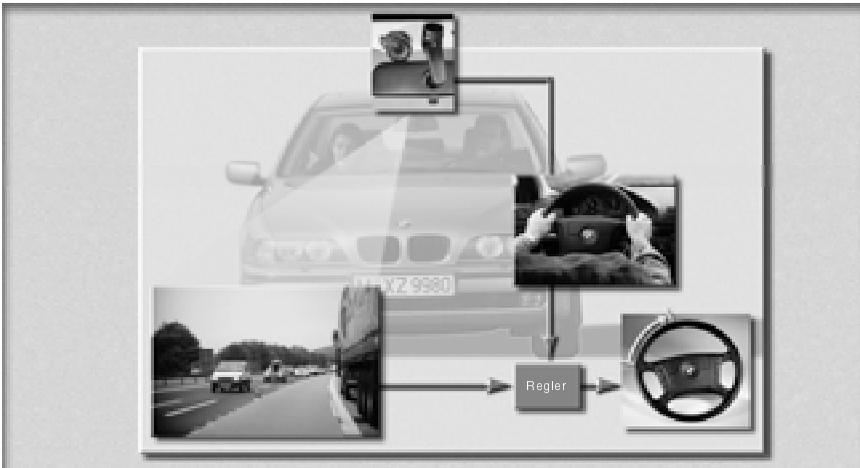


Bild 4: Spurhalteunterstützung „Heading Control“

Fahrzeug von der Soll-Fahrspur ab, spürt der Fahrer kleine, stets übersteuerbare Zusatzkräfte im Lenkrad, die die Korrekturrichtung anzeigen. Mit der gleichen Technologie lässt sich auch eine Warnung bei drohendem Abkommen von der Fahrbahn realisieren. Im ersten Anwendungsfall wird die Eintrittswahrscheinlichkeit einer unbeabsichtigten Spurabweichung reduziert, während durch die Warnung die Korrekturwahrscheinlichkeit des Fehlers deutlich erhöht wird.

Dies kann in den Modellen geeignet berücksichtigt werden. Maßnahmen können so in ihrer relativen Bedeutung zueinander bewertet werden. Verknüpft man diese veränderten Eintrittswahrscheinlichkeiten mit dem volkswirtschaftlichen Schaden einzelner Unfalltypen, lassen sich auch Abschätzungen zu volkswirtschaftlich noch sinnvollen Kosten für diese Maßnahmen treffen. Für eine nähere Erläuterung dieser Ansätze muss aber auf /Reichart 2000/ verwiesen werden.

4. Zusammenfassung

Der Ansatz Handlungsfehler des Fahrers beim Führen des Kraftfahrzeuges als neuen Ausgangspunkt für die Ableitung von Maßnahmen zur Verbesserung der aktiven Sicherheit zu wählen, hat sich prinzipiell bewährt. Verbesserungen der normativen Modelle, der Fehlerbaummodelle, die Gewinnung empirischer Daten an Fahr simulatoren und im Feld wie auch die Anwendung des Verfahrens auf lokale Unfallschwerpunkte bleiben aber wichtige künftige Forschungsaufgaben, um den Ansatz breit nutzbar zu machen.

Literatur:

- /Bolte 1981/ Bolte, U.: *Das aktive Stellteil- ein ergonomisches Bedienkonzept*, Dissertation, VDI-Fortschrittsberichte Nr. 75, Reihe 17: Biotechnik, VDI-Verlag, Düsseldorf, 191
- /Engels 1994/ Engels, A.: *Geradeauslaufkriterien für PKW und deren Bewertung*, Dissertation, Technische Universität Carola Wilhelmina, Braunschweig, 1994
- /Frank 2000/ Frank, D., Reichart, G.: *Grenzen der Verkehrssicherheit und gesellschaftliche Akzeptanz*, Tagung „Sicherheit komplexer Verkehrssysteme“, VDI Berichte Nr.1546, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2000
- /Greenshields 1947/ Greenshields, B.D., Shapiro, D., Ericksen, E. L.: *Traffic Performance at Urban Street Intersections*, Yale Bureau of Highway Traffic, Yale University, New Haven, Con., 1947
- /Harders 1976/ Harders, J.: *Grenz- und Folgezeitlücken als Grundlage für die Berechnung der Leistungsfähigkeit von Landstraßenknoten*, Forschungsberichte Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 216, Bonn, 1976
- /Naab 1998/ Naab, K.: *Heading Control- Ein System zur Fahrerunterstützung bei der Spurhaltung*, Seminar „Fahrerassistenzsysteme“, Haus der Technik, Essen, 1998
- /Reason 1990/ Reason, J.: *Human Error*, Cambridge University Press, Cambridge 1990
- /Reichart 2000/ Reichart, G. : *Menschliche Zuverlässigkeit beim Führen von Kraftfahrzeugen*, Dissertation, Lehrstuhl für Ergonomie, TU München, Druck in Vorbereitung, München, 2000
- /Rigby 1970/ Rigby, L.V.: *The Nature of Human Error*, SANDIA NL, Report SC-R70-4318, Albuquerque, 1970
- /Schmidtke 1993/ Schmidtke, H. (Hrsg.): *Ergonomie*, 3.Auflage, Carl Hanser Verlag, München, 1993
- /Swain 1983/ Swain, A.D., Guttman, H.E.: *Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications*, Final report, US Nuclear Regulatory Commission, NUREG/CR-1278, Washington D.C., 1983

Einfluss von Verkehrsleitsystemen (VLS) auf die Verkehrssicherheit

J. Gschoßmann
Polizeipräsidium Oberbayern

1. Zuständigkeitsbereich des Polizeipräsidioms Oberbayern

1.1 Örtlicher Zuständigkeitsbereich

Der örtliche Zuständigkeitsbereich des Polizeipräsidioms Oberbayern umfasst den Regierungsbezirk Oberbayern ohne die Landeshauptstadt München mit einer Fläche von 16.551,70 km². Insgesamt sind 2.503.279 Einwohner zu betreuen.

Die Dienststärke des Polizeipräsidioms Oberbayern liegt bei 4.688 Beamten und rund 500 Angestellten. Die Autobahnen werden von acht Autobahnpolizeidienststellen betreut. Dazu werden 496 Beamte eingesetzt.



Bild 1: Zuständigkeitsbereich des Polizeipräsidioms Oberbayern

1.2 Straßennetz

Der Zuständigkeitsbereich des Polizeipräsidiums Oberbayern umfasst derzeit 570 km Bundesautobahnen. Davon sind rund 281,5 Kilometer (in beiden Richtungen) mit SBA ausgestattet. Dazu kommen rund 10.000 km Bundes-, Staats- und Kreisstraßen. Besonders herausragend sind die Nord-/Südtangente BAB A 9 München-Nürnberg sowie die Nordostumgehung München A 99, die nach der Öffnung der „Eschenrieder Spange“ eine erhebliche Zunahme der Verkehrsbelastung erfahren hat.

1.3 Verkehrsbelastung

Die Autobahnen im Zuständigkeitsbereich des Polizeipräsidiums Oberbayern weisen europaweit die höchste Verkehrsbelastung auf. Die tägliche durchschnittliche Verkehrsmenge (DTV) beispielsweise auf der Autobahn München-Nürnberg A 9 liegt bei rund 125.000 Fahrzeugen. Die DTV aller bayerischen Autobahnen beträgt im Durchschnitt 44.500 Fahrzeuge.¹ Es lag daher nahe, zunächst eine der meistbelasteten Autobahnen Europas mit einem intelligenten Verkehrsleitsystem

DTV-Werte BAB A 9 München-Nürnberg, AK München-Nord

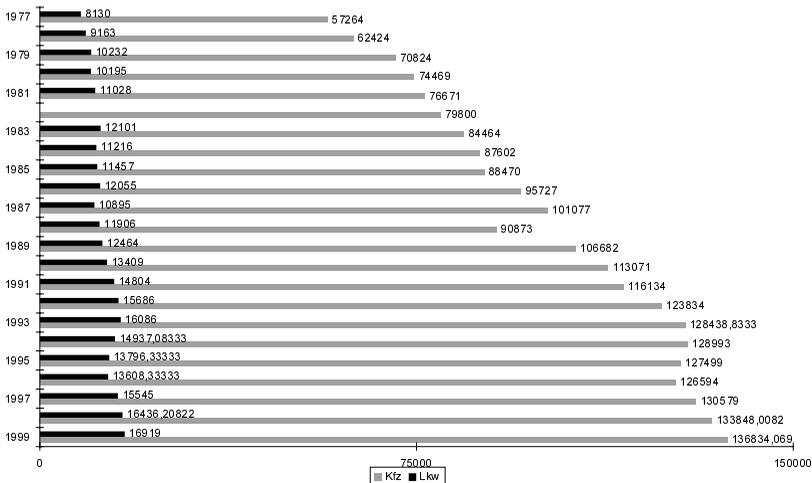


Bild 2: Durchschnittliche tägliche Verkehrsmenge auf der BAB A9

¹ Autobahndirektion Südbayern, 1999

1.4 Verkehrsunfallbelastung im Präsidialbereich Oberbayern

Der Präsidialbereich Oberbayern weist im Vergleich zu den anderen Polizeipräsidien in Bayern mit die stärkste Unfallbelastung auf. Insbesondere im Jahre 1999 mussten sowohl bei den Getöteten wie auch bei den Zahlen der Verletzten wieder deutliche Zunahmen registriert werden.²

Unfallentwicklung in Oberbayern

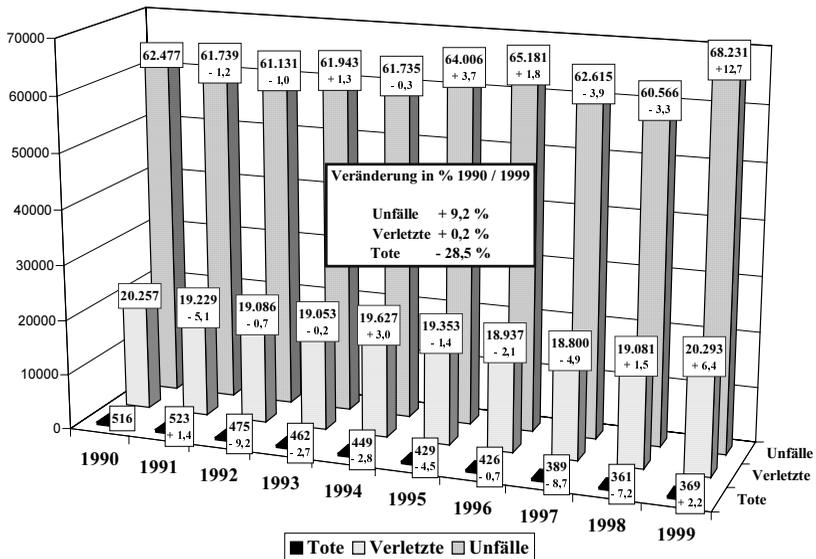


Bild 3: Unfallentwicklung in Oberbayern

Besonders hoch ist natürlich in Abhängigkeit zur Verkehrsbelastung die Unfallbelastung auf den Bundesautobahnen. So wurde 1999 mit 8.752 Unfällen die höchste Zahl überhaupt verzeichnet.³

² Verkehrsunfallstatistik PP Oberbayern 1999

³ Verkehrsunfallstatistik Autobahn des PP Oberbayern 1999

Verkehrsunfälle auf Autobahnen in Oberbayern

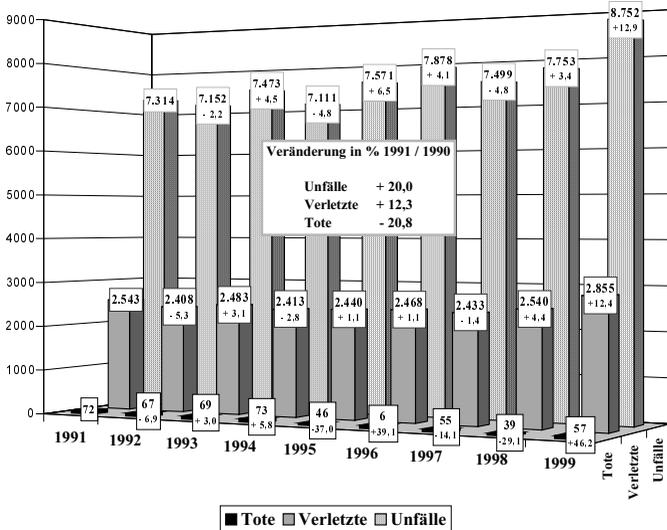


Bild 4: Verkehrsunfälle auf Autobahnen in Oberbayern

2. Grundsätzliches, Einsatzbereiche und Funktion von Verkehrsleitsystemen

2.1 Grundsätzliches

Seit Anfang der 90er Jahre sehen Politik und Wirtschaft in dem Einsatz und der Nutzung der neuen Informations-, Kommunikations- und Leittechnologien im Verkehr (Verkehrstelematik) große Potentiale, um die Mobilität sowohl für die Wirtschaft, als auch für den Einzelnen dauerhaft, effizient und umweltschonend zu sichern.⁴

Verkehrsleitsysteme sind unter dem Oberbegriff der „Telematik“⁵ zu subsumieren. Der Begriff – Telematik – setzt sich aus den Bestandteilen Telekommunikation und Informatik zusammen. Telematik, im Bezug auf den Verkehr umfasst „die Gesamtheit der Maßnahmen, die mit Hilfe der Übermittlung und Zusammenführung von Informationen und anderen Daten zu einer Verbesserung

⁴ Bundesministerium für Verkehr 1998, Sachstandsbericht Telematik im Verkehr

⁵ Dr. W. Bouska, Telematik im Straßenverkehr

der Sicherheit, des Ablaufs und der Umweltverträglichkeit des Straßenverkehrs beitragen sollen“. Diese Informationstechnik findet beispielsweise derzeit Anwendung in

- automatisiertem Verkehrswarndienst RdS/TMC
- Parkleitsystemen
- Systemen zur automatischen Gebührenerfassung
- Informationssysteme für Tarife und Fahrpläne
- Buchungssystemen und vor allem in
- modernen Verkehrsleitsystemen wie z. B. den Streckenbeeinflussungsanlagen (SBA) auf den Autobahnen

Der Begriff des Verkehrsleitsystems⁶ (VLS) ist in der Verkehrswissenschaft derzeit nicht genau definiert. Derzeit wird er am häufigsten als Synonym für Systeme zur individuellen Zielführung genutzt. Zur Erhöhung der Verkehrssicherheit sowie zur Verbesserung des Verkehrsablaufes an kritischen Strecken auf Autobahnen wurde das Programm zur Ausrüstung von Bundesautobahnen mit dynamischen Streckenbeeinflussungsanlagen im Jahr 1996 mit einem geplanten Investitionsvolumen von 600 Millionen DM bis zum Jahre 2001 festgeschrieben.⁷

2.2 Einsatzbereiche

Verkehrsleitsysteme passen die Verkehrsströme den augenblicklich zur Verfügung stehenden Kapazitäten der Bundesautobahnen an.⁸

Ziel der Verkehrsleitsysteme ist eine Minimierung der Reise- und Transportzeiten, verbunden mit der Erhöhung der Verkehrssicherheit und gleichzeitiger Verringerung der Emissionen. Im Bereich des Polizeipräsidiums Oberbayern kommen als Verkehrsleitsysteme insbesondere die Streckenbeeinflussungsanlagen (= technische Systeme, die nach automatischer Datenermittlung mit rechnergesteuerten Anweisungen aufgrund Verkehrsdichte, Fahrbahnzustand und Witterungssituation den Verkehr steuern⁹) auf den Bundesautobahnen zum Einsatz.

Ergänzend können bei diesem System zusätzliche Komponenten genutzt werden:

- Standspurfreigabe,
- Substitutive Wechselwegweisung (siehe Bild 6),
- Zuflussregelung,
- Fahrstreifensperrung (z. B. für die Freischaltung von Not- und Rettungswegen).

⁶ R. Lapierre, G. Steierwald, Verkehrsleittechnik für den Straßenverkehr

⁷ Bundesministerium für Verkehr 1998, Sachstandsbericht Telematik im Verkehr

⁸ PHK Andreas Just, „Telematik, ein Beitrag zur Erhöhung der Verkehrssicherheit“

⁹ Dr. W. Bouska, Telematik im Verkehr, DAR 9/95, S. 354



Bild 5: Schilderbrücke einer Streckenbeeinflussungsanlage (ABD Südbayern)



Bild 6: Substitutive Wechselwegweisung (ABD Südbayern)

2.3 Streckenbeeinflussungsanlagen in Oberbayern

Derzeit sind insgesamt 60 Streckenbeeinflussungsanlagen auf deutschen Autobahnen, insbesondere auf den hochfrequentierten Strecken installiert. Am Beispiel des VLS München-Nord soll beispielhaft für die im Freistaat Bayern errichteten Anlagen eine Darstellung und Bewertung erfolgen.

Seit mehr als acht Jahren tragen moderne rechnergesteuerte SBA auf den oberbayerischen Autobahnen dazu bei die Verkehrssicherheit zu erhöhen und den Verkehrsablauf zu verbessern.

Mit Unterstützung der Streckenbeeinflussungsanlagen können allen Fahrzeugbenutzern auf bestimmten Autobahnstrecken stets aktuelle Informationen aber auch verkehrsrechtliche Anordnungen und Verbote übermittelt werden. Dazu gehören auch Hinweise auf potentielle Gefahren wie Stau, Nebel, Nässe, Unfallstellen oder Glatteis. Daneben können auch entsprechende situationsbedingte Verkehrsbeschränkungen mittels Fahrstreifen- oder Fahrbahnsperren angezeigt werden, die die Rechnerzentrale insbesondere auf Veranlassung der Polizei, z.B. nach Verkehrsunfällen schaltet.

SBA werden im Verlauf einer längeren Autobahnstrecke überwiegend an Schilderbrücken über der Fahrbahn angebracht und sind mit Wechselverkehrszeichen ausgestattet. Dabei handelt es sich um sog. lichtphasenoptische Matrixzeichen, die eine Darstellung der in der StVO festgelegten Zeichen ermöglichen und für die Verkehrsteilnehmer eine verkehrsrechtlich verbindliche Anordnung darstellen.¹⁰

2.3.1 Im Bereich des PP Oberbayern in Betrieb befindliche Anlagen:

- Verkehrsleitsystem München-Nord
Inbetriebnahme: - **09.04.1992** -
- Streckenbeeinflussungsanlage BAB A 8 München-Salzburg (AK Brunntal bis AS Bad Aibling)
Inbetriebnahme: - **10.03.1996** -
- Streckenbeeinflussungsanlage BAB A 94 (AK München Ost bis AS München Steinhausen)
Inbetriebnahme: - **12.02.1998** -
- Streckenbeeinflussungsanlage A8/München West und Eschenrieder Spange
Inbetriebnahme: - **05.09.1998** -
- Streckenbeeinflussungsanlage BAB A 8 München-Salzburg von Siegsdorf bis zur Landesgrenze
Inbetriebnahme:- **15.04.2000** -

¹⁰ BMV 1998, „Telematik im Verkehr“ – Sachstandsbericht, S. 17

In der Bundesrepublik Deutschland waren mit Stand 1998 rund 570 Kilometer Autobahn mit einer SBA ausgerüstet.¹¹

Bundesautobahn		A9 / A92 / A99	A99 / A8 Ost	A94	A99 N / A8 West	A8 Ost	Bestand Gesamt	Anlagen in Planung
Unterzentralen		UZ Freimann	UZ Holzkirchen	UZ Riem	UZ Allich	UZ Siegdorf		
Streckenkilometer		74,6 km	96,4 km	23,3 km	22,6 km	65,0 km	281,9 km	196,0 km
Wechsel- verkehrszeichen		32	55	23	32	49	191	
Hilfsschilder		143	79	52	43	59	376	
Wetterstation		11	10	4	7	10	42	
Sichtweitengerät		85	11	4	11	10	109	
additive Wechselwegweiser		16	0	0	0	0	16	
substitutive Wechselwegweiser		0	0	13	0	0	13	
Zufahrtsregelung		0	0	3	0	0	3	
Videokameras		2 / 7 / 1	0	6	22	0	30	
Kosten (i. Mio.) DM		27,0	17,5	16,0	17,8	15,0	93,3	76,0
					incl. 20 5,3 Mio für Fernverkehrszeichen			

Bild 7: ADB Südbayern

2.3.2 Geplante Anlagen:

- Streckenbeeinflussungsanlage BAB A 99 Nordumfahrung München mit Standstreifen-Signalisierung (Inbetriebnahme voraussichtlich - **02/2001** -)
- Streckenbeeinflussungsanlage BAB A 92 München-Deggendorf im Abschnitt AK Neufahrn Flughafen-München (Inbetriebnahme voraussichtlich - **06/2001** -)

¹¹ Bundesministerium für Verkehr, Sachstandsbericht Telematik im Verkehr 1998
210

2.4 Funktionsweise und Komponenten¹³

Das Verkehrsleitsystem München-Nord besteht aus drei Komponenten¹²

- Verkehrsrechnerzentrale Südbayern
- Streckenbeeinflussung BAB A 9
- Wechselwegweisung München Nord (wird noch dargestellt)

Die Zusammenführung der gesamten Umfeld- und Schaltungsdaten erfolgt hierarchisch. So werden auf der untersten Ebene an den Streckenstationen und Schalteinrichtungen sämtliche Umfelddaten erfasst und an die Zwischenebenen, den sog. Unterzentralen, die für jeden Autobahnabschnitt getrennt errichtet werden, weitergeleitet. Von hier aus erfolgt eine Datenverteilung an die angeschlossenen Autobahnmeistereien sowie die Polizeidienststellen. Letztendlich laufen sämtliche Informationen aller Unterzentralen im südbayerischen Raum bei der Rechnerzentrale München/Nord zusammen. Von hier aus kann der Operator sog. Hand- und Sonderschaltungen veranlassen. Die vollautomatischen Programme steuern bereits die Unterzentralen.

2.4.1 Umfelddatenerfassung bei den Streckenstationen¹³

Mittels in die Fahrbahn eingelassene Schleifen werden die Verkehrsarten und Verkehrsmengen erfasst. Die sog. Sichtweitenmessgeräte entlang der Fahrbahn, erfassen die Helligkeit in Lux und liefern die Basiswerte für die Nebelschaltung. Niederschlagssensoren (meist am Seitenstreifen) messen die Regenmenge in mm/h und geben die Werte für „trocken“ bis „nass 3“ vor.

Sämtliche Daten werden im 1-Minuten-Zyklus an den Zentralrechner der Unterzentrale übertragen und von dort mit den vordefinierten Schwellwerten für entsprechende Schaltungen verglichen und ggf. Schaltungen aktiviert.

2.4.2 Unterzentralen¹³

Die Unterzentralen rufen von den angeschlossenen Streckenstationen in der Regel im 1-Minuten-Zyklus die dort bereitgestellten aktuellen Verkehrs- und Umfelddaten ab. Je Unterzentrale ist ein leistungsfähiger Verkehrsrechner installiert, auf dem die entsprechende Betriebs- und Steuerungssoftware aufgespielt wurde. Die Datenverteilung an die Polizei für eine sog. Visualisierung (Darstellung der Schaltzustände und Verkehrsdaten auf einem Bildschirm) erfolgt von hier.

¹² Autobahndirektion Südbayern, Broschüre „Inbetriebnahme VLS München Nord 09.04.1992“

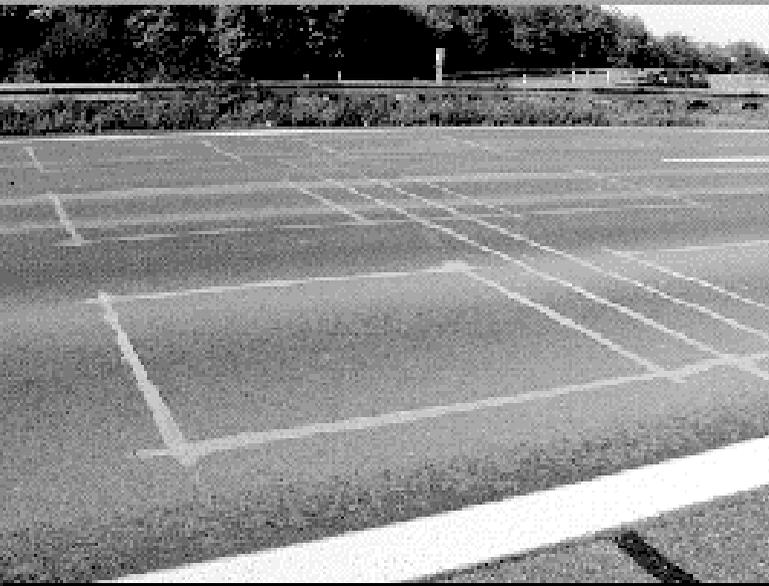


Bild 8: Induktionsschleifen in der Fahrbahn (ABD Südbayern)



Bild 9: Sichtweitenmessgerät (ABD Südbayern)

2.4.3 Rechnerzentrale ¹³

Die Rechnerzentrale Freimann ist die Schaltzentrale für alle in Südbayern installierten Verkehrsbeeinflussungssysteme. Neben den Verkehrsdaten laufen hier zusätzlich die Videoinformationen von den von der Autobahndirektion Südbayern betreuten Tunnels zusammen. Ein zentraler Verkehrsrechner führt einen Datenabgleich aller angeschlossenen Unterzentralen durch und archiviert sämtliche Schaltzustände. Ein zusätzlich vorhandener Grafikkrechner stellt die Schnittstelle zwischen dem Bedienpersonal (Operator) und dem Systemrechner her. Von hier aus können die sog. „Handprogramme“ (individuelle Schaltungen aufgrund besonderer örtlicher Umstände, die von den Umfelddaten nicht registriert werden können wie z. B. Unfälle oder Baustellen) eingegeben werden.

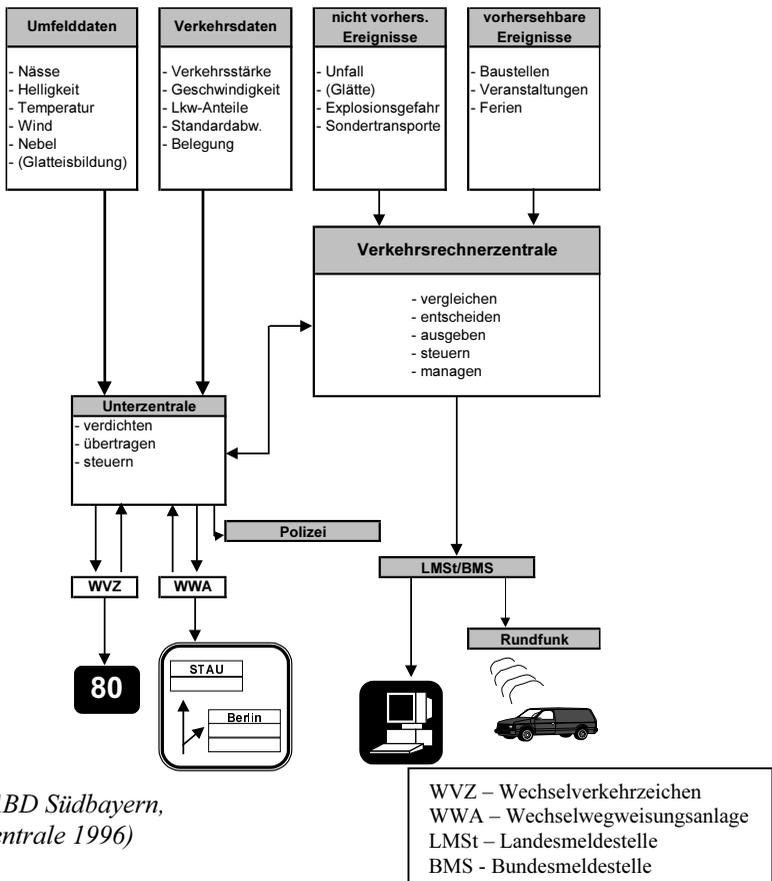


Bild 10: Darstellung der Datensteuerung bei einem VLS ¹³

2.5 Wesentliche Daten und Leistungen am Beispiel des VLS München-Nord ¹³

Daten und Leistungen des Verkehrsleitsystems München Nord			
Streckenbeeinflussung	Länge in Fahrtrichtung	München Nürnberg	51 km 16 km
	Schilderbrücken in Fahrtrichtung	München Nürnberg	24 Stück 6 Stück
Wechselwegweisung	Mehrlänge der Alternativroute bei Umlenkung Wechselwegweisungsschilder		8,5 km 16 Stück
Verkehrsdatenerfassung	Meßquerschnitte		165 Stück
Umfelddatenerfassung	Sichtweitenmeßgeräte	Hauptgerät	13 Stück
	Fahrbahnzustandsmeßgeräte	Nebengerät	52 Stück 11 Stück
Verlegte Kabellängen	Energiekabel Nachrichtenkabel		ca. 57.000 m ca. 96.000 m
Energieversorgung	Einspeisepunkte Anschlußleistung		28 Stück 620 kw
Kosten Die Kosten für das Verkehrsleitsystem München Nord belaufen sich auf rund 27 Mio.DM	Hiervon entfallen auf die	Verkehrsrechnerzentrale Streckenbeeinflussung Wechselwegweisung	rd. 3 Mio. DM rd. 19 Mio. DM rd. 5 Mio. DM

Bild 11 (ABD Südbayern, Rechnerzentrale 1996)

3. Ausgangslage für die Installation des Verkehrsleitsystems München-Nord

3.1 Unfalllage, grundlegende Faktoren und Ziele

Mit ausschlaggebend für die Installation der ersten SBA auf der BAB A 9 München-Nürnberg waren die Vielzahl der Massenunfälle im Autobahnabschnitt Allershausen/Eching. So ereigneten sich allein in den Jahren 1986 bis 1988 auf dem rund zwanzig Kilometer langen Streckenabschnitt 140 Massen- und Serienunfälle mit insgesamt 600 beteiligten Fahrzeugen. Damit handelte es sich bei diesem Autobahnabschnitt um den gefährlichsten in der Bundesrepublik

¹³ Autobahndirektion Südbayern, Broschüre „Inbetriebnahme VLS München Nord 09.04.1992“

Deutschland.¹³ Allein bei dem schwersten Massenunfall am „schwarzen Samstag“, den 23.05.1987, rasten wegen überhöhter Geschwindigkeit und mangelndem Sicherheitsabstand bei Regen 182 Fahrzeuge ineinander. 92 Verletzte und zwei Tote waren zu beklagen. Die A 9 glied auf einer Länge von 9 Kilometern einem Schrottplatz.



Bild 12: "TZ" 25.05.1987

Zusammenfassend lassen sich nachfolgende grundlegende Faktoren für die Planung und Installation des Verkehrsleitsystems München-Nord anführen.

- steigende tägliche durchschnittliche Verkehrsmenge
- Öffnung der Grenzen in Richtung Osten
- Einführung des EG Binnenmarktes 1993
- Eröffnung des Flughafens München
- Massen- und Serienunfälle durch Nebel und Nässe

¹³ Diplomarbeit J. Schneller. Peter F. Stolle, M.-R. Weis Fachhochschule München 1988 Massen- und Serienunfälle auf der BAB A9 Bereich Allershausen Eching

3.2 Ziele

Wesentliche Ziele für die Installation der SBA sind insbesondere:

- verbesserte Ausnutzung des Verkehrsraumes
- Harmonisierung des Verkehrs
- Steigerung des Verkehrsflusses
- Senkung der Unfallzahlen
- Vermeidungen von Massen- und Serienunfällen
- Reduzierung der allmorgendlichen Stauungen

4. Ergebnisse und Erfahrungen

4.1 Grunddaten

Das VLS wurde am 09.04.1992 in Betrieb genommen. Sie besteht aus der Streckenbeeinflussungsanlage im Verlauf der BAB A 9 München-Nürnberg, zwischen dem Autobahndreieck Holledau und dem Ende der Autobahn an der Anschlussstelle München-Frankfurter Ring, der variablen Wechselwegweisung A 9/A 92/A 99 sowie der Verkehrs-rechnerzentrale Südbayern.

Nach nunmehr achtjähriger Betriebszeit und ständiger Weiterentwicklung lassen sich folgende Ergebnisse feststellen:

- weitere deutliche Zunahme der Verkehrsleistung (siehe Bild 2)
- die Unfälle und die Anzahl der Verletzten haben nach Inbetriebnahme abgenommen (siehe Bilder 13/14)
- Massenunfälle vergangener Ausmaße konnten nahezu gänzlich vermieden werden
- die Staulängen und die Stauzeiten haben sich verkürzt
- das von vielen Seiten prognostizierte Verkehrschaos nach Eröffnung des Flughafens München konnte vermieden werden
- **Besonders von Bedeutung für die Polizei sind nachfolgende Vorteile:**
 - auf Unfallstellen kann frühzeitig hingewiesen werden
 - aufwendige Stauabsicherungen durch die Polizei können weitgehend entfallen
 - Fahrstreifen können lageangepaßt gesperrt werden
 - durch Schaltung von Geschwindigkeitstrichtern sowie dem Zusatztext „Unfall“ wird die Sicherheit der eingesetzten Polizeibeamten und der Rettungsdienste deutlich erhöht.

4.2 Verkehrsleistung

Die Straßenbauverwaltung erfasst seit längerer Zeit die Verkehrsmengen. Anhand „intelligenter“ Zähl Schleifen ist eine Unterscheidung nach Pkw- und Schwerlastverkehr möglich. Seit dem Jahre 1977 hat sich die Verkehrsmenge beispielhaft auf der BAB A 9 mehr als verdoppelt. Sie stieg von 57.264 Kfz (davon 8.130 Lkw) im Jahre 1977 auf 136.834 Kfz (16.919 Lkw) im Jahre 1999.

Die Streckenbeeinflussungsanlage kann Staus erkennen und lokalisieren. Der zufließende Verkehr wird dann mit gedrosselter Geschwindigkeit und in homogener Form auf den beginnenden Stau zugeführt. Die Wechselwegweisung ermöglicht eine Entlastung der am stärksten belasteten Abschnitte.

Vor Inbetriebnahme des Verkehrsleitsystems München-Nord traten häufig tägliche Stauungen in Richtung München bis zu 10 Kilometern auf. In dieser Richtung staut sich der Verkehr meist nur noch auf eine Länge von 2 – 3 Kilometer zurück.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sich infolge der verkehrsabhängigen Reduzierung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit ein homogener und stabiler Verkehrsablauf ergibt. Insbesondere bei Stauwarnungen nähern sich die Verkehrsteilnehmer mit deutlich reduzierter Geschwindigkeit dem Stauende. Damit können schwere Kollisionen vermieden werden.

4.3 Unfallentwicklung

Der Betrieb des Verkehrsleitsystems führt zu einer sehr positiven Beeinflussung des Unfallgeschehens. So konnte im Jahr nach der Inbetriebnahme des Verkehrsleitsystems die Anzahl der Verkehrsunfälle um 35%, die Anzahl der Unfälle mit Personenschaden um 31%, sowie die Anzahl der Verletzten um 30% gesenkt werden.¹⁴ Massenunfälle im früheren Umfang und Ausmaß traten nicht mehr auf. Dieses Ergebnis ist umso aussagekräftiger als analog zur Unfallentwicklung eine stetig zunehmende Verkehrsbelastung zu verzeichnen war.

¹⁴ Intelligente Technik für mehr Sicherheit zu „Mobil und Sicher“, 1/99, S. 13

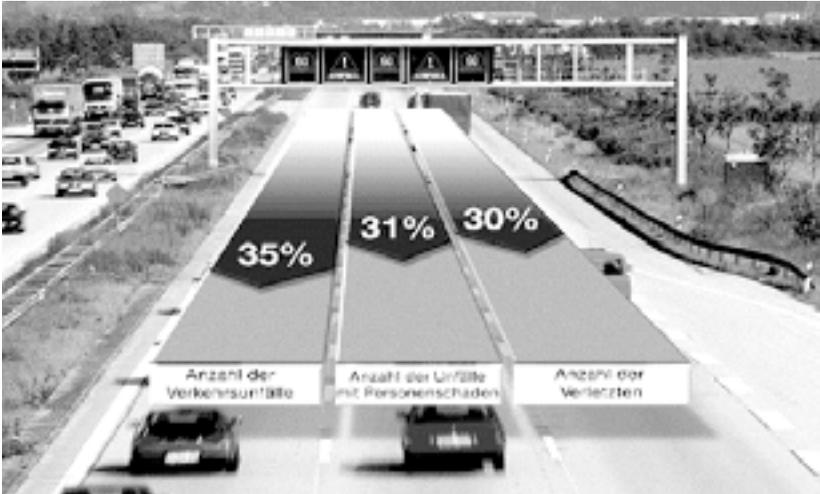
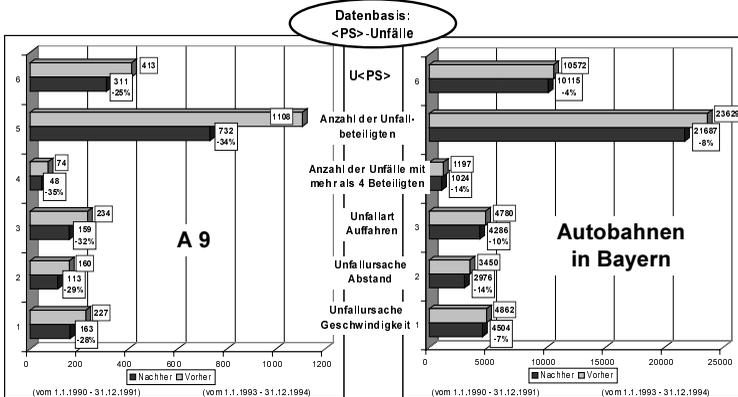


Bild 13: Übersicht Unfallentwicklung (ABD Südbayern)

Mittels einer vergleichenden Übersicht lässt sich die positive Entwicklung im Vergleich zu den übrigen Autobahnen erkennen:

**Linienbeeinflußung auf der Autobahn A 9
(von AD Holledau bis AS München-Fröttmaning)**



Quelle: Zentrale Unfallauswertung im Straßenbau Bayern

Bild 14: (ABD Südbayern)



Bild 16: Wechselwegweisung München-Nord

5. Polizeiliche Verkehrsüberwachung

5.1 Entwicklung

Mit ausschließlichen Appellen an die Vernunft der Verkehrsteilnehmer sind kaum Erfolge zu erzielen.

Prof. Heinz Zackor kommt zu einem ähnlichen Ergebnis und schreibt abschließend:

*„darüber hinaus muss die Einhaltung der durch die verkehrstechnischen Maßnahmen eingeleiteten verkehrsrechtlichen Anordnungen durch die Polizei stichprobenartig überwacht werden“.*¹⁵

Deshalb werden in die SBA in Bayern auch entsprechende Verkehrsüberwachungsanlagen eingebaut. Mobilmessungen können wegen der wechselnden Geschwindigkeiten nämlich nicht durchgeführt werden. Der Einsatz von

¹⁵ „Forschung, Straßenbau und Straßenverkehrstechnik“, Heft 720 aus dem Jahre 1996

„Starenkästen“ neben der Fahrbahn wurde in die konzeptionelle Planung nicht miteinbezogen. Auch sollte eine weitgehende Sichtbarkeit und ggf. Fehlreaktionen der Fahrzeugführer vermieden werden. Das Polizeipräsidium Oberbayern entwickelte in enger Zusammenarbeit mit der Fa. Multanova ein Messverfahren mit dem System „Multanova 6FA“. Damit können die dynamischen Geschwindigkeitswerte in das System übertragen und bei der Messung berücksichtigt werden. Auf der BAB A 9 sind im Streckenabschnitt der SBA mehrere Messstellen in beiden Richtungen vorbereitet.

5.2 Technik

Um eine gerichtsverwertbare Messung zu erreichen, müssen die Daten der Matrixzeichen in die polizeiliche Überwachungstechnik eingespielt werden.

Die Datenübernahme der SBA zum polizeilichen Überwachungsgerät erfolgt an einer vordefinierten Schnittstelle.¹⁶ Hierbei werden die Werte abgenommen, die nach der Schaltung der SBA als Kontrollsignal zur Rechnerzentrale zurückgeleitet werden.

Zur optimalen Fahrerdokumentierung von der ca. 5 m über der Fahrbahn liegenden Messeinrichtung ist es erforderlich, die Frontfotoanlage mit einem leichten Teleobjektiv auszustatten. Zur besseren Ausleuchtung der Fahrgastzelle wird ein Zusatzblitz verwendet. Die Frontfotos selbst haben eine so gute Qualität, dass sogar eine Ahndung des Gurtverstoßes durchgeführt werden kann.

5.3 Standortauswahl

Die vorbereiteten Messstellen im Bereich des PP Oberbayern wurden unter Zugrundelegung der Unfallanalysen so ausgewählt, dass gefahrgeneigte Streckenabschnitte und Unfallschwerpunkte erfasst werden. Dies sind überwiegend die Steigungs- und Gefällestrrecken, die Zufahrten zu Tunnels sowie die großräumigen Bereiche von Autobahndreiecken und -kreuzen.

Die Schilderbrücken werden von der Polizei soweit als möglich technisch so vorgerüstet, dass später entsprechende Messgeräte eingebaut werden können.

¹⁶ Die technischen Bedingungen der definierten seriellen Schnittstelle wurden in den „Technischen Lieferbedingungen für Streckenstationen – TLS, Ausgabe 1993“, sowie dem Merkblatt für die Ausstattung von Verkehrsrechnerzentralen und Unterzentralen MARZ, Ausgabe 1997, festgeschrieben.

5.4 Ergebnisse und Auswirkungen der Verkehrsüberwachung

Das PP Oberbayern setzt bei der Überwachung auf die sog. „Nadelstichtechnik“, d.h., dass nur punktuell an häufig wechselnden Messstellen die Geschwindigkeit gemessen wird. Hierdurch ist die Verkehrsüberwachung für den Autofahrer nicht „planbar“ und zeigt daher eine generalpräventive Wirkung.

In den letzten drei Jahren wurden im Bereich des PP Oberbayern an den stationären Messstellen 148.272 Fahrzeugführer wegen einer Geschwindigkeitsüberschreitung beanstandet, wobei 85.460 „gravierende“ Verkehrsverstöße ermittelt wurden.¹⁷

Technische Verkehrsüberwachung BAB A 9 im Jahre 1999

Messstelle	Beanstandungen			Durchlauf	Quote
	Gesamt	Verwarnungen	Anzeigen		
20 905 (mobil)	224	92	132	15.966	1,40
20 930 (mobil)	457	209	248	2.704	16,90
20 947 (mobil)	927	343	584	157.239	0,59
21 003 (stationär)	5.990	1.478	4.512	2.196.890	0,27
21 004 (stationär)	4.062	772	3.290	1.733.182	0,23
21 005 (stationär)	586	369	217	95.753	0,61
40 688 (mobil)	1.012	1	1.011	10.031	10,09
40 687 (mobil)	1.740	3	1.737	21.519	8,09
40 668 (mobil)	47	24	23	2.293	2,05
40 667 (mobil)	19.955	12.295	7.660	356.194	5,60

Quelle: PP Oberbayern, Arbeitsstatistik V 5

Bild 17: Technische Verkehrsüberwachung BAB 9 im Jahre 1999

Bild 17 zeigt insbesondere die unterschiedlichen Beanstandungsquoten bei mobilen und stationären Messungen.

Diese generalpräventive Wirkung spiegelt sich auch in der grundsätzlich niedrigen Beanstandungsquote von durchschnittlich unter einem Prozent wider. Auf Streckenbereichen außerhalb von Streckenbeeinflussungsanlagen wurden Beanstandungsquoten bis zu ca. 17% festgestellt. Dieses Ergebnis spricht für die hohe Akzeptanz der SBA sowie für die Wirkung der polizeilichen Verkehrsüberwachung in diesen Bereich.

¹⁷ Siehe Ziff. 6 des Fachbeitrages von Prof. Dr. Hans Klette Seite 53 ff., Auswertung VOWi-Arbeitsstatistik PP Oberbayern

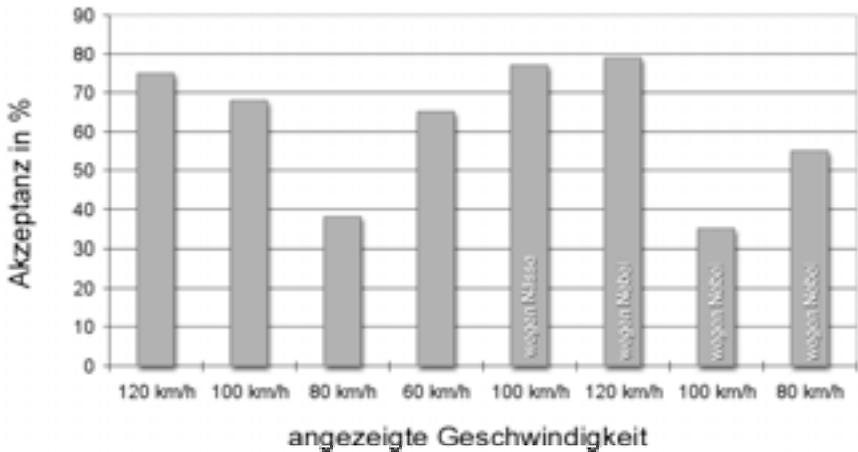


Bild 18: Akzeptanz (Pkw) der angezeigten Geschwindigkeiten (BAB A9)

6. Abschließende Bemerkungen

Um noch mehr Sicherheit im Straßenverkehr zu erreichen, wird die intelligente Informationstechnik in Form von Verkehrsleitsystemen in Zukunft eine wichtige Rolle spielen.

Die positiven Erfahrungen mit dem Verkehrsleitsystem München-Nord waren Grundlage für die weiteren Planungen von Streckenbeeinflussungsanlagen. Im Bereich des Polizeipräsidiums Oberbayern werden bis zum Jahre 2001 die wesentlichen und meist belasteten Autobahnabschnitte mit dieser Technik ausgestattet sein.

Betrachtet man die im Wesentlichen stets gleichbleibenden Hauptunfallursachen bei Verkehrsunfällen mit Personenschäden auf den Bundesautobahnen, nämlich mangelnder Sicherheitsabstand und überhöhte Geschwindigkeit, so wird deutlich, dass die Sinnhaftigkeit der intelligenten Informationstechnik einschließlich der polizeilichen Überwachung nicht in Frage gestellt werden kann. Das gilt umso mehr als die Streckenbeeinflussungsanlagen von einer hohen Akzeptanz der Kraftfahrer profitieren.

Die hohe Akzeptanz dieser variablen Verkehrsleittechnik ist nicht zuletzt auf die schwerpunktmäßige Überwachung der Geschwindigkeit durch die Polizei zurückzuführen. Damit besitzen Verkehrsleitsysteme insbesondere in der Form von Streckenbeeinflussungsanlagen ein erhebliches Potential für die Verbesserung der Verkehrssicherheit auf den Bundesautobahnen.

Variabler Verkehrsleittechnik ist gegenüber stationären Beschilderungen eindeutig der Vorrang einzuräumen. Erfahrungen zeigen, dass situationsabhängige Geschwindigkeitsbeschränkungen wesentlich besser akzeptiert werden, als Beschränkungen durch stationäre Verkehrszeichen deren Sinn häufig von den Kraftfahrern nicht erkannt wird.

Telematik im Verkehr unter Nutzung modernster Entwicklungen der Informationstechnik hat mit Sicherheit eine große Zukunft. Sie ist geeignet, die Lösung der wichtigsten Aufgaben „Sicherheit des Straßenverkehrs, Minderung der Verkehrsbelastung, Schutz der Umwelt“ auf den Hauptverkehrsrouen zu fördern und zu erleichtern.¹⁸

¹⁸ Dr. W. Bouska, Telematik im Straßenverkehr
224

Verzeichnis der Autoren

Dr.-Ing. Ernst Assmann
BMW AG
80788 München

Dipl.-Ing. Albrecht Böttiger
Porsche AG
Porschestr. 42
70435 Stuttgart-Zuffenhausen

Prof. Dr. rer. nat. Heiner Bubb
Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München
Boltzmannstr. 15
85748 Garching

Dipl.-Ing. Lutz Eckstein
DaimlerChrysler AG
71063 Sindelfingen

Polizeiberrat Johann Gschoßmann
Polizeipräsidium Oberbayern
Knorrstr. 139
80937 München

Dipl.-Ing. Ernst Hafner
TRW Automotive, Automotive Electronics
Industriestr. 2-8
78315 Radolfzell

Dr.-Ing. Rudolf Haller
BMW Group
80788 München

Riender Happee, PhD
TNO Automotive, Crash Safety Centre
P.O.Box 6033
2600 JA Delft, The Netherlands

Prof. Dr.-Ing. Bernd Heißing
AUDI AG
85045 Ingolstadt

Dipl.-Ing. Jürgen Hoffmann
Volkswagen AG
Postfach 91 09 15
38436 Wolfsburg

Dr.-Ing. Winfried König
Robert Bosch GmbH
Postfach 300 240
70442 Stuttgart

Dr.-Ing. Günter Reichart
BMW AG
80788 München

Dipl.-Ing. Wolfgang Remlinger
AUDI AG
85045 Ingolstadt

Dipl.-Ing. Gerhard Schmale
Johnson Controls, Naue Engineering
Industriestr. 20-30
51399 Burscheid

Dr.-Ing. Andreas Seidl
tecmath AG
Sauerwiesen 2
67661 Kaiserslautern

Dipl.-Ing. Martin Wünsche
DaimlerChrysler AG
71059 Sindelfingen