

**mensh+
fahrzeug**

**2. Darmstädter Kolloquium
März 2005
TU Darmstadt**

Herausgeber: K. Landau und H. Winner



VORWORT

Die Leistungsfähigkeit eines Fahrers bzw. einer Fahrerin oder eines Fahrzeugs kann nur in geringem Umfang isoliert voneinander bewertet werden. Daher wird auch oft von der Fahrer-Fahrzeug-Einheit gesprochen, wenn Leistungsbetrachtungen angestellt werden. Diese Verbindung betrifft sowohl das fahrdynamische Gesamtverhalten (Stichwort Handling) als auch die Bedienung des Fahrzeugs, über die letztendlich das „Fahren“ im Sinne der Fahrzeugführung stattfindet. Da die Fahrzeugführung in vielen Fällen ein Regelprozess mit Rückführung ist, sind im Laufe der Fahrzeugentwicklung Anzeigen hinzugekommen, die für die Rückführung die „Sensorik“ des Fahrers ergänzen und zum Teil sogar Teile des Entscheidungsprozesses abnehmen.

Die Zusammenfassung der Bedien- und Anzeigefunktionen rund um den Sitzplatz des Fahrers, nach heutigem Sprachgebrauch das **Cockpit** des Fahrzeugs, könnte im Sinne der Arbeitswissenschaft als Arbeitsplatz bezeichnet und auch entsprechend bewertet werden. Dies gilt umso mehr für die Fälle, in denen das Autofahren Teil der Berufsausübung ist, wie bei Berufskraftfahrern oder Außendienstmitarbeitern. Aber auch Pendler verbringen berufsbedingt einen großen Anteil ihrer Lebenszeit hinter dem Steuer. Selbst freizeitbedingte Fahrten, insbesondere bei Urlaubstouren, müssen unter dem Gesichtspunkt der Arbeitswissenschaft beleuchtet werden, da bei den oftmals unternommenen „Gewalttouren“ die Belastbarkeit des Fahrers überschritten wird. Daher ist ein aus arbeits-

wissenschaftlicher Sicht optimaler Fahrerarbeitsplatz immer anzustreben.

Allerdings reicht eine reine auf die Ergonomie zielende Betrachtung für die Gestaltung nicht aus. Als Allgemeinut kann die Ansicht gelten, dass insbesondere PKW und motorisierte Zweiräder die Emotionen ansprechen müssen, um im Markt erfolgreich zu sein. So bezieht sich das Kriterium Qualitätsanmutung nicht nur auf Karosseriespaltmaße, sondern im Wesentlichen auf die empfundene Wertigkeit des Interieurs mit dem Cockpit als optisch besonders im Fokus stehenden Anteil. In der Ausführung des Cockpits spiegelt sich die Wertschätzung wieder, die ein Automobilhersteller dem Nutzer zeigt. Nüchterne, durchaus ergonomische Gestaltungen werden oftmals als lieblos angesehen und geben dann den Impuls, doch ein Fahrzeug der Konkurrenz zu wählen.

Als wäre der Wettbewerb um beste Ergonomie und Anmutung nicht schon schwierig genug, so treten seit Jahren und auch in Zukunft neue Innovationen als weitere „Störgrößen“ der Cockpit-Entwicklung auf. Daraus ergeben sich zusätzliche Herausforderungen sowohl für die Entwicklung der Mensch-Maschine-Schnittstelle dieser neuen Systeme als auch für die funktionale und räumliche Integration mit anderen bestehenden oder neuen Bedien- und Anzeige-funktionen.

Ansätze für die Gestaltung zukünftiger Cockpits sowie für die dazu passende Entwicklungsmethodik stehen im Mittelpunkt des für das Jahr 2005 gewählten Themenschwerpunkts *Cockpits für Straßenfahrzeuge der Zukunft* in der Reihe des Darmstädter Kolloquiums

Mensch & Fahrzeug, die von den Fachgebieten Arbeitswissenschaft (Leitung Prof. Landau) und Fahrzeugtechnik (Leitung Prof. Winner) der Technischen Universität Darmstadt veranstaltet wird.

In dem einführenden Beitrag von Prof. Dr. K. Landau werden die beiden Herausforderungen Innovation und Ergonomie beleuchtet und auf uns zukommende Entwicklungen vorgestellt. Im Mittelpunkt der Ausführungen von Dr. P. Sandl und seiner Co-Autoren steht Situation Awareness. Erfahrungen der Luftfahrt machen deutlich, wie wichtig das richtige Situationsbewusstsein für eine Fehlervermeidung ist und mit welchen Ansätzen Verbesserungen erreicht werden. Dr. M. Schweigert stellt Methoden zur Fahrerzustandserkennung vor und diskutiert verschiedene Nutzungsmöglichkeiten.

Auf die Mensch-Maschine-Schnittstelle von Fahrerinformationssystemen geht Dr. P. Rößger ein und stellt neben Grundlagenbetrachtungen auch Überlegungen zur Gebrauchstauglichkeit (Usability) vor. Unter dem Titel 0-99: Die interessanten Lebensjahre für die Fahrzeugforschung erfahren wir von Dr. M. Kiss, weshalb bei der Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstellen auf die unterschiedlichen Möglichkeiten und Erwartungen verschieden alter Nutzergruppen Rücksicht zu nehmen ist.

In den nächsten Beiträgen steht die Bedienung im Vordergrund. Prof. Dr. H. Winner gibt einen Überblick über bisher bekannte X-by-Wire-Betätigungselemente und einen Ausblick auf zukünftige X-by-Wire-Bedienkonzepte. In dem Beitrag von Dr. L. Arevalo

werden Konzept und Umsetzung der Bedienung von Navigationsystemen per Sprachsteuerung erläutert.

Die beiden Beiträge zum Abschluss geben den neuesten Stand bei der Entwicklungsunterstützung wieder. Sowohl die von Dr. M. Dangelmeier vorgestellte Methodik des Virtual Prototyping als auch die Möglichkeiten der Mixed Reality, präsentiert von Dr. D. Stricker und Co-Autoren, zeigen die großen Potenziale solcher Computer-Aided-Engineering-Methoden für die Entwicklung der Mensch-Maschine-Schnittstelle auf.

Die Herausgeber bedanken sich bei den Autoren herzlichst für die überaus vielschichtigen und wissenschaftlich anspruchsvollen Beiträge, die damit einen konzentrierten Überblick über die Forschung der Industrie, Forschungsinstituten und Hochschule zum Thema Cockpit ermöglichen.

In gleicher Weise gilt der Dank den Mitarbeitern der Fachgebiete Arbeitswissenschaft und Fahrzeugtechnik für deren tatkräftige Unterstützung. Namentlich geht der Dank an die Mitglieder des Organisationsteams, namentlich Frau Dr.-Ing. Bettina Abendroth und Frau Dipl.-Ergonomin Muriel Didier vom Fachgebiet Arbeitswissenschaft und Herr Dipl.-Ing. Steffen Luh und Frau Dipl.-Ing. Doris Schmidt vom Fachgebiet Fahrzeugtechnik für die fachliche und organisatorische Mitgestaltung des Kolloquiums.

Darmstadt, im März 2005

Prof. Dr.-Ing. K. Landau Prof. Dr. rer. nat. H. Winner

INHALTSVERZEICHNIS

COCKPIT DER ZUKUNFT – INNOVATIONEN PLUS ERGONOMIE!	1
B. Abendroth, M. Didier, O. Meyer, K. Landau	
SITUATION AWARENESS – EIN KRITERIUM FÜR DIE COCKPITENTWICKLUNG?	18
H. Neujahr, P. Sandl, J. Schumann, T. Voß	
FAHRERZUSTANDSERKENNUNG IM KRAFTFAHRZEUG – HERAUSFORDERUNGEN UND POTENZIALE	35
M. Schweigert	
DIE MENSCH-MASCHINE-SCHNITTSTELLE VON FAHRER- INFORMATIONSSYSTEMEN	50
P. Rößger	
DIE INTERESSANTEN LEBENSJAHRE FÜR DIE FAHRZEUGFORSCHUNG	62
M. Kiss	
X-BY-WIRE BETÄTIGUNGSELEMENTE – ÜBERBLICK UND AUSBLICK	79
H. Winner, O. Heuss	

**SPRACHBEDIENUNG FÜR NAVIGATIONSYSTEME
MEHR SICHERHEIT BEREITS IM EINSTIEGSSEGMENT 116**

L. Arévalo, A. Jungk, S. Auberg

**VIRTUAL PROTOTYPING UND TESTING DER MENSCH-
MASCHINE-SCHNITTSTELLE 132**

M. Dangelmaier

**MIXED REALITY: EIN ÜBERBLICK ÜBER DIE AKTUELLEN
ANWENDUNGEN UND TRENDS..... 145**

P. Dähne, A. Zieringer, J. Weidenhausen, W. Kresse, D. Stricker

COCKPIT DER ZUKUNFT – INNOVATIONEN PLUS ERGONOMIE!

Bettina Abendroth, Muriel Didier, Oliver Meyer, Kurt Landau

Institut für Arbeitswissenschaft, Technische Universität Darmstadt

1 WAS CHARAKTERISIERT DAS COCKPIT DER ZUKUNFT?

In den letzten drei Dekaden hat sich das Fahrzeugcockpit dahingehend verändert, dass dem Fahrer mehr Informationen über den Zustand einzelner Fahrzeugelemente (z.B. Reifendruck, Reichweite) und -systeme (z.B. ACC) sowie der Fahrzeugumgebung (z.B. GPS Daten) zur Verfügung gestellt werden. Auch Kommunikations-Anwendungen halten nach und nach stärker Einzug in das Fahrzeug, so dass der Fahrer neben seiner Hauptaufgabe Fahrzeugführen auch Kapazitäten für Kommunikationsaufgaben benötigt. Die erweiterte Information des Fahrers über verschiedene Anzeigen bringt zwangsläufig auch mehr Bedieneingaben für den Fahrer mit sich. Während zunächst der Trend dazu ging, diesen neuen Informationen sowie den damit verbundenen Bedieneingaben jeweils eine eigene Anzeige sowie eigene Bedienelemente zuzuordnen, werden inzwischen entsprechend ergonomischer Erkenntnisse wenige Informationsbereiche im Fahrzeugcockpit mit variablen Informationen belegt und auch möglichst wenige zentrale Bedienelemente zur Steuerung dieser Informationen vorgesehen. Aus-

genommen davon sind die klassischen, für die Hauptaufgabe der Fahrzeugführung unbedingt notwendigen Anzeigen und Bedienelemente. Daraus ergibt sich zwangsläufig, dass nicht alle Informationen während der gesamten Fahrt zur Verfügung stehen, sondern entsprechend der jeweiligen Situation prioritätsgesteuert angezeigt werden. Ziel ist es dabei, einen *information overload* des Fahrers zu vermeiden und dem Grundsatz zu folgen, dem Fahrer nur so viele Informationen wie nötig anzubieten.

Aus ergonomischer Sicht führen die Bestrebungen, die Gebrauchstauglichkeit (Usability) der Fahrzeugbedienung, den Komfort des Fahrers sowie die aktive Sicherheit zu erhöhen, zu Innovationen im Fahrzeug (-cockpit). Aber auch technologischer Fortschritt, Bestrebungen die Kosten der Fahrzeugproduktion zu senken oder Marketingüberlegungen sind Gründe für eine innovative Fortentwicklung des Fahrzeugcockpits.

2 COCKPIT INNOVATIONEN UND DEREN ERGONOMIEANALYSE AM INSTITUT FÜR ARBEITSWISSENSCHAFT DER TU DARMSTADT

Im Folgenden werden ausgewählte innovative Entwicklungen im Fahrzeugcockpit sowie deren Überprüfung aus ergonomischer Sicht dargestellt.

2.1 Anzeigen - Head-Up Display

Im Gegensatz zu Head-Down Displays (HDD), die schon vor Jahrzehnten Einzug ins Fahrzeug gefunden

haben sind Head-Up Displays (HUD) für den Einsatz im Fahrzeug erst in den letzten Jahren ins Gespräch gekommen. Untersuchungen von Sichtverbesserungssystemen, die Informationen mittels HUD darbieten, haben gezeigt, dass insbesondere ältere Fahrer, die aufgrund ihrer reduzierten visuellen Leistungsfähigkeit am meisten von einem Sichtverbesserungssystem profitieren müssten, dieses weniger nutzen als jüngere Fahrer (Rumar K. 2002). Die Ursachen hierfür sind vielfältig. Ein sicherheitskritischer möglicher Effekt von HUD ist das *cognitive capture*. Man spricht von einem solchen Effekt, wenn dem HUD soviel Aufmerksamkeit zugewendet wird, dass Objekte in der realen Außensicht nicht mehr wahrgenommen bzw. übersehen werden. Ein weiterer Effekt kann das so genannte *cognitive tunneling* sein, bei dem der Fahrer aufgrund einer erhöhten Beanspruchung das Scannen des peripheren Sichtfeldes vernachlässigt.

Im Rahmen dieser Untersuchung wurden zwei Anzeigekonzepte eines Nachtsichtsystems (NSS) hinsichtlich Entdeckungsleistung, Nutzungsverhalten und Akzeptanz miteinander verglichen. Bei den Anzeigekonzepten handelte es sich um ein Head-Up Display (HUD), bei dem das Bild des Nachtsichtsystems auf die Windschutzscheibe des Fahrzeuges projiziert wird und um ein Head-Down Display (HDD), welches an das Armaturenbrett über der Mittelkonsole montiert war.

Es wurden Versuche im öffentlichen Straßenverkehr und auf einem Testgelände mit insgesamt 23 Versuchspersonen im Alter von 61 Jahren bis 86 Jahren durchgeführt. Nach den Versuchsfahrten wurden die Displays von den Probanden bezüglich verschiedener

Kriterien beurteilt. Während des gesamten Versuches wurden die Blickbewegungen der Versuchspersonen aufgezeichnet. Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse der Studie vorgestellt.

Die Auswertung der Blickaufzeichnungen zeigte, dass vor allem in den ersten 10 Minuten die visuelle Ablenkung durch das HUD sehr groß war, da die Probanden häufig sehr lange und oft auf das HUD schauten. Dabei hatte die längste Blickzuwendung auf das HUD eine Dauer von 7,8 Sekunden, was auf einen Effekt des *cognitive capture* zurückzuführen sein kann. Nach ca. 30 Minuten stellte sich ein relativ konstantes Blickverhalten bzgl. der Dauer ein. So betrug am Ende der Versuchsfahrt die längste Blickzuwendung auf das HUD nur noch 1,2 Sekunden und war damit deutlich kürzer als die auf das HDD (1,6 Sekunden). Die mittleren Dauer der Blickabwendungen von der Fahrbahn auf das HUD (500 Millisekunden) waren über die gesamte Fahrdauer ca. 200 Millisekunden kürzer als die auf das HDD (700 Millisekunden).

Ähnlich wie die Blickdauern verhielt sich auch die Anzahl der *Blickzuwendungen* auf das HUD. So war am Anfang die Anzahl der Blickzuwendungen auf das HUD deutlich höher als die auf das HDD (HUD = 70, HDD = 30). Gegen Ende der Versuchsfahrt wurde ungefähr doppelt so häufig auf das HUD geblickt wie auf das HDD (HUD = 20, HDD = 10). Wie bei der Dauer, wurde bei der Häufigkeit der Blickzuwendungen ebenfalls ein Trend zu weniger Blickzuwendungen mit der Fahrzeit festgestellt. Allerdings war diese Tendenz nach der ca. 50-minütigen Fahrt mit dem HUD noch nicht beendet. Dies lässt vermuten, dass das Ende der

Gewöhnungsphase an das NSS nach 50 Minuten noch nicht abgeschlossen war.

Während der Fahrt im öffentlichen Straßenverkehr wurde vom Versuchsleiter protokolliert, ob die Versuchspersonen ein Objekt (Mensch oder Tier) zuerst in der Anzeige des Nachtsichtsystems gesehen haben oder nicht. Anzahl und Ort der Objekte waren zufällig. Die Entdeckungsleistung lag bei Fahrten mit HDD (Entdeckungsleistung 25%) um ca. 10% höher als bei Fahrten mit HUD (Entdeckungsleistung 15%). Diese relativ geringen Entdeckungsraten liegen darin begründet, dass die Versuchspersonen nur zufällig auf die Anzeige des Nachtsichtsystems geschaut haben. Ein Hervorheben von relevanten Objekten in der Anzeige des Nachtsichtsystems könnte die Entdeckungsraten erhöhen. Da die Entdeckungsraten bei Fahrten mit HUD noch einmal geringer lagen als bei Fahrten mit HDD liegt vor allen Dingen an der schlechteren Bildqualität des HUD. Vor allem der im Vergleich zum HDD geringere Kontrast wurde von den Versuchspersonen bemängelt.

Bei den Vergleichsversuchen auf dem Testgelände wurden aufgestellte Attrappen deutlich früher in der Anzeige des NSS gesehen (HDD bis zu 24 Sekunden, HUD bis zu 21 Sekunden früher) als sie im Licht der Scheinwerfer von den Probanden entdeckt wurden. Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Versuchspersonen gezielt nach den aufgestellten Attrappen suchten.

Die Auswertungen bezüglich des *Nutzungsverhaltens* haben gezeigt, dass von den Versuchspersonen der höchste Nutzen des Nachtsichtsystems vor allem auf

Landstraßen und in Ortschaften gesehen wird. 60% der Probanden, die mit HUD und 40% derer die mit HDD gefahren waren, vertraten die Meinung, dass das NSS auf Landstraßen sehr sinnvoll sei. Dies ist damit zu erklären, dass durch das Nachtsichtsystem insbesondere Fußgänger, Radfahrer und Tiere hervorgehoben werden, die überwiegend in den oben genannten Bereichen auftreten. Die Analyse der Blickbewegungen ergab, dass in als relativ schwierig anzusehenden Streckenabschnitten (1-spurig, ohne Fahrbahnmarkierungen, usw.) die Anzeige des Nachtsichtsystem kürzer und weniger oft abgelesen wurde.

Die *Akzeptanz* des HUD's war deutlich höher als die für das HDD. So gaben 65% der Versuchspersonen an, lieber das HUD benutzt zu haben. Allerdings wurde bei den Fahrten im öffentlichen Straßenverkehr das HUD in 8 von 12 Fällen als störend eingestuft. Ursache hierfür war, dass das HUD einen Teil der Fahrbahn überdeckte. Weiterhin wurde der schlechte Kontrast bzw. die mangelnde Bildschärfe von den Versuchspersonen bemängelt. Als positiver Effekt des HUD's wurde angegeben, dass der Kopf während dem Ablesen nicht von der Fahrbahn abgewendet werden muss.

Bezüglich des Fahrverhaltens konnten keine signifikanten Effekte der so genannten Risikokompensation festgestellt werden. Lediglich in drei von neun Fahrten fuhren die Probanden mit NSS schneller als in der Vergleichsfahrt ohne NSS.

Aufgrund der durchgeführten Untersuchung kann nicht davon ausgegangen werden, dass durch den Einsatz eines hinsichtlich der Gestaltungsempfehlun-

gen optimiertes HUD, als Anzeige des vorliegenden NSS, das Risiko zu verunfallen erhöht. Die Vorteile des HUD gegenüber dem HDD überwiegen.

2.2 Bedienelemente – Abstandsregelsystem

Abstandsregelsysteme (auch als ACC-Systeme – Adaptive Cruise Control– bezeichnet) unterstützen den Fahrer bei der Längsführung, d.h. bei der Regelung der Geschwindigkeit und des Abstandes zum vorausfahrenden Fahrzeug. Im Vergleich zu konventionellen Geschwindigkeitsregelsystemen wird der Fahrer zusätzlich durch die automatische Anpassung der Sollgeschwindigkeit an die Geschwindigkeit des in der gleichen Spur vorausfahrenden Fahrzeuges unterstützt.

Im Folgenden werden die Ergebnisse aus zwei ACC-Versuchsreihen dargestellt. Dabei fuhr ein Probandenkollektiv (N=22) einen BMW 740i, dessen ACC in Hard- und Software dem Serienstand bei Markteinführung im Jahr 2000 entsprach, die Versuche wurden von Januar bis Juni 2000 durchgeführt. Ein weiteres Probandenkollektiv (N=36) fuhr sowohl einen Mercedes S 420, Baujahr 1999 als auch einen Audi A8 quattro, Baujahr 2003, die Versuche fanden von Februar bis März 2004 statt. Die Fahrer haben unter anderem die Bedienelemente dieser ACC-Systeme beurteilt.

Die Bedienelemente für das ACC-System sind bei dem BMW Fahrzeug auf der rechten Seite des Multifunktionslenkrades angeordnet. Die ACC-Systeme im Audi und im Mercedes werden jeweils mit einem Lenk-

stockhebel, links des Lenkrades bedient. Im Mercedes befinden sich zusätzlich in der Mittelkonsole, links neben dem Gangwahlhebel noch ein Drehrad für die stufenlose Einstellung des Folgeabstandes sowie ein Druckschalter zur Deaktivierung des Warntones (Bild1).



Bild 1: ACC-Bedienelemente der oben aufgeführten Versuchsfahrzeuge: BMW (oben links), Audi (oben rechts), Mercedes (unten)

In Tabelle 1 sind für die drei Fahrzeuge die wichtigsten Bedientätigkeiten zum Einstellen der ACC-Systeme aufgeführt. Es zeigt sich, dass keine einheitliche Bedienphilosophie existiert, die den Fahrern den Wechsel zwischen verschiedenen Fahrzeugen erleichtern würde.

Tabelle 1: Bedienung der ACC-Systeme der drei Fahrzeuge BMW 740i, Mercedes S-Klasse, Audi A8

	BMW	Mercedes	Audi
Einschalten	Druckschalter mit dem Symbol „I/O“	Hebel nach oben drücken	Taste „SET“ Richtung Lenkrad drücken
Wunschgeschwindigkeit einstellen	Wippschalter mit dem Symbol „+ -“	Hebel nach oben bzw. unten drücken bzw. in Richtung des Fahrers ziehen	Hebel nach oben bzw. unten drücken
Folgeabstand einstellen	durch mehrmaliges Betätigen des „Resume“ Druckschalters kann zwischen drei Folgeabständen gewählt werden	durch Drehen des Rädchens in der Mittelkonsole	Bewegung des Schiebers („-DIST +“) auf dem Hebel nach links bzw. rechts
Ausschalten	durch Betätigen des Bremspedals oder über den Druckschalter mit dem Symbol „I/O“	durch Betätigen des Bremspedals oder durch Drücken des Hebels vom Fahrer weg	durch Betätigen des Bremspedals oder durch Drücken des Hebels vom Fahrer weg in Richtung „OFF“

Die Bedienung der ACC-Systeme wird von den Fahrern in allen drei Fahrzeugen eher als einfach als als

schwierig oder kompliziert beurteilt (Bild 2). Dabei werden die Bedienelemente im BMW am besten beurteilt. Die Bedienung über die wenigen Schalter im Multifunktionslenkrad scheint weniger schwierig zu sein als die Bewegung der Lenkstockhebel in vier verschiedene Richtungen und die Einstellung des Abstands über zusätzliche Schieber bzw. Rädchen.

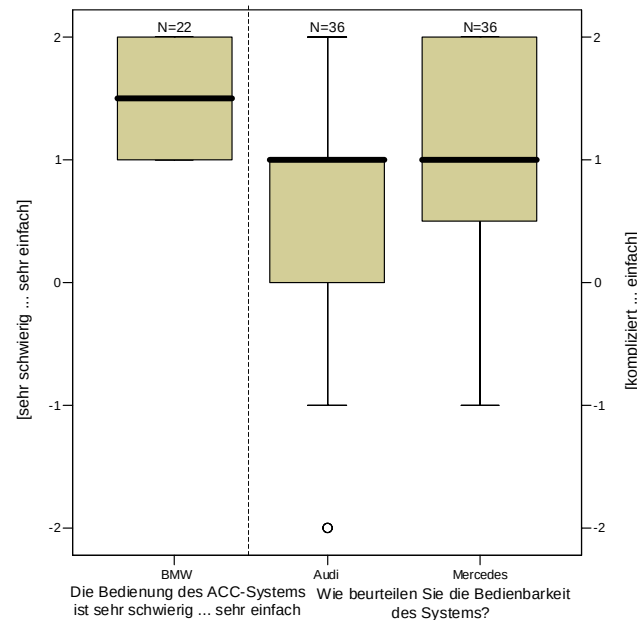


Bild 2: Beurteilung der Bedienung des ACC-Systems in den Fahrzeugen BMW, Audi und Mercedes

Unabhängig von den spezifischen ACC-Bedienelementen beurteilen alle Fahrer die Position ihres Fußes beim Fahren mit ACC-System eher als bequem (Bild 3).

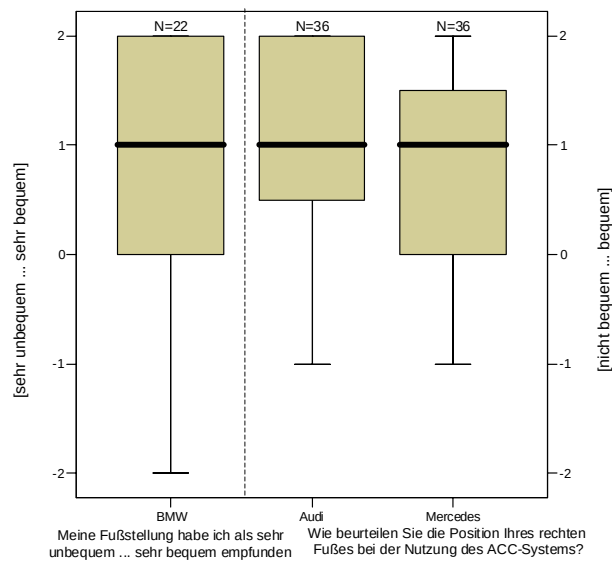


Bild 3: Beurteilung der Fußposition bei der Nutzung von ACC-Systemen in den Fahrzeugen BMW, Audi und Mercedes

Der relativ große Streubereich zeigt jedoch, dass hier noch Verbesserungspotential besteht. Videobeobachtungen des Fußraumes beim Fahren mit ACC-System haben ergeben, dass die Fahrer den Fuß entweder auf dem Fahrpedal leicht ablegen oder der Fuß im Fußraum vor den Pedalen positioniert wird. Die Position auf dem Fahrpedal kann unbequem sein, wenn der Fuß nicht mit dem gesamten Gewicht abgelegt werden kann, um ein Übersteuern des ACC-Systems zu vermeiden. Das Komfortempfinden dieser Fußposition wird darüber hinaus durch den Winkel zwischen Fuß und Bein beeinflusst, der abhängig ist von der Gestaltung des Pedals sowie von der individuellen Fußgröße. Die Position des Fußes an einem beliebigen Ort im

Fußraum kann den Weg zum Bremspedal vergrößern und somit zum Sicherheitsproblem werden, wenn der Fahrer in einer kritischen Situation schnell in das ACC-System eingreifen muss.

2.3 Individualisierung

Ein Ansatz zur Anpassung des Fahrzeuges an den jeweiligen Fahrer besteht darin, im Fahrzeug die Erledigung einiger beruflicher Aufgaben zu ermöglichen. Denn vernetztes und vollmobiles Arbeiten ist ein Ausdruck des Zeitgeistes des beginnenden 21. Jahrhunderts, und es kann davon ausgegangen werden, dass dieser Trend sich auch auf die Ausstattung von Fahrzeugen und somit auf die Aufgaben des Fahrers auswirken wird. Durch die Bereitstellung von Internet-Dienstleistungen im Fahrzeug sowie von Telefon- und Spracherkennungssoftware wird der PKW immer mehr zur mobilen Arbeitsstätte. Lange Fahrtzeiten im dichten Verkehr und Standzeiten im Stau können für Telefonate, Diktate und Informationsübermittlung genutzt werden.

Werden Fahrtätigkeit und Berufsarbeit simultan ausgeführt ist aus Sicht der Sicherheit und der Ergonomie zu berücksichtigen, dass die Berufstätigkeit vorwiegend passiv erfolgt, die Ablenkung von der Fahrtätigkeit möglichst gering ist und die Blickabwendungen vom Verkehr zu minimieren sind.

Bei der simultanen Gestaltungslösung von Fahrtätigkeit und Berufsarbeit stellt sich vor allem die Frage nach den information-overload-Situationen, hier steht die Doppeltätigkeit des Fahrers mit ihren Sicherheits-,

Beanspruchungs-, Ermüdungs- und Erschöpfungseffekten im Mittelpunkt der ergonomischen Gestaltung. Zu analysieren sind hier vor allem Fehlhandlungen und Handlungsfehler.

So hat z.B. die Untersuchung der Superposition aus Fahrtätigkeit und Telefonieren am Steuer in unterschiedlichen Studien im realen Straßenverkehr gezeigt, dass sich das Telefonieren während der Fahrt fast in allen Situationen negativ auf die Aufmerksamkeit und die Koordination beim Fahren auswirkt. Ein großes Sicherheitsrisiko ist der Wählvorgang während der Fahrt, durchaus aber auch die Ablenkung durch Gesprächsinhalte. Auch die Nutzung einer Freisprecheinrichtung ist nicht belastungsneutral. Telefonieren während der Fahrt verschlechterte in nahezu allen Untersuchungen die Leistung bei der Bahn-, Quer- und –Längsführung. Ältere Personen waren davon stärker betroffen als Jüngere. Die Reaktionszeiten beim Telefonieren während der Fahrt verschlechterten sich um 0,5 bis 1,0 Sekunden (Lamble et al. 1999).

Im Gegensatz dazu sind die Arbeitsaktivitäten im Fahrzeug zwischen zwei Fahrtabschnitten, also die sukzessiven Lösungen zu sehen. Hier stehen Arbeitseffizienz- und Komfortaspekte im Vordergrund. Fahr-sicherheits- und overload-Untersuchungen spielen eine untergeordnete Rolle.

Neben Leistungs- und Beanspruchungsuntersuchungen stellt sich aus arbeitswissenschaftlicher Sicht auch immer die Frage der Akzeptanz. Trifft die Realisierung von Berufsarbeit während des Fahrens bei allen Fahrern oder aber bei bestimmten Fahrer-Clustern auf die entsprechende Akzeptanz? Zu dieser

Fragestellung wurde mit ca. 150 Fahrern eine Fragebogenerhebung vom IAD durchgeführt. Es wurden 25 Items zum allgemeinen Meinungsbild zu IT im Auto, Belastungs- und Beanspruchungskomponenten, dienstliche Nutzungsgewohnheiten, private Nutzungsgewohnheiten, Zukunftsperspektiven und Wünsche abgefragt.

Die befragten Fahrer wurden aufgrund ihrer Jahresfahrleistung sowie ihrer Erfahrungen mit Telefon und Navigationssystem im Fahrzeug in 5 Cluster unterteilt.

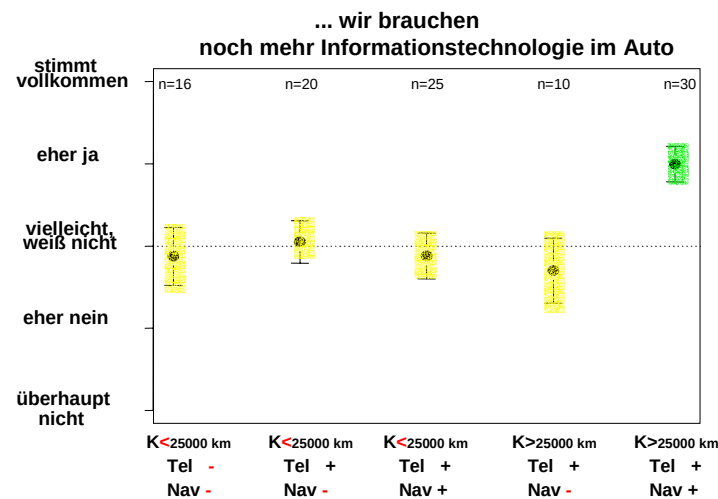


Bild 4: Beurteilung der Aussage „wir brauchen noch mehr Informationstechnologie im Auto“ durch 101 Fahrer, geclustert nach Jahresfahrleistung (K), Erfahrung mit Telefon (Tel) und Navigationssystem (Nav) im Fahrzeug

Es hat sich gezeigt, dass mit wachsender IT-Erfahrung die Skepsis gegenüber IT im Fahrzeug etwas abnimmt (Bild 4). Der Vielfahrer mit Telefon und Navigationssystem im Auto ist auch offen gegenüber neuen IT Anwendungen im Kraftfahrzeug, die über Telefon und Navigationssystem hinausgehen.

Alle Probanden erwarten negative Auswirkungen von Berufsarbeit auf die Fahrsicherheit - wenngleich fahr-aktive Personen mit Telefon im Auto etwas weniger skeptisch sind (Bild 5).

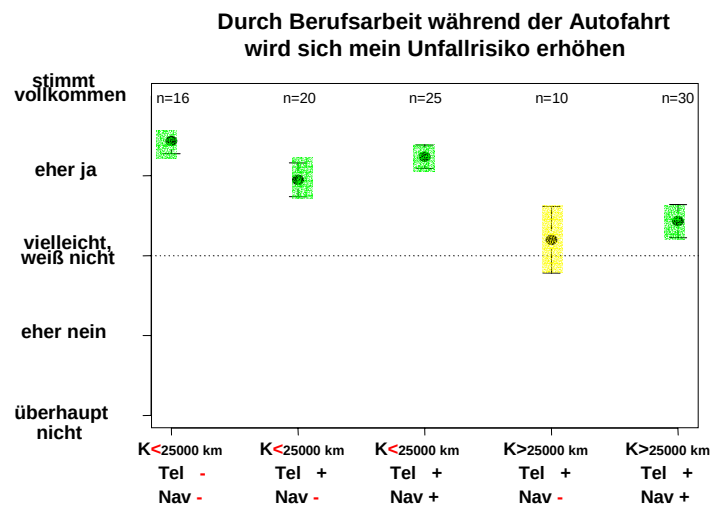


Bild 5: Beurteilung der Aussage „durch Berufsarbeit während der Autofahrt wird sich mein Unfallrisiko erhöhen“ durch 101 Fahrer, geclustert nach Jahresfahrleistung (K), Erfahrung mit Telefon (Tel) und Navigationssystem (Nav) im Fahrzeug

3 FORSCHUNGSBEDARF

In Form ausgewählter Thesen soll der künftige Forschungsbedarf aus der Sicht der Autoren angesprochen werden:

- Ältere Fahrerinnen und Fahrer sollten stärker bei Cockpit-Forschung und -entwicklung berücksichtigt werden.
- Übergreifende und transdisziplinäre Forschungsansätze zur Nutzer-Adaptivität von Fahrzeug-Cockpits sind auszuarbeiten.
- Die Superposition von Belastungen aus Fahraufgabe und Nebenaufgaben bedarf der wissenschaftlichen Untersuchung. Grenzkriterien aus dem Blickwinkel *information overload* sind abzuleiten und Cockpit-Entwicklern zur Verfügung zu stellen.
- Anzeigen und Stellteile sollten freie Kapazitäten der kinästhetischen und taktilen Sinnesdimensionen stärker berücksichtigen, die visuellen und auditiven Sinneskanäle wären dagegen eher zu entlasten.
- Die menügestützte Bedienung mit Dreh-/Drückstellern ist auf ihre Beanspruchung, auf Komfort und Akzeptanz zu untersuchen. Grenzkriterien für Cockpit-Entwickler sind abzuleiten.
- Die Erforschung von Kompatibilitäts- und Konsistenz Mess- und Beurteilungsgrößen für An-

zeigen- und Bediensysteme verschiedener Fahrzeughersteller ist voran zu treiben.

- Filterfunktionen für Assistenz- und Informationssysteme, die in Abhängigkeit von Fahrerzustand, Fahrerressourcen und Fahrsituation nur die augenblicklich relevante und sinnvolle Information zum Fahrer gelangen lassen, sind systematisch zu untersuchen. Anforderungsspezifikationen für Software-Filter sind abzuleiten.
- Prädiktionsmechanismen des Fahrerzustands in Abhängigkeit von Fahr- und Fahrzeugsituation sind zu entwickeln.
- Die Kriterien *Lernförderlichkeit* und *Adaptivität* sind mit höherem Stellenwert in die Cockpit-Entwicklung einzubringen.

LITERATUR

Rumar, K.: Night vision enhancement systems: what should they do and what more do we need to know?, Michigan University, Springfield, Va: National Technical Information Service, UMTRI 95648, 52 S., 2002.

Lamble, D.; Kauranen, T.; Laakso, M.; Summala, H.: Cognitive load and detection thresholds in car following situations. Accident analysis & prevention, 3, 617-623, 1999.

SITUATION AWARENESS – EIN KRITERIUM FÜR DIE COCKPITENTWICKLUNG?

*Harald Neujahr, Peter Sandl, Josef Schumann, Till
Voß
EADS GmbH*

ZUSAMMENFASSUNG

Zunächst wird ein heute gängiges Verständnis von Situation Awareness eingeführt, im Anschluss mit einem Modell menschlicher Informationsverarbeitung in Verbindung gebracht und anhand wichtiger Einflussfaktoren vertieft. Mit Hilfe dieser, zunächst aufgabenunabhängigen Vorstellung werden dann einzelne Beispiele der Cockpitgestaltung betrachtet und die Relevanz von Situation Awareness als Gestaltungskriterium diskutiert.

1 EINFÜHRUNG

Die frühesten Diskussionen über *Situation Awareness* (SA) (dt. *Situationsbewusstsein*) lassen sich auf die Zeit des ersten Weltkrieges zurückführen und werden Kampfflugzeugpiloten zugeschrieben (Endsley 2000). Seither hat die technische Komplexität der Flugzeuge kontinuierlich zugenommen, was zur Folge hatte, dass bis in die siebziger Jahre hinein die Anzahl der Anzeigen im Cockpit stetig zunahm. Den Höhepunkt dieser Entwicklung markiert in der Verkehrsluftfahrt die Con-

corde. In den achtziger Jahren hielt die Elektronik Einzug in den Flugzeugen. Damit konnte Platz und Gewicht gespart werden. Man erkannte jedoch sehr schnell das Potenzial der neuen Technologie für die Gestaltung des Cockpits. Die Reduktion der Zahl der Einzelinstrumente, die Bündelung und Verknüpfung von Informationen, die zunehmende Einführung von Automatisierung und schließlich die Verringerung der Zahl der Besatzungsmitglieder beherrschten die Diskussionen in dieser Zeit. Die damit verbundenen Anpassungen im Cockpit veränderten die Arbeit der Cockpitbesatzungen. Trotz oder möglicherweise gerade wegen heute verfügbarer hochautomatisierter Cockpits ist zu beobachten, dass der größte Anteil pilotenbedingter Unfälle und Zwischenfälle auf SA-Probleme zurückgeführt werden kann (Endsley & Robertson 2000). Das Interesse an SA und die wissenschaftliche Beschäftigung mit dem Thema nahm zu (Endsley 2000) – der Trend scheint bis heute ungebrochen.

2 SITUATION AWARENESS

2.1 Definition

Neben dem von Piloten geprägten Verständnis von SA „Knowing what’s going on, so you can figure out what to do“ (Adam 1993), findet man bei der International Civil Aviation Organisation folgende Formulierung: „one’s ability to accurately perceive what is in the cockpit and outside the aircraft“ (ICAO 1989 S. 13). Allerdings ermöglicht erst die wissenschaftliche Behandlung von SA (Andre 1998; Dominguez

1994) einen analytischen Zugang zu obigem Verständnis.

Grundlage für die weitere Betrachtung ist folgende, weitgehend akzeptierte und auch über den Luftfahrtbereich hinaus anwendbare Formulierung, die auf Endsley (Endsley 1995) zurückgeht. SA ist „the perception of the elements in the environment within a volume of time and space, the comprehension of their meaning and the projection of the status in the near future“. Daraus lassen sich drei Stufen von SA ableiten.

Level 1 SA: Wahrnehmung. Hierunter ist die grundsätzliche Aufnahme von relevanten Informationen aus der Umwelt und dem System zu verstehen. Mangelhafte Level 1 SA äußert sich in unvollständiger oder falsch aufgenommener Information. Ca. 76 % SA-relevanter Vorkommnisse lassen sich auf Wahrnehmungsprobleme zurückführen (Endsley & Robertson 2000).

Level 2 SA: Verstehen/Verarbeiten. Damit ist die Interpretation, Filterung, Verknüpfung der aufgenommenen Information gemeint. Sie führt zu einer Bewertung der aktuellen Situation. Hierbei auftretende Fehler wie Fehlinterpretation von Daten oder falsche mentale Modelle sind die Ursache für ca. 20 % der SA-relevanten Pilotenfehler (Endsley & Robertson 2000).

Level 3 SA: Projektion. Sie bezeichnet das höchste Maß an SA und erlaubt, ausgehend von den aufgenommenen und weiterverarbeiteten Daten eine Projektion in die unmittelbare Zukunft. Die Fähigkeit zukünf-

tige Vorkommnisse und das zugehörige Systemverhalten zu antizipieren zeichnet besonders erfahrene Operateure aus. Ca. 4 % der SA relevanten Unfälle sind auf einen Verlust von Level 3 SA zurückführbar (Endsley & Robertson 2000).

Aus der schematischen Darstellung der SA-Level (siehe Bild 1 grauer Kasten) wird auch ihr Zusammenhang untereinander deutlich. So ist für das Erreichen einer Level 2 SA das Vorhandensein von Level 1 SA zwingend erforderlich, da ohne die Wahrnehmung von Information keine Weiterverarbeitung erfolgen kann. Analoges gilt für Level 3 SA, wofür Level 2 SA die Voraussetzung bildet.

Die Abhängigkeiten deuten bereits auf den Zusammenhang mit dem menschlichen Informationsverarbeitungsprozess hin, der im folgenden Kapitel näher behandelt wird.

2.2 Situation Awareness im Kontext menschlicher Informationsverarbeitung

Ein besseres Verständnis dafür, wie SA erreicht wird, ergibt sich durch die Verknüpfung mit dem menschlichen Informationsverarbeitungsprozess. Bild 1 zeigt eine Modellvorstellung, die auf Wickens und Endsley zurückgeht (Wickens & Hollands 2000 S. 11; Endsley 2000).

beitung, werden die aufgenommenen Informationen interpretiert, kategorisiert und weiterverarbeitet. Der Übergang von der Wahrnehmung, wie hier dargestellt, zur Informationsverarbeitung ist nicht eindeutig. Charakteristisch für die Differenzierung der Informationsverarbeitung ist jedoch die Verarbeitungsgeschwindigkeit. Die kognitive Verarbeitung der Informationen erfolgt unter Nutzung des Kurzzeitgedächtnisses und dauert deshalb länger als bei automatisierter Informationsverarbeitung, bei dem diese Verarbeitungsstufe übersprungen wird (Schiffrin & Schneider 1977). Daran schließt die Handlungsauswahl und die Handlungsausführung an.

Die Feedback-Schleife verdeutlicht, dass die Informationsverarbeitung ein kontinuierlicher Prozess ist. Die Handlung bewirkt eine Systemveränderung und führt zu einem veränderten Informationsangebot. SA kann deshalb als ein dynamisches Produkt verstanden werden.

Eine Rückwirkung der SA auf die Informationsverarbeitung durch die Steuerung der Wahrnehmung ist plausibel, kommt aber erst durch Ansätze die auf Neisser (Neisser 1976) und Powers (Powers 1973) zurückgehen explizit zum Ausdruck.

Lang- und Kurzzeitgedächtnis sind wesentliche Elemente des Informationsverarbeitungsprozesses. Das Langzeitgedächtnis enthält gespeicherte Informationen, die durch Lernen und Erfahrung erworben wurden. Die dort abgelegten mentalen Modelle entstehen als Produkte der SA und dienen als Schema bzw. Referenz sowohl für neu aufzunehmende Information, als auch für die aufgenommenen Informationen und

spielen deshalb für die SA eine wichtige Rolle. Das Kurzzeitgedächtnis dient als Zwischenspeicher für die Bearbeitung informationsverarbeitender Prozesse.

SA ist abgegrenzt von der Handlungsauswahl und der Handlung selbst. Obwohl die SA wesentliche Voraussetzung für beide Prozessschritte ist, sind diese als davon entkoppelt zu betrachten. D.h. selbst wenn ein Operateur optimale SA besitzt, können ungünstige Entscheidungen, z.B. beeinflusst durch Gefühle oder falsche Selbsteinschätzung, nicht ausgeschlossen werden. Umgekehrt kann ein Operateur trotz mangelhafter SA auch günstige Entscheidungen treffen, wenn auch nur durch Zufall. So gesehen steigert ein hohes Maß an SA zwar die Wahrscheinlichkeit für eine gute Gesamtsystemleistung, ist dafür allerdings nicht in allen Fällen zwingende Voraussetzung.

2.3 Einflussfaktoren

Die menschliche Informationsverarbeitung unterliegt einer ganzen Reihe von Einflüssen, die sich wie folgt detaillieren lassen (Endsley 2000):

Aufmerksamkeit

Ein wesentlicher Einflussfaktor der Informationsverarbeitung ist die begrenzt verfügbare Ressource Aufmerksamkeit (siehe Bild 1). Wie Operateure ihre Aufmerksamkeit ausrichten, hat grundlegende Bedeutung dafür, welche Informationen aus der Umwelt und dem System zur SA beitragen. Die Ausrichtung der Aufmerksamkeit wird sowohl durch die Aufgabenstellung, die die Erwartungen eines Operateurs prägen, als auch

durch die Erfahrungen des Operators beeinflusst und äußert sich z.B. in bestimmten Beobachtungsstrategien.

Man unterscheidet zwischen selektiver und geteilter Aufmerksamkeit. Selektive Aufmerksamkeit liegt vor, wenn alle Aufmerksamkeitsressourcen auf eine Stufe im Informationsverarbeitungsprozess fokussiert werden. Sollte diese Konzentration über längere Zeit anhalten, besteht die Gefahr SA zu verlieren, da Aufmerksamkeit anderen mentalen Prozessen nicht zur Verfügung steht. Von geteilter Aufmerksamkeit spricht man bei einer Aufteilung dieser Ressource auf mehrere Informationsinhalte oder Verarbeitungsschritte. Dies scheint bei komplexen Aufgaben zu einem höheren Maß an SA zu führen.

Kurz- und Langzeitgedächtnis

Das Kurzzeitgedächtnis stellt eine andere eingeschränkt verfügbare Ressource dar, die die Kapazität der Informationsverarbeitung limitiert. Der Rückgriff auf Informationen aus dem Langzeitgedächtnis entlastet das Kurzzeitgedächtnis, weil die dort verfügbaren mentalen Modelle die Aufmerksamkeit situationsbedingt steuern und so die Informationsmenge limitieren können. Die bessere SA von erfahrenen Operateuren lässt sich mit höher entwickelten mentalen Modellen im Langzeitgedächtnis begründen.

Aufgabe/Ziele

Ziele spielen beim Erreichen von SA eine zentrale Rolle. Erst das Wissen um die Aufgabe macht eine Ausrichtung der Aufmerksamkeit möglich (top down Pro-

zess). Andererseits sind wahrgenommene Informationen möglicherweise der Anlass dafür, dass zusätzliche Aufgaben übernommen werden, um ein übergeordnetes Ziel zu erreichen (bottom up Prozess).

Erwartungen

Mentale Modelle, frühere Erwartungen und spezifische Anweisungen lösen beim Operateur gewisse Erwartungen aus, die sich ihrerseits wieder aufmerksamkeitssteuernd auswirken.

3 SITUATION AWARENESS IM COCKPIT

Das im Kap. 2 beschriebene Modell der Informationsverarbeitung ist zunächst aufgabenunabhängig. SA dagegen ist immer aufgabenabhängig und entwickelt sich auf der Grundlage des Informationsverarbeitungsprozesses. Im Folgenden wird die konkrete Aufgabe des Führens eines Flugzeuges an dieser Vorstellung gespiegelt.

3.1 Situation Awareness Typen

Die zum Führen eines Flugzeuges notwendige SA setzt sich aus unterschiedlichen thematischen Komponenten zusammen, die Endsley (Endsley 1999) und ähnlich Wickens (Wickens 2000) wie folgt definieren:

SA bzgl. der geographischen Position. Hierbei geht es z.B. um die Position des eigenen und anderer Flugzeuge im Raum, sämtliche Navigationsinformationen, Geländeeigenschaften oder auch Koordinaten von Flugplätzen

SA bzgl. der räumlichen und zeitlichen Lage. Darunter versteht man das Bewusstsein um die Lage des Flugzeuges im dreidimensionalen Raum und deren zeitliche Änderung.

SA bzgl. Umwelteinflüssen. Darunter fällt die Einschätzung von Witterungseinflüssen wie Wind, Wolken, Gewitter, Temperaturänderungen oder Sonneneinstrahlung.

SA bzgl. der Flugzeugsysteme. Hier ist das Bewusstsein über die Systemzustände, -einstellungen und -modi gemeint. Dazu zählen beispielsweise die Kenntnis über die verfügbare Treibstoffmenge und die daraus resultierende maximale Reichweite.

Beim Führen von militärischen Flugzeugen kommt die **SA bzgl. des taktischen Umfeldes** noch hinzu. Die Position eigener und feindlicher Kräfte, die Frontlinie, Bedrohungen, Lufträume von Tankflugzeugen usw. sind Informationen, die für diese SA-Komponente typisch sind.

3.2 Situation Awareness im Kampfflugzeug

Im Folgenden wird an ausgewählten Beispielen gezeigt, mit welchen Mitteln im Cockpit moderner Kampfflugzeuge die SA des Piloten unterstützt wird. Bild 2 zeigt einen Blick in das Cockpit des Eurofighters. Man erkennt ein Head-Up-Display (HUD) und drei Multifunction-Head-Down-Displays (HDD), auf denen der Großteil der Informationen angezeigt wird. Standardmäßig wird auf dem linken HDD die von den Sensoren erfassten Informationen, auf dem mittleren HDD

ein taktisches Lagebild mit einer unterlegten Landkarte und auf dem rechten HDD Systeminformationen z.B. zum Triebwerk oder zur Bewaffnung angezeigt.

Ein wesentlicher Teil der SA-Unterstützung bezieht sich auf Level 1 SA und wird durch die Art der optischen bzw. akustischen Darbietung von Informationen geleistet. Durch die hohe Komplexität und die Dynamik des Systems fallen pro Zeiteinheit so große Datenmengen an, dass sie dem Piloten situationsabhängig angeboten werden müssen. Als Voraussetzung für die Definition, wann welche Informationen angezeigt werden, wird zu Beginn der Entwicklung eine detaillierte **Missions- und Aufgabenanalyse** durchgeführt. Die Mission wird dabei in Phasen eingeteilt und der phasenabhängige Informationsbedarf festgelegt. Damit wird vermieden, dass die Wahrnehmung von wichtiger Information durch die Darbietung unwichtiger Informationen behindert wird.

Da auch heute noch wesentliche Aktivitäten mit dem Blick aus dem Cockpit verknüpft sind, wie etwa die Luftraumüberwachung (siehe taktische SA) oder auch der Landeanflug (siehe SA zur räumlichen Lage), werden dafür notwendige Informationen auf dem **HUD** dargestellt. Neben der geringeren Belastung durch die stabile Akkomodation der Augen erleichtert das Display durch konforme Darstellung die mentale Korrelation von Informationen (siehe Level 2 SA) in einzigartiger Weise. Von konformen Symbolen spricht man, wenn sie über den Objekten in der Außensicht abgebildet werden, die sie darstellen. Das ursprünglich zur Zieleinweisung genutzte Gerät wird heute vorwiegend als Primary Flight Display verwendet und stellt wichtige Informationen für die Flugführung dar. Trendanzei-

gen erleichtern die Antizipation des Piloten (siehe Level 3 SA).



Bild 2: Eurofighter Cockpit. Zu sehen ist das in der Mitte installierte Head Up Display mit Combiner und drei Multifunction Head Down Displays. Auf dem Display unterhalb des Combiners werden Triebwerksparameter und Parameter der Kommunikationseinrichtungen des Flugzeuges angezeigt. Auf der rechten Seitenkonsole befindet sich das Warning Panel.

Für diese Vorteile nimmt man jedoch die Gefahr in Kauf, dass sich die Aufmerksamkeit selektiv auf die

im HUD dargestellte Information richtet und damit andere wichtige Hinweise außer acht gelassen werden. Die Vermeidung dieses sog. Cognitive tunnelings (Foyle et al. 2001) erfordert intensives Training.

Ein Hilfsmittel um die Aufmerksamkeit auf andere Informationsquellen zu lenken ist der sog. **Attention Getter**. Hierbei handelt es sich um eine optische Anzeige links und rechts vom HUD, die im primären Gesichtsfeld des Piloten liegt und die im Falle einer Systemwarnung rot zu blinken beginnt. Zusätzlich wird ein akustisches Warnsignal erzeugt. Der Attention Getter lenkt die Aufmerksamkeit des Piloten auf das Warning Panel, weit ab vom primären Gesichtsfeld. Dort findet er weitere Informationen zum Zustand seiner Flugzeugsysteme und führt ggf. weitere Maßnahmen ein. Hat der Pilot die Ursache identifiziert, löscht er den Attention Getter manuell. Der Attention Getter unterstützt die Level 1 SA des Piloten bezüglich seiner Flugzeugsysteme (siehe auch SA bzgl. der Systeme).

Eine der wichtigsten Aufgaben für den Piloten in heutigen Kampfflugzeugen besteht in der Beurteilung der taktischen Lage. Die Vielzahl und Menge von Daten, die im Flugzeug verfügbar sind, sind heute so groß, dass sie nicht mehr alle auf den Displays angezeigt werden können. Eine Maßnahme zur Reduktion der Datenmenge ist die Sensorfusion. Dabei werden Identitäts- und Positionsdaten verschiedener Sensoren und Datenbanken miteinander korreliert und so ein Lagebild erzeugt, das immer noch alle *relevanten* Informationen enthält, aber im Aussehen so klar ist, dass es vom Piloten schnell und einfach interpretiert werden kann. Dass ein fusioniertes Lagebild nicht mehr alle *verfügbaren* Information enthält, liegt in der Natur der

Sache. Hier geschieht, was bei umfangreicheren **Automatisierungsmaßnahmen** immer der Fall ist: der Pilot kann ohne ein exaktes mentales Modell nicht mehr nachvollziehen, wie die Reaktion der Maschine (hier die Anzeige auf den Displays) zustande kommt. Solche Automatisierungsmaßnahmen sind aus SA-Sicht sehr kritisch zu sehen. Einerseits unterstützt die Fusion die Wahrnehmung (Level 1 SA), andererseits kann sie das Verständnis der Zusammenhänge behindern oder gar unmöglich machen (Level 2 SA). Aus diesem Grund verfolgt man bei der Cockpitgestaltung von Kampfflugzeugen die Philosophie, die Automatisierung gewisser kritischer Funktionen (stufenweise) abschaltbar zu machen. Damit ermöglicht man dem Piloten, sich wieder aktiv am Prozess zu beteiligen und dadurch SA zurückzugewinnen. Im Falle der Fusion von Identitätsdaten besitzt er beispielsweise die Möglichkeit, die eigene Einschätzung ins System einzugeben, wenn sie von der des Fusionsalgorithmus abweicht.

4 SCHLUSSBEMERKUNG

Der maßgebliche und nach wie vor ungebrochene Trend bei der Entwicklung von Flugzeugen ist das ständige Anwachsen von Funktionalität. Der größte Teil der neuen Funktionen benötigt eine Mensch-Maschine-Schnittstelle, muss also bei der Gestaltung des Cockpits berücksichtigt werden. Umgekehrt steht im Cockpit jedoch weder mehr Platz zur Verfügung, noch wird die Arbeitsbelastung, die durch die neuen Funktionen wächst, auf mehrere Schultern verteilt. Dies muss bei der Gestaltung des Cockpits aufgefangen werden, was in der Regel dadurch geschieht,

dass gewisse Automatismen eingeführt werden. Leider besteht bei der Automatisierung immer die Gefahr, SA zu verlieren. Der Verlust von SA kann jedoch zu falschen Handlungen führen und deswegen drastische Folgen haben.

Die Herausforderung bei der Auslegung neuer Cockpits liegt also zu einem erheblichen Teil darin, neue Funktionen so zu integrieren, dass sie ihren Zweck erfüllen ohne dass ihre Nutzung zum Sicherheitsrisiko wird. Insofern ist SA heute tatsächlich ein wichtiges Kriterium beim Cockpitdesign – heute vielleicht wichtiger denn je.

SA ist jedoch nur eines von mehreren Kriterien, die bei der Cockpitgestaltung zu berücksichtigen sind. Ebenso wichtig ist die Beachtung der nachgeordneten Schritte der menschlichen Informationsverarbeitung, des Entscheidens und des Handelns. Darüber hinaus macht auch ein nach SA-Kriterien ausgelegtes Cockpit intensives Pilotentraining nicht überflüssig.

LITERATUR

Adam, E.C.: Fighter Cockpits of the Future. In Proceedings of the 12th DASC, the 1993 IEEE/AIAA Digital Avionics Systems Conference (S. 318-323), IEEE, 1993.

Andre, A.D.: Measures of Situation Awareness: A critical review. Technical report prepared for the Defence Evaluation and Research Agency. 1998.

Dominguez, C.: Can SA be defined? In M. Vidulich, C. Dominguez, E. Vogel & G. McMillan (Eds.): Situation Awareness: Papers and annotated bibliography (AL/CF-TR-1994-0085), Ohio, Wright Patterson AFB, 1994.

Endsley, M.R.: Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*. 37; 32-64, 1995.

Endsley, M.R.: Situation Awareness in Aviation Systems. In D.J. Garland, J.A. Wise & V.D. Hopkins (Eds.): *Handbook of Aviation Human Factors* (S. 257-276), Mahwah, LEA, 1999.

Endsley, M.R.: Theoretical Underpinnings of Situation Awareness: a Critical Review. In M.R. Endsley & D.J. Garland (Eds.): *Situation Awareness Analysis and Measurement* (S. 3-32), Mahwah, LEA, 2000.

Endsley, M.R.; Robertson, M.M.: Training for Situation Awareness in Individuals and Teams. In M.R. Endsley & D.J. Garland (Eds.): *Situation Awareness Analysis and Measurement* (S. 349-365), Mahwah, LEA, 2000.

Foyle, D.C.; Dowell, S.R.; Hooey, B.L.: Cognitive tunneling in head-up display (HUD) superimposed symbology: effects of information location. In R.S. Jensen (Ed.): *Proceedings of the 11th Symposium on Aviation Psychology*. Columbus, Ohio State University, 2001.

ICAO: Human factors digest no. 2. Flight crew training: Cockpit resource management and line oriented flight training. Montreal, ICAO, 1989.

Neisser, U.: Cognition and Reality: Principles and Implications of Cognitive Psychology. San Francisco, W H Freeman and Company, 1976.

Powers, W.T.: Behavior: The control of Perception. Chicago, Aldine, 1973.

Schiffman, R.M.; Schneider, W.: Controlled and automatic information processing II: Perceptual learning, automatic attending, and a general theory. Psychological Review, 84, 127-190, 1977.

Wickens, C.D.: The Trade-off of Design for Routine and Unexpected Performance: Implications of Situation Awareness. In M.R. Endsley & D.J. Garland (Eds.): Situation Awareness Analysis and Measurement. (S. 211-225), Mahwah, LEA, 2000.

Wickens, C.D.; Hollands, J.G.: Engineering Psychology and Human Performance. 3. Auflage, Upper Saddle River, Prentice Hall, 2000.

FAHRERZUSTANDSERKENNUNG IM KRAFTFAHRZEUG - HERAUSFORDERUNGEN UND POTENZIALE

*Manfred Schweigert
BMW Forschung und Technik GmbH*

ZUSAMMENFASSUNG

Dieser Beitrag behandelt, was unter dem Fahrerzustand zu verstehen ist und es werden Wege aufgezeigt, wie diese Information genutzt werden kann. Exemplarisch wird dies am Beispiel der Leistungsbereitschaft, als ein Aspekt des Fahrerzustandes, erläutert. Es werden verschiedene Indikatoren aufgezählt, wobei sich lidschlagbasierte Methoden als am erfolgversprechendsten herauskristallisieren. Ein weiterer Abschnitt behandelt den im Rahmen einer Kooperation entwickelten WELFARE-Algorithmus, der diese Fahrerzustandsgröße ordinalskaliert abbildet. Nachdem es nicht möglich ist, die Fahreignung alleine aufgrund von Fahrerzustandsgrößen zu beurteilen, da letztere eher den Charakter von performance shaping factors besitzen, muss diesem Umstand bei der Suche nach sinnvollen Gegenmaßnahmen Rechnung getragen werden. Wie aufgezeigt wird, sollte das Hauptaugenmerk zukünftiger Forschungsarbeiten verstärkt auf der Nutzung von Fahrerzustandsgrößen im Sinne einer zusätzlichen Kontextinformation liegen.

1 EINLEITUNG UND MOTIVATION

Die Erkennung des Fahrerzustandes und die Frage nach einer sinnvollen Verwendung dieser Information gewinnt sowohl mit der zunehmenden Sensibilisierung der Gesellschaft und auch der Fahrzeugindustrie für dieses Thema, als auch im Hinblick des Fortschritts in der berührungslosen Sensortechnologie zunehmend an Aktualität. Nach einer vielzitierten Studie des Gesamtverbandes des Versicherungswesens sind 25% der Fahrzeugunfälle auf bayerischen Autobahnen mit tödlichem Ausgang auf Übermüdung zurückzuführen (Langwieder et al. 1994). Neben der Entwicklung von Systemen, die den Fahrer rechtzeitig vor Übermüdung warnen, fordert z.B. der Arbeitskreis II des 42. Deutschen Verkehrsgerichtstages eine verstärkte Verantwortlichkeit des Fahrers bei übermüdungsbedingten Unfällen. Weitere Empfehlungen zielen verstärkt in Richtung Aufklärung, Kontrolle und organisatorischer Maßnahmen, insbesondere beim gewerblichen Straßenverkehr.

Vorausgesetzt, man könne genau diese kritischen Fahrerzustände messen, wie könnte der Fahrer zielgerichtet unterstützt werden, ohne ihn dabei zu bevormunden? Zudem stellt sich die Frage, wo die Grenzen zwischen „etwas müde“ und „übermüdet“ oder „nicht 100% aufmerksam“ und für eine bestimmte Situation „zu unaufmerksam“ liegen. Im weiteren wird das Thema nicht nur aus dem Blickwinkel der Sensorik, sondern auch im Hinblick auf eine sinnvolle Nutzung der Fahrerzustandsinformation betrachtet.

2 DER BEGRIFF „FAHRERZUSTAND“

2.1 Definition des Fahrerzustandes

Auch wenn viele Fahrerzustandsgrößen, wie die in der Einleitung erwähnte Fahrermüdigkeit, für jeden selbst-erklärend und deren Bedeutung sofort verständlich sind, ist eine exakte Definition und Abgrenzung voneinander nicht trivial. Eine umfassende Definition nach Jürgensohn (2003) versteht unter dem Fahrerzustand eine messbare zeitveränderliche Eigenschaft des Fahrers und umfasst dabei u.a. Müdigkeit, Beanspruchung, Aufmerksamkeit, Leistungsbereitschaft, Risikobereitschaft und Frustriertheit. Nachdem diese Größen jedoch nur indirekt mittels diverser Indikatoren einer Bestimmung zugänglich sind, suggeriert das Adjektiv „messbar“ fälschlicherweise das Vorhandensein einer validen, als Zahlenwert vorliegenden, intervallskalierten Fahrerzustandsvariable. Bei genauer Beschäftigung mit diesem Thema stellt man fest, dass ein „abschätzbar“ eher zutreffend ist.

2.2 Der Aspekt der Leistungsbereitschaft

Die Belastung, die seitens der Fahraufgabe gestellt werden, sind für jeden Fahrer gleich. Die daraus resultierende Beanspruchung ist jedoch individuell unterschiedlich. So kann eine erbrachte, vergleichbare Fahrperformanz aus unterschiedlichen Anteilen aus der individuellen Leistungsfähigkeit und aus der Bereitschaft, diese Fähigkeiten auch auszuschöpfen, zusammengesetzt sein. Die Leistungsbereitschaft wiederum setzt sich aus physiologischen (z.B. Müdig-

keit, Tagesverfassung) und psychologischen Komponenten (z.B. Motivation) zusammen. (Bild 1, angelehnt an VDI 4006, 1999).

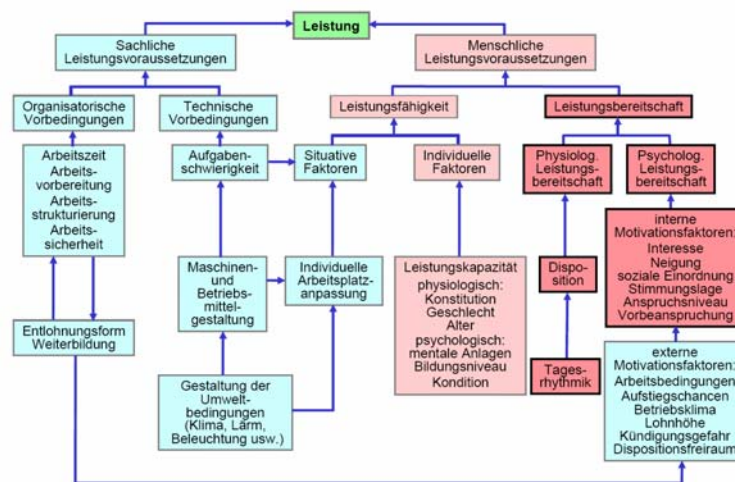


Bild 1: Aspekte menschlicher Leistungsfähigkeit und -bereitschaft

Dies deckt sich mit der Erfahrung eines jeden, dass z.B. der eine Fahrer objektiv eine gute Fahrperformanz zu leisten vermag, obwohl seine Leistungsbereitschaft gering ist, ein Anderer aber, obwohl er eine hohe Leistungsbereitschaft zeigt, schlechtere Performanzwerte aufweist. Eine Beurteilung, ob jemand Assistenz benötigt oder ab wann ein bestimmter Fahrerzustand wirklich kritisch ist, ist allein auf Basis dieser Fahrerzustandsinformation nicht ohne weiteres möglich. Es fehlt die Information über die langfristig unveränderliche Leistungsfähigkeit. Relative Unterschiede innerhalb ein und der selben Person, im Sinne der Feststellung z.B. eines „müderen“ oder

„wachere“ Zustandes im Vergleich zu einem zuvor bestimmten Zustand, sind gemäß dieses Modells feststellbar.

3 DIE BESTIMMUNG DES FAHRERZUSTANDES AM BEISPIEL DER LEISTUNGSBEREITSCHAFT

3.1 Technische Herausforderungen bei der Bestimmung des Fahrerzustandes

Nachdem im Kapitel 2 aufgezeigt wurde, was unter dem Fahrerzustand zu verstehen ist, stellt sich die Frage, welche technischen Herausforderungen, unabhängig von der Art der dafür notwendigen Indikatoren, bei der Bestimmung desselben im Fahrzeug zu meistern sind.

Für den Einsatz im Fahrzeug kann nur eine berührungslose oder eine auf einfachen Kontakt ausgelegte Sensorik in Betracht gezogen werden. Somit bieten sich besonders kamerabasierte Messverfahren an. Eine evtl. notwendige Kalibrierung des Systems muss automatisch erfolgen. Um die Funktion einem breiten Nutzerkreis zur Verfügung stellen zu können, ist die Unabhängigkeit der Datenerhebung von anthropometrischen, individuellen oder geschlechtsspezifischen Unterschieden, als auch von der getragenen Kleidung obligatorisch.

Der Einsatz in einem Fahrzeug stellt weitere nicht unerhebliche physikalische Anforderungen. Hinsichtlich der Umweltparameter muss eine Bestimmung des Fahrerzustandes, gerade bei kamerabasierenden Sys-

temen, unabhängig von den im Fahrzeug typischen, wechselnden Lichtbedingungen sein. Zusätzlich sind weitere automotive Anforderungen wie z.B. das Sicherstellen der Funktion innerhalb eines großen Klimabereiches, Vibrationsunempfindlichkeit, Robustheit, ein geringer Bauraum, ein geringer Integrationsaufwand und eine wirtschaftliche Herstellung zu erfüllen.

Der wichtigste Punkt jedoch betrifft die Validität der Messung: Hat man wirklich ein Messgerät für den Fahrerzustand zur Hand oder handelt es sich „nur“ um einen Puls- oder Lidschlagmesser, ohne Aussagen über die eigentlich im Focus stehende Zustandsgröße zu erhalten?

3.2 Indikatoren

Grundsätzlich können Indikatoren für den Fahrerzustand aus der direkten Beobachtung des Fahrers oder indirekt über die Analyse fahrzeugbezogener Parameter abgeleitet werden. Letztere sind insofern problematisch, da Veränderungen z.B. im Lenkradwinkel oder in der Gaspedalstellung zu stark von äußeren Störeinflüssen abhängig sind und keinen eindeutigen Rückschluss auf den Fahrerzustand erlauben. Seitens der fahrerbezogenen Größen werden z.B. oft Herzschlag, EEG, Körpertemperatur oder Muskelaktivität genannt, die sehr gut messtechnisch erfasst werden können. Unabhängig von ihrer Validität bzgl. der Prädiktion einer Fahrerzustandsgröße wie z.B. der Leistungsbereitschaft, können bei fahrerbezogenen Indikatoren oftmals die in Abschnitt 3.1 vorgestellten technischen Anforderungen nicht erfüllt werden. Doch auch wenn Indikatoren wie z.B. aus dem EEG oder der

Detektion charakteristischer Körperhaltungen im Fahrzeug messtechnisch nicht verfügbar sind, können sie zumindest zur Validierung herangezogen werden.

Für die Detektion von Wachheit/Müdigkeit und Aufmerksamkeit werden dem Lidschlagverhalten die größten Chancen beigemessen, was sich u.a. in der Anzahl der wissenschaftlichen Ansätze und auch der bereits verfügbaren Geräte in diesem Bereich widerspiegelt. Interessant ist übrigens, dass aber bis jetzt kein kommerziell verfügbares Produkt die Voraussetzungen hinsichtlich des wissenschaftlichen Nachweises der Validität oder Reliabilität erfüllt (Kircher et al. 2002).

3.3 Der WELFARE Algorithmus

Aufgrund der vorangegangenen Überlegungen, ist es am erfolgversprechendsten, einen Leistungsbereitschaftssensor auf Basis des Lidschlagverhaltens zu entwickeln. Im Focus kann jedoch nicht die Entwicklung eines „Sekundenschlaferkenners“ stehen, der erst dann eingreift, wenn das Kind sprichwörtlich schon in den Brunnen gefallen ist. Der vom Würzburger Institut für Verkehrswissenschaften und der BMW Group Forschung und Technik entwickelte WELFARE-Algorithmus (Hargutt 2003) zielt darauf ab, bereits die vom Fahrer unbemerkten, frühen Stadien einer beginnenden Müdigkeit mit den negativen Begleiterscheinungen einer nachlassenden Aufmerksamkeit oder nachlassender Reaktionszeiten anhand charakteristischer Lidschlagbewegungen zu identifizieren. Im Gegensatz zu bereits bekannten lidschlagbasierten Ansätzen wie z.B. PERCLOS (Wierwille et al. 1994)

nutzt der WELFARE Algorithmus die postulierte Zweidimensionalität von Müdigkeitsprozessen. Bedingt durch die hohe Abtastfrequenz und Auswahl mehrerer Lidschlagparameter können sowohl tonische als auch phasische Müdigkeitsaspekte erfasst werden. Diese decken zum einen die aus den Aufgabenmerkmalen resultierenden motivationalen, aber auch energetischen Zustände (z.B. aus der zirkadianischen Rhythmik) ab. Die Methodik liefert somit ein Maß für die in Abschnitt 2.2 vorgestellte Leistungsbereitschaft.



Bild 2: Im Fahrzeug installierte Fahrerzustandskamera

Die Sensorikkomponenten bestehen aus einer high-speed Infrarotkamera und einer PC basierten Bildverarbeitung der Fa. SMI, die den Abstand zwischen den Augenlidern misst (Bild 2). Der nachgeschaltete WELFARE Algorithmus filtert aus diesem Rohsignal einzelne Lidschläge und bewertet diese anhand Lidschlag beschreibender Parameter. Jeder sukzessiv auftretende Lidschlag wird mit einem der Labels wach (0), aufmerksamkeitsreduziert (1), müde (2) oder schläfrig (3) versehen (s. Hargutt 2003). Um den so zu jedem Zeitpunkt ermittelten Zustandswert um Ausreißer zu bereinigen, wird das Gleitmittel der letzten

30 Lidschlagbewertungen gebildet. Aus pragmatischen Gründen ist diese, für die im vorliegenden Fall ordinalskalierte Fahrerzustandsgröße eigentlich unzulässige mathematische Operation, dennoch das Mittel der Wahl. Damit erhält man bei geeigneter Wahl der Auswerteparameter einen zeitlich schnell ansprechenden, aber dennoch gegenüber gelegentlichen Fehlklassifikationen robusten Wert für die Leistungsbereitschaft, der zwischen 0 und 3 variiert. Um die natürlich vorhandenen, individuellen Unterschiede im Lidschlagverhalten zu berücksichtigen, wird jede Messung auf eine, für jede einzelne Person zuvor erstellte Baselinemessung referenziert, in der das Lidschlagverhalten im wachen, aufmerksamen Zustand hinterlegt ist (s. a. Abschnitt 2.2).

4 NUTZUNG DER INFORMATION ÜBER DEN FAHRERZUSTAND

Generell bieten sich drei Möglichkeiten an, um durch einen ungünstigen Fahrerzustand mitbeeinflusste Unfälle zu reduzieren:

1. Durch die Vermeidung der Exposition,
2. durch den Fahrerzustand positiv beeinflussende Gegenmaßnahmen und
3. durch die Minimierung fahrerzustandsbeeinflussender, negativer Auswirkungen auf die Fahrperformanz.

Wie eingangs bereits erläutert wurde, handelt es sich bei der Ermittlung des Fahrerzustandes um eine Ab-

schätzung. Ebenso wurde aus dem vorangegangenen Abschnitt ersichtlich, dass es sich beim Fahrerzustand um eine ordinalskalierte Größe handelt, was bei der Konzeption von fahrerzustandbasierender Systeme berücksichtigt werden muss.

4.1 Vermeidung der Exposition

Wie zuvor öfters aufgeführt wurde, ist eine Bestimmung des Fahrerzustandes per se mit Ungenauigkeiten behaftet. Zudem ist ein kausaler Zusammenhang zwischen dem Fahrerzustand einerseits und der zu erwartenden Fahrleistung andererseits nicht herstellbar, so dass z.B. eine technische Wegfahrsperre in Abhängigkeit eines bestimmten Fahrerzustandes nicht sinnvoll ist.

Um dennoch zu vermeiden, dass Fahrer erst gar nicht in die Situation geraten, in einem nicht angepassten Zustand zu fahren, können nur organisatorische und individuelle Maßnahmen greifen. Dazu zählen die Aufklärung über beeinflussende Faktoren, wie z.B. ein geeignetes Pausenmanagement sowie die Anpassung individueller Verhaltensweisen. Im gewerblichen Güterverkehr betrifft es die strikte Einhaltung von Lenk- und Ruhezeiten und deren konsequente Überwachung.

4.2 Den Fahrerzustand beeinflussende Gegenmaßnahmen

4.2.1 *Steigerung der Leistungsbereitschaft*

Gerade in den vom Fahrer anfangs selbst noch unmerkten, frühen Müdigkeitsstadien, besteht die Chance, mit kognitiven Gegenmaßnahmen mittels Feedback entgegenzuwirken, da hier sehr stark motivationale Aspekte im Vordergrund stehen. In späteren Stadien bilden sich zunehmend energetische Gesichtspunkte aus, bei denen außer der Erholung durch Schlaf, keine Gegenmaßnahmen mehr greifen. Genau in diesen späten Phasen der Müdigkeit liegt ein Problem, da der Fahrer dies erstens zwar bereits selbst weiß, aber der Meinung ist, er könne noch fahren und zweitens noch kein technisches System ihn bei der Erfüllung seines Zieles, nämlich am Zielort anzukommen, unterstützen kann.

Der Feedback-Gedanke der hier aufgegriffen wird, wirft dabei konkrete Fragen nach der Gestaltung auf: Welche Modalität, welche Darstellungsart etc. soll gewählt werden? Wie in Tietze et al. (2004) vorgeschlagen wird, kann dem Fahrer sein eigener Zustand mittels eines Displays rückgemeldet werden. Wie in Bild 3 dargestellt, ist die Information u.a. farblich und räumlich codiert, zudem wird nicht nur der momentane Zustand, sondern auch der Verlauf in einem bestimmten Zeitfenster dargestellt. In einer Versuchsreihe im Fahrsimulator mit 24 Probanden wurde von Tietze et al. u.a. der Effekt dieses Zustandsfeedbacks untersucht.

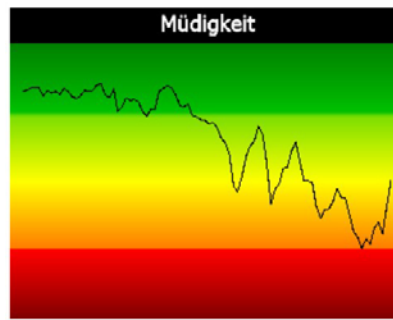


Bild 3: Feedback-Monitor

Bild 4 zeigt exemplarisch den Zustandsverlauf eines Probanden über einen Zeitraum von 4,75h bei einer Simulatorfahrt. Während er am Anfang des Versuches noch wach und aufmerksam ist (Index um 0,7), lässt dies im weiteren Verlauf nach (Index über 2). Zeitblöcke, bei denen mit Feedback gefahren wurde, sind rot schraffiert dargestellt. Wie Tietze et al. zeigen können, profitieren die Probanden beim Zustandsfeedback von einer geringeren Wahrscheinlichkeit, grobe Fahrfehler (hier: Abkommen von der Fahrbahn) zu begehen.

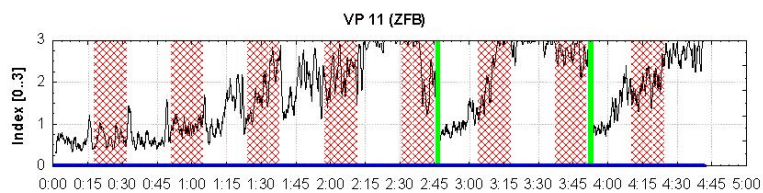


Bild 4: Zeitverlauf des Fahrerzustandsindex' von 0 (wach) bis 3 (schläfrig) bei Abschnitten mit (rot) und ohne Zustandsfeedback (weiß, Tietze et al. 2004)

Dies setzt natürlich voraus, dass eine geeignete Sensorik eben bereits diese frühen Zustandsveränderungen erkennt, was beim vorgestellten WELFARE-System der Fall ist.

Der Vollständigkeit halber sei noch die Idee der olfaktorischen Stimulation genannt. Inwieweit dies durch verschiedene Duftstoffe erreicht werden kann, wird in der Literatur (z.B. Sugano 1989) allerdings uneinheitlich bewertet. Unabhängig davon kann aber von einer mangelnden breiten Akzeptanz dieser Maßnahme beim Kunden ausgegangen werden.

4.2.2 Bekämpfung der Symptome

Viele Fahrerassistenzsysteme wie z.B. Spurverlassens- oder Auffahrwarnsysteme, bergen das Potenzial, mögliche Auswirkungen von der jeweiligen Situation nicht angepassten Fahrerzuständen zu verringern. In einem ersten Schritt ist somit die Erfassung des Fahrerzustandes nicht notwendig, da nur die Performanz des Fahrers im Vordergrund steht. Als weiterer positiver Nebeneffekt kann gelten, dass dieses objektive Leistungsfeedback die Entscheidung eines Fahrers mit beeinflussen kann, bei häufigen Warnungen die Fahrt doch besser zu unterbrechen.

In einem zweiten Schritt sollte die Fahrerzustandsinformation jedoch mit berücksichtigt werden. Detektiert ein Fahrerassistenzsystem eine kritische Verkehrssituation, stellt sich die Frage, wann der Fahrer gewarnt werden soll. Dies sollte im Hinblick auf Lästigkeit nicht zu früh erfolgen, aber dennoch rechtzeitig genug sein, so dass der Fahrer unter Berück-

sichtigung seiner Reaktionszeit aktiv unfallvermeidende Maßnahmen einleiten kann. Dieser Zielkonflikt zwischen einer frühen und somit effektiveren aber evtl. lästigen und einer späteren aber evtl. nicht mehr rechtzeitigen Warnung, ist ohne Kontextwissen nicht immer zufriedenstellend auflösbar. In diesen Situationen wird die Fahrerzustandsinformation hilfreich sein. Ist der Fahrer z.B. müde oder unaufmerksam, sollte eine Warnung früher und unter Umständen auch über andere Modalitäten, als in einem wachern und aufmerksameren Zustand erfolgen. Die Bestimmung solcher Schwellwerte, ebenso wie Untersuchungen zur Wirksamkeit und Akzeptanz werden Gegenstand zukünftiger Forschungsarbeiten sein.

LITERATUR

Hargutt, V.: Das Lidschlussverhalten als Indikator für Aufmerksamkeits- und Müdigkeitsprozesse bei Arbeitshandlungen. Fortschritt-Berichte VDI, Nr. 233, Reihe 17. VDI Verlag, Düsseldorf, 2003.

Jürgensohn, T.: Fahrerzustand, Definition und Messbarkeit. In: Steffens, C. (Hrsg.): Entwerfen und Gestalten. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 22, Nr. 16, S.400-405, 2003.

Kircher, A.; Uddman, M.; Sandin, J.: Vehicle Control and Drowsiness. Swedish National Road and Transport Research Institute, VTI Meddelande 922A, 2002.

Langwieder, K.; Spörner, A.; Hell, W.: Struktur der Unfälle mit Getöteten auf Autobahnen in Bayern. Ein Beitrag zur Analyse des Unfallgeschehens. HUK-

Verband, heute GDV: Präsentationsbericht 1991.
München: Büro für Kfz-Technik, 1994.

Sugano, S.: Effect of odors on mental function.
Chemical senses, 14(2), 303., 1989.

Tietze, H.; Hargutt, V.; Krueger, H.P.: Zustands- vs.
Leistungsfeedback unter Müdigkeit. Beitrag auf dem
44. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psycho-
logie (DGP), Göttingen. 2004.

VDI: VDI 4006 - Blatt 1: Menschliche Zuverlässigkeit
– Ergonomische Forderungen und Methoden der Be-
wertung, VDI Richtlinie-Entwurf, Beuth-Verlag, Berlin,
041999, 1999.

**Wierwille, W.; Ellsworth, L.; Wreggit, S.; Fairbanks,
R.; Kirn, C.:** Research on vehicle-based driver
status/performance monitoring: development, valida-
tion and refinement of algorithms for detection of
driver drowsiness. National Highway Safety Administ-
ration Final Report: DOT HS 808 247, 1994.

DIE MENSCH-MASCHINE-SCHNITTSTELLE VON FAHRER- INFORMATIONSSYSTEMEN

Peter Rößger

Harman/Becker Automotive Systems GmbH

ZUSAMMENFASSUNG

Fahrer-Informationssysteme sind hoch integrierte elektronische Systeme, die zunehmend in Fahrzeugen verbaut werden. Ihre Funktionalität umfasst im Allgemeinen Audio, Navigation und Telefon. Ablenkung des Fahrers gilt als eine der häufigsten Unfallursachen. Eine schlechte Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle von Fahrer-Informationssystemen kann zu vermehrter Ablenkung des Fahrers führen. Bei guter Gestaltung der Schnittstelle werden die Vorteile von Fahrer-Informationssystemen überwiegen.

1 EINLEITUNG

Der technologische Push in der Entwicklung mobiler, nomadischer Systeme führt vermehrt zu einer Integration zusätzlicher Funktionen. Informationen werden zunehmend auch in mobilen Umgebungen angefordert. Fahrzeuge werden daher vermehrt als Teile eines weltweiten Informationsnetzwerkes verstanden. Die Entwicklung fahrzeuginterner Endgeräte unterliegt durch die hohen Anforderungen des Verkehrs beson-

deren Zwängen bei der Anpassung der Mensch-Maschine-Interaktion an die Situation im Fahrzeug.

Fahrer-Informations-Systeme mit Radio, weiteren Audiofunktionalitäten, Navigation und vermehrt mit telematischen Services sind ebenso auf dem Markt erhältlich wie automatische Abstandskontrolle, Telefon und mobiles Fernsehen. Im nächsten Schritt erfolgt als Innovation die Integration von Office- und Internetapplikationen. Weitere, bis dato durch im Fahrzeug verteilte Stellteile benutzbare Funktionen, werden ebenfalls in ein zentrales Fahrer-Informations-System integriert. Oft sind Kosten und Nutzen des Funktionszuwachses und der Funktionsintegration nicht klar. Der Straßenverkehr stellt eine besondere mentale und visuelle Belastung dar (z.B. Hoyos et al. 1995). Durch Systeme zur mobilen Kommunikation kann diese Situation, abhängig von der Gestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion, verschärft oder entschärft werden. So können z.B. Informationen über Staus, Glatteis, Nebel, Falschfahrer oder die Routenführung zur Entlastung des Fahrers führen. Auch telematische Not- und Pannennrufe steigern die Sicherheit deutlich. Eine schlechte Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle kann ein Sicherheitsrisiko sein, eine gute Gestaltung führt zu Sicherheit und Akzeptanz (Fleischmann & Dingus 1998)

2 FAHRER-INFORMATIONEN-SYSTEME

Fahrer-Informations-Systeme (FIS) sind in Fahrzeugen befindliche integrierte Systeme, die Informationen über Fahrzeug, Route, Straße usw. an den Fahrer übermitteln. Hierzu gehören Informationen über Reich-

weite, Durchschnittsgeschwindigkeit, Navigationsempfehlungen und Verkehrssituation. Weiterhin ist mit FIS eine Beeinflussung diverser Parameter aus den Bereichen Fahrzeug, Peripheriesysteme, Audiosysteme, Navigation usw. möglich. Das schließt bei einer Reihe von Systemen die Kontrolle der Klimaanlage ein, die Steuerung von Radio, CD, und TV Funktionen und die Eingabe von Navigationszielen. FIS können darüber hinaus die Kommunikation mit der Außenwelt ermöglichen. Ein FIS muss nicht unbedingt über alle aufgezählten Funktionalitäten verfügen. Die Systeme können ab Werk in Fahrzeuge eingebaut (OEM Systeme, Beispiele siehe Bild 1) oder später nachgerüstet (Aftermarket Systeme, Beispiel siehe Bild 2) sein.



Bild 1: Beispiele für OEM Systeme (links: BMW; rechts: DaimlerChrysler)



Bild 2: Beispiel für ein Aftermarketsystem (Becker Traffic Pro 7949; Harman/Becker)

Es wird mit ständig steigenden Ausstattungsraten von FIS in Fahrzeugen gerechnet (Harman/Becker 2004; Schneider 2003). Die Ausstattungsquoten unterscheiden sich erheblich zwischen den einzelnen Fahrzeugklassen, wo bei größere und teurere Fahrzeuge eher ein FIS haben als kleine. Die grundlegende Tendenz wird auch durch externe Studien (z.B. ADAC 2002) unterstützt. Auch wird trotz eines momentanen Stillstandes bei den Fahrzeugneuzulassungen mittelfristig wieder mit einem deutlichen Anstieg der Gesamtzulassungen gerechnet, auch gestützt auf die steigende Nachfrage aus den neuen EU Ländern (VDA 2004).

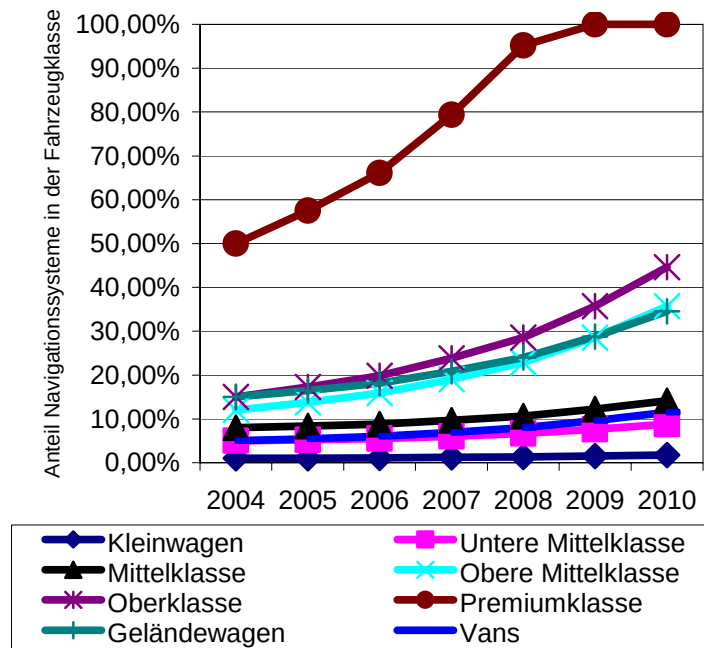


Bild 3: Marktentwicklung Navigationssysteme (Harman/Becker 2004)

3 FAHRERABLENKUNG

Fahren gilt als komplexe Tätigkeit, die eine große Menge mentaler Ressourcen beansprucht (z.B. Young et al. 2003). Auf der anderen Seite ist die Fahrtätigkeit bei vielen Fahrern so gut eingeübt, dass es zu freien Ressourcen kommt. Diese werden dann für andere Tätigkeiten genutzt, z.B. Essen, Trinken oder Gespräche mit dem Beifahrer (Beirness et al. 2002). Dadurch kommt es dann zu einer Verringerung der

mental Ressourcen, die für die Fahraufgabe zur Verfügung stehen. Man spricht dann von Fahrerablenkung.

Es werden im Allgemeinen vier Arten der Fahrerablenkung unterschieden (z.B. Young et al. 2003):

1. Visuelle Ablenkung entsteht zum einen durch das Verdecken des Sichtfeldes durch Objekte z.B. auf den Fenstern des Fahrzeuges und zum anderen durch Blickabwendungen von der Straße auf Objekte im Fahrzeuginnenraum.
2. Akustische Ablenkung entsteht durch Gespräche im Fahrzeug oder am Telefon.
3. Biomechanische/physische Ablenkung entsteht, wenn der Fahrer die Hände vom Lenkrad nimmt um Manipulationen an Objekten oder Systemen im Fahrzeug vorzunehmen.
4. Kognitive Ablenkung entsteht durch die Inanspruchnahme von kognitiven Ressourcen durch Tätigkeiten, die nicht zur Fahraufgabe gehören.

Eine Analyse von Daten der Polizei, die nach Verkehrsunfällen aufgenommen wurden, ergab, dass Fahrerablenkung in erster Linie durch Objekte außerhalb des Fahrzeuges entstehen (Stutts et al. 2001). Weitere Ursachen mit größerer Häufigkeit waren Einstellungen an Radio oder CD-/Cassettenspieler und andere Personen im Fahrzeug (Bild 4).

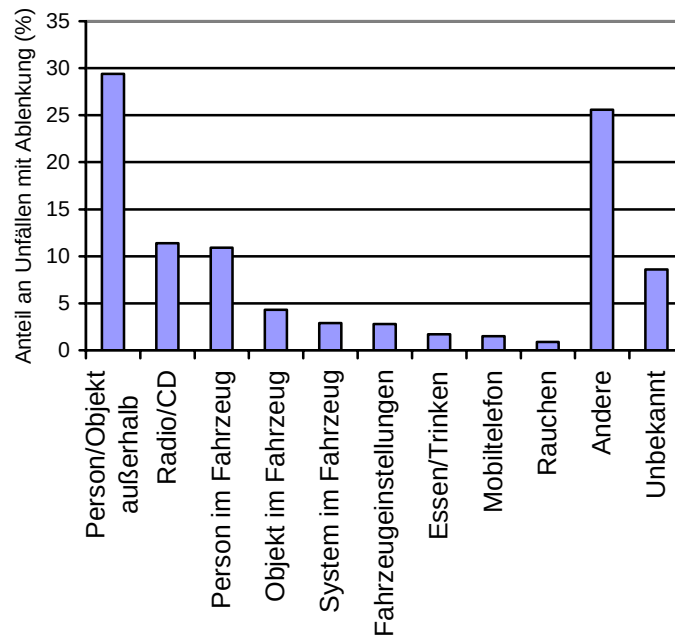


Bild 4: Ursachen für die Ablenkung des Fahrers (Stutts et al. 2001)

FIS verbinden Computerwelt und Fahrzeugwelt miteinander. Es treffen die technischen Möglichkeiten und die weitgehend anerkannten Regularien der Computerwelt (z.B. ISO 9241) auf die Restriktionen der Fahrzeugwelt (siehe z.B. Schuster 2004).

Cooper (1999a, S. 3ff) stellt die These auf, dass bei der Verbindung von einem Computer und einem anderem technischen System, immer ein Computer entsteht. Ein Fahrzeug, das ohne Computer ein weitgehend handhabbares System war, wird durch die Addi-

tion von digitaler Informationsverarbeitung zu einem System, das sich so unhandlich und instabil verhält, wie ein Computer. Die Ursache liegt in der Technologieorientierung der Entwickler solcher Systeme, insbesondere in der Arbeitsweise der Programmierer (ebd., S. 8). Durch den täglichen Umgang mit Computern hat auf Seiten der Nutzer eine Adaptation an den suboptimalen Zustand stattgefunden, die in höher belastenden Situationen zu Fehlern führen kann.

4 KOSTEN UND NUTZEN VON FAHRER-INFORMATIONSSYSTEMEN

FIS werden oft als „Gefährlich“ (o.N. 1999) oder „Mäusekino“ (ebd.) bezeichnet. Ein Vorwurf, der verständliche Probleme ausdrückt. Existierende Systeme waren aus ergonomischer Sicht nicht optimal (z.B. Rößger 2000). Erst in letzter Zeit werden deutliche Fortschritte in der Gestaltung der Benutzeroberflächen gemacht (siehe z.B. Spehr 2004). Hierbei spielt eine vermehrte Nutzung der Multimodalität, im Allgemeinen die Nutzung einer Sprachsteuerung, eine große Rolle.

Die Stärken von FIS müssen durch eine konsequente Gestaltung der Benutzungsoberfläche und die Nutzung der Funktionalität hervorgehoben werden.

Ergonomische Erkenntnisse müssen bei der Entwicklung berücksichtigt werden, um Systeme zu entwickeln, die den Erwartungen, mentalen Modellen und Fähigkeiten der Nutzer entsprechen. Bei FIS ist es möglich, alle Subsysteme unter einer einheitlichen Oberfläche zusammenzufassen. Durch die konsequen-

te Umsetzung einer internen Konsistenz können in einem Subsystem erlernte Eingabeprozesse immer wieder verwendet werden, eine einmal erlernte Strategie ist dann immer gültig. Die innerhalb eines Systems einheitliche Oberfläche und das konsistent verwendete Dialogprinzip können unter ergonomischen Gesichtspunkten optimiert werden.

Die Nutzung von FIS kann einen deutlichen Sicherheitsgewinn bringen. So ist es offensichtlich, dass die Nutzung einer guten und zuverlässigen Routenführung die Sicherheit erhöht (siehe z.B. Kopf 1998). Der Fahrer kann sich auf den Verkehr konzentrieren und braucht keine mentalen Ressourcen in die Suche der Fahrtroute zu investieren. Die Nutzung von Mobiltelefonen zum Aussenden eines Notrufes wird die Rettungszeiten verkürzen und damit Unfallfolgen reduzieren.

LITERATUR

ADAC: Marktentwicklung für KFZ Navigation. ADAC Verkehrspolitik und Verbraucherschutz, 2002 Download von www.adac.de.

Beirness, D.; Simpson, H.; Pak, A.: The Road Safety Monitor: Driver Distraction. Traffic Injury Research Foundation, Canada, 2002.

Campbell, J.L.; Carney, C.; Kantowitz, B.H.: Human Factors Design Guide Lines for Advanced Traveler Information Systems (ATIS) and Commercial Vehicle Operations (CVO). Federal Highway Administration, Report No. FHWA-RD-98-057, 1998.

Cooper, A.: The Inmates are Running the Asylum. Indianapolis, SAMS, 1999a.

Cooper, A.: Aussage auf dem SAE TopTech Human Factors, User Interaction, and the Creative Edge in Intelligent Transportation Systems, 20.-22.6.99 in San Diego, CA, 1999b.

Dingus, T.; Hulse, M.; Jahn, S.; Alves-Foss, J.; Confer, S.; Rice, A.; Roberts, I.; Hanowski, R.; Sorenson, D.: Development of Human Factors Guide Lines for Advanced Traveler Information Systems and Commercial Vehicle Operations: Literature Review. Federal Highway Administration, Report No. FHWA-RD-95-153, 1996.

Fleischmann, R.N.; Dingus, T.A.: Human Factors Participation in Large Scale Intelligent Transportation System Design and Evaluation. In: Barfield, W.; Dingus, T.A. (Eds.): Human Factors in Intelligent Transportation Systems (247-286). Mahwah, NJ, Lawrence Earlbaum, 1998.

Green, P.: Human Factors of In-Vehicle Driver Information Systems: An Executive Summary. Federal Highway Administration, Report No. FHWA-RD-95-014, 1997.

Green, P.; Levison, W.; Paelke, G.; Serafin, C.: Preliminary Human Factors Design Guidelines for Driver Information Systems. Federal Highway Administration, Report No. FHWA-RD-94-087, 1995.

Harman/Becker: Internes Strategiepapier, 2004.

Hoyos, Graf C.; Fastenmeier, W.; Gstalter, H.: Forderungen an eine verhaltensorientierte Verkehrssicherheitsarbeit. In Fastenmeier (Hrsg.) Autofahrer und Verkehrssituation (11-26). Köln, Verlag TÜV Rheinland, 1995.

ISO 9241/T 10: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten, Teil 10: Grundsätze der Dialoggestaltung. Berlin, Beuth Verlag, 1996.

Nielsen, J.: International Usability Engineering. In Del Gado, E.M. & Nielsen, J. (Eds.) International User Interfaces. New York, Wiley Computer Publishing, 1996.

o.N.: Zwischenruf während der Präsentation von Peter Rößger auf der Konferenz Verkehr & Telematik 1999 am 5./6.10.99 in Frankfurt am Main.

Rößger, P.: The Usability of DIS and CarPCs. Proceedings of the Ninth Annual Meeting of the Usability Professionals Association 2000, Asheville, NC, 2000.

Schneider, W.: Zit. nach Bönsch, R. (2003). Nutzen und Spaß treffen sich im Auto. VDI Nachrichten Nr. 37 vom 12.9.2003.

Schuster, N.: (2004). Trends in ITS: The Driver Focus Issue. ITSA, internal paper, Washington DC, 2004.

Spehr, M.: Das beste Radionavigationssystem der Welt. Frankfurter Allgemeine Zeitung, 26.10.2004

Stutts, J.; Reinfurth, D.; Staplin, L.; Rodgman, E.: The Role of Driver Distraction in Traffic Crashes. AAA Traffic Research Foundation: Washington DC, 2001.

VDA: Auto Jahresbericht 2004. Download vom 3.1.05: www.vda.de.

Young, K.; Regan, M.; Hammer, M.: Driver Distraction: A Review of the Literature. Monash University, Australia, 2003.

DIE INTERESSANTEN LEBENSJAHRE FÜR DIE FAHRZEUGFORSCHUNG

*Miklos Kiss
Volkswagen AG*

1 ALTERSGRUPPEN BENENNEN

Wer sind die interessanten Altersgruppen für die Fahrzeugforschung? Um diese Frage zu beantworten ist es zuerst wichtig die Altersgruppen zu definieren, von denen im Alltag gesprochen wird. Unkritisch teilen wir Benennungen von Altersgruppen am Anfang des Menschenlebens. Babys sind vom Neugeborenen bis zum vielleicht ersten oder zweiten Lebensjahr. Danach werden sie zu Kleinkindern und schließlich zu Kindern. Kleinkinder lernen die Welt noch mit Händen und Füßen kennen. Von Ihnen wird nicht erwartet, dass sie abgehobener Ebene wissenschaftliche Diskussionen führen. Sie dürfen beliebige Thesen aufstellen und selber überprüfen. Die Welt der Erwachsenen weiß darum und steht gerne und bereitwillig helfend zur Seite. Vom Baby bis zum Kleinkind wird gerne beschützt und umsorgt. Manche geraten zu „Plagegeistern“ – bereitwillig gibt man den Kindern natürlich keine Schuld und sucht diese bei den Eltern, die die Kinder einfach „schlecht erzogen“ haben.

Interessanter werden diese Fragen in der Gruppe der Kinder. Schulkinder können wir sie vielleicht nennen. Wir trauen ihnen mehr Verantwortung zu und geben

nicht mehr alle Schuld den Erziehungsberechtigten. Sie kennen die Welt mit Ihren Augen, sprechen, schreiben und rechnen flüssig und können sich Wissen auf der Metaebene aus der Literatur holen. Das Gehirn hat die Grundlagen für die maximale Plastizität erreicht. Grundlagen, die bis zum 13 Lebensjahr nicht gelegt sind, können auch nicht mehr leicht nachgeholt werden. Mit Hilfe älterer Geschwister und den Generationen darüber sammeln sie Erfahrungen die sie größere Schleifen in die Ferne ziehen lässt. Sie probieren Dinge, die die eigenen Eltern vielleicht nicht selber tun und werden in Vereinen und Gruppen in Kreise außerhalb der Familie eingeführt. Zum ersten mal setzen sie sich mit Gebräuchen anderer Gruppen und Familien aktiv auseinander und können für sich entscheiden, was Ihnen besser oder schlechter gefällt. Die Bindung an zuhause ist noch groß und Erklärungen der Eltern, sowie Vorgaben aus der eigenen Familie werden noch hingenommen und erfüllt.

Seitenweise könnte über Jugendliche geschrieben werden, die Ihren Weg durch die Schule, die Ausbildung und die Pubertät finden, bis sie schließlich zu kritischen selbstbewussten erwachsenen Menschen reifen. Ab diesem Alter wird es mit der Benennung von Gruppen schon ziemlich schwierig. Es hängt viel mehr an der gesellschaftlichen Stellung, der Ausbildung, dem Familienstand und der Zahl der wieder eigenen Kinder, wie sich einzelne Menschen entwickeln und welche Schwerpunkte Sie für sich und Ihr Leben setzen.

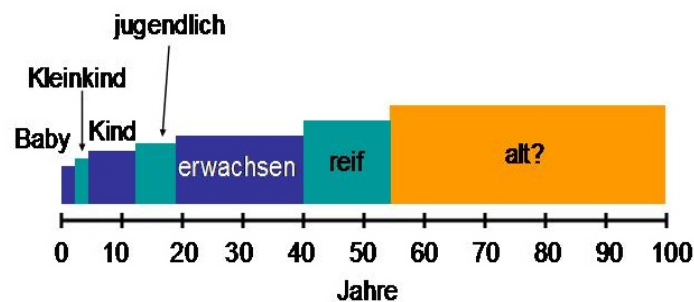
So gibt es Menschen, die nach den grundlegenden Erlebnissen in der Schule für sich das Thema Lernen abgeschlossen haben. Praxislernen im Alltag kommt

sicher noch dazu. Neue Technik und besonders komplizierte Zusammenhänge, die zu hinterfragen sich lohnt, werden nicht mehr integriert.

Im Gegensatz dazu steht ein Bildungsbürgertum, das mit dem Studium bis ca. zum 30. Lebensjahr fertig ist und deren eigenes Interesse gepaart mit einer Kultur des Lernens bis zum Lebensende ein Erschließen von neuen Inhalten aus diversen Medien und durch diverse Quellen ermöglicht. Diese interessierten Menschen werden sich möglicherweise auch komplizierteste neue Technik erlesen oder erklären lassen. Ihre umfangreiche Vorbildung macht ihnen einen Einstieg zu jeder Zeit möglich. Doch werden wir von erwachsenen Menschen zu reifen Menschen, die nicht mehr alles ausprobieren müssen und nicht mehr bereitwillig jedes Risiko eingehen und weiter zu alten Menschen. Der Punkt, an dem das Alter beginnt, ist aber lange nicht mehr eindeutig, wie die leichte Abgrenzung der frühen Altersgruppen erscheinen lässt. Fragt man Jugendliche, wann Menschen alt sind, kommt oft die Antwort, dass vierzig schon alt sei. Fragt man die vierzigjährigen, fühlen die sich noch nicht so alt. Auch 50 ist noch mitten im Arbeitsalter. Und obgleich hier schon viele Menschen zu Großeltern geworden sind, fühlen auch sie sich nicht alt. Sechzig als Rentenschwelle macht es schon ein wenig leichter, denn hier kann man auch hier und da beobachten, dass Menschen mit Eintritt in den Ruhestand stark Leistung abbauen und Interesse an Entwicklungen des Alltags verlieren. Siebzig Jahre scheinen uns schon eindeutig. Fragt man Siebzيجährige aber nach bestimmten Cafés kann schon mal die Antwort kommen, da gingen doch nur alte Leute hin. In der Tat sind es immer noch gute 12 – 13 Jahre Unterschied zum durchschnittlichen

Lebensende und gute 20 Jahre bis zu einem Lebensalter, dass nicht so selten ist.

Für Betrachtungen in der Fahrzeugforschung ist die junge Zielgruppe interessant, die am Anfang Ihres Automobilen Lebens ist, weil Sie sich begeistert für die Möglichkeiten, weil sie noch relativ Homogen ist und weil Sie inzwischen durch Finanzierungsmöglichkeiten und eine wohlhabende Elterngeneration auch in der Lage ist Autos neu zu erwerben. Das besondere jedoch an der jungen Gruppe ist dass Sie noch formen lässt und der Werbung noch glaubt. Auch die Gruppe der fünfzehn bis achtzehnjährigen ist interessant, weil sie Auto fahren bis die Ergebnisse der Forschung in die Serie einfließen können. Speziell bei Bedarfsanalysen für Multimediasysteme sind die ganz jungen wichtig um Trends abschätzen zu können.



2 WAS ÄNDERT SICH IN DER SENSORIK: SEHEN, HÖREN, RIECHEN, TASTEN?

Die Sinne des Menschen bleiben nicht ein Leben lang gleich. Sie müssen sich entwickeln, kommen über eine Kombination von der Entwicklung neuronaler Verschaltungen und Lernen auf einen Höchststand und bauen von da an wieder ab. Glücklicherweise passiert der Abbau in einem weiten Bereich unbewusst und in einem Bereich, der für Leib und Leben nicht bedrohlich ist. Für den Tastsinn heißt das zum Beispiel, dass wir als Menschen die tastempfindlichsten Hände mit acht bis neun Jahren haben. Danach wird unser Tasten schlechter. Das darf es auch, denn die Dinge der Welt, die man durch Tasten kennenlernen muss, kennen wir und die Bewegungsmuster, die man mit dem Tastsinn verändern muss haben sind auch gelernt. Vielmehr ändert sich der Schutzbedarf der Hand, denn es werden gefährlichere Dinge versucht, größere Kräfte ermöglichen das Tragen schwerer Gegenstände und die Hände brauchen mehr Schutz, den sie durch die Veränderungen der Haut auch bekommen. Im Lauf des Lebens nimmt die Elastizität der Haut ab und die Durchblutung lässt nach. Die Tasteigenschaften nehmen noch mal ab, so dass die Bewegung einiger kurzhubiger Schalter im Auto nicht mehr gefühlt werden kann. Ein ähnliches Problem kann man bei der Bedienung von Handytastaturen feststellen. Bei harter Arbeit mit groben Werkzeugen ist es aber sehr hilfreich, dass der Tastsinn nachlässt. Durch spezielles Training, wie es bei Musikern oder Uhrmachern der normale Alltag darstellt, kann der Tastsinn aber auch lange aktiv und gut erhalten werden.

Für den Straßenverkehr ist der Sehsinn der wichtigste, der die Information verarbeitet. Der Verkehr selbst, die Beobachtung der eigenen Bewegung sowie die Bedienung des Fahrzeuges und die Kommunikation mit dem Fahrzeug passieren zu großen Teil visuell. Der Sehsinn ist im frühen Kindesalter noch gar nicht gut ausgebildet und wird im Lauf der Entwicklung besser. Ab dem frühen Erwachsenenalter verschlechtert sich das Sehen. Die Akkommodationsbreite nimmt ab, das heißt, dass nicht mehr zwischen ganz nah und ganz fern hin und her fokussiert werden kann. Als Alterssichtigkeit ist es all denen bekannt, die eine Lesebrille verwenden. Neben der Breite der Akkommodation nimmt auch die Geschwindigkeit der Akkommodation zu. Es kann nicht mehr so schnell zwischen Anzeigen im Auto und außerhalb des Autos gewechselt werden. Warnungen brauchen einen längeren Vorlauf, bis sie scharf erkannt werden. Die Blendempfindlichkeit nimmt mit dem Alter zu und das ab ca. dem 30 Lebensjahr. In der Folge fahren Menschen weniger gerne in der Nacht, weil es mehr anstrengt gut zu sehen und am blendenden Gegenverkehr vorbei zu sehen. Neben der Breite der Adaptation nimmt auch hier die Geschwindigkeit ab. Die Nachtsicht selbst nimmt ab, weil sich später im Alter die Pupillen verkleinern und die Linsen eintrüben. Das Licht kann damit nicht mehr vollständig zur Netzhaut gelangen.

Ab dem fünfundfünfzigsten Lebensjahr verkleinert sich das Gesichtsfeld. Reize, die außerhalb der Bildmitte aufgenommen werden sollen müssen jetzt weiter innen liegen, damit sie sicher wahrgenommen werden. Insbesondere Bewegungsreize, die Blickbe-

wegungen auslösen sind davon betroffen. Beim Autofahren vergrößert sich damit der „tote Winkel“.

Eine schlechtere Farbwahrnehmung kann ab dem siebzigsten Lebensjahr beobachtet werden. Für das Autofahren ist das nicht so relevant. Für die Gestaltung von Displays und Bedienelementen ist es aber nicht zu unterschätzen. Die Wirkung der Stellschrauben Farbe und Kontraste nimmt eine wesentliche Stellung ein. Es wird schwerer in der Bedienungsanleitung einfach eine Farbe einer Beschriftung oder eines Zeichens zu übernehmen und das entsprechende im Cockpit zu finden. Leseprozesse auf dem Display und auf Schaltern dauern damit auch im Alter länger.

Der Geschmacks- und Geruchssinn verändert sich ebenfalls. Bei normaler Veränderung stellt das aber keine Behinderung bei der Autofahrt dar. Erst für die Gefahrenerkennung und bei ganz alten Menschen in Pflegeheimen ist das eine ernstzunehmende Behinderung, die auch eine gute Ernährung, die Freude machen sollte, erschwert.

3 WAS ÄNDERT SICH BEI MOTORIK, KRAFT, BEWEG- LICHKEIT?

Für den sicheren Betrieb von Kraftfahrzeugen sind nicht nur die Sinne, sondern auch die motorische Leistung von entscheidender Bedeutung. Für das Autofahren verschlechtert sich die motorische Leistung glücklicherweise erst sehr spät. Im Gegenteil das Autofahrenlernen dauert einige Jahre, in denen Bewegungen automatisiert werden und bestimmte Reaktionen aus der kortikalen Verarbeitung in eine Verarbeitung durch

das Cerebellum wechseln und mit wesentlich höherer Präzision und Geschwindigkeit ausgeführt werden können. Hierunter fallen vor allem Bremsbewegungen und Ausweichbewegungen.

Auch der Umgang mit Bedienelementen während der Fahrt verbessert sich in den ersten Jahren Fahrpraxis sehr stark. Gleichzeitig wird telefoniert, Sender gesucht und Tee aus der Thermoskanne in eine Tasse gefüllt. Besonders auf wenig abwechslungsreicher Strecke ist ein solches Verhalten leider oft zu beobachten. Besonders gefährlich ist es, weil die Gefahren nicht erwartet werden und neben dem nicht rechtzeitigen Erkennen sind oft nicht einmal die Hände und Füße an der richtigen Stelle, um zu reagieren. Alles Lernen von zu automatisierenden Bewegungen hilft nichts, wenn die Extremitäten in ungewohnten Positionen sind. Der Weg vom Drehdrucksteller an die richtige Lenkradposition für eine Ausweichbewegung ist nicht automatisiert und das führt in Versuchen immer wieder dazu, dass Personen mit einer Hand weiterfahren und dabei deutlich schlechtere Ergebnisse erzielen, als sie es mit zwei Händen selbst könnten.

Die Bewegungsgeschwindigkeit nimmt mit dem Alter ab, was besonders in Notsituationen eine Rolle spielt. Brems- und Ausweichbewegungen werden langsamer und weniger kräftig. Ein Bremsassistent kann Abhilfe schaffen, damit wenigstens in kurzer Zeit die maximale Bremsleistung erreicht wird.

Die Beweglichkeit nimmt einen sofort spürbaren Platz ein, denn Ein- und Ausstieg werden schwerer. Fahrer können sich nicht mehr so leicht auf niedrige Sitze

herunterlassen und von ihnen wieder aussteigen. Türen und Klappen müssen leichter gehen und sollen bei einem großen Öffnungswinkel nicht weit vom Körper entfernt sein, damit die Griffe von innen gut zu erreichen bleiben. Die Länge der Türen sollte zunehmen und das Aussteigen in engen Parklücken sollte nicht schwerer werden, als es vorher schon war. Die Positionierung von Bedienelementen, Türgriffen, Sitzverstellungen, ist für diesen Personenkreis besonders ordentlich zu durchdenken.

4 KOGNITIVE VERÄNDERUNGEN

Bei der Bedienung von Fahrzeugen spielt die Kognition eine große Rolle. Alle Nutzer haben Modelle im Kopf, nach denen sie eine Funktion im Auto suchen. Sei es eine einfache Sitzverstellung oder eine komplexe Bedienung von Infotainmentsystemen. Grundsätzliche Funktionsmodelle halten sich oft sehr lange. Als Beispiel sei die Einstellung genannt, dass Metall immer besser sei als Kunststoff. Bei älteren Menschen ist das noch sehr oft zu hören. Im Alltag stellt sich die Situation oft andersherum dar. Bei der Bedienung von Funktionen und Menüs ist das ähnlich. Ältere Menschen, die keine Erfahrung mit Computern haben, ist es oft schwer zu erklären, dass „Soft Keys“ in verschiedenen Menüs auch unterschiedliche Funktionen haben können. Oft ist es sogar schwer zu vermitteln, dass über einen Bildschirm verschiedene Systeme bedient werden können. Nicht selten bekommt Sätze zu hören: „ich dachte, das wäre die Klimaanlage“. Funktion, Technik und System sind für diese Personen nicht trennbar miteinander verbunden.

Bei der Bedienung bedeuten Modelle wie diese nur eine Komforteinbuße und die Tatsache, dass bestimmte Systeme nicht bedient und damit nicht genutzt werden können. Bei FAS (Fahrerassistenzsystemen) und ADAS (Advanced driver assistance systems) hat das starke Sicherheitsaspekte. Wenn Fahrer hier anders reagieren, als die Entwickler das von ihnen erwartet haben, kann das in gefährlichen Situationen münden. Es geht auch um das Bewusstsein, ob bestimmte Systeme im Auto vorhanden sind und ob sie ein- oder ausgeschaltet sind. Falsche Annahmen können große Gefahrenpotentiale darstellen.

5 NEUES LERNEN

Oft wird angenommen, dass ältere Menschen neue Systeme nur sehr schwer oder sehr schlecht lernen können. In der Praxis können wir vor allem feststellen, dass ältere Menschen neue Bedienelemente und Systeme anders lernen und öfter bedienen müssen als junge Fahrer. Wer in der Lage ist am Straßenverkehr teilzunehmen ist aber meist auch in der Lage neue Systeme zu erlernen. Die flüssige Intelligenz geht zwar im Mittel zurück. Interessierte Menschen können sich aber ein erstaunliches Lernvermögen erhalten und im Lauf ihres Lebens unglaubliche Mengen an Wissen und Erfahrungen sammeln. Eine Grenze des Menschlichen Gehirns ist hier noch nicht entdeckt worden. Umgekehrt werden neue Konzepte der Fahrzeugbedienung bei alten wie jungen Fahrern sehr oft zu schnell gelernt und angenommen. Als Beispiel sei hier der Automatische Spurwechselblinker genannt, der bei Antippen des Hebels automatisch vier mal blinkt. Die meisten Fahrer gewöhnen sich sehr schnell daran

und müssen das Blinkverhalten in einem Auto ohne dieses Extra durch Fehlversuche wieder umlernen. Im hin- und herschalten zwischen verschiedenen Fahrzeugen sind junge Personen aber wieder schneller als die älteren Fahrer.

6 ERFAHRUNGSWERTE

Grenzen findet die Lernbarkeit bei Systemen, die besonders selten gebraucht werden oder in einem Fahrzeugzustand aktiv werden, den vorsichtige Fahrer, zu denen vor allem die älteren Fahrer gehören, nie erleben. Ein ABS macht das Auto auch unter schlechteren Reibungsbedingungen und einer Vollbremsung in Querrichtung steuerbar. Eine leichte Aussage sollte man meinen. In der Praxis ist es oft ganz anders verstanden. Viele Fahrer denken einfach, dass man mit ABS eben besser bremsen kann. Sie meinen der Bremsweg verkürze sich einfach. Interessant ist jetzt das Verhalten von jungen Fahrern, die mit ABS angefangen haben und das der älteren Fahrer, die ABS noch nicht so lange kennen zu vergleichen. In einer Notsituation hilft das Systemverständnis alleine oft nicht. In Panik fallen die Nutzer in ein lange vorher gelerntes Verhalten zurück. Die Grenzsituation mit ABS muss oft geübt und regelmäßig wiederholt werden, damit das System auch im Extremfall richtig bedient wird. Anfängliche grobe Zeitraster bei der Regelung sollen sogar zu gefährlicheren Situationen geführt, wenn Nutzer die Bremse losgelassen haben, weil die ja so vibriert. Ein Verhalten, dass sie von der Bremse nicht kannten und das sie noch mehr in Panik versetzt hat.

Für FAS sind gerade Versuchspersonen interessant, die nicht mit den entsprechenden Funktionen eben nicht aufgewachsen sind. Sie gelten als die „most endangered user“, die durch das System nicht schlechter abgesichert sein sollte als ohne das System.

7 LEISTUNGS- ODER ALTERSGRUPPEN?

Lebensalter hat den Vorteil, dass es leicht zu ermitteln ist und linear verläuft. Es bietet sich an, das Alter als Grundlage für Forschungsaktivitäten zu nehmen. Für alle Kapitel vorher gilt jedoch: Die Leistung der Sinne, der Bewegung und der Intelligenzleistung nehmen nur im Mittel ab. Diese Mittelwerte sind toll darstellbar, erklären aber nur einen Teil der Wahrheit. Viel stärker als die Mittelwerte verändern sich die Streuungen der Leistung. So sind eben nicht Alte Leute in der Lerngeschwindigkeit hinter jungen Leuten. Vielmehr gibt es ältere Menschen, die phantastische Leistungen erbringen und junge Leute, die erstaunliche Lernschwierigkeiten haben. Bei den jungen kann man die mit den Schwierigkeiten als Ausnahmen von einer Regel begreifen und sie sind schwer zu finden. Bei den Älteren Menschen hat man die gesamte Bandbreite an Leistungen in einer viel kleineren Stichprobe. Das hat aber den Nachteil, dass man bei einer Stichprobe älterer Menschen viel kritischer kontrollieren sollte, wie sich die Versuchspersonen in Kontrollvariablen verhalten. Für viele Fragen stellt das Alter gar keine gute Prädiktorvariable dar. Wichtiger sind hier Leistungsgruppen. Braucht man hier eine Gruppe besonders kurzsichtiger Menschen und da eine Gruppe die nicht so gut hört,

kann sich auch der Bedarf nach guten und schlechten Lernern stellen.

8 KANN MAN ALTER SIMULIEREN?

Simulatoren nehmen in der Forschung inzwischen eine wichtige Stellung ein. Alter zu simulieren reizt seit einiger Zeit und wird z.B. von Meyer-Hentschel auch praktiziert. Mit einem Anzug, der unter Anderem einen Helm mit gelblichem Visier, das das Sehfeld einschränkt, und Gewichten, sowie Polstern, die die Beweglichkeit einschränken, ausgestattet ist, wird Ingenieuren in Seminaren gezeigt, was Altern bedeutet. Für Forschungsergebnisse ist dies Art der Simulation nicht geeignet. Was da erlebt wird, ist ein Horrorszenario des Alterns, das alte Menschen nach Befragung glücklicherweise nicht so erleben. Als Lernbeispiel ist die Simulation allerdings Gold wert. Viele Einschränkungen älterer Menschen lernen sich leichter mit dem Erlebnis, als durch Bücher und Artikel. Wer mal mit einem Handschuh Tasten im Auto oder auf einem Telefon bedienen musste, merkt sich das Erlebnis für immer. Wer mal mit bestimmten maximalen Gelenkstellungen in ein Auto einsteigen oder die Rückbank umlegen musste, wird für den Rest seiner Laufbahn für das Thema sensibilisiert sein.

Ältere Menschen verhalten sich aber sehr oft ganz anders, als es junge Menschen in Anzügen wie diesem tun würden. Ältere Menschen hatten lange Zeit sich an die langsam eintretenden Veränderungen zu gewöhnen. Sie versuchen bestimmte Handlungen, die jungen Menschen selbstverständlich sind, nicht mehr. Für die Forschung – besonders bei Fahrerassistenzsy-

temen (FAS) ist aber wichtig was die Fahrer in der Praxis wirklich tun. Wir interessieren uns für das Verhalten der Menschen, die an ihre geistigen und körperlichen Möglichkeiten adaptiert sind.

Besonders bei FAS sind nicht so sehr die körperlichen Einschränkungen interessant. Hier geht es mehr um das Verständnis der Systeme und die Übertragung in einen Straßenverkehr von heute. Ältere Menschen werden für die HMI Forschung immer interessant bleiben, weil sie viele Jahre und Kilometer (dabei die entscheidenden Jahre für das Lernen) mit Technik verbracht haben, die, vom Forschungszeitpunkt aus betrachtet, auf einem sehr alten technischen Stand sind. Handlungen, die in bestimmten Situationen damals richtig waren, können heute sehr falsch sein. Wir müssen sicherstellen, dass die Folgen einer solchen Reaktion nicht gefährlicher sind, als wäre ein entsprechendes System nicht vorhanden.

Für die Einschätzung des tatsächlichen Verhaltens in der Fahrzeugbedienung ist eine Alterssimulation daher nicht von Bedeutung.

9 SPEZIELLE ANFORDERUNGEN AN TECHNIK FÜR VERSCHIEDENE ALTERSGRUPPEN

Gegen Ende stellt sich immer die Frage nach der speziellen Technik, die für verschiedene Altersgruppen nötig ist – oder eben nicht.

Die erste Frage dazu ist oben angedeutet und nicht beantwortet worden. „Wer ist alt oder älter?“ Natürlich werden sich „alte Leute Autos“ nicht verkaufen

lassen, denn der Begriff Alt ist in unserer Gesellschaft im Moment sehr schlecht besetzt. Wie auch in diesem Vortrag bezieht sich Alter vor allem auf Einschränkungen der Leistung, wie sie für sportliche Leistung (Autofahren) wichtig ist. Das Alter auf der anderen Seite ein schöner Lebensabschnitt sein kann, an dem viele Menschen die Verantwortung für die Zukunft der Kinder auch in deren Hand übergeben haben und als Beobachter und Coach ein wunderschönes, freies Leben haben können, wird dabei nicht erwähnt. Dazu müssen zwei Bereiche strikt voneinander getrennt werden:

Wie oben erwähnt unterscheidet sich die kognitive Leistung älterer Menschen gravierend. So unterscheidet sich auch die jeweilige körperliche Fitness. Mit diesen beiden Werten sind die möglichen Gruppen aber nicht beschrieben.

Marketing Spezialisten arbeitet im Moment gerne mit dem Milieubegriff, der sich nirgends so weit aufspreizt, wie bei älteren Menschen. Ähnlich wie bei den verschiedenen Leistungswerten werden auch bei den Milieus die Streuungen breiter. Man findet viele unterschiedliche Gruppen älterer Menschen. Wenn das mit der Zeit 50+ beschrieben wird, dann fallen in den Bereich ältere Menschen aus vier Jahrzehnten, die wohl unmöglich in nur eine Gruppe passen. Es handelt sich hier um fitte Personen, die vielleicht mit einer Lesebrille geplagt werden und umfangreiche Freizeitaktivitäten haben und es handelt sich auf der anderen Seite um sehr alte Menschen, die nur die Grundmobilität suchen, die sie von daheim bis zum Arzt oder zum Einkaufen bringt. Besonders diese Menschen sind oft auf Automobilität angewiesen, weil Ihnen schon der Weg zum öffentlichen Nahver-

kehr zu weit ist. Hier sei vor allem an alte Menschen in ländlicher Umgebung gedacht, bei denen auch ein Taxi viel Geld verschlingt und bei denen die nächste Haltestelle sehr weit weg ist.

Viele unterschiedliche Anforderungen kommen auf die Fahrzeuge für all diese Menschen zu. Einige werden für alle gleich zu beantworten sein. Das Auto soll in seine Grundfunktionen einfach zu bedienen sein. Sehr unterschiedlich sind die Anforderungen an Parkraum, Aktionsradius und Prestige. Raum bleibt hingegen für intelligente Fahrerassistenzsysteme. Keines davon darf als Krückstock entwickelt werden - vielmehr sollte es ein angenehmer Luxus sein, auf den man sich freuen kann und der gleichzeitig die Fahrt sicherer macht. Die PDC (Park Distance Control) ist ein Ansatz, der von älteren Kunden als angenehm empfunden wird und der gleichzeitig glücklicherweise von keinem Kunden als „Alte Leute FAS“ beurteilt wird.

In jedem Alter wird die Meinung des Nachbarn eine wichtige Stellung einnehmen – also wird es möglicherweise kein „alte Leute“ Auto geben.

10 WEN SOLLEN WIR JETZT BEDAUERN?

Zu Bedauern ist niemand! Ältere Menschen werden im Verhältnis mehr. Die Industrie hat sie längst als Zielgruppe erkannt und arbeitet auf vielen Ebenen, dass diese Kundenkreise aufgeschlossen werden oder bei den Marken bleiben. Ältere Menschen werden also in den kommenden Jahren viele Produkte bekommen, die für sie entwickelt wurden. Mindestens sollten sie

aber Produkte bekommen, bei deren Entwicklung sie nicht vergessen wurden.

Wenn der negative Aspekt des Alterns ausgeblendet wird und wir uns endlich wieder erinnern, wie viel Wissen früh aus den Entwicklungsabteilungen verrentet wird, sollte es dazu kommen, dass ältere Menschen Produkte für ihre Alterskollegen entwickeln. Wer sollte sie mit all ihren Einstellungen, Erwartungen und Möglichkeiten besser kennen? Auf der anderen Seite wird die Auswahlmenge im Bereich Automobil durch Nischenprodukte so groß werden, dass für jedem was dabei sein wird.

Als Grundsatz für die Ergonomie bleibt bestehen, dass eine Konstruktion für ältere Menschen die jüngeren einschließt – umgekehrt dafür aber keine Garantie besteht.

Für die Forschung bleiben – wie immer – die extremen Gruppen besonders interessant und arbeitsintensiv. Für das Autofahren sind das die Anfänger und die besonders alten Fahrer. Beide bieten noch gute Ansätze für die Arbeit. Für die Fahranfänger sollte uns noch viel für die Fahrsicherheit einfallen. Für die älteren Autofahrer, sollten uns Systeme einfallen, mit denen wir diese Menschen lange, sicher automobil halten können. Ziel muss es sein, dass alte Leute gerne und sicher am Automobilen Verkehr teilnehmen können.

X-BY-WIRE BETÄTIGUNGSELEMENTE – ÜBERBLICK UND AUSBLICK

*Hermann Winner, Oliver Heuss
Fachgebiet Fahrzeugtechnik, Technische Universität
Darmstadt*

ZUSAMMENFASSUNG

X-by-Wire benötigt neue Betätigungselemente, die den Fahrerwunsch als Information aufnehmen, aber auch Bediengefühl und Rückmeldung bereitstellen. Es werden verschiedene, in der Fachliteratur bekannte Konzepte vorgestellt und miteinander verglichen. Der Überblick führt zu einer Einordnung der Ansätze und einer Gesamtbewertung.

Die mit dem Einzug eines vollständigen X-by-Wire-Konzepts erwarteten Fahrerassistenzfunktionen stellen zusätzlich die Anforderung nach einer ganzheitlichen Betätigungsphilosophie, die auch die Bedienung der Assistenzfunktionen einbindet. Das hier vorgestellte Conduct-by-Wire-Konzept, stellt einen Lösungsansatz dar, der eine Bedienung auf der Stabilisierungsebene umgeht.

1 EINLEITUNG

Die Frühphase der Automobilentwicklung war verbunden mit einem Konzeptwettbewerb über die geeignete

Art und Weise der Fahrzeugführung, aus dem sich der heute noch gültige Standard für die PKW-Betätigung ergeben hat: ein Lenkrad für die Querführung und Pedale für Beschleunigung und Verzögerung. Es darf vermutet werden, dass diese Anordnung den, im Rahmen der damaligen technischen Möglichkeiten, besten Kompromiss aus Fahrerenergienutzung (keine Hilfskraftunterstützung!) und Kontrollierbarkeit darstellte.

Neben den primären Betätigungselementen mussten noch weitere bedient werden. Diese sekundären Bedienelemente, die sich in einer Vielzahl auch in modernen Fahrzeugen finden, waren in der Frühphase der Automobilentwicklung vielfach zur Aufrechterhaltung der Antriebsfunktion notwendig. Deren Bedeutung und Funktion weicht in der heutigen Zeit aber stark von den früheren ab. Sie dienen zu einem Großteil der individuellen Anpassung und dem Komfort.

Durch die Technologieentwicklung der Mechatronik ist kein Fahrerbeitrag zur Betriebserhaltung mehr notwendig. Allein bei Fahrzeugen mit Handschaltung verbleibt ein Aufwand beim Fahrer für die Einstellung des richtigen Arbeitsbereichs. Die Mechatronik hat den Fahrer nicht nur von diesen Arbeiten entlastet, sondern hat das Auto auch leichter beherrschbar gemacht, wie z.B. durch ESP. Die in der Automobilfrühphase definierten primären Betätigungselemente sind jedoch durchgehend in gleicher Weise vorhanden. Die Kennung der Betätigung hat sich in der Zeit nach dem zweiten Weltkrieg durch die Nutzung von Hilfsenergie erheblich geändert. Trotzdem ist das Grundprinzip der Betätigung unverändert. Dies gilt sogar für das Fahrpedal, das seit Einführung der EURO III Norm als

Throttle-by-Wire-System von der Betätigung an der Drosselklappe energetisch entkoppelt ist.

Durch die positiven Erfahrungen mit der Fly-by-Wire-Technik in der Luftfahrt lag es nahe, eine energetische Entkopplung für die Brems- und Lenkfunktion auch für den Einsatz in Landfahrzeugen vorzusehen. Die Vielzahl der Vorteile von Brake-by-Wire (BbW) und Steer-by-Wire (SbW) sind bei (Freitag et al. 2001; Larses 2003; Kaufmann et al. 2001) genannt. Alle nennen die freie Kennung der Bedienelemente als großen Vorteil, weil die mit der energetischen Kopplung der Betätigungselemente verbundenen Beschränkungen aufgegeben werden können. Im ersten Teil dieses Artikels werden in einem Überblick die publik gewordenen Ansätze kategorisiert und deren Vor- und Nachteile benannt. Im zweiten Teil werden der Grundansatz für X-by-Wire, wie er bisher verfolgt wurde, in Frage gestellt und anschließend ein Ausblick auf eine Entwicklungsrichtung gegeben, die mit einem grundsätzlich anderen Paradigma an die Gestaltung der Fahrzeugführungsschnittstelle herangeht.

2 BEKANNTE X-BY-WIRE BETÄTIGUNGSELEMENTE

2.1 Konventionelle Betätigungselemente

Ein Großteil der Arbeiten verschiedener Entwicklungs- und Forschungsgruppen sieht bei den von ihnen vorgestellten Lösungen weiterhin die konventionelle Betätigung durch Lenkrad für die Querführung und Pedale für die Längsführung vor. Ein Grund ist sicherlich die hohe Kompatibilität zu den heute üblichen Betäti-

gungselementen. Bei X-by-Wire-Systemen mit mechanischer oder hydraulischer Rückfalllösung ist die konventionelle Betätigung allein deshalb schon notwendig, weil die Rückfallebene nur durch die Fahrerenergie betrieben werden kann. Damit gelten die gleichen Bedingungen für die Auswahl der Betätigung wie in der ersten Hälfte der Automobilgeschichte mit entsprechend gleicher Lösung.

2.1.1 *Längsführung*

2.1.1.1 Fahrpedal

Wie oben genannt ist ein Großteil der heutigen Fahrzeuge mit E-Gas = Throttle-by-Wire oder einer elektronischen Dieselregelung ausgerüstet. Das Fahrpedal ist mit einer Feder belastet, wodurch das Gefühl gegenüber einer herkömmlichen Drosselklappenverstellung gut wiedergegeben wird, da diese als Feedback ebenfalls die Kraft einer Feder, nämlich der Klappenrückholfeder, an den Fahrerfuß weitergibt. Ansätze für ein so genanntes Aktives Fahrpedal sind seit PROMETHEUS bekannt (Braess & Reichart 1995). Auch kürzlich wurden entsprechende Konzepte publik: das Force-Feedback-Pedal (FFP) (ContiTemic/1 2004) in konventionell elektromechanischer Ausführung und ein Gaspedal mit ungewöhnlichem Aussehen der TU Chemnitz (Kunzmann 2004). Dieses Gaspedal wurde mit der so genannten Struktronik-Technik aufgebaut, die in einem Faserverbundwerkstoff Sensoren und Steller integriert. Letztere basieren entweder auf Piezowerkstoffen oder Formgedächtnislegierungen. Diese „Struktronik“, von anderen auch Adaptronik genannt,

ermöglicht einen sehr kompakten Aufbau ohne sichtbare Stelleinheiten. Das FFP wurde zusammen mit dem Funktionskonzept Active Distance Support (ACDIS) (ContiTemic/2 2004) vorgestellt, bei dem über das Fahrpedal eine Fahreralarmierung bewirkt wird. Eine situationsadaptive Fahrpedalkennung mit einem aktiven Fahrpedal wurde bei (Dorrer 2003) zur Streckenkraftstoffverbrauchssenkung eingesetzt.

Im Forschungsfahrzeug F500 Mind von DaimlerChrysler (DaimlerChrysler 2003) werden für Gas und Bremse hingegen zwei Druckplatten anstelle der Pedale eingesetzt. Die Betätigung erfolgt also ohne Pedalweg rein fußkraftgeführt, wodurch etwa 12 cm mehr Beinfreiheit zur Verfügung stehen, die im Crashfall der Verletzungsminderung zugute kommen.

2.1.1.2 Bremsbetätigung

Als Beispiel für ein BbW mit mechanischer/hydraulischer Rückfallebene kann die elektrohydraulische Bremse SBC (Stoll 2001) genannt werden. Für die Betätigung der Bremse im BbW-Modus, also ohne energetische Kopplung, nimmt ein so genannter Wegsimulator die Betätigungsenergie des Fahrers auf. Dieser Wegsimulator besitzt eine konstante, wenn auch im Entwicklungsprozess frei gestaltbare Pedalkraft/Pedalweg-Kennung. Die Zuordnung der Betätigung durch den Fahrer zu der Wirkung am Fahrzeug ist als Teil der Software festgelegt und kann daher ebenso dynamisch verändert werden wie die Aufteilung auf die einzelnen Räder. Eingesetzt werden für den Wegsimulator Federelemente aus Stahl, Elastomeren und/oder Gaskissen, s. z.B. (Stoll

2001; Zehnder et al. 1999). Die Dämpfung und Hysterese werden durch die Eigenreibung der Federelemente und hydraulische Bedrosselung vorgegeben.

Auch Bremskonzepte ohne Rückfallebene mit Fahrer-kopplung wurden mit einer Pedalbetätigung ausgeführt, s. (Dieckmann 1997). Eine Ausprägung als aktives Pedal ist dem Autor nicht bekannt, allenfalls eine semiaktive Beeinflussung mit einer magnetorheologischen Bremse (Johannessen 2001). Von der von (Bill et al. 1999) vorgeschlagenen situationsadaptiven Kennung sind Umsetzungen nur in speziell für Untersuchungen zum Bremspedalgefühl entwickelten Forschungsfahrzeugen bekannt (Bill et al. 1999; Augsburg & Trutschel 2002).

Die Betätigungscharakteristik der oben schon genannten Druckplatten des F500 Mind ist in Bezug auf die Umsetzung der Fußkraft in Bremskraft oder Verzögerung in den zugänglichen Quellen nicht dokumentiert.

2.1.1.3 Kombinierte Fahr- und Bremsbetätigung

Die überwiegende Zahl der Autofahrer nutzt Brems- und Fahrpedal mit demselben, rechten Fuß. Entsprechend ergibt sich bei einer Notbremsung eine Pedalwechseldauer. Bei herkömmlicher Anordnung gibt es daher Ansätze, über eine Bremsassistentz schon bei Loslassen des Fahrpedals oder beim Wechsel von Fahr- auf Bremspedal diesen Zeitverlust zu kompensieren (Weiße 2003; s.a. Breuer & Bill 2004). Dabei verliert der Fahrer nach Angaben von (Morrison et al. 1986; Weiße 2003) fast 0,2 s. Dies ist eine Zeitdauer, die den Anhalteweg aus 100 km/h um etwa 5 m

verlängert. In einer Simulatorstudie konnten (Poock et al. 1973) zeigen, dass mit einem kombinierten Pedal per Fußballen als „Fahrpedal“ und mit der Ferse als „Bremspedal“ eine entsprechende Zeit eingespart werden kann. Bisher ist in den aktuellen Publikationen keine Übernahme eines solchen Pedalkonzepts bekannt geworden.

2.1.2 *Querführung*

2.1.2.1 Konventionelle Lenkräder

Nicht nur für Steer-by-Wire-Konzepte mit mechanischer oder hydraulischer Rückfallebene¹, sondern für eine Vielzahl von prototypischen Darstellungen „reiner“ SbW-Lösungen wurde ein Lenkrad in konventioneller Ausführung verwendet. Die Lenkradmomentenrückmeldung an den Fahrer erfolgt oftmals elektromotorisch, vgl. (Asai et al. 2004; Feick et al. 2000; Fleck 2003; Heitzer 2002; Oh et al. 2002).

Die Trennung der Verbindung des Lenkrads zur Radverstellung ermöglicht den Freiraum für eine Optimierung der Lenkbetätigung hinsichtlich Winkel- und Momentenübertragungsfunktion. So wurden in Simulatorversuchen (Tajima et al. 1999) optimale Übersetzungen ermittelt, die eine gegenüber heutigen Auslegungen weitaus direktere (ca. 5x) Kennung besitzen.

¹ Beispiele für hydraulische Rückfallebene finden sich bei (Fleck 2003) und für mechanische Rückfallebene bei (Heitzer 2002)

Allerdings zeigen seine Simulatorversuche mit Probanden, dass eine nur halb so große Gierverstärkung wirklich gewünscht ist.

(Ackert 2003) hat in Fahrversuchen ermittelt, wie unterschiedliche Lenkübersetzungen in verschiedenen Manövern von den Probanden beurteilt wurden. Die Ergebnisse bleiben in Übereinstimmung mit der Auslegung der Übersetzung wie sie für die Winkelüberlagerungslenkung bei (Fleck 2003) genannt wird. Für die Lenkradmomentecharakteristik konnte (Barthenheier 2004) zeigen, dass sie interindividuell unterschiedlich wahrgenommen wird und deutliche Unterschiede bei der subjektiven Bewertung bestehen. Mit einem eher einfachen Modell gelang es ihm auch, das originale Lenkrad"gefühl" soweit zu kopieren, dass das synthetische Lenkradmoment nicht unterscheidbar war vom originalen. Allerdings ist die Einschränkung hinzuzufügen, dass dieser Vergleich im Normalfahrbereich bei Querschleunigungen bis 5 m/s^2 durchgeführt wurde. Trotzdem lässt dieses Ergebnis den Schluss zu, dass für eine Kopie einer mechanisch gekoppelten Bremse in diesem Fahrbereich eine rein passive Lenkradrückmeldung aus Federelementen und Elementen mit viskoser Dämpfung und Coulombscher Reibung hinreichend erscheint. Einen anderen Weg gehen (Kaufmann et al. 2001; Asai et al. 2004; Kimura et al. 2004), die das Lenkradmoment als Funktion des Rückstellmoments berechnen und als Kraftrückmeldung elektromotorisch an den Fahrer leiten.

Eine semiaktive Lösung auf Basis magnetorheologischer Bremsen zur Lenkradmomentengenerierung wurde von (Park & Jung 2001) vorgestellt und findet

auch beim Konzeptfahrzeug SIRIUS Verwendung (Johannessen 2001).

Für die bei SbW offensichtlich hohen Sicherheitsanforderungen (vgl. Freitag et al. 2001) werden mehrfach Lösungen vorgestellt, die redundante Stellerkonzepte für die Lenkradmomentengenerierung vorschlagen, siehe u.a. (Krautstrunk et al. 2000; Feick et al. 2000).

Weitere Konzeptfahrzeuge, die Lenkräder als Betätigungsschnittstelle für SbW einsetzen, sind Citroen Airdream (Citroen 2002) und Renault Ellypse (Renault 2002).

2.1.2.2 Modifizierte Lenkräder

Lenkräder, die einen eingeschränkten Winkelverstellbereich haben, benötigen keine Vollkreisform, da ein Umgreifen durch diese Einschränkung nicht mehr notwendig ist. Das Betätigungselement wird daher auf den Teil des Lenkrades reduziert, der als Griff für die Geradeausfahrt verwendet wird (bzw. werden sollte). Ein recht junges Beispiel solcher Betätigungselemente findet sich beim oben schon erwähnten Daimler Chrysler F500 Mind, bei dem zwei miteinander gekoppelte „Griffschlaufen“ für die rechte und linke Hand den Querführungswunsch des Fahrers aufnehmen. Einige Jahre früher präsentierte SKF ähnliche Querführungsbetätigungselemente sowohl in eigenen Forschungsfahrzeugen in Zusammenarbeit mit Bertone (SKF 2001) als auch im Konzeptfahrzeug HyWire von General Motors (General Motors 2002). Alle diese abgewandelten Lenkräder besitzen nur einen einge-

schränkten Verdrehbereich (bei SKF $\pm 20^\circ$) und schöpfen den bei (Köhn et al. 2002) als optimal bezeichneten Verstellbereich von etwa $\pm 45^\circ$ nur zu 40% aus, d.h. die Lenkung ist erheblich direkter. Unter der Voraussetzung, dass mit dem Winkelbereich von $\pm 20^\circ$ die Fahrdynamik voll ausgereizt wird, liegt die Gierverstärkung etwa doppelt so hoch wie das von (Stamer 1997) für den Fahrgeschwindigkeitsbereich von 50...150 km/h ermittelte Optimum von 0,40...0,44/s. Das im Konzeptfahrzeug Citroen C-Crosser verwendete, modifizierte Halblenkrad (Citroen 2001), besitzt beim Parkieren hingegen einen Verstellbereich von ca. $\pm 120^\circ$, obwohl, ähnlich den von SKF entworfenen „Lenkrädern“, die Betätigungselemente für die Längsführung mit der Drehbewegung mit verstellt werden.

Das von (Motetti et al. 2004) vorgestellte Bedienelement enthält ebenfalls zwei Schlaufen, die allerdings nicht gegenüber, sondern im unteren Bereich nahe beieinander liegen und so ein Zweidrittellenkrad nachbilden. Weiterhin sind mit diesem Element sekundäre Betätigungselemente kombiniert. In der oben genannten Schrift wird über die Untersuchung von der ästhetischen Akzeptanz und die Einschätzung über die Nützlichkeit der Sekundärbetätigung berichtet. Von einem Einsatz in einem Fahrzeug oder in einem Simulator wird nicht berichtet.

2.2 Alternative Betätigungselemente

Der überwiegende Anteil der alternativen Lösungen fällt in die Kategorie Sidestick. Als erste Umsetzung wird oft der in der Fahrertür montierte federzentrierte Sidestick im Forschungsprototyp GM Impala (Bidwell 1959) genannt. Erst etwa dreißig Jahre später stellten etwa zeitgleich Saab (Bränneby et al.1991) und Bolte (Bolte 1991; Bolte 1992) ähnliche Konzepte für eine elektronische Fahrzeugführung vor. Im Saab 9000 Forschungsfahrzeug wurde die Lenkfunktion durch einen Sidestick ersetzt (siehe Bild 1).

Das aktive Stellteil entstammte einer Entwicklung von Kampfflugzeugen und war in Querrichtung beweglich, wobei das Rückstellmoment sowohl von passiven Feder-Dämpfer-Elementen als auch von einem elektrischen Steller aufgebracht wurde. Zur Fixierung und Stabilisierung des Arms diente eine Armauflage. Über die Leistungsfähigkeit konnten keine Angaben gefun-



Bild 1: Sidestick-Lenkung im Saab 9000-Forschungsprototyp

den werden außer der Bestätigung, dass dieses Fahrzeug für den Versuchsbetrieb fahrtüchtig war.

Das von Bolte untersuchte so genannte Aktive Stellteil ist ein zweiachsiger Sidestick, der als Reaktion auf eine Betätigungskraft eine Fahrzeuglängsbeschleunigung bzw. eine Gierbeschleunigung auslöst. Die dadurch resultierenden Änderungen der Integralgrößen Längsgeschwindigkeit und Gierrate werden als Weg bzw. Winkel nachgeführt und melden den Istzustand der Gesamtkette zurück. Mit dieser Anordnung konnte in Simulatorexperimenten gezeigt werden, dass die Fahrzeugführung gegenüber der herkömmlichen Betätigung erleichtert und verbessert werden kann. Allerdings wird der Erfolg zum Teil auf die Veränderung der Lenkübertragung zurückgeführt, weil nun die Führungsgröße nicht Radlenkwinkel war, sondern Gierrate, d.h. es wurde eine konstante Gierverstärkung eingeprägt. Da diese Lenkübertragung mit herkömmlichen Lenkrädern möglich ist, kann der Erfolg nicht allein auf die Art des Stellteils bezogen werden. Den Vorteil einer konstanten Gierverstärkung werden durch die Arbeit (Stamer 1997) und die Anpassung der Lenkübersetzung der Überlagerungslenkung (Fleck 2003) bestätigt, die für einen Geschwindigkeitsbereich von 50 bis 150 km/h eine weitgehend konstante Gierverstärkung zur Folge hat.

Das Grundkonzept der Sidestick-Betätigung wurde etwa zehn Jahre später von der DaimlerChrysler-Forschung (Eckstein 2001) weiterentwickelt (siehe Bild 2).



Bild 2: Anordnung mit zwei Sidesticks
(Quelle: Eckstein 2001)

Wesentliche Änderungen zum Konzept von Bolte waren neben der Darstellung in einem fahrtüchtigen Forschungsfahrzeug sowohl die Anbringung von zwei elektronisch gekoppelten Sidesticks für jede Seite des Fahrers als auch die Änderung der Betätigungscharakteristik. So wurde zwar analog zu Bolte die Fahrzeug-sollbeschleunigung von der Betätigungskraft in Längsrichtung abgenommen, allerdings wurde auf eine Längsbewegungsrückmeldung am Stellteil verzichtet, also mit einem in Längsrichtung starren Stellhebel. Die Kraft in Querrichtung führt zu einer geschwindigkeitsabhängigen Radlenkwinkelverstellung mit größeren Werten bei niedrigen Geschwindigkeiten. Durch die ebenfalls aus fahrdynamischen Gründen geschwindigkeitsabhängige Gierverstärkung resultiert diese Auslegung im mittleren Fahrgeschwindigkeitsbereich in einer etwa konstanten Gierrate pro Stellkraft mit einem Abfall der Übersetzung Gierrate/Stellkraft sowohl bei niedrigen als auch bei hohen Geschwindigkeiten. Auch die Rückmeldung der Querbewegung zeigt deutliche Unterschiede zur bei Bolte angegebenen Weise auf. Es wird nämlich die aus dem Radlenkwinkel und

der Geschwindigkeit berechnete Kurskrümmung² zurückgemeldet, was bei höheren Geschwindigkeiten zu erheblich geringeren Weg-/Winkelamplituden³ führt.

Diese Stellteilauslegung wurde ebenfalls in Simulator-experimenten untersucht, wobei wiederum eine herkömmliche Betätigungsanordnung mit Lenkrad und Pedalen als Vergleichsreferenz diente. Die Leistungsfähigkeit der Versuchsfahrer verbesserte sich bei Längsführungsaufgaben erheblich. Dies ist auf die oben schon besprochene Verkürzung der Umsetzzeit zurückzuführen. Die Umsetzzeit des Sticks war im Median immer unter 100 ms, und damit noch einmal deutlich niedriger als bei (Poock et al. 1973) für das kombinierte Pedal gemessen wurde (durchschnittlich 260 ms). Die Referenzwerte für die konventionelle Anordnung sind bei beiden Untersuchungen vergleichbar.

Bei den Querführungsaufgaben zeigten die Ergebnisse keine klaren Vorteile der einen oder anderen Anordnung. Die bessere Seitenwindkompensationsfähigkeit durch eine Sidesticklenkung, die Bolte hervorhob, konnte hingegen bestätigt werden. Als weitere Variante der Querführungsauslegung wurde die Weg-/Winkelrückmeldung analog zur Auslegung in

² Bei stationärer Kreisfahrt lässt sich die Gierrate als Produkt von Kurskrümmung und Geschwindigkeit angeben.

³ Bei einem Stick mit Drehpunkt deutlich außerhalb des Griffs ist eine Bewegung sowohl mit einer Translation (Weg) als auch mit einer Rotation (Winkel) verbunden.

Längsrichtung vollständig unterdrückt. Diese Variante führte aber im Vergleich zum „nachgebenden“ Stellteil zu Schwächen bei der Bewältigung von kombinierten Längs- und Querführungsaufgaben.

Ebenfalls in einer Simulatoruntersuchung, wenn auch ohne Bewegungssimulation, haben (Andonian et al. 2003) die herkömmliche Betätigung mit einer Sidestick-Betätigung verglichen. Als Sidestick wurde ein Force-Feedback-Joystick eingesetzt, der dem Anschein nach aus dem Computerspielebereich stammt. Als Führungsgröße wurde der Radlenkwinkel als Funktion des Sidestickwinkels gewählt, wobei über zwei Korrekturfunktionen dieser Zusammenhang geschwindigkeitsabhängig und Sidestickwinkelabhängig „verbogen“ wurde. Obwohl die Korrekturfunktion über die Geschwindigkeit stückweise konstante Werte enthält, führt sie als Ganzes auch hier zu einer in etwa gierratenproportionalen Führungsgröße. Obwohl drei Auslegungsvarianten der Krafterückmeldung getestet wurden (davon eine ohne Force Feedback), schnitt der Sidestick in den Vergleichsuntersuchungen fast immer schlechter ab als die herkömmliche Anordnung. Allein bei Ausweichvorgängen konnte eine Verbesserung der Leistungsfähigkeit konstatiert werden.

(Kelber et al. 2004) führten zur Verbesserung der Querführung eines per Stick gelenkten Kleinfahrzeugs eine so genannte „active steering compensation“ ein, die statt einer direkten Winkelumsetzung zwischen Stick-Winkel und Radlenkwinkel eine Umrechnung in Kurskrümmung vorsieht und zudem eine Dynamisierung durch Verwendung der Ableitung des Stickwinkels. Allerdings liegt noch keine Bewertung der Ergebnisse durch Probanden vor.

Handelte es sich beim Sidestick von DaimlerChrysler (Eckstein 2001) noch um einen Prototyp, der für ein Experimentalfahrzeug entwickelt wurde, so stellten (Chakirov & Schöner 2004) ein auf eine Produktanwendung ausgelegtes Sidestick-Konzept vor, das insbesondere für die Führung von Nutzkraftfahrzeugen vorgesehen ist. Ähnlich zur Auslegung bei (Eckstein 2001) ist eine aktive Verstellung von $\pm 20^\circ$ in Querrichtung vorgesehen. Die Stellung des Sidesticks in Querrichtung wird durch einen Lageregler nachgeführt, der sich wiederum eines unterlagerten Momenterregers bedient. Zur Erfüllung der Sicherheitsanforderungen werden über ein Ausgleichsgetriebe zwei elektrische Antriebseinheiten gekoppelt, die wiederum aus Elektromotoren und Planetengetrieben bestehen. Beide Antriebseinheiten werden parallel eingesetzt (hot standby) und so geregelt, dass das Getriebespiel minimiert wird. Für die Längsrichtung ist eine passive Federrückstellung vorgesehen, wobei der Stellbereich auf $\pm 4^\circ$ begrenzt ist.

Zu dem mit Sidestick-Betätigung geführten Konzeptfahrzeug PM von (Toyota 2003) liegen außer im Internet verfügbaren Pressebildern keine Detailinformationen vor.

Eine Lösung für das im Zusammenhang mit Sidesticks diskutierte Problem der Unterarmabstützung präsentierte (Schilgen 2004) mit dem so genannten Center-Point-Sidestick (siehe Bild 3).



Bild 3: Center-Point-Sidestick nach (Schilgen 2004)

Die durch Fahrzeuglängs- und Querb beschleunigung erzeugte Trägheitskraft wirkt auch auf den sidesticksteuernden Unterarm, so dass sie die Steuerungskraft überlagert und in Folge dessen entweder die als Kraft gemessenen Sollwerte verfälscht oder von der Fahrermuskulatur oder einer Armlehne aufgefangen werden muss. Ein Stick, der nur auf Rotationen reagiert, vermeidet dieses Problem. Dazu ist es notwendig, dass die Drehachse die Griffmitte schneidet. Bei einem zweiachsigen Center-Point-Sidestick

liegt der Momentanpol inmitten des Sticks. Die Trägheitskräfte können damit direkt am Sidestick abgestützt werden, ohne dass dadurch eine Sollwertverfälschung ausgelöst werden kann. Die in der Abbildung sichtbaren Schalter bedienen die Getriebeautomatik, da der ursprünglich an Stelle des Sidesticks befindliche Getriebewählhebel aus Platzgründen ersetzt werden musste. Der Rotationsbereich ist konstruktiv nicht begrenzt, überschreitet aber in der gewählten Auslegung im Normalfall $\pm 5^\circ$ nicht.

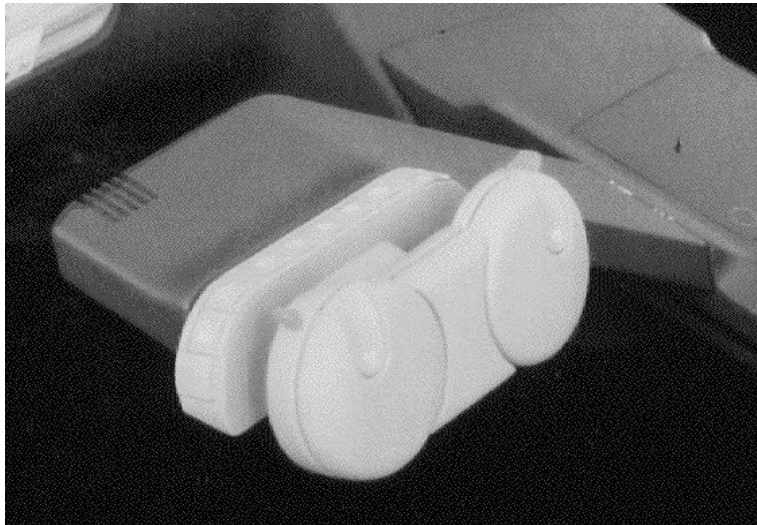


Bild 4: Bedienelement nach (Lammel 1983)

Eine eigenständige Bedienphilosophie besitzt das von (Lammel 1983) gezeichnete und bei (Bubb 1985) vorgestellte aktive Stellteil, s. Bild 4.

Die Einheit besteht aus zwei mechanisch gekoppelten Drehtellern für die Querführung, deren Verdrehung nach (Bubb 1985) die Fahrzeugquerbeschleunigung

vorgibt. Durch Verschiebung der gesamten Einheit wird kraftsensiert der Längsbeschleunigungssollwert abgeleitet. Eine Lageregelung meldet über die Verschiebung der Einheit die Fahrgeschwindigkeit zurück. Eine Bewegung nach vorn entspricht einer Zunahme der Geschwindigkeit, eine nach hinten einer Abnahme. Über eine Umsetzung in einem fahrtüchtigen Fahrzeug liegen keine Informationen vor.

Einen hybriden Weg ging SKF (SKF 2001). Das oben schon genannte modifizierte ‚Zwei-Schlaufenlenkrad‘ wird ergänzt um Längsführungsbetätigungselemente an den Griffen dieser Schlaufen. Dazu wird die Drehung der Griffe ähnlich wie beim Motorrad zur Betätigung der Drosselklappe verwendet, während das Zusammenpressen der Griffe als Bremsbefehl interpretiert wird. Leistungsdaten dieser Anordnung liegen nicht vor.

Eine ebenfalls gemischte Bauweise bietet das beim Citroen Konzeptfahrzeug C-Crosser (Citroen 2001) eingesetzte Betätigungselement. Auf einem Lenkradhalbkreis, der bei Geradeausstellung den unteren Teil eines Ringes ausfüllt, sitzen an den offenen Verlängerungen auf Verdrehung reagierende Fortsätze, die je nach Drehrichtung eine Beschleunigung oder Verzögerung auslösen. Als Vorteile werden dabei die geschwindigkeitsabhängige Lenkübersetzung und der Wegfall der Umsetzzeiten von Gasgeben auf Bremsen genannt, wobei keine Messergebnisse oder Auslegungskennlinien dokumentiert werden.

3 FAZIT ZUM STAND DER TECHNIK

Aus den Ergebnissen der heute bekannten Ansätze für die Betätigung lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

- Es wurde bisher schon eine größere Bandbreite verschiedenartiger Betätigungselemente vorgestellt. Einige von ihnen wurden in Probandentestreihen untersucht, allerdings ausschließlich in Simulatorversuchen.
- Die herkömmliche Betätigungsweise mit Lenkrad und Pedalen findet sich zu einem großen Teil auch bei den X-by-Wire-Ansätzen wieder.
- Bezüglich der Längsführung bliebe damit der Nachteil der um 0,2 bis 0,4 s verlängerten Umsetzzeit gegenüber einem Stellteil, das ohne Umsetzen die Längsführung erlaubt, bestehen. Damit werden erhebliche Sicherheitspotenziale verschenkt.
- Für die Nachbildung eines geeigneten Lenkradmoments gibt es mehrere Lösungsansätze, die aber meistens erheblichen Aufwand sowohl von der Komponentenseite als auch von der Entwicklung erzeugen.
- Wesentliche Verbesserungen können auch durch die dynamische Anpassung von Lenkradmomentcharakteristik und der Lenkübersetzung erreicht werden.

- Sidesticklösungen bieten nachweisbar Vorteile für die Längsführung, aber bisher gelang hinsichtlich der Querführung noch kein eindeutiger Nachweis der Überlegenheit gegenüber dem Lenkradkonzept.
- Zusammenfassend liegt der Schluss nahe, dass die auf absehbare Zeit hohen Zusatzkosten für eine X-by-Wire-Architektur durch die Vorteile bei der Auslegung der Mensch-Maschine-Schnittstelle allein nicht gerechtfertigt werden können.
- Allein zur Reduktion der Umsetzzeit besteht ein erheblicher Verbesserungsdruck, was sich auch an Untersuchungen für Alternativen zur Kompensation dieses Defizits ablesen lässt, z.B. für einen früher einsetzenden Bremsassistenten (Weiß 2003) oder Ansätzen zur Anhaltewegverkürzung auf Basis von umfelderfassenden Sensoren (Wörsdörfer & Maurer 2003).

4 X-BY-WIRE UND FAHRERASSISTENZSYSTEME

Neben den potenziellen Vorteilen bei der Auslegung der Mensch-Maschine-Schnittstelle und den Vorteilen beim Package, insbesondere in Hinblick auf das Crash-Verhalten, werden als Vorzüge der X-by-Wire-Architektur die erheblich einfachere und leistungsfähigere Darstellung von Assistenzfunktionen genannt. Dies ist auch belegt und gilt sowohl für die Stabilisierungsfunktionen wie ESP, vgl. (Stoll 2001), als auch für automatisch agierende Assistenzfunktionen. Letztere übernehmen Aufgaben auf der Stabilisierungsebene und der Bahnführungsebene im bekannten Drei-

Ebenenmodell der Fahrzeugführung, vgl. (Donges 1992). Die "Beauftragung" dieser Funktionen durch den Fahrer geschieht von der Bahnführungsebene aus, wie z.B. die Wahl der Setzgeschwindigkeit bei einem Fahrgeschwindigkeitsregler oder die Aktivierung der Abstandsregelung. Die Schnittstelle für diese Übergabe des Fahrerwunsches kann als Fahrauftragsschnittstelle angesehen werden, da als Folge dieser Aktivierung ohne weitere Stabilisierungsunterstützung durch den Fahrer ein bestimmtes (teil-) autonomes Bahnführungs- und/oder Stabilisierungsprogramm ausgeführt wird. Als Beispiele können die in der Tabelle 1 aufgeführten Assistenzfunktionen herangezogen werden.

Als weitere Information ist aufgenommen, welche Stellsysteme diese Funktionen benötigen, wie viele Bedienschalter zur Aktivierung und Steuerung vorgesehen sind und mit welchen primären Betätigungselementen, also Fahrpedal, Bremspedal und Lenkrad diese Funktionen in Wechselwirkung stehen. Hierbei zeigt sich, dass diese Assistenzfunktionen eine Vielzahl neuer Bedienschalter in das Fahrzeug bringen und zudem noch mit den primären Betätigungselementen, die der Fahrer für die Stabilisierungsaufgabe nutzt, interagieren. Insgesamt wird durch die Assistenzfunktionen die Fahraufgabe zwar erleichtert, aber die Bedienungstransparenz erschwert, da der Fahrer mit wechselnden Fahrzeugfunktionalitäten operiert und entsprechend verschiedene mentale Modelle erlernen muss sowie bei Wechsel der Funktionalität den Wechsel des mentalen Modells mit vollziehen muss. Nur von einer Arbeit ist bekannt, dass eine Integration von primärem Betätigungselement und einer Assistenzfunktionsbedienung unternommen wurde. So wird über die Längsführungsschnittstelle im Prototypfah-

	Eingriff			Interaktion			S
	M	B	L	FP	BP	LR	
Fahrgeschwindigkeitsregler	x	(x)		x	o		3-4
Speed limiter	x			x			1
Automatisches Verzögern in den Stand*		x		x	o		
Hill descent vgl. (Breuer & Bill 2004)		x		x	x		1
Adaptive Cruise Control	x	x		x	o		4-8
ACC-Zusatz Stop&Go	x	x		x	o		1
Lane Keeping Support (= Heading Control)			x		(x)	x	2
Invent Stauassistent vgl. (Invent 2004)	x	x	x	x	x	x	?
Aktive Einparkassistent	(x)	(x)	x	x	x	x	?

Tabelle 1: Automatisch agierende Assistenzfunktionen (Abkürzungen: M Motorleistungssteuerung, B Bremse, L Lenkung, FP Fahrpedal, BP Bremspedal, LR Lenkrad, S Anzahl Schalterfunktionen, x wird benutzt, (x) kann optional benutzt werden, o schaltet Funktion aus) bei Mercedes-Benz-Fahrzeugen mit der elektrohydraulischen Bremsanlage SBC (z.B. SL- oder E-Klasse) als Stauassistent „SBC Stop“ bezeichnet

zeug von (Kelber et al. 2004) zunächst die Beschleunigung vorgegeben, bis die Wunschgeschwindigkeit für eine anschließende ACC Stop&Go-Funktion erreicht ist. Diese wird dann mit Knöpfen am Sidestick aktiviert. Die Längsbeschleunigungsschnittstelle bleibt bei aktivierter ACC ohne Funktion, bis über einen anderen Knopf ACC deaktiviert und der Stick aktiviert wird. Allerdings löst dieser Ansatz das oben geschilderte Problem des Wechsels des mentalen Modells nur unzureichend, da wieder Schalter eingesetzt werden und die Bedienungsfunktion einem Wechsel unterliegt.

5 FAZIT ZUR MENSCH-MASCHINE-SCHNITTSTELLE FÜR ZUKÜNFTIGE X-BY-WIRE-KONZEPTE

Wenn tatsächlich die Vielzahl an Assistenzfunktionen die Zusatzkosten eines X-by-Wire-Systems rechtfertigt, weil die ansonsten auf herkömmlichen Systemen aufgesetzten Zusatzsysteme noch aufwändiger sind als eine konsequente X-by-Wire-Architektur, dann stellen sich neue Anforderungen an die Mensch-Maschine-Schnittstelle:

Integration der primären und sekundären Betätigungen in eine konsistente Schnittstelle, die automatisch agierende Funktionen und Fahrkurssteuerung durch den Fahrer ermöglicht, ohne dass dazu das mentale Modell über die Fahrzeugfunktionalität zu wechseln ist.

6 KONZEPT CONDUCT-BY-WIRE

Um der Verwirrung durch die verschiedenen Zugriffsebenen des Fahrers auf das Fahrzeug zu entgehen, wird vorgeschlagen, die Stabilisierungsebene der Fahrzeugführung für den Fahrer auszulassen und diese vollständig an die im Fahrzeug vorhandenen Assistenzsysteme abzugeben. Stattdessen wird eine Manöverschnittstelle eingeführt, die Aufträge für die Assistenzsysteme annimmt und die für die Bahnführungsaufgabe des Fahrers notwendige Rückmeldung erzeugt. Der Fahrer konzentriert sich nun auf die Führung des Fahrzeugs. Daher wurde der Name dieses Konzepts *Conduct-by-Wire* genannt, mit der Bedeutung des *Führens eines Fahrzeugs per Informationsübertragung*.

Vor einer Umsetzung bedarf es noch erheblicher Forschung. Dazu gehört die Analyse der Denkweise eines menschlichen Fahrzeugführers, mit welcher Semantik der Fahrwunsch intuitiv ausgedrückt werden kann. Weiterhin ist zu klären, mit welcher Mensch-Maschine-Schnittstelle dieser Wunsch aufgenommen werden kann und welche Anforderungen an die Rückmeldung zum Fahrer gestellt werden. Ferner ist eine Überarbeitung der Assistenzfunktionen zu erwarten, damit diese mit der menschlichen Fahrzeugführung über die Bahnführungsschnittstelle integriert werden können.

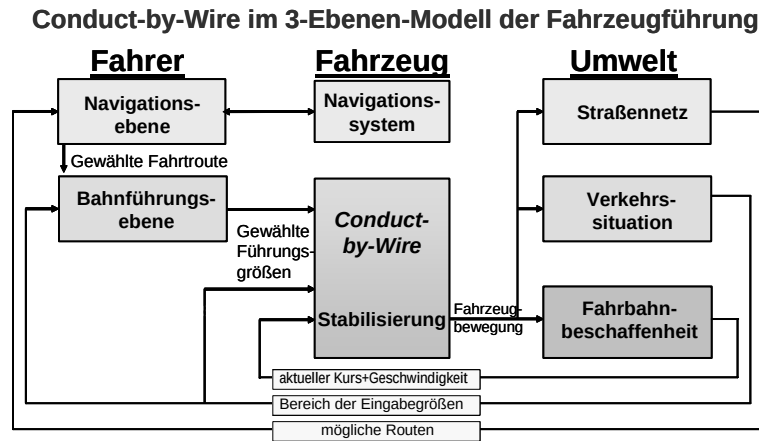


Bild 5: Conduct-by-Wire im 3-Ebenen-Modell der Fahrzeugführung

Für die Längsführung erscheint diese Herausforderung mit überschaubarem Aufwand durch einen Stick lösbar zu sein, z.B. über angepasste Force-Feedback-Programme, die evtl. mehrere Rastpositionen besitzen. So kann für die Aktivierung einer ACC-ähnlichen Funktion⁴ eine Rastposition definiert sein, während eine andere Rastposition *„eine schwache Konstantverzögerung mit weichem Anhalten und Verharren im Stand“* bedeuten könnte. Die Stellung außerhalb dieser Rastpositionen entspricht einer Beschleunigung, wobei die Kraft für das Erreichen dieser Position auch ausgewertet werden kann für eine Dynamikanhebung analog zur Auswertung der Bremspedalgeschwindig-

⁴ gemeint ist das Folgen mit Wunschgeschwindigkeit oder mit der des vorausfahrenden Fahrzeugs sowie mit der bei im Moment der Aktivierung gegebenen Zeitlücke

keit oder des Bremsdruckanstiegs für den heutigen Bremsassistenten. Diese manuellen Beschleunigungsphasen sind aber eher die Ausnahme und können als Übergänge zwischen verschiedenen Manövern gesehen werden.

Wie schwierig aber eine umfassende Neudefinition der Schnittstelle ist, zeigt die in der Arbeit von (Eckstein 2001) untersuchte Reaktion der Fahrer auf die Richtungssensitivität der Sollwertbildung bei Rückwärtsfahrt. Dabei wurde untersucht, in welche Richtung die Kraftbetätigung des Sidesticks für eine Beschleunigung des Fahrzeugs in Rückwärtsrichtung zeigen sollte. So haben sich nach einer Lernphase erheblich mehr Probanden gegen eine richtungskompatible Sollwertbildung ausgesprochen, d.h. die Mehrzahl bevorzugt, die Beschleunigung des Fahrzeugs bei Rückwärts wie bei Vorwärtsfahrt durch Betätigung nach vorn auszulösen. Dieses Beispiel zeigt, dass eine Schnittstelle für einen Fahrzeugbewegungsvektor (Spiegelberg 2004), wie sie für Fahrerassistenzsysteme und autonome Fahrzeugführung sicherlich gut geeignet ist, keineswegs für den Fahrer intuitiv ist und auch keine Entsprechung im ausgedrückten Denken eines Menschen findet.

Für die Querführung ist die Lage noch „ergebnisoffener“ als bei der Längsführung, da im Moment nur schwer vorstellbar ist, wie Manöveraufträge *„im Fahrstreifen mittig bleiben“*, *„Fahrstreifen wechseln“*, *„an vorausfahrendem Fahrzeug links bzw. rechts vorbeifahren“* oder *„ca. 50 cm auf den Seitenstreifen fahren“* intuitiv und eindeutig übermittelt werden können, ohne direkt in die Stabilisierungsfunktion einzugreifen. Eventuell gelingt es aber auch eine Schnittstelle zu

entwerfen, die sich in der Mitte zwischen den heutigen Ebenen befindet und übergangslos Stabilisierungsbetätigung und Bahnführungsauftrag verbindet.

7 GESAMTFAZIT

Die in Publikationen vorgestellten Konzepte für die Betätigung von Fahrzeugen mit einer X-by-Wire-Architektur lassen sich grob in drei Gruppen einteilen:

- Nachbildungen heute üblicher Betätigungselemente (Pedale, Lenkrad),
- Modifizierte Betätigungselemente, die aber auf heute üblicher Betätigungsphilosophie basieren (insbes. armgeführtes Rotationselement für Querführung),
- Grundsätzlich andere Betätigungselemente.

Während die ersten beiden Gruppen große Vorteile hinsichtlich der Kompatibilität zu heute üblichen Fahrzeugen besitzen, kann nur letztere zu einer wesentlichen Verbesserung gegenüber Lösungen führen, die auch mit der herkömmlichen Technik realisiert werden können. Für die Längsführung gelang es in Simulatorversuchen diese wesentlichen Vorteile auch nachzuweisen, während bisherige Konzepte mit andersartigen Querführungsbetätigungselementen diesen Nachweis (noch) schuldig blieben.

Für die in Zukunft vorgesehene Ausrüstung der Fahrzeuge mit einer Vielzahl an Assistenzfunktionen bietet die X-by-Wire-Architektur hervorragende Möglichkei-

ten zur technischen Umsetzung. Allerdings reicht der Ersatz heutiger Betätigungselemente durch X-by-Wire-Betätigungselemente nicht aus. Die wirkliche Entwicklungsherausforderung besteht darin, eine ganzheitliche Mensch-Maschine-Schnittstelle zu schaffen, die sowohl die Bedienung der Assistenzfunktionen als auch die bisherige Fahrzeugsteuerung in eine Bedienphilosophie integriert. Ein Ansatz für ein solches Konzept wurde hier vorgestellt: Conduct-by-Wire, das vom Fahrer Fahraufträge auf der Fahrzeugführungsebene aufnimmt und in unterlagerten Regelkreisen teilautonom ausführt.

LITERATUR

Ackert, H.: Auskünfte zum Projekt „Ergonomische Expertise einer in der Übersetzungscharakteristik modifizierten Pkw-Lenkung“, Darmstadt 2003, bisher nicht veröffentlicht; Projektbeschreibung s. url: <http://www.arbeitswissenschaft.de/forschung/forschung.htm>, Zugriff: Jan. 2005.

Andonian, B.; Rauch, W.; Bhise, V.: Driver Steering Performance Using Joystick vs. Steering Wheels Controls, SAE paper 2003-01-0118, 2003.

Asai, S.; Kuroyanagi, H.; Takeuchi, S.; Takahashi, T.; Ogawa, S.: Development of a Steer-by-Wire System with Force Feedback Using a Disturbance Observer, SAE paper 2004-01-1100, 2004.

Augsburg, K.; Trutschel, R.: Entwicklungswerkzeuge zur objektiven Beschreibung des Bremspedalsgefühls, 22. Internationales μ -Symposium, VDI-Bericht Reihe

12, Nr.514, VDI-Verlag Düsseldorf, S. 123-149, 2002.

Barthenheier, T.: Potenzial einer fahrertyp- und fahrsituationsabhängigen Lenkradmomentgestaltung, Fortschritt-Berichte VDI-Reihe 12, Nr. 584, VDI-Verlag Düsseldorf, 2004.

Bidwell, J.B.: Vehicles and Drivers – 1980. Vortrag beim SAE Annual Meeting, General Motors Corporation, Research Laboratories, Detroit, USA, 1959.

Bill, K.; Semsch, M.; Breuer, B.: A New Approach to Investigate the Vehicle Interface Driver / Brake Pedal Under Real Road Conditions in View of Oncoming Brake-by-wire-systems, SAE paper 1999-01-2949, 1999.

Bolte, U.: Das aktive Stellteil – ein ergonomisches Bedienkonzept, Fortschritt-Berichte VDI-Reihe 17, Nr. 75, VDI-Verlag Düsseldorf, 1991.

Bolte, U.: Systemergonomische Analyse der Fahrer-Fahrzeug-Schnittstelle, VDI Berichte Nr. 948, VDI-Verlag Düsseldorf, S. 157-174, 1992.

Braess, H.-H.; Reichart, G.: Prometheus: Vision des „intelligenten Automobils“ auf „intelligenter Straße“? Versuch einer kritischen Würdigung – Teil 2, ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 97 (1995), 6, S. 330, 1995.

Bränneby, P.; Palmgren, B. et al.: 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 1, Paris, 224-230, 1991; zitiert bei (Eckstein 2001), S.33.

Breuer, B.; Bill, K. H.: Bremsenhandbuch, 2. Auflage, Wiesbaden, Vieweg Verlag, Kapitel 4, 2004.

Bubb, H.: Arbeitsplatz Fahrer – Eine ergonomische Studie, Automobil-Industrie 3/85, S. 265-275, 1985.

Chakirov, R.; Schöner, H.P.: Aktiver Sidestick für Steer-By-Wire Systeme, VDI Berichte Nr. 1828, VDI-Verlag Düsseldorf, S. 73-82, 2004.

Citroen: Citroen präsentiert C-Crosser für den modernen Abenteurer mit Links- und Rechtslenkung, 2001, url:

http://www.citroen.ch/german/passions/fichiers/pdf/presse_2001/c-crosser.pdf, Zugriff: Jan 2005.

Citroen: Pressebericht: C-Airdream, Ein Citroen in Reinkultur, 2002, url:

http://www.citroen.ch/german/passions/fichiers/pdf/presse_2002/c-airdream.pdf, Zugriff: Jan 2005.

ContiTemic/1: Aktives Gaspedal FFP (Force Feedback Pedal), Prospekt Fahrwerk & Antrieb, 2004 url:

http://www.conti-online.com/generator/www/de/de/cas/cas/themen/produkte/fahrwerk_und_antrieb/fahrwerksregelsysteme/download/download_ffp_de.pdf, Zugriff: Jan 2005.

ContiTemic/2: Adaptive Geschwindigkeitsregelung mit intuitiv erfassbarem Feedback - ACDIS informiert und warnt den Fahrer durch eindeutige Rückmeldungen im Force Feedback Gaspedal, Pressemitteilung, Nürnberg, November 2004.

DaimlerChrysler: Das Auto von Morgen – F 500 Mind, Hightech Report: Ausgabe 2/2003, S. 10–31, 2003.

Dieckmann, Th.: EMB - Ein Elektro-Mechanisches Bremssystem, 17. Internationales μ -Symposium, 24./25.Okt. 1997, Fortschr.-Ber. VDI Reihe 12, Nr. 340, VDI-Verlag Düsseldorf, S. 21-29, 1998.

Donges, E.: Das Prinzip der Vorhersehbarkeit als Auslegungskonzept für Maßnahmen zur Aktiven Sicherheit im Straßenverkehrssystem, 1.Fachtagung „Das Mensch-Maschine-System im Verkehr“, VDI-Gesellschaft Fahrzeugtechnik, VDI-Bericht 948 Anlage, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1992.

Dorrer, C.: Effizienzbestimmung von Fahrweisen und Fahrerassistenz zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs unter Nutzung telematischer Information, Schriftenreihe des Instituts für Verbrennungsmotoren und Kraftfahrwesen der Universität Stuttgart, Band 24, Expert-Verlag, 2003.

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

Feick, S.; Pandit, M.; Zimmer, M.; Uhler, R.: Steer-by-Wire as a Mechatronic Implementation, SAE paper 2000-01-0823, 2000.

Fleck, R.: Methodische Entwicklung mechatronischer Lenksysteme mit Steer-by-Wire Funktionalität, Tagungsband fahrwerk.tech 2003, 11.-12.03.2003 München, 2003

Freitag, R.; Moser, M.; Hartl, M.; Koepernik, J.; Eckstein, L.: Anforderungen an das Sicherheitskonzept von Lenksystemen mit Steer-by-Wire Funktionalität, VDI Tagung „Elektronik im Kraftfahrzeug“, Baden-Baden, VDI-Bericht 1646, S. 837, VDI-Verlag Düsseldorf, 2001.

General Motors: Pressemeldung zur Mondial de l'Automobile 2002, url: http://media.gm.com/about_gm/vehicle_tech/fuel_cell/hywire/, Zugriff: Jan. 2005

Heitzer, H.-D.: Entwicklung eines fehlertoleranten Steer-By-Wire Lenksystems, Tagungsband 11. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik 2002, S. 1081, 2002.

Invent-Konsortium, Internetbroschüre, 2004 url: <http://www.invent-online.de/downloads/STA-handout-D.pdf>, Zugriff: Jan. 2005

Johannessen, P.: SIRIUS 2001 - A University Drive-by-Wire Project, Technical Report No. 01-14, Department of Computer Engineering, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden, 2001.

Kaufmann, T.; Millsap, S.; Murray, B.; Petrowski, J.: Development Experience with Steer-by-Wire, SAE paper 2001-01-2479, 583-590, 2001.

Kelber, C. R.; Webber, D.; Klein Gomes, G.; Lohmann, M. A.; Rodrigues, M. S.; Ledur, D.: Active Steering Unit with integrated ACC for X-by-Wire vehicles using a joystick as H.M.I., 2004 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, University of Parma, Italy, ISSN 0-7803-8310-9/04, S.173-177, 2004.

Kimura, S.; Segawa, M.; Kada, T.; Nakano, S.: A research on steering wheel control strategy as a man-machine interface for a steer-by-wire vehicle, FISITA Conference 2004, Barcelona, paper F2004I047, 2004.

Köhn, P.; Baumgarten, G.; Richter, T.; Schuster, M.; Fleck R.: Die Aktivlenkung – Das neue Fahrdynamische Lenksystem von BMW, 11. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik 2002, S. 1093-1109, 2002.

Krautstrunk, A.; Uhler, R.; Zimmer, M.; Mutschler, P.: Elektrisch lenken: Handkraftaktor für steer-by-wire, thema FORSCHUNG 1/2000, S. 104–113, 2000.

Kunzmann, J.: Forschungsgruppe Struktronik am Institut Allgemeiner Maschinenbau und Kunststofftechnik, Chemnitz, aus Pressemitteilung, 2004, url: <http://idw-online.de/pages/de/news86790>, Zugriff: Jan. 2005.

Lammel, U.: Gestaltung eines Fahrerarbeitsplatzes nach ergonomischen Gesichtspunkten, Diplomarbeit

FB Ind.-Design, FH München, 1983, zit. bei (Bolte 1991) und (Bubb 1985)

Larses, O.: Modern Automotive Electronics from an OEM perspective, Technical Report TRITA-MMK 2003:09 ISSN 1400-1179 ISRN/KTH/MMK/R-03/09-SE, 2003

Morrison, R. W.; Swope, J. G.; Halcomb, C. G.: Movement times and brake pedal placement, in: Human Factors, Heft 2, S. 241–246, 1986, zit. bei (Breuer & Bill 2004), S. 45 und (Weiße 2003), S. 31

Motetti, P.; Malvicino, C. et al.: A method to assess the usability of innovative steering wheel controls, FISITA Conference 2004, Barcelona, paper F2004U046, 2004.

Oh, Se-Wook; Park, Tong-Jin; Han, Chang-Soo: The Design of a Controller for the Steer-by-Wire System, FISITA Conference 2002, Helsinki, paper F02V190, 2002

Park, Y.; Jung, I.: Semi-Active Steering Wheel for Steer-By-Wire System, SAE paper 2001-01-3306, 2528-2535, 2001.

Poock, G.K.; West, A.E.; Toben, T.J.; Sullivan, J.P.T.: A Combined Accelerator-Brake Pedal, Ergonomics, Vol. 16, No. 6, S. 845-848, 1973.

Renault: Pressebericht: The Ellypse concept car: "a bubble of optimism in the automotive world.", 2002, url:

http://www.renault.com/datamedia/doc/mediarenaultcom/en/4004_CPZ13-GB.pdf, Zugriff: Jan. 2005

Schilgen, O. L.: bisher unveröffentlicht, realisiert in einem Versuchsträger Audi A3, 2004 an Fachgebiet Fahrzeugtechnik TU-Darmstadt übergeben, 2004.

SKF: Drive-by-wire shows potential in future car design, in: Evolution - Business and Technology Magazine from SKF; #4/01, Nov. 2001, url: <http://evolution.skf.com/gb/article.asp?articleID=371>, Zugriff: Jan. 2005

Spiegelberg, G.; Maisch, A.; Sulzmann, A.: Intelligentes Fahrzeugkonzept auf Basis Drive-by-Wire: Umsetzungsschritte in den EU-Projekten PEIT und SPARC Tagung Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenzsysteme, München 11. - 12. März 2004, url: http://www.ftm.mw.tum.de/zubehoer/pdf/Tagung_AS/03_spiegelberg.pdf, Zugriff: Jan 2005

Stamer, N.: Ermittlung optimaler PKW-Querdynamik und ihre Realisierung durch Allradlenkung, Fortschr.-Ber. VDI Reihe 12, Nr. 302, VDI-Verlag Düsseldorf, S.110-114, 1997

Stoll, U.: Sensortronic Brake Control (SBC) - Die elektro-hydraulische Bremse von Mercedes-Benz, VDI Tagung „Elektronik im Kraftfahrzeug“, Baden-Baden, 27.09.2001 VDI-Bericht 1646 S. 825, VDI-Verlag Düsseldorf, 2001.

Tajima, J.; Yuhara, N.; Sano, S.; Takimoto, S.: Effects of Steering System Characteristics on Control

Performance from the Viewpoint of Steer-by-Wire System Design, SAE paper 1999-01-0821, 1999.

Toyota: The PM concept vehicle, 2003, url: <http://www.toyota.com/vehicles/future/pm.html>, Zugriff: Jan. 2005.

Weiß, J.: Beitrag zur Entwicklung eines optimierten Bremsassistenten, Stuttgart, ergonomia Verlag, 2003.

Wörsdörfer, K.-F.; Maurer, M.: Fahrerassistenzsysteme zur Erhöhung der Sicherheit, 5. Internationales Stuttgarter Symposium, 18.-20.02.2003, Expert-Verlag, S. 653-663, 2003.

Zehnder, James W. II; Kanetkar, Shekhar S.; Osterday, Craig A.: Variable Rate Pedal Feel Emulator Designs for a Brake-By-Wire System, SAE paper 1999-01-0481, 1999.

SPRACHBEDIENUNG FÜR NAVIGATIONSYSTEME MEHR SICHERHEIT BEREITS IM EINSTIEGSSEGMENT

*Dr. Luis Arévalo, Dr. Andreas Jungk, Stefan Auberg
Robert Bosch GmbH, Bereich Car Multimedia*

ZUSAMMENFASSUNG

Nach detaillierter systemtechnischer Analyse und Berücksichtigung der ergonomischen Anforderungen wird eine optimierte Lösung für die Sprachbedienung von Navigationssystemen vorgestellt.

1 EINLEITUNG

Der Einsatz neuer Multimediatechnologien ist im Kfz-Umfeld im letzten Jahrzehnt rasant fortgeschritten. Entsprechend sind bereits für Fahrzeuge der unteren Mittelklasse Fahrerinformationssysteme (FIS) mit zahlreichen Entertainment-, Telematik- und Navigationsfunktionen verfügbar. Nachrüstgeräte mit dem Funktionsumfang eines herkömmlichen, hochwertigen CD-Radios erweitert um Navigation, werden heute sehr preisgünstig angeboten.

Durch integrierte Schnittstellen wie USB und Bluetooth® können tragbare Geräte an das FIS angeschlossen werden, die nicht speziell für die Benutzung in Fahrzeugen konzipiert wurden („nomadic devices“). Dazu zählen unter anderen Mobiltelefone, PDA, MP3-Spieler, DVD-Spieler und Videokameras.

Neben den Multimediatechnologien erweitern vor allem Fahrerassistenzsysteme (FAS) die Funktionalität moderner Kfz-Cockpits. Umfeldsensoren auf Basis von Ultraschall, Infrarot, Radar und Video analysieren die Fahrzeugumgebung und bieten dem Fahrer passive Unterstützung bei der Fahraufgabe in Form von Entscheidungshilfen und Warnungen. Beispiele dafür sind Einparkhilfe, Parklückenvermessung, Kurvenwarnsystem, Nachtsichtgerät („night vision“) und Fahrspurasistent („lane departure warning“). Aktive Unterstützungssysteme übernehmen semiautonome Regelaufgaben, wie die adaptive Abstandsregelung („adaptive cruise control“).

Diese Techniken unterstützen den Fahrer jedoch nicht nur in seiner Fahraufgabe oder machen ihm das Fahren angenehmer, sondern stellen ihn auch vor neuen Anforderungen in Bezug auf

- Bedienung der Funktionen und
- Verarbeitung der präsentierten Informationen

parallel zur primären Fahraufgabe. So besteht die Gefahr der motorischen und kognitiven Ablenkung des Fahrers durch die Bedienung des FIS mittels einer Vielzahl, oder einzelner und dafür um so komplexerer, haptischer Bedienelemente. Weiterhin kann die Aufmerksamkeit des Fahrers überbeansprucht werden, wenn die visuellen und akustischen Meldungen der FIS / FAS zu häufig und zahlreich sind.

Mit zunehmender Anzahl von Funktionen haben daher Automobilhersteller und -zulieferer begonnen, neue ganzheitliche Anzeige- und Bedienkonzepte für den „Fahrerarbeitsplatz“ zu entwickeln. Ziel dabei ist, die

Mensch-Maschine Interaktion („HMI“) intuitiv, leicht erlernbar, konsistent, ansprechend und vor allem verträglich mit der Fahraufgabe zu gestalten und damit die Beanspruchung des Fahrers zu optimieren. Wichtige Ansätze bei Bosch und Blaupunkt sind:

1. Benutzerzentriertes HMI Design

Einbeziehung von repräsentativen Endnutzergruppen in der frühen Definitionsphase des Anzeige- und Bedienkonzepts d.h. bevor finale Entscheidungen z.B. über Art, Anzahl und Positionierung der Bedienelemente, Displaygröße, Grafiklayout getroffen werden. Diese HMI Validierung erfolgt auf Basis von Prototypen und HMI Simulationen. Damit diese im engen Terminrahmen einer Systemneuentwicklung in kurzer Zeit erstellt werden können ist ein sehr effizienter HMI Entwicklungsprozeß einschließlich unterstützender Softwaretools erforderlich.

2. Konsequenter Einsatz von Sprachtechnologie

Im Vergleich zu anderen Formen der menschlichen sensorischen Informationsaufnahme (vestibulär, visuell, taktil) ist der akustische Kanal durch die Fahraufgabe nur wenig ausgelastet und bietet freies Potential zur Informationsdarstellung und Bedienung von FAS und FIS.

3. Adaptives Management der HMI Ressourcen

Funktions- und situationsangepaßte Zuteilung physikalischer Ein- und Ausgabekanäle sowie Wahl der Art der Präsentation (z.B. Warnton, Sprachausgabe, Icon auf Display, Kombinationen davon) durch einen HMI Ressourcenmanager in Abhängigkeit von der Priorität

der Information, der aktuellen Fahrsituation (z.B. aus Fahrzeugsensoren) und ggf. des daraus abgeleiteten Fahrerzustands.

Im vorliegenden Beitrag geht es um den zweiten Ansatz. Dabei steht eine konkrete Realisierung der Sprachbedienung im Vordergrund, die insbesondere für komplexe Bedienfunktionen wie das Wählen von Telefonnummern oder die Navigationszieleingabe sinnvoll eingesetzt werden kann (Bengler et al. 2000).

Wie in den nachfolgenden Kapiteln aufgezeigt wird, stellt die Eingabe eines Navigationsziels per Sprache eine besondere Herausforderung dar, wenn sie auch auf kostengünstige, sprachbedienbare Navigationssysteme realisiert werden soll.

Bosch und Blaupunkt haben in enger Zusammenarbeit mit der Firma Scansoft softwarebasierte Lösungswege erarbeitet, die eine sprachinteraktive Zieleingabe für die nächste Generation von Einstiegsnavigationssystemen ermöglicht. Dabei kommen neben dem Spracherkenner VOCON3200® und die Sprachsynthese RealSpeak® Solo von Scansoft, die Hardware OMAP5912® von Texas-Instruments und das Betriebssystem Nucleus® von Mentor zum Einsatz.

2 SYSTEMTECHNISCHE ANALYSE

Die allgemeine Konfiguration des Sprachbediensystems läßt sich aus dem vom Kunden geforderten Funktionsumfang sowie den systemtechnischen und ergonomischen Anforderungen und Restriktionen ableiten, die in den nachfolgenden Kapiteln näher erläutert werden.

2.1 Allgemeiner Funktionsumfang

Aus Kundensicht muß das Sprachbediensystem folgenden Funktionsumfang besitzen:

- Intuitive Sprachbefehle (Kommandoworte) zur Bedienung aller Applikationen (z.B. Radio, Telefon, Navigation). Typische Befehle sind z.B.: "*nächster Sender*", "*Kartenansicht*", oder "*Nummer wählen*",
- kontinuierliche Zifferneingabe für Nummernwahl,
- bis zu ca. 100 vom Anwender frei wählbare, trainierte Kommandoworte z.B. für Telefonbucheinträge, Radiosender, gespeicherte Navigationsziele und
- Ganzworteingabe für die Zielattribute Land, Stadt, Straße und überregionale Sonderziele, z.B. Eingabe von "*Köln*" im Unterschied zur herkömmlichen Buchstabierlösung ("K – Ö – L – N ").

2.2 Ergonomische Anforderungen, Usability

Ein aus ergonomischer Sicht gut gestaltetes HMI ist ein wesentlicher Faktor für die Nutzerakzeptanz und damit auch für den Erfolg am Markt.

Zur Gestaltung eines Dialogsystems jeglicher Art und damit auch für Sprachdialogsysteme können die Grundsätze der ISO-Norm 9241-10 (1996) herangezogen werden. Angewendet auf Sprachbediensysteme sind damit im Wesentlichen folgende Kriterien zu er-

füllen (s.a. Helander et al. 1988, Barber & Noyes 2001):

- Selbstbeschreibungsfähigkeit (geeignetes visuelles und auditives Feedback nach jedem Dialogschritt, geeignetes Hilfekonzzept)
- Steuerbarkeit (der Nutzer startet und stoppt den Dialogablauf und kann die Richtung und Geschwindigkeit beeinflussen)
- Erwartungskonformität (Konsistenz in der Dialogführung, Berücksichtigung kultureller Unterschiede, geeignetes Vokabular unter Verwendung von Synonymen) und
- Fehlertoleranz (Korrekturen fehlerhafter Eingaben sind jederzeit möglich und führen nicht zu undefinierten Systemzuständen)

Neben der Dialoggestaltung spielt jedoch auch die Systemperformanz in Bezug auf die Worterkennungsrate (WER^1_{TopX}) und Systemantwortzeit (T_{Lat}) nach erfolgter Spracheingabe eine entscheidende Rolle bei der Akzeptanz eines Sprachbediensystems. Entsprechend Simpson et al. (1987) können folgende Anforderungen an sprachbedienbare Navigationssysteme abgeleitet werden:

- Command & Control: < 100 Sprachbefehle, $WER_{Top1} > 99\%$, $T_{Lat} < 1s$.

¹ WER_{TopX} beschreibt die Worterkennungsrate bezogen auf die Anzahl X der zurückgelieferten Best-Match-Ergebnisse des Spracherkenners.

- Zieleingabe²: 1000-5000 Wörter,
 $WER_{Top5} > 95\%$, $T_{Lat} < 5s$.
- Zieleingabe²: > 5000 Wörter,
 $WER_{Top5} > 90\%$, $T_{Lat} < 5s$.

2.3 Anforderung aus der Navigationsdatenbasis

Die Zieleingabe per Sprache ist in erster Linie eine Herausforderung aufgrund der Wortschatzgröße und des Vokabulars selbst. Idealerweise sollte die aktive Grammatik zur Eingabe einer Stadt in einem europäischen Land bis zu 80.000 unterschiedliche Stadtnamen (z.B. Deutschland) enthalten. Erschwerend kommt hinzu, daß die aus Spracherkennersicht optimale Gestaltung des Wortschatzes (möglichst mehrsilbige und phonetisch unterschiedliche Wörter) nicht möglich ist (Städtenamen sind z.B. Au, Aue, Aua). Viele Namen werden zudem nicht entsprechend ihrer Schreibweise ausgesprochen (z.B. Itzehoe) oder enthalten Abkürzungen (z.B. St. Anton). Straßen werden oft auch nach fremdländischen Personen/Namen benannt (z.B. Allée Saint Exupéry, John-F.-Kennedy-Straße in Berlin), die von einem unilingual trainierten Sprachmodell in der Regel nur ungenügend unterstützt werden.

Aus diesen Gründen ist mit den heutigen embedded Spracherkennertechnologien die geforderte Worterkennungsrates ($WER_{Top5} > 90\%$) nur mit einer

² Zum Vergleich: Simpson et al. [5] beschreibt die Anforderungen bzgl. WER_{Top1} ($> 95\%$) an ein per Sprache bedienbares Datenbanksystem mit bis zu 5000 Worten in ruhiger Umgebung.

Grammatik mit bis zu ca. 20.000 Namen möglich. Zudem sind die Systemantwortzeiten T_{Lat} zu berücksichtigen, wobei hier das Laden der Daten vom Navigationsdatenträger (DVD oder Festplatte), das Erstellen der Grammatiken und die Berechnung des Erkennungsergebnisses eine wesentliche Rolle spielen.

Daraus lassen sich folgende Anforderungen für das Sprachbediensystem ableiten:

- Entwicklung geeigneter Dialogkonzepte zur Reduzierung des Wortschatzes,
- Verwendung einer phonetischen Datenbasis für die Navigationsnamen,
- Schnelle Datenschnittstelle zwischen dem Navigationsdatenträger und dem Sprachbediensystem.

2.4 Hardwarebedingte Anforderungen

Die eingesetzte Hardware-Plattform der OMAP-Familie von Texas Instruments integriert einen C55x-DSP mit einem ARM9 RISC-Core auf einem einzelnen Chip. Beide Prozessoren sind mit einer Frequenz von 192 MHz getaktet. Das Gesamtsystem verfügt über 128 MB Flashspeicher. Sowohl die Speicher- als auch die Auslastung der Prozessoren muß sich das Sprachbediensystem mit anderen Anwendungen (z.B. HMI, Navigation, Radio, MP3, DAB, etc.) teilen.

Daraus ergibt sich folgende Anforderung für das Sprachbediensystem:

- Wenn möglich soll zur Entlastung des RISC-Prozessors der DSP mitgenutzt werden.

2.5 Spracherkenner- und TTS-Konfiguration

Sowohl der Spracherkenner VOCON3200[®] als auch die TTS RealSpeak[®] Solo von Scansoft sind skalierbar einsetzbar, wobei sich die Skalierbarkeit der TTS-Komponente auf den verwendeten Sprachfont (Full: ~120MB, Compact: ~5MB) beschränkt, der die Qualität der Aussprache bestimmt.

Komplexer sind die Konfigurationsvarianten des Spracherkenners. Es existieren drei unterschiedliche akustische Sprachmodelle (Ultra-Compact ~320kB, Compact ~770kB und Full ~4MB) sowie weitere sprachmodellunabhängige Softwarekomponenten, darunter Spelling Postprocessor (~25kB), G2P³-Modul (~1MB, kann auch von der TTS-Komponente genutzt werden), Dictionary Modul (~45kB) und Natural Language Understanding Modul (~700kB).

Die Auswahl des Sprachmodells hat wesentlichen Einfluß auf die Erkennrate, den Speicherbedarf und die Prozessorauslastung. So müssen für eine bessere Erkennleistung ein größerer Speicherbedarf und bei gleicher Prozessorauslastung längere Latenzzeiten (z.B. für das Laden einer Grammatik, die Berechnung des Erkennungsergebnisses) in Kauf genommen werden. Von Vorteil ist, daß die Erkennleistung nur vom verwendeten Sprachmodell abhängt und nicht von der dem

³ G2P = Grapheme-To-Phoneme. Umwandlung von Text in seine phonetische Repräsentation entsprechend des verwendeten Sprachmodells.

Spracherkenner zugewiesenen Prozessorleistung. D.h. eine Dimensionierung des System bzgl. WER_{Top5} kann ohne Probleme auf einem PC erfolgen. Liegt eine Abschätzung bzgl. des CPU-Faktors "PC vs. Target-Hardware" vor, so können dann auch die zu erwartenden Latenzzeiten ermittelt werden.

Unabhängig vom verwendeten Sprachmodell besteht die Möglichkeit, die Module für die Merkmalsextraktion (Spektralanalyse des Sprachsignals und Geräuschreduktion $\Leftarrow$ Front-End) und die Klassifikation (Mustererkennung $\Leftarrow$ Back-End) zu entkoppeln.

Aus den in Zusammenarbeit mit Scansoft durchgeführten Latenzzeit-Messungen auf einem Standard-PC und auf einem Hitachi SH4 konnte der CPU-Faktor "PC vs. OMAP5912[®]" abgeleitet werden. Daraus ergab sich aus der Speicherverfügbarkeit, der Systemauslastung des Gesamtsystems und den Usability Anforderungen die folgende Konfigurationsvariante für den Spracherkenner:

- VOCON3200[®] Compact Sprachmodell mit Spelling-Postprocessor und Dictionary-Modul
- Integration des VOCON3200[®] Back-End auf der RISC-Seite des OMAP5912[®]
- Integration des VOCON3200[®] Front-End auf der DSP-Seite des OMAP5912[®]
- TTS RealSpeak[®] Solo Compact Sprachfont mit G2P-Modul auf der RISC-Seite des OMAP5912[®]

3 KONZEPTION

Die Implementierung des Sprachbediensystem unter Berücksichtigung der systemtechnischen Analyse wird in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben.

3.1 Dialogkonzept

Das Dialogkonzept basiert auf einem muttersprachlichen Ansatz, bei dem die Sprache des Dialogs die Länder bestimmt, für die eine Zieleingabe per Ganzwort verfügbar ist.

Für die Erkennung von Städte- und Straßennamen sowie von überregionalen Sonderzielen werden phonetische Transkriptionen verwendet. Diese werden von den Navigationsdatenlieferanten in den offiziellen Sprachen eines jeweiligen Landes und u.U. in mehreren Aussprachevarianten bereit gestellt. Damit kann auch die Erkennwahrscheinlichkeit für die in Kapitel 2.3 genannten Sonderfälle (z.B. "Allée Saint Exupéry", "St. Anton") deutlich erhöht werden.

Da die Eingabe eines Landes oder einer Hausnummer für den Dialog und für die Spracherkennung kein prinzipielles Problem darstellen, wird im Folgenden ein Überblick über die Dialogschritte zur Eingabe einer Stadt oder einer Straße gegeben.

Unter der Annahme, daß die Bediensprache Deutsch ist und Deutschland als Land bereits eingegeben wurde, wird der Benutzer durch folgenden Dialog zur Stadteingabe geleitet:

System: *Bitte sagen Sie den Stadtnamen.*
 Anwender: *Stuttgart*
 System: *Ist die Stadt "Stuttgart" ?*
 Anwender: *Ja.*

Der Stadtname wird im Dialog durch die TTS synthetisiert. Alle anderen Satzteile werden mit aufgenommenen Prompts realisiert, um Konsistenz mit der Sprachausgabe der Navigation zu wahren. Zur Unterstützung wird neben dem sprachlichen Feedback auch stets ein visuelles Feedback in Form eines Hilfe-Bildschirms angeboten, das die in einer aktuellen Dialogsituation möglichen Sprachbefehle anzeigt, im Falle der Zieleingabe z.B. die Best-Match-Ergebnisse sowie den Status der Sprachbedienung (s. Bild 1).

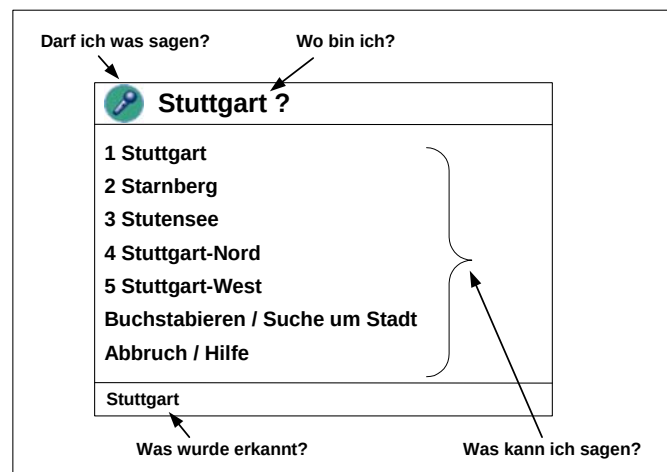


Bild 1: Schematische Darstellung des visuellen Feedbacks

In dem oben beschriebenen ersten Schritt zur Eingabe einer Stadt enthält die Initial-Städte-Grammatik für Deutschland alle Orte mit mehr als 5.000 Einwohnern. Tritt der Fall ein, daß die gewünschte Zielstadt nicht in der Initial-Städte-Grammatik enthalten ist, und das Erkennungsergebnis demzufolge vom Anwender abgelehnt wird, so wird der Dialog wie folgt geführt:

System:	<i>Bitte sagen Sie den Stadtnamen.</i>
Anwender:	<i>Münchingen</i>
System:	<i>Ist die Stadt "München"?</i>
Anwender:	<i>Nein. Suche um größere Stadt.</i>
System:	<i>Bitte größere Stadt eingeben.</i>
Anwender:	<i>Stuttgart</i>
System:	<i>Die größere Stadt ist "Stuttgart"?</i>
Anwender:	<i>Ja.</i>
System:	<i>Der gewünschte Zielort ist "Münchingen"?</i>
Anwender:	<i>Ja.</i>

Im letzten Schritt wird die intern gespeicherte Spracheingabe "Münchingen" erneut mit einer weiteren Grammatik verglichen, die alle Orte um die Großstadt Stuttgart im Umkreis von ca. 70 km enthält.

Für die Eingabe ausländischer Orts- und Straßennamen (z.B. eingestellte Bediensprache deutsch, Zielort in Frankreich) oder als Rückfalllösung ist das partielle Buchstabieren jederzeit möglich.

3.2 Integration ins Gesamtsystem

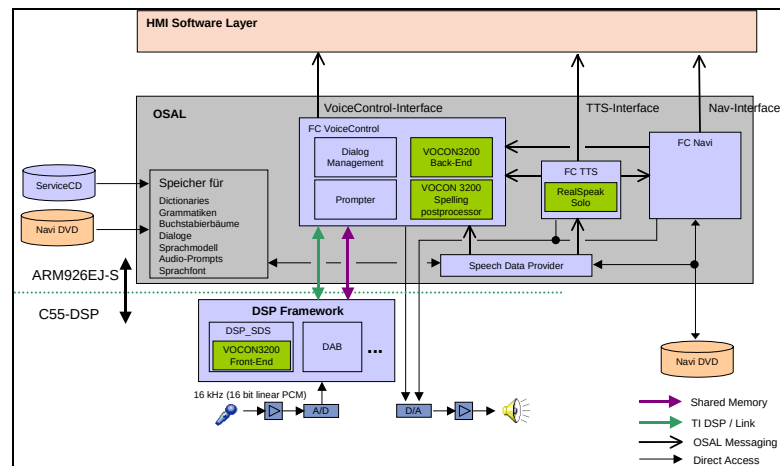


Bild 2: Integration des Sprachbediensystems

Bild 2 zeigt einen Überblick über die für das Sprachbediensystem relevanten Hardware- und Softwaremodule. Das Mikrofon ist über einen A/D-Wandler an die Headunit angeschlossen. Das Eingangssignal wird mit einer Abtastfrequenz von 16 kHz abgetastet und im DSP des OMAP5912[®] einer Vorverarbeitung durch das VOCON3200[®] Front-End unterzogen. Das Ergebnis der Vorverarbeitung (Merkmalvektoren) wird an das VOCON3200[®] Back-End über den Shared Memory Bereich weitergegeben. Alle weiteren für die Spracherkennung relevanten Softwaremodule sind auf der RISC-Seite in das von Bosch-Blaupunkt entwickelte OSAL⁴-Framework eingebettet. Hier ist auch die Navigations-Software

⁴ OSAL = Operating System Abstraction Layer. Betriebssystem-unabhängige SW-Schicht über dem eingesetzten Betriebssystem Nucleus.

gations-Software integriert. Dies bietet den Vorteil, daß die dort bereitgestellte Nachrichten-Infrastruktur für die Kommunikation der Sprachbedienung mit der Navigation, dem Navigationsdatenträger und dem Datenspeicher genutzt werden kann. Für die Steuerungskommunikation zwischen RISC und DSP und damit auch für die Kommunikation zwischen Erkennen Front-End und Erkennen Back-End wird der auf dem OMAP5912[®] zur Verfügung gestellte DSP/Link-Mechanismus von Texas-Instruments verwendet.

Die zentrale Komponente ist das von Bosch-Blaupunkt entwickelte Dialog-Management, das unter anderem die nachrichten-basierte Schnittstelle zum HMI Software Layer und die Dialog Engine selbst enthält. Die Dialog Engine führt als Zustandsmaschine den Dialog aus. Ebenfalls an das Dialog-Management gekoppelt ist das Erkennen Back-End, der Spelling-Postprocessor und der Prompter.

Der Prompter gibt die aufgenommenen Audio-Prompts mit 16 kHz wieder. Die optionale und in das OSAL-Framework eingebundene TTS-Komponente arbeitet auch mit dieser Abtastrate. Die Komponenten der Sprachein- und Sprachausgabe sind in das Audio- und Prioritätenmanagement des Gesamtsystems integriert.

Die für die ganzwortbasierte Zieleingabe benötigten phonetischen Transkriptionen sind in vorkompilierten Dictionaries und Grammatiken im Scansoft-Format eingebunden. Mit diesem Konzept werden rechenzeit-intensive Schritte, wie die Generierung von großen Straßen- oder Städtegrammatiken im Rahmen eines Off-Line-Prozesses vorweggenommen und T_{Lat} zum Laden einer Grammatik soweit reduziert, daß damit Usability-Anforderungen erfüllt werden konnten.

Die vorkompilierten Zieleingabedaten liegen für ein Land zusammen mit weiteren vorkompilierte Command & Control Grammatiken für die aktuell eingestellte Sprache im Speicher. Zusätzlich sind weitere für das Sprachbediensystem relevante Daten (Sprachmodell, Nametags, Audio-Prompts etc.) im Speicher abgelegt. Sind während einer Sprachbedienung zusätzliche Daten vom Datenträger nötig, so werden sie über den Speech Data Provider, der den Inhalt des Datenträgers und Speichers kennt, geladen.

LITERATUR

Barber, C.; J. Noyes (2001): Speech Control, In: User Interface Design for Electronic Appliances, B. Thomas, K. Baumann (eds.), Taylor & Francis (London)

Bengler, K. et al. (2000): „Eyes free - Hands Free“ oder „Zeit der Stille“ - Ein Demonstrator zur multimodalen Bedienung im Automobil, Proc. Multimodale Interaktion im Bereich der Fahrzeug- und Prozessführung, DGLR-Tagung, 24./25.10.2000

EN-ISO 9241-10 (1996): Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten

Helander, M. et al. (1988): System Design for Automated Speech Recognition, In: Handbook of Human Computer Interaction, M. Helander (ed.), Elsevier (North-Holland)

Simpson, C.A. et al. (1987): Speech Control and Displays, In: Handbook of Human Factors, G. Salvendy (ed.), John Wiley (New York)

VIRTUAL PROTOTYPING UND TESTING DER MENSCH-MASCHINE-SCHNITTSTELLE

*Manfred Dangelmaier
Fraunhofer Institut für Arbeitswissenschaft und
Organisation*

ZUSAMMENFASSUNG

Virtual Prototyping und Testing der Mensch-Maschine-Schnittstelle in Fahrzeugen im Rahmen der digitalen Produktentwicklung hilft Fehlerkosten zu vermeiden und die ergonomische Qualität zu verbessern. Die für diesen Ansatz erforderlichen Komponenten Prototyping, Fahrsimulation und Usability Engineering werden dargestellt. Anforderungen zur Integration der Komponenten und die Softwareplattform Switch-Board werden beschrieben und die Einbindung in den Entwicklungsprozess diskutiert.

1 EINFÜHRUNG

Die Erfahrungen der letzten Jahre haben gezeigt, dass nicht nur die Elektronik und Software neue Herausforderungen bei der Qualitätssicherung in der Entwicklung mit sich bringt. Auch die Schnittstelle zwischen Fahrer und Fahrzeug ist wesentlich komplexer und anfälliger für ergonomische Fehler geworden. Dies liegt an der wachsenden Anzahl an Fahrerassistenz-, Fahrerinformations- und Multifunktionsfunktionen im

Fahrzeug, die zusätzliche Interaktionen mit dem Fahrer erfordern.

Die Herausforderungen liegen in der benutzerfreundlichen Gestaltung für neue Funktionen, der Bewältigung der wachsenden Vielzahl von Interaktionsmöglichkeiten durch den Fahrer sowie der Qualitätssicherung bei der Umsetzung von Bedienkonzepten (Dangelmaier & Hess 2003).

Dabei lassen sich nicht alle Fragestellungen zu Akzeptanz, Verkehrssicherheit, Komfort und Benutzungseffektivität und -effizienz auf der Basis dokumentierten Wissens, d.h. durch Datensammlungen, Checklisten, Normen und Richtlinien sowie entsprechende Werkzeuge klären. Vielmehr besteht die Notwendigkeit, den Benutzer wiederholt im Entwicklungsprozess mit Prototypen zu konfrontieren. Dies ist der Ansatz des Usability Engineering (Nielsen 1993).

Damit verbindet sich der Trend zum virtuellen Engineering bzw. der digitalen Produktentwicklung in der Automobilindustrie. Um Fehlerfolgekosten zu vermeiden und schnell einen hohen Reifegrad zu erzielen, werden weitgehend digitale Prototypen (digitale Mock-ups) möglichst früh im Entwicklungsprozess erstellt und evaluiert (Bullinger et al. 2003). Dies wird häufig auf die Beurteilung von CAD-Entwürfen und die Berechnung im Engineering beschränkt. Derselbe Ansatz sollte jedoch auch für die ergonomische Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle (MMS) Anwendung finden (Widloirther et al. 2002).

Die Bausteine dafür, wie Fahrsimulatoren und Prototyping-Werkzeuge haben wir in der Hand. Ihre Integra-

tion in ein System für das virtuelle Prototyping und Testing der MMS und dessen Implementierung in den industriellen Entwicklungsprozessen ist bislang jedoch nur unbefriedigend gelöst.

2 VIRTUELLE PROTOTYPEN

Für das Virtual Prototyping von Mensch-Maschine-Schnittstellen existiert eine ganze Reihe von Lösungen. Grundsätzlich kann man zwischen generellen und spezialisierten Werkzeugen unterscheiden. Generell einsetzbar sind Programmiersprachen wie Java, JavaScript oder auch C++. Diese sind vor allem bei Entwicklern mit guten Programmierkenntnissen beliebt. Ihr Vorteil liegt in ihrer Universalität, der Nachteil in den erforderlichen Programmierkenntnissen. Spezialisierte Werkzeuge wie ALTIA Design, RAPID oder VAPS arbeiten in aller Regel objekt-orientiert und bieten die Möglichkeit, Benutzungsoberflächen ohne Programmierkenntnisse zu erzeugen. Allerdings sind sie auch weniger universell.

Bild 1 gibt einen Eindruck unterschiedlicher Arten von Prototypen, die sich mit objekt-orientierten Werkzeugen erzeugen lassen. Die bislang häufigste Anwendung sind virtuelle Prototypen, die am Bildschirm mit der Maus oder einem anderen Zeigegerät bedient werden. Sie erlauben eine Beurteilung von Dialogen, lassen allerdings haptische Qualitäten und die Fahraufgabe vermissen. Um mit solchen "Desktop-Methoden" wenigstens einen rudimentären Ansatz einer Fahraufgabe zu vermitteln, lassen sich Umgebungsanimationen und einfache Tracking-Aufgaben in den Prototypen implementieren. Um den Benutzern

einen realeren Eindruck von der Interaktion zu vermitteln, können über entsprechende Schnittstellen Bedienelemente an den Prototypen angebunden werden, die auch ein realistisches haptisches Feedback bieten.



Bild 1: Beispiele virtueller Prototypen

3 FAHRSIMULATION

Die Untersuchung der Mensch-Maschine-Interaktion sollte im Hinblick auf die Beanspruchungssituation und die Beurteilung der Sicherheit im systemischen Kontext erfolgen. Das heißt, es ist eine mindestens simulierte Fahraufgabe erforderlich, da diese Kriterien sich meist nur bei Wechselwirkung der einzelnen Teilaufgaben zur Fahrzeugführung mit den Nebenaufgaben untersuchen lassen. Virtuelle Prototypen erfordern damit in der Regel ein Testing mit dem Fahrer im Regelkreis (driver in the loop).

Hier bleibt wahlweise der Einbau des Prototypen in ein reales Fahrzeug oder in einen Fahrsimulator. Vorteile des Fahrsimulators sind:

- keine Zulassungsprobleme,
- beeinträchtigte Fahrerzustände sind möglich (Ermüdung, Drogen),
- Hochrisikosituationen und provozierte Unfälle sind möglich,
- gute Reproduzierbarkeit von (Verkehrs-) Situationen,
- gute Zugänglichkeit von Verkehrs-, Fahrzeug-, und Probandendaten.

Je nach Aufgabenstellung kommen für Untersuchungen von Systemkonzepten bzw. MMS bei Fahrerassistenz- und Informationssystemen verschiedene Typen von Fahrsimulatoren zum Einsatz. Bild 2 zeigt zwei Simulatoren für diesen Zweck.



Bild 2: Fahrsimulator mit realer (links) und virtueller Fahrzeugrepräsentation (rechts) am Fraunhofer IAO

Der Einsatz von Fahrsimulatoren war bislang auf Fahrschulung und Forschung beschränkt. Sie als Werkzeuge für die Entwicklung von Produkten zu verstehen

ist dagegen neu. Virtual Prototyping und Testing mit dem Fahrsimulator versteht sich als Teil des iterativen Entwicklungsprozesses.

4 USABILITY ENGINEERING

Betrachtet man ein Gesamtsystem für das Virtual Prototyping und Testing, so kommt zur Fahrsimulation und zum virtuellen Prototyping das Testing an sich hinzu. Neben methodischen Aspekten ist dazu auch Hard- und Software für Versuchsmanagement sowie die Datenerfassung und Auswertung erforderlich.

Allgemein steht im Entwicklungsprozess die Benutzbarkeit im Vordergrund. Die Methoden des vornehmlich für die Mensch-Computer-Interaktion entwickelten Usability Engineering sind dabei prinzipiell auch für den Einsatz im Kontext der Fahraufgabe anwendbar.

Praktisch bewährt hat sich insbesondere die Erhebung folgender Daten im bzw. außerhalb des Fahrkontextes:

- Anzahl der Bedienfehler bzw. Bedienschritte,
- Befragung nach Gründen von Verhalten,
- Beobachtbare Unsicherheiten beim Benutzer,
- Dauer zur Erledigung einer Interaktionsaufgabe,
- Befragungen zum Situations- bzw. Dialogverständnis,
- Mängelinterview,
- Akzeptanzbefragungen vor und nach der Benutzung,
- Stärken-Schwächen-Befragung,

- Präferenzbefragung (bei vorliegenden Alternativen),
- Äußerungen beim lauten Denken,
- Subjektive Beanspruchungsskalen,
- Reaktionszeiten auf plötzliche Ereignisse in der Verkehrsumgebung,
- Fixationszeiten (Dauer der visuellen Ablenkung vom Straßenverkehr),
- Parameter des Fahrverhaltens (Geschwindigkeit, seitliche Abweichung)

Ein wichtiges Ergebnis der Usability-Untersuchung ist dabei stets die Mängelliste, abgeleitet aus Messungen, Beobachtungen und Befragungen, die als wesentlicher Input für den jeweils nächsten optimierenden Entwicklungsschritt dient. Für eine weitgehend vollständige Mängelliste sind nur wenige Benutzer nötig. Der Anteil neu entdeckter Mängel geht nach Nielsen (Nielsen 1994) bereits mit dem sechsten Benutzer auf ca. 5 Prozent zurück, bezogen auf die Gesamtzahl der Mängel, wobei die Erfahrung zeigt, dass gravierende Mängel in der Regel bereits mit dem ersten Benutzer entdeckt werden, während sie ohne Test in diesem Entwicklungsschritt u.U. verborgen bleiben.

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass z.B. Akzeptanzbefragungen, obwohl durchaus nützlich, bei kleinen Benutzerzahlen nicht als repräsentativ angesehen werden dürfen. Will man hier mehr Sicherheit, empfiehlt es sich, die Zahl der Probanden entsprechend zu erhöhen. Wird ein Testdesign mit mehreren Interaktionsaufgaben und dazwischen liegenden Interviews gewählt, so sind Parameter des Fahrverhaltens wenig aussagekräftig, da eine realitätsnahe Fahrsituation nicht entstehen kann.

5 INTEGRIERTES SYSTEM

In aller Regel sind Prototyping, Fahrsimulation und Testing keine unabhängigen Systemelemente (Bild 3).

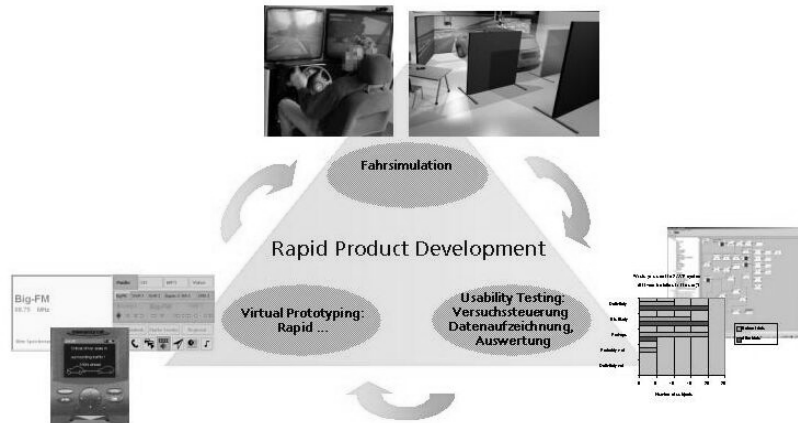


Bild 3: Hauptkomponenten eines Systems für das Virtual Prototyping & Testing

So benötigen virtuelle Prototypen von Fahrerassistenz- und Informationssystemen nicht nur Eingangsdaten vom Benutzer sondern auch Fahrzeugdaten wie Geschwindigkeit, Drehzahl oder Stellung des Gaspedals. Außerdem sind häufig Daten aus der Fahrumgebung wie der Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug, Informationen über den Straßenzustand und den Straßenverlauf erforderlich. Diese Daten aus der Fahrsimulation müssen über eine geeignete Schnittstelle mit den virtuellen Prototypen ausgetauscht werden. Bei intervenierenden Systemen wie z.B. ACC oder Intelligent Speed Control muss der Prototyp auch in das

Bild 4 zeigt die Benutzungsoberfläche von SwitchBoard, einer visuell programmierbaren Datenschnittstelle (Dangelmaier et al. 2004), die eine solche Integration leistet und dabei folgende Funktionen wahrnimmt:

- Schnittstelle zum Fahrsimulator über LAN,
- Schnittstelle zum Kompaktsimulator über LAN,
- Schnittstelle zu virtuellen Prototypen,
- Anbindung realer Bedienelemente,
- einfaches Virtual Prototyping,
- Versuchsmanagement,
- Steuerung von Verkehrsszenarien,
- Echtzeitberechnungen und
- Datenaufzeichnung.

In einfachen Fällen kann SwitchBoard sowohl das Prototyping als auch das Testing vollständig abdecken, wobei die Auswertung aufgezeichneter Daten mittels Tabellenkalkulation bzw. Statistiksoftware erfolgt. Komplexere Prototypen werden dagegen mit einer geeigneten Software erstellt und kommunizieren über SwitchBoard als Schnittstelle mit dem jeweils benutzten Fahrsimulator.

Zum Einsatz des oben beschriebenen Virtual Prototyping und Testing liegen Erfahrungen aus mehreren internationalen Forschungsprojekten vor (Tabelle 1). Hier haben sich Technik und Methodik sehr gut bewährt. So wurde in AWAKE die Mensch-Maschine-Schnittstelle in einem konsequenten nutzerorientierten Simultaneous Engineering als erstes der technischen Teilsysteme fertiggestellt. Nach Abschluss des Virtual Prototyping im Fahrsimulator waren auch nach den Straßentests keine weiteren Optimierungen der MMS mehr erforderlich (Marberger et al. 2004).

Tabelle 1: Anwendung in Projekten

Projekttitel	Anwendung	www
AIDE Adaptive Integrated Driver-vehicle InterfacE	Adaptive integrierte Mensch-Maschine-Schnittstelle für Fahrerassistenz- und informationssysteme	aide-eu.org
ADVISORS Action for advanced Driver assistance and Vehicle control Systems Implementation, Standardisation, Optimum use of Road network and Safety	Reaktion des Fahrers auf verschiedene Warnungen bei imminenter Gefahr	advisors.iao.fraunhofer.de
AWAKE System for Effective Assessment of Driver Vigilance and Warning According to Traffic Risk Estimation	Müdigkeitserkennung und Fahrerwarnung	awake-eu.org
COMUNICAR Communication Multimedia Unit inside Car	Integrierte Mensch-Maschine-Schnittstelle für ein Multimedia-System	comunicar-eu.org
EUCLIDE Enhanced human machine interface for on vehicle integrated driving support system	Vision Enhancement durch Radar- und Infrarotsensoren	euclide-eu.org

Im industriellen Einsatz ergibt sich die Notwendigkeit, die ergonomische Qualität über die ganze Dauer des Entwicklungsprozesses hinweg zu sichern. Denn die in frühen Entwicklungsphasen erzeugte ergonomische Qualität von Bedien- und Anzeigekonzepten wird

durch nachfolgende Entwicklungsschritte häufig wieder verschlechtert, was z.B. bei Multimedia-Schnittstellen zu beobachten ist. Aus diesen Gründen benötigt man nach dem Virtual Prototyping und Testing in der Fahrzeugindustrie entsprechende Methoden, Werkzeuge und die zugehörige Prozessorganisation zur ergonomischen Qualitätssicherung. Hier empfiehlt sich die Kombination des Virtual Prototyping und Testing-Ansatzes mit ergonomischen Checklisten (Dangelmaier & Hess 2003).

LITERATUR

Bullinger, H.-J.; Bauer, W.; Dangelmaier, M.; Ilg, R.: Virtuelle Prototypen senken hohe Entwicklungskosten und verkürzen Durchlaufzeiten. *Robotica & Management*, Band 8, Nr. 1, S. 6-13, 2003.

Dangelmaier, M.; Hess, H.: Ergonomische Checklisten für die Bewertung von virtuellen und realen Fahrerplätzen. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft. Sonderausgabe Ergonomie und Arbeitsgestaltung – Good Practice*, S. 213-226, Ergonomia-Verlag, Stuttgart, 2003.

Dangelmaier, M.; Marberger, C.: A platform for simulation and evaluation of driver assistance and information systems. *Driving Simulation Conference DSC*; Paris, France, September 08 – 10, 2004, S.235-244, INRETS, 2004.

Marberger, C.; Dangelmaier, M.; Bekiaris, E.; Nikolaou, S.: User Centred HMI Development for the

AWAKE Vigilance Monitoring System. FISITA, Barcelona, 22.-23. Mai 2004, CD-ROM, STA 2004.

Nielsen, J.: Usability Engineering. Academic Press, London, 1993.

Nielsen, J.: Estimating the number of subjects needed for a thinking aloud test. International Journal of Human-Computer Studies 41, Nr. 3, S. 385-397, 1994.

Widloither, H.; Dangelmaier, M.; Bekiaris, E.: Virtual Prototyping and Testing - Interactive Systems and the Driving Simulator. World Congress of Intelligent Transport Systems: Proceedings of the 9th World Congress of Intelligent Transport Systems; Lakeside Center at McCormick Place, Chicago, Illinois, October 14 -17, 2002. St Louis, Mo.: Mira Publishing Inc., CD-ROM, 2002.

MIXED REALITY: EIN ÜBERBLICK ÜBER DIE AKTUELLE ANWENDUNGEN UND TRENDS

*Patrick Dähne, Andreas Zieringer
Zentrum für Graphische Datenverarbeitung*

*Jens Weidenhausen, Wolfram Kresse, Didier Stricker
Fraunhofer Institut für Graphische Datenverarbeitung*

ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Artikel wird ein Überblick über den aktuellen Stand der Technik und Anwendungen im Bereich Mixed Reality (MR) gegeben. Neue Methoden zur Echtzeit Bildsynthese, hochqualitativen Bildausgabe und Benutzerinteraktionen werden präsentiert und anhand von Anwendungen aus dem Fahrzeugsbereich erläutert. Die vorgestellten Applikationen zeigen, dass MR ein wichtiges Werkzeug zur Unterstützung der Arbeitsprozesse im Bereich digitaler Produktentwicklung darstellt, und insbesondere für die Instanzen "Produkt-Design", "Ergonomie-Untersuchungen" sowie die "Produkt-Wartung" des Produktlebenszyklus zum Einsatz kommt.

1 MIXED REALITY

Die Bezeichnung *Mixed Reality* (MR) wurde von Paul Milgram im 1994 eingeführt, um alle möglichen Kombinationsformen von realen und künstlichen Um-

gebungen zu erfassen und einzuordnen (Milgram & Kishino 1994). MR bildet ein Kontinuum, das von der realen und virtuellen Welt begrenzt ist und entlang dessen der Anteil der künstlichen Daten variiert (siehe Bild 1). Daraus folgt, dass die reale Benutzer- und synthetische Computerwelt nicht mehr als zwei getrennte Welten betrachtet werden, sondern es existieren alle möglichen gemischten Varianten der zwei Welten, die sie miteinander verbinden.

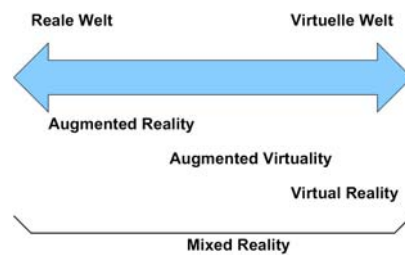


Bild 1: Mixed Reality Kontinuum (Milgram & Kishino 1994)

Die Erweiterung einer realen Umgebung mit neuen virtuellen Objekten wird als *Augmented Reality* (AR) bezeichnet. Umgekehrt wird das Einblenden von realen Szeneausschnitten in einer virtuellen Welt (Virtual Reality) als *Augmented Virtuality* (AV) definiert. In den folgenden Abschnitten werden diese Technologien näher erläutert.

2 REALISTISCHES RENDERING

2.1 Bildsynthese

2.1.1 OpenSG

OpenSG ist ein Open Source Echtzeit-Rendering-System basierend auf der Szenengraph Metapher. Es wurde in Plattform unabhängigen C++ Code geschrieben und benutzt OpenGL für die Graphikausgabe. Neben einer hohen Rendering-Performance und einer hochqualitativen Bildausgabe wurde von Grund auf die Unterstützung für Multi-Threading und Clustering integriert. Desweiteren kann das System sehr einfach erweitert werden.

Für eine qualitativ hochwertige Bildausgabe reicht die fixe Rendering Pipeline von OpenGL, in Bild 2 dargestellt, nicht mehr aus.

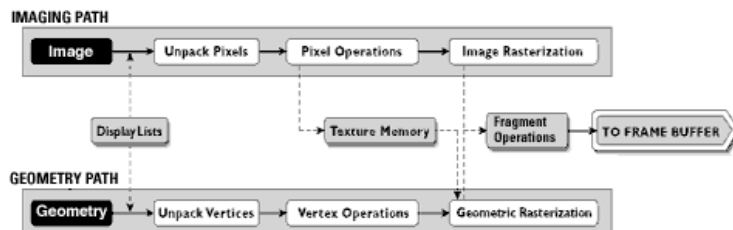


Bild 2: OpenGL Visualization Pipeline
(<http://www.opengl.org>)

Mit OpenGL Version 1.5 und einer aktuellen Graphikkarte ist es möglich Teile der Rendering Pipeline durch sogenannte Shader selbst zu programmieren. Ur-

sprünglich wurden diese Shader in speziellen Assemblercode geschrieben, aktuell gibt es aber mehrere C orientierte High-Level-Sprachen (CG, HLSL, GLSL) zur einfachen Erstellung der Shaderprogramme. OpenSG unterstützt CG und GLSL.

2.1.2 *Rendering von Lack*

Für die realistische Visualisierung von Metalliclack wurden spezielle Shader Programme in der OpenGL Shading Language (GLSL) entwickelt (metal paint) (<http://download.nvidia.com>). Die Beleuchtung findet auf Pixelebene statt (Phong) dadurch wird auch bei Modellen mit kleinen Polygonzahlen eine gute Qualität erreicht.



Bild 3 : Beetle mit einem Metalliclack

Die Reflektion der Umgebung wird mit Hilfe einer CubeMap realisiert. Dabei können Standard Bildformate wie (jpg, tiff) aber auch HDRI (High Dynamic Range Imaging) benutzt werden. Für eine realistische blickwinkelabhängige Reflektion auf dem Lack wird der Fresnel Term verwendet. Die Metallic Pigmentierung wird über eine spezielle Noise 3D-Textur simuliert. Durch Integration einer zusätzlichen Basistextur und einer geeigneten Parametrisierung

einer geeigneten Parametrisierung kann dieser Shader nicht nur für Metalliclack Oberflächen sondern auch für Unilack und Innenraummaterialien verwendet werden. Die Ergebnisse sind in Bild 3 dargestellt.

2.2 Hochqualitative Bildausgabe: HEyeWall

Insbesondere im Bereich der Virtual Reality ist eine detaillierte Visualisierung mit entsprechend hoher Qualität essentiell. Standardtechniken wie CAVE oder Powerwall kommen hierbei aufgrund der eingeschränkten Projektortechnologien nur auf geringe Auflösungen von maximal 1600 Pixeln, bzw. 2048 im High-End Bereich.

Gerade bei digitalen Projektoren ergibt sich jedoch das Problem deutlich sichtbarer Einzelpixel. Daher sollte ein entsprechendes Display eine Gesamtauflösung besitzen, die bei normalem Betrachtungsabstand das Auflösungsvermögen des menschlichen Auges erreicht oder gar übersteigt.

Dies wird ermöglicht durch die Verwendung eines *Tiled Displays*, also der Zusammenschaltung mehrerer Projektoren in einem Gitter. Jede einzelne dieser Kacheln kann aus günstigen Standardprojektoren mittlerer Auflösung konstruiert werden, die in ihrer Gesamtheit ultrahohe Auflösungen zur Verfügung stellen.

Die HEyeWall® (<http://www.heyewall.de>) ist ein Beispiel eines solchen Tiled Displays. 48 Projektoren sind in einem 6x4-Raster zusammengestellt, wobei jeweils

zwei Projektoren pro Kachel eingesetzt werden um Stereobetrieb zu ermöglichen.

Ein Tiled-Display muss sowohl bzgl. Geometrie als auch Farbe kalibriert werden. Zur Geometriekalibrierung wurde ein auf Submillimeter justierbares Gestell für die Projektoren konstruiert. Desweiteren kommt ein optisches Hard-Edge-Blendingsystem zum Einsatz, welches einen nahtlosen Übergang benachbarter Kacheln garantiert.

Die Farbkalibrierung (Kresse et al. 2003), gliedert sich in zwei Bereiche. Zunächst müssen Farb- und Helligkeitsunterschiede (sog. „Hotspots“) innerhalb der einzelnen Kacheln ausgeglichen werden. Hierzu werden über eine digitale Kamera die einzelnen Farbkanäle der Projektoren ausgemessen und daraus Ausgleichsbilder ermittelt, welche entweder per Software als Transparenztextur, oder per Hardware durch Programmierung der Projektorpanels angewendet werden.

Im zweiten Schritt müssen alle Kacheln aufeinander abgeglichen werden. Der Farbraum jedes einzelnen Projektors, sowie dessen RGB-Gammakurven werden ermittelt und daraus ein gemeinsamer, von allen Projektoren darstellbarer Farbraum berechnet. Die dabei ermittelten Farbmatrizen und Gamma-Ausgleichskurven können in Echtzeit über die Grafikhardware angewendet werden.

Das Ergebnis ist eine echtzeitfähige Großbild-Stereoprojektion mit ultrahoher Auflösung. Ein zusätzlicher Vorteil liegt in der erhöhten Lichtausbeute gegenüber dem Einsatz von nur wenigen High-End-

genüber dem Einsatz von nur wenigen High-End-Projektoren.

3 VIRTUELLE REALITÄT UND ERGONOMIE UNTERSUCHUNGEN

Ein typisches Einsatzgebiet von Virtueller Realität sind Simulatoren. Simulatoren erlauben es, kostengünstig, sicher und umweltschonend reale Situationen in einer virtuellen Umgebung nachzustellen. So können Piloten in einem VR-Simulator die korrekte Handhabung gefährlicher Störungen am Flugzeug trainieren oder Ingenieure die Auswirkungen einer technischen Änderung auf das Fahrverhalten eines Fahrzeugs überprüfen.



Bild 4: Fahrsimulator

Ein immer wichtigerer Aspekt bei der Entwicklung neuer Produkte stellt die sogenannte „Usability“ dar, d.h. die Bedienungs-Ergonomie technischer Geräte.

Gerade im Kontext KFZ ist der Anwender (also insbesondere der Fahrer) von immer komplexeren Systemen umgeben. Während vor wenigen Jahren noch höchstens ein Autoradio in der Mittelkonsole zu finden war, fordern heute eine Vielzahl von Geräten wie Navigationssystem, Telefon und MP3-Player die Aufmerksamkeit des Fahrers. Dabei ist besonders im KFZ eine einfache und intuitive Bedienbarkeit unverzichtbar, um den Fahrer möglichst wenig vom Verkehrsgeschehen abzulenken.

Dabei stellt sich das Problem, wie man die Ergonomie dieser Geräte testen kann. Offensichtlich sind Ergonomieuntersuchungen während einer realen Fahrt nicht möglich, weil es zu gefährlich und zu teuer wäre, z.B. die Usability eines Abstandswarngerätes im wirklichen Verkehrsgeschehen zu testen. Hier kommt der Einsatz von VR-Techniken ins Spiel.

So wurde vom Zentrum für Graphische Datenverarbeitung (ZGDV) im Rahmen des BMBF-Leitprojektes EMBASSI (<http://www.embassi.de/>) ein VR-Fahrsimulator speziell für Ergonomieuntersuchungen entwickelt. Der Simulator ermöglicht eine simulierte Fahrt in einer virtuellen Welt. Die Testperson sitzt dabei in einer Sitzkiste, die aus Fahrer- und Beifahrersitz, Lenkrad, Pedalen, Schaltung und Armaturenbrett mit den zu testenden technischen Installationen besteht. Die virtuelle Umgebung wird auf Leinwände projiziert, die um die Sitzkiste herum aufgestellt sind. Dabei geht es primär nicht etwa darum, das Fahrverhalten des Fahrzeugs perfekt zu simulieren, sondern vielmehr darum, eine typische Verkehrssituation auf einer Autobahn oder in der Stadt nachzubilden. Die Versuchsperson, die den Fahrsimulator benutzt, soll in etwa so bean-

sprucht werden wie bei einer realen Fahrt vom realen Verkehrsgeschehen. Dabei werden die Versuchspersonen mit verschiedenen Aufgaben konfrontiert und beobachtet, wie sie mit den Geräten an Bord zurechtkommen. Damit die technischen Geräte auch bezogen auf die dargestellte Verkehrssituation arbeiten können, simuliert der Fahrsimulator diverse Sensoren wie Tachometer, GPS, Kompass und Abstandssensoren und liefert simulierte Sensordaten an die im Testaufbau befindlichen Geräte. Darüber hinaus protokolliert der Fahrsimulator diverse Parameter wie Stellung von Lenkrad und Pedale, aktuelle Fahrspur, Abweichung von der Mitte der Fahrspur etc. Diese Daten erlauben es den an der Auswertung der Versuche beteiligten Ergonomen, Rückschlüsse auf die Belastung des Fahrers und den Grad der Ablenkung bei der Bedienung eines Geräts zu ziehen.

Stand der Technik ist es, beliebige Straßenführungen in Form von Stützpunkten zu spezifizieren. Aus diesen Stützpunkten wird automatisch die gesamte virtuelle Welt erzeugt. Gegenwärtig wird daran gearbeitet, echte Straßendaten zu verwenden, wie sie u.a. für Navigationssysteme längst vorhanden sind. In Kürze wird man mit dem Fahrsimulator auf virtuellen Straßen fahren können, deren Streckenführung auf der von real existierenden Straßen basiert. Das ermöglicht es, Navigationssysteme unter realistischen Bedingungen rein virtuell im Simulator zu testen.

Die virtuellen Verkehrsteilnehmer im Simulator verhalten sich vollkommen realistisch, d.h. sie folgen dem Straßenverlauf, bremsen vor Hindernissen ab und überholen sich gegenseitig. Dieses Verhalten ist dabei keine vorprogrammierte Sequenz von Animationen.

Vielmehr folgt jedes Fahrzeug einem Fuzzy-Logic-Regelsystem. Bei jedem Simulationsschritt wird für jedes Fahrzeug berechnet, wie weit es von der Mitte der Fahrspur abweicht, wie groß der Abstand zum Vordermann ist, ob die linke Fahrspur ausreichend Platz zum Ausscheren bietet oder ob die rechte Spur wieder frei zum Einscheren ist. Basierend auf diesen Daten berechnet das Regelsystem für jedes virtuelle Fahrzeug Lenkradstellung und Beschleunigung. Diese Vorgehensweise erlaubt die Simulation eines äußerst realistischen, intelligenten Verhaltens der virtuellen Verkehrsteilnehmer.

Der Einsatz von VR stellt auf diese Weise ein wichtiges Hilfsmittel dar, um das immer komplexere technische System „KFZ“ für den Fahrer bedienbar zu machen. Gerade in der gegenwärtigen Situation, in der alle Fahrzeughersteller technisch ähnlich perfekte Produkte anbieten, werden „weiche“ Kriterien wie Design und Ergonomie immer wichtiger für die Kaufentscheidung. VR-Simulatoren ermöglichen es den Herstellern, ihre Fahrzeuge auch in dieser Hinsicht zu optimieren.

4 AUGMENTED REALITY

Augmented Reality (AR), auf deutsch "erweiterte Realität", erlaubt das Einblenden virtueller Informationen direkt in das Blickfeld eines Benutzers. Im Unterschied zu immersiven VR-Anwendungen muss sich der Benutzer hierfür nicht in einer speziellen Umgebung befinden, sondern kann die zusätzlichen Informationen in seiner gewohnten Umgebung erhalten. Dabei sind die Informationen mit der realen Umgebung registriert, das heißt, sie behalten immer die Korrekte Position und Orientierung im Verhältnis

und Orientierung im Verhältnis zur Umgebung. Ein virtuelles Bauteil, das mit AR eingeblendet wird, nimmt also immer die korrekte Position am Fahrzeug ein, egal, aus welcher Position der Benutzer es betrachtet. Reale Umgebung und virtuelle Objekte werden somit als Einheit wahrgenommen.

4.1 Prinzipien

Das lagerichtige Einblenden der virtuellen Objekte in das Blickfeld des Benutzers verlangt vor allem, dass seine Kopfposition und Blickrichtung präzise und schnell erfasst werden. Diese Informationen werden verwendet, um die virtuelle Kamera dem realen Blick anzupassen, so dass der Blick in der virtuellen Szene stets synchron mit dem realen Pendant ist. Da Aufgaben, die mit AR unterstützt werden, typischerweise die Mobilität des Anwenders voraussetzen, werden meist kamerabasierte Verfahren zum Erfassen der Kopfposition und Blickrichtung verwendet, bei denen die Kamera, die der Benutzer am Kopf trägt, das Blickfeld des Benutzers erfasst. Aktuell werden hier noch überwiegend Verfahren eingesetzt, die mit künstlichen Marken in der Umgebung arbeiten, der Trend geht aber klar zu echtzeitfähigen Verfahren, die mit natürlichen Merkmalen arbeiten.

Um die virtuellen Informationen in das Blickfeld des Benutzers einblenden zu können ist der Einsatz so genannter Head-Mounted-Displays (HMD) notwendig. Hier befinden sich die Displays direkt vor den Augen des Benutzers. Es wird dabei unterschieden zwischen Optical-See-Through Displays, bei denen der Blick auf die Umgebung erhalten bleibt und nur die virtuellen

Bestandteile eingeblendet werden und Video-See-Through Displays, bei denen der Blick auf die Umgebung durch ein Videobild ersetzt wird.

4.2 Anwendung Wartung und Service

Eine nahe liegende Anwendung von AR besteht in der Unterstützung von Service Tätigkeiten an komplexen technischen Gütern. Der Techniker erhält dabei animierte Darstellungen in seinem Sichtfeld präsentiert, die ihm die einzelnen Schritte des Arbeitsablaufs erklären. Durch die grafische Präsentation kann somit auch weitestgehend auf Sprache verzichtet werden, wodurch solche AR basierte Service Anleitungen auch leicht internationalisierbar sind.

Um AR basierte Anleitungen gewinnbringend einsetzen zu können, besteht neben dem Tracking des Benutzers eine weitere große Aufgabe darin, Werkzeuge für die effiziente Erstellung solcher Anleitungen bereitzustellen. Ein erster Schritt ist das Konzept der template-basierten Service-Anleitung, das die Erstellung von Arbeitsschritt-beschreibungen auf einer Abstraktionsebene erlaubt, die der Erfahrungswelt des technischen Redakteurs entspricht. Aus einem Satz vordefinierter Aktionen kann dieser die für den aktuellen Schritt passende auswählen und diese mit den beteiligten Werkzeugen und Bauteilen bestücken.

Das Programm erzeugt daraus automatisch die passende Animation. Da Servicetätigkeiten zu einem sehr großen Teil aus den gleichen Aktionen zusammengesetzt sind, die nur auf unterschiedliche Bauteile an-

gewendet werden, lässt sich so ein Großteil der Arbeitsanweisungen sehr effizient erstellen.

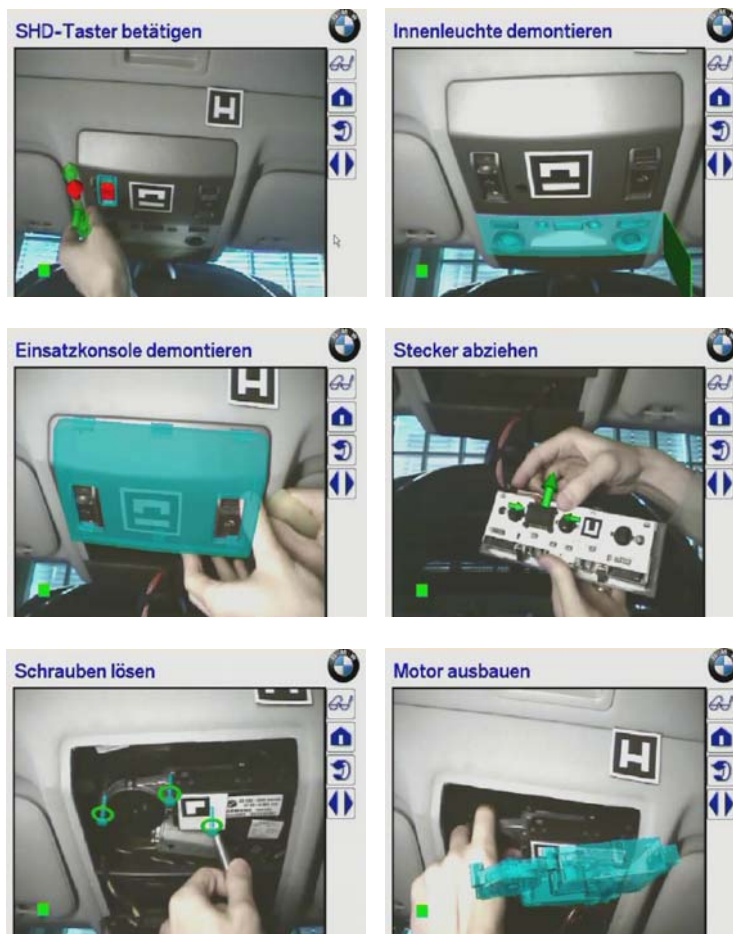


Bild 5: AR basierte Service-Anleitung

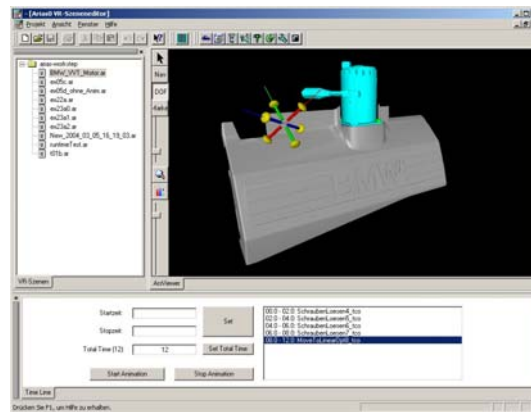


Bild 6: Autorenwerkzeug für AR Arbeitsanweisungen

LITERATUR

Milgram, P.; Kishino, F.: A taxonomy of mixed reality visual displays. IEICE Transactions on Information Systems, E77-D(12), December 1994.

<http://www.opengl.org/about/overview.html>

<http://download.nvidia.com/developer/SDK/IndividualSamples/samples.html>

Goral, C.M.; Torrance, K.E.; Greenberg, D.P.; Battaile, B.: "Modeling the Interaction of Light Between Diffuse Surfaces". SIGGRAPH '84 Proceedings, 1984.

Debevec P.: Rendering synthetic objects into real scenes: Bridging traditional and image-based graphics with global illumination and high dynamic range photography. Proceedings of SIGGRAPH '98, 1998.

<http://www.heyewall.de>, 2004

Kresse W.; Reiners D.; Knöpfle C.: Color Consistency for Digital Multi-Projector Stereo Display Systems: The HEyeWall and The Digital CAVE". Proceedings of 7th International Immersive Projection Technologies Workshop, 2003.