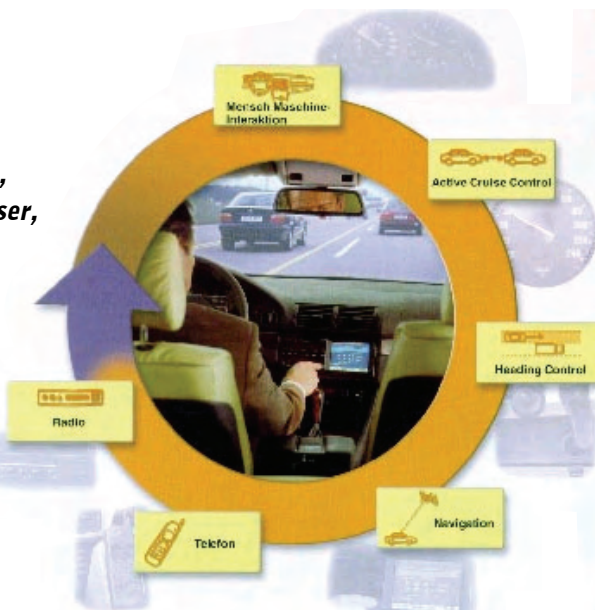




## EDITORIAL

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

das Heft "Ergonomie aktuell" ist in diesem Jahr dem Thema „Assistenzsysteme“ gewidmet. Besonders im Kraftfahrzeug spielen diese elektronischen Helfer heute eine zunehmende Rolle. Assistenzsysteme sollen einen Beitrag für die Sicherheit des Autofahrens liefern. Zugleich dienen sie aber einer komfortableren Nutzung des Fahrzeugs. Speziell der Bedienkomfort ist durch leichte Verständlichkeit, Selbsterklärbarkeit, Fehlerrobustheit u.ä. charakterisiert. Durch ihn wird ein nicht unwesentlicher Beitrag zur sicheren und zweckdienlichen Interaktion zwischen Fahrer und Fahrzeug geleistet, somit also auch ein Beitrag für die zuverlässige Funktion des Systems und damit für die Sicherheit. Von herausragender Bedeutung insbesondere im Hinblick auf das subjektive und das öffentliche Vertrauen in neue Assistenzsysteme ist deshalb das subjektive Erleben von Assistenzsystemen. Werden sie eher als ein Komfortgewinn, wie es der Hersteller primär aus produkthaftungstechnischen Gründen gerne möchte, oder als eine Entlastung im Hinblick auf das eigene notwendige sichernde Verhalten erlebt? Besteht dann gerade in der zuletzt genannten Tendenz eine neue Gefahr? Oder ist es vielleicht sogar



IAD, Projekt S.A.N.T.O.S.

so, dass der technische Eingriff in das Fahrgeschehen vom Fahrer als bevormundend und damit störend empfunden wird?

Gibt es ergonomische Lösungen, die einerseits den Gewinn an Sicherheit garantieren und die aber andererseits den Spaß am Auto fahren nicht verderben? Mit diesen Fragen beschäftigt sich der Lehrstuhl gemeinsam mit seinen Partnern in der Kraftfahrzeugindustrie nun schon seit geraumer Zeit. Das vorliegende Heft soll einen Einblick in unsere Forschungsaktivitäten auf diesem Gebiet geben.

Ich wünsche Ihnen für die Lektüre dieses Heftes Neugier und Interesse und viel Spaß und Vergnügen beim Lesen.

Ihr

Prof. Dr. Heiner Bubb  
Ordinarius

## Schwerpunktthema: Assistenzsysteme

### Fahrerassistenzsysteme

Ein Gewinn an Sicherheit und Komfort oder elektronischer Schnickschnack?

2

Heinzpeter Rühmann und Heiner Bubb

**Assistenz zur Optimierung der Fahrerposition** Haltungskomfort und Sitzkomfort im Vordergrund der Betrachtung  
14

Jürgen Hartung

### Fahrerassistenzsysteme

Ein Überblick über den jetzigen und zukünftigen zu erwartenden Stand

15

Hagen Wolf

**Virtual Reality als Hilfsmittel zur Beantwortung ergonomischer Fragestellungen**  
21

Florian Engstler

### Designassistenz-Tools

SEA-Tool, SIMULI, EKIDES und die erste Ergonomische Online Enzyklopädie

23

Iwona Jastrzebska-Fraczek

### Haptik von Bedienelementen

29

Jörg Reisinger

**Effektive Assistenz durch hohe Nutzungsfrequenz, oder warum nicht nur das Geben selig ist**

Vom Umgang mit Informationen für ein effektives Wissensmanagement-System

34

Rolf Zöllner und Herbert Rausch

### Veröffentlichungen 2005/2006

36

Rolf Zöllner

**Exkursion des Lehrstuhls zum GKW Neckarwestheim**

38

Jörg Reisinger

### Personalia aus dem Lehrstuhl

39

Werner Zopf

### Impressum

42

**Lehrerfortbildung an der Fakultät Maschinenwesen der TUM**

44

Herbert Rausch

# Fahrerassistenzsysteme

Ein Gewinn an Sicherheit und Komfort oder elektronischer Schnickschnack?

Heinzpeter Rühmann und Heiner Bubb

## 1 Einführung

"High-Tech" im Automobil und vor allem die ständige Zunahme elektronischer Komponenten im Kraftfahrzeug finden nicht immer die uneingeschränkte Zustimmung der Kunden. Für diese Aversion gegenüber modernen Technologien im Fahrzeug lassen sich im Wesentlichen zwei Gründe anführen: Zum einen beruht sie auf der Erfahrung, dass die Elektronik manchmal versagt, und zum anderen auf mangelndem Verständnis der Funktion oder Bedienung, was den Fahrer verunsichert und er sich in manchen Situationen der Elektronik hilflos ausgeliefert fühlt (man denke beispielsweise an die Programmierung des Navigationssystems). In derartigen Situationen denkt er dann zurück an die "gute alte Zeit", in der alles am Auto mechanisch funktionierte, die technische Lösung leicht zu durchschauen und ein Defekt am Fahrzeug mit ein wenig technischem Verständnis häufig selbst zu beheben war. Dabei wird aber übersehen, dass Autopannen früher viel häufiger auftraten als heute. Auf der anderen Seite nehmen in der aktuellen Pannenstatistik einfacher ausgestattete Fahrzeuge einen besseren Rangplatz ein als die mit viel Elektronik ausgerüsteten "Premiumprodukte".

Ein weiterer Grund für die Skepsis gegenüber modernen Technologien im Kraftfahrzeug könnte der elektronische "Schnickschnack" sein, der hauptsächlich in den 70er Jahren eingeführt wurde: Eine Stimme, die bei zu niedrigem Öldruck und bei nicht geschlossenen Türen warnt oder zum Anlegen des Sicherheitsgurtes ermahnt. Hinzu kamen akustische Warnungen mit Tönen und Klängen beim Einparken oder bei Unterschreiten einer Außentemperatur von 3°C, unabhängig davon, ob die Straße nass oder trocken ist. Da diese Warnanzeigen nicht immer nach ergonomischen Erfordernissen ausgelegt sind, ist die Akzeptanz seitens der Nutzer gering. Kann daraus die Schlussfolgerung gezogen werden, dass Elektronik im Auto der falsche Weg ist?

Ein kurzer Abriss über die technische Entwicklung des Automobils wird verdeutlichen, dass die Anwendung von Elektronik im Kraftfahrzeug die konsequente Folge einer zunehmend aufwändigeren Technik ist, und dass es prinzipiell keinen Unterschied macht, ob eine gewünschte Funktion durch die Kopplung mehrerer mechanischer Elemente realisiert wird oder durch das Zusammenspiel von Elektrik bzw. Elektronik und Mechanik ("Mechatronik").

## 2 Technische Entwicklung

Nach den Pionierjahren des mit einem Verbrennungsmotor angetriebenen Automobils (Ausgang des 19. Jahrhunderts) setzt sich in den 20er Jahren des vorigen Jahrhunderts der Ottomotor gegenüber anderen Antriebsarten (Dampf- und Elektromotor) durch und einige Motorfunktionen werden automatisiert<sup>1</sup>. Bekannt ist beispielsweise die automatische mechanische Zündzeitpunktverstellung mittels Fliehkraftgewichten oder Unterdruck, die zuvor manuell mit einem am Lenkrad montierten Hebel gefühlvoll und nach Gehör während der Fahrt eingestellt werden musste. Das lästige Ziehen des "Choke" beim Kaltstart des Motors wurde durch die Einführung einer Bimetallfeder überflüssig, die entsprechend dem Temperaturniveau des Kühlmediums (Luft oder Wasser) die Starterklappe im Vergaser mehr oder weniger schloss. Viele weitere mechanische und elektro-mechanische Lösungen (z.B. die automatische Rückstellung der Fahrtrichtungsanzeige oder des Scheibenwischers) ermöglichen es dem Fahrer, seine Aufmerksamkeit weniger der Bedienung des Fahrzeugs, sondern mehr dem Verkehrsgeschehen zu widmen.

Die zunehmende Verkehrsdichte war und ist die treibende Kraft für weitere technische Innovationen im Automobil, die das Führen des Kraftfahrzeugs erleichtern, die aktive und passive Sicherheit erhöhen und das Fahren komfortabler machen sollten. Schon 1930 wird das Automatikgetriebe erfunden, das 1940 am Markt (zunächst in den USA) eingeführt wird, 1948 werden die ersten Fahrzeuge mit Gürtelreifen ausgestattet und bereits 1957 können Fahrzeuge "auf Wunsch" mit Sicherheits-Beckengurten ausgerüstet werden. Eine Geschwindigkeitsregelanlage (Tempomat) wurde in Automobilen erstmals 1958 als "Cruise Control" bei Chrysler eingesetzt, in Europa erstmals 1962 bei Mercedes-Benz.

Der wirtschaftliche Aufschwung nach dem 2. Weltkrieg sowie der Anspruch der Kunden nach größeren und bequemeren Reiselimousinen führten zu einer Zunahme der Fahrzeuggewichte, die eine Unterstützung von Bedienfunktionen (Bremsen und Lenken) erforderlich machten. Der Bremskraftverstärker nutzt den Unterdruck im Ansaugrohr, wobei der atmosphärische Druck auf einer großflächigen Membran den Pedaldruck verstärkt, bei der Servolenkung, die bereits 1952 in Serie produziert wurde, sorgt eine vom Motor angetriebene Hydraulikpumpe zur Verringerung der Lenkmomente, speziell bei niedrigen Fahrgeschwindigkeiten und beim Einparken. Diese Servosysteme erhöhten nicht nur den Fahrkomfort, sondern auch die

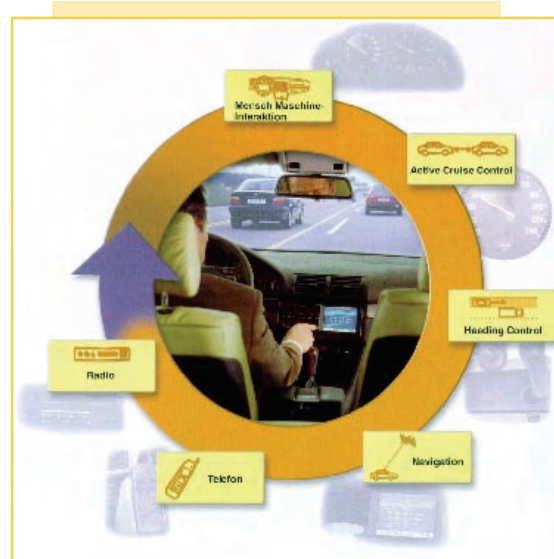


Illustration zum IAD-Projekt S.A.N.T.O.S.  
<http://www.arbeitswissenschaft.de/forschung/forschung.htm>

<sup>1</sup> Erwähnenswert in diesem Zusammenhang ist die Ventilsteuerung der frühesten Dampfmaschinen, die "von Hand" erfolgte. Erst die bahnbrechende Erfindung der Schiebersteuerung von James Watt (der oft fälschlicherweise als Erfinder der Dampfmaschine bezeichnet wird), mit der auch die wechselseitige Beaufschlagung des Kolbens mit Dampf möglich wurde, verhalf der Dampfmaschine zu ihrem Durchbruch.

aktive Sicherheit durch verkürzte Reaktionszeiten. Mit diesen Entwicklungen war aber auch das mit mechanisch-hydraulischen Unterstützungssystemen Machbare abgeschlossen.

Die weiteren Neuerungen im Automobilbereich kommen ohne elektronische Zusatzeinrichtungen nicht aus. 1978 wurde das Antiblockiersystem (ABS) von Bosch auf den Markt gebracht; gleichzeitig wurde der Begriff "ABS" von Bosch rechtlich geschützt<sup>2</sup>. Zunächst war das ABS für die S-Klasse von Mercedes-Benz, dann für den BMW 7er verfügbar. Seit 1984 gehört ABS bei Mercedes-Benz Pkws zur Serienausstattung. Ende 2003 waren etwa 90 Prozent der zugelassenen Neufahrzeuge in Deutschland mit ABS ausgestattet.

Das ABS baut auf der physikalischen Erkenntnis auf, dass die maximale Bremsverzögerung kurz vor dem Blockieren der Räder erreicht wird, wenn also die Reifen gerade eben noch auf der Fahrbahn haften. Wenn die Haftreibungsgrenze durch eine zu hohe Bremskraft überschritten wird, gleiten die blockierten Räder auf der Fahrbahn (100 Prozent Schlupf), wobei die Gleitreibung typischerweise um 15 bis 20 Prozent unter der Haftreibung liegt. Beim Blockieren der Räder ist das Fahrzeug kaum noch steuerbar, und normale Fahrer reagieren in dieser Situation selten richtig (richtig wäre, die Bremskraft unverzüglich zu reduzieren, bis die Räder wieder mitdrehen). Die maximale Bremsleistung wird bei 50 Prozent Schlupf erzielt. Aufgrund der Trägheit im Bremssystem pendelt sich bei der ABS-Regelung, die als Pulsieren des Bremspedals spürbar ist, ein Wechsel zwischen 20 und 35 Prozent Schlupf ein. Das Fahrzeug bleibt beim Bremsen am besten steuerbar, wenn das ABS die Bremskraft an jedem Rad so reguliert, dass der Schlupf während des Bremsvorganges jederzeit möglichst innerhalb dieser Regelgrenzen liegt. Beim heute üblichen 4-Kanal-ABS befindet sich an jedem der vier Räder ein induktiver Sensor, der die Drehzahl des Rades misst. Die Sensorsignale werden an ein elektronisches Steuergerät weitergeleitet, das pro Rad zwei schnell wirkende Elektromagnetventile schließt bzw. öffnet, wenn ein zu starker Drehzahlabfall gegenüber den anderen Rädern registriert wird. Auf diese Weise wird der optimale hydraulische Druck je Radbremszylinder geregelt. Nur durch schnelle elektronische Schaltkreise werden beim Pkw ca. 10 Regelvorgänge pro Sekunde<sup>3</sup> und im Allgemeinen keine längeren Bremswege erzielt als bei einer Vollbremsung durch einen geübten Fahrer ohne ABS.

Ein weiterer folgerichtiger Schritt war die Einführung der Antriebsschlupfregelung (ASR oder ASC bei BMW), die beim Beschleunigen des Fahrzeugs ein Durchdrehen der angetriebenen Räder verhindert. Zu hoher Schlupf beim Durchdrehen der Antriebsräder bedeutet Verlust an Antriebsmoment und Seitenführungskraft, was zum Wegrutschen des Fahrzeugs führen kann. Die einfachste technische Realisierung des ASR erfolgt durch Bremseneingriff, wobei das ABS das durchdrehende Rad abbremst und das andere Rad an Antriebsmoment gewinnt.

Aufwändigere ASR-Systeme greifen, meist in Verbindung mit einem Elektronischen Stabilitätsprogramm (ESP) in das Motormanagement ein. Dies ist nur möglich, wenn keine mechanische Verbindung mehr vom Gaspedal zur Drosselklappe (Ottomotor) bzw. Einspritzpumpe (Dieselmotor) besteht. Die Aufgabe der Leistungsreduzierung übernimmt dann ein "elektronisches Gaspedal", das den Fahrerwunsch durch einen Sensor in ein elektrisches Signal umwandelt. Aus diesem digitalisierten Fahrerwunsch und anderen Variablen verstellt die Motorsteuerung über Elektromotore die Drosselklappe und die Einspritzanlage, wobei ASR-Befehle vorrangig vor dem Fahrerwunsch behandelt werden, was zu einer Verringerung überschüssigen Antriebsmoments führt.

ASR ist die Basis für die nachfolgenden ESP-Systeme, welche über eine zusätzliche Sensorik und einen bremsenden Eingriff an den nicht angetriebenen Rädern zur Fahrstabilisierung beitragen. Vorreiter bei der Entwicklung des Systems waren die Firmen Bosch und Mercedes-Benz (ESP ist ein Warenzeichen für die Robert Bosch GmbH, deshalb andere Bezeichnungen wie z.B. DSC bei BMW, PSM bei Porsche). Es wurde 1995 eingeführt. Bei der Mercedes-Benz A-Klasse führte der misslungene "Elchtest"<sup>4</sup> zur serienmäßigen Einführung des ESP ab 1997, um das Fahrzeugverhalten zu verbessern.

Das ESP-System soll durch gezieltes Bremsen einzelner Räder ein Schleudern des Fahrzeugs im Grenzbereich verhindern und dem Fahrer so die Kontrolle über das Fahrzeug in kritischen Situationen ermöglichen. Neben einer zusätzlichen Sensorik ist für das ESP die Trennung aller Radbremskreise erforderlich, damit jedes Rad einzeln abgebremst werden kann.

Das System vergleicht permanent (bis zu 150 Mal pro Sekunde) den Fahrerwunsch mit dem Fahrzustand. Der Lenkwinkelsensor liefert in Verbindung mit der Gaspedalstellung und dem Bremsdruck den Fahrerwunsch hinsichtlich der Fahrtrichtung. Der Dynamikrechner berechnet aus diesen Größen den vom Fahrzeug zu durchfahrenden Soll-Bogen (Abb.1). Das Motormanagement, die ABS-Drehzahlsensoren, der Gierrate- und Querschleunigungssensor liefern die Signale zur Interpretation des Fahrzeugverhaltens (Ist-Bogen). Wenn eine

<sup>2</sup> Bereits 1936 gab es von Bosch ein Patent auf eine "Vorrichtung zum Verhüten des Festbremsens der Räder eines Kraftfahrzeuges". Die Geräte bestanden aus etwa 1.000 analogen Bauteilen und waren noch sehr unhandlich und langsam. Durch die Digitaltechnik konnte die Menge der Bauteile auf etwa 140 Stück reduziert werden. Damit war ABS serienreif.

<sup>3</sup> Ein System mit höherer Regelfrequenz könnte die Wirkung erheblich verbessern. Derzeit arbeiten verschiedene Hersteller an der Entwicklung einer vollelektrischen Bremse, bei der die Pedalkraft als elektrisches Signal an das Steuergerät übertragen wird, das nach Auswertung aller Sensorsignale die Bremskraft dosiert.

<sup>4</sup> Bei diesem Fahrdynamiktest wird mit hoher Geschwindigkeit ungebremst ein Spurwechsel nach links und nach einer kurzen Geradeausstrecke ein Spurwechsel nach rechts gefahren. Das Fahrzeug sollte dabei weder ausbrechen noch seitlich umkippen. Durch diesen Test soll das Ausweichen vor einem plötzlich auf die Straße tretenden Elch simuliert werden, ein in Skandinavien durchaus realistisches Szenario. Der Elchtest ist inzwischen ein genormtes Fahrmanöver und Bestandteil der Erprobung der Fahreigenschaften neuer Fahrzeuge. Die Beschreibung des Tests erfolgte durch den VDA unter der Bezeichnung "VDA-Spurwechseltest" und wurde dann in die internationale Norm ISO 3888-2 übernommen.

wesentliche Abweichung des berechneten Fahrzustandes vom Fahrerwunsch festgestellt wird, greift das System ein. Ein Übersteuern wird durch Abbremsen des kurvenäußeren Vorderrades, ein Untersteuern hingegen durch Abbremsung des kurveninneren Hinterrades korrigiert. Einseitige Bremsengriffe an der Vorderachse können am Lenkrad spürbar werden, was zu einer Komfortminderung führt. Deshalb lassen manche Hersteller die Vorderachse erst eingreifen, wenn die Korrektur an der Hinterachse sich als nicht wirksam genug erweist. Zusätzlich greift ESP in das Motormanagement ein und drosselt die Motorleistung, um die Fahrzeuggeschwindigkeit zu verringern.

Das ESP kann mit weiteren Zusatzfunktionen ausgestattet sein: Der Bremsassistent (BAS) erkennt an einem besonders schnell ansteigenden Bremsdruck, dass der Fahrer eine Vollbremsung machen möchte und löst diese aus. Nimmt der Fahrer die Pedalkraft wieder zurück, schaltet er ab. Beim Anfahrassistent hält die Bremse ab einem bestimmten Neigungswinkel des Fahrzeugs trotz "Fuß vom Bremspedal" das Fahrzeug noch kurze Zeit fest, um ein Anfahren ohne Zurückrollen zu ermöglichen.

Als Ergänzung zum ESP stellte BMW kürzlich ein innovatives Lenksystem vor - die Aktivlenkung. Sie arbeitet als Überlagerungslenkung mit einem in die geteilte Lenksäule integrierten Planetengetriebe. In dieses Planetengetriebe greift ein Elektromotor über ein selbst hemmendes Schraubradgetriebe ein und erzeugt entsprechend der Fahrsituation einen zusätzlichen oder reduzierten Lenkwinkel der Vorderräder. Als weitere Komponente übernimmt eine regelbare Servolenkung die Kontrolle des Lenkradmoments. Mit diesen beiden Komponenten können der Lenkeinschlag der Vorderräder und das Lenkradmoment der jeweiligen Fahrsituation angepasst werden. In kritischen Situationen, z.B. bei abrupten Ausweichmanövern, kann das System den vom Fahrer vorgegebenen Lenkeinschlag der Räder gezielt verändern und das Fahrzeug z.B. durch Gegenlenken schneller als der Fahrer stabilisieren, was zu weniger merklichen Eingriffen des ESP führt.

Eine funktionale Weiterentwicklung der Geschwindigkeitsregelanlage (Tempomat) stellt das ACC-System dar (Adaptive Cruise Control bedeutet wörtlich übersetzt "Adaptive Geschwindigkeitsregelung"). Bei diesen Systemen, die seit dem Jahre 2000 auf dem europäischen und nordamerikanischen Markt zum Einsatz kommen, wird die Position und die Geschwindigkeit des vorausfahrenden Fahrzeugs mit einem Radar- oder einem Lidar-basierten<sup>5</sup> Sensor erfasst und die Geschwindigkeit sowie der Abstand des mit diesem System ausgerüsteten, nachfolgenden Fahrzeugs entsprechend adaptiv mit Motor- und Bremsengriff geregelt. Die am Markt befindlichen Systeme arbeiten mit drei bis vier Radarkeulen, die bei einem Fahrwinkel von 4° bis 8° etwa 150 m voraus messen. Da mit dem ACC-System der vom Fahrer vorgegebene Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug konstant gehalten wird, und beim Beschleunigen des vorausfahrenden Fahrzeugs das eigene Fahrzeug ebenfalls auf die dem Fahrerwunsch entsprechende Geschwindigkeit beschleunigt, ist der erste Schritt zum "automatischen Fahren" getan. Die adaptive Geschwindigkeitsregelung trägt zu einer deutlichen Entlastung und zum Komfortgewinn des Fahrers bei, vor allem auf langen Autofahrten, da ihm das ständige Kontrollieren der Geschwindigkeit (Geschwindigkeitsbegrenzungen!), Gasgeben und Bremsen vom System abgenommen wird.

Durch zusätzliche Radarsensoren für den Nahbereich ist es mit den weiterentwickelten ACC-Systemen möglich (ACCplus bei Audi, DISTRONIC Plus bei Mercedes-Benz), das Fahrzeug bis zum Stillstand abzubremsen, um es dann wieder auf die vom Fahrer vorgegebene Geschwindigkeit zu beschleunigen. Dieser "Stauassistent" führt damit zu einer weiteren Entlastung des Fahrers im Stop-and-Go Verkehr.

Zeitlich parallel laufende Entwicklungen unterstützen die Querregelung (Lenkfunktion) des Fahrzeugs. Der Spurhalteassistent warnt den Fahrer vor dem Verlassen der Fahrspur auf der Straße<sup>6</sup>. Hierbei sind unterschiedliche optische Systeme im Einsatz, die der zugehörigen Elektronik mit Software die Position des Fahrzeugs in der Fahrspur mitteilen. Die Fahrspurerkennung wird häufig durch ein Kamerasystem (z.B. Lane Guard System von MAN) oder durch Infrarot-Sensorik am Unterboden des Fahrzeugs realisiert (z.B. AFIL im Citroën C4, C5 und C6, Systemhersteller Valeo). Droht das Fahrzeug langsam aus der Spur abzudriften,

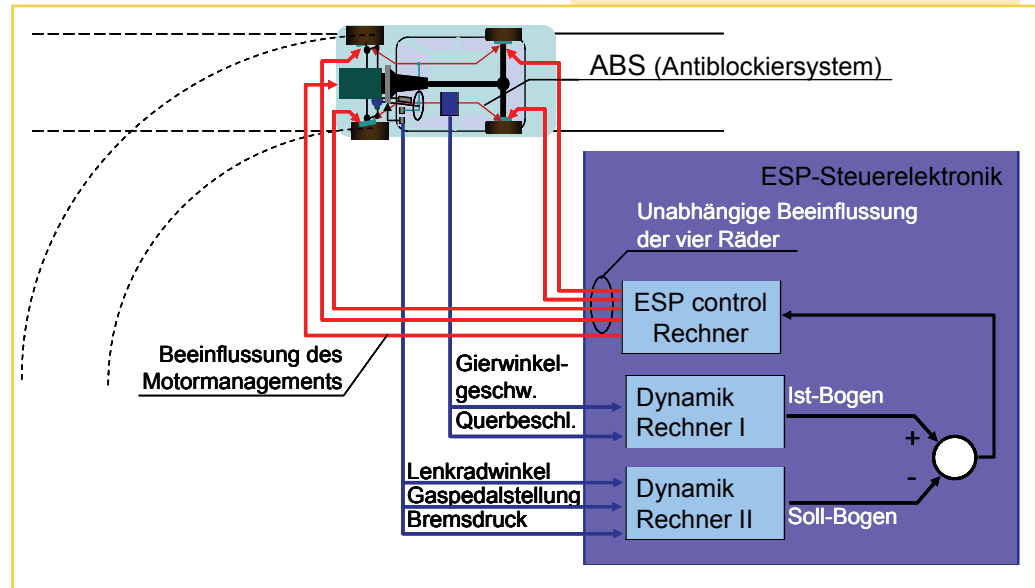


Abb. 1: Funktionsprinzip des Elektronischen Stabilitätsprogramms (ESP)

<sup>5</sup> Lidar steht für "Light detection and ranging" und arbeitet mit Laserpulsen, wobei das von Objekten zurück gestreute Licht detektiert wird. Aus der Laufzeit der Signale und der Lichtgeschwindigkeit wird die Entfernung zum Ort der Lichtstreuung berechnet. Lidar-Systeme haben momentan noch zu hohe Störungen bei Sicht einschränkenden Wetterlagen. Ihr Vorteil ist jedoch der preisliche Unterschied zu den Radar-Systemen, da diese nur ca. 1/3 der Radar-Systeme kosten.

<sup>6</sup> Sehr wahrscheinlich ist diese Entwicklung die logische Konsequenz für die häufig zu beobachtende und z.T. auch länger andauernde Nebenbeschäftigung des Fahrers mit seiner "Bordelektronik" (Navigationssystem, Telefon, Bordcomputer, Entertainment). In diesen Ablenkungsphasen droht der Fahrer mit seinem Fahrzeug von der Straße abzudriften.



Abb. 2: Infrarot-Bild des Night-Vision Gerätes

warnt das System (z.B. durch "Nagelbandrattern" in den Lautsprechern (MAN) oder durch eine Sitzvibration auf der Seite, zu der das Fahrzeug abdriftet (Citroën)). Die Spurhalteunterstützung unterstützt den Fahrer durch automatisiertes permanentes Mittlenken bei der Spurhaltung. Das von BMW im Rahmen des Europäischen PROMETHEUS-Projektes entwickelte Heading Control (HC) System, das aktuell kurz vor der Markteinführung steht, erfasst den Straßenverlauf mit einem Kamerasystem und berechnet aus Bildverarbeitungsdaten den idealen Lenkradwinkel. Weicht die aktuelle Lenkradstellung von diesem Winkel ab, wird dies dem Fahrer durch ein korrigierendes Lenkmoment angezeigt. Der Fahrer gewinnt den Eindruck, er würde in einer "tonnen-förmigen" Straße fahren. Unfälle beim Spurwechsel sind häufig auf unzureichende Beobachtung des Bereichs hinter oder neben dem Fahrzeug ("toter" Winkel) zurückzuführen. Der Spurwechselassistent warnt den Fahrer vor drohenden Kollisionen beim Spurwechsel. Das System wird beim Betätigen des Blinkers aktiviert (im Gegensatz zum Spurhalteassistenten, der dabei deaktiviert wird), wobei die Erfassung von Fahrzeugen auf der Nachbarspur mit Radarsensoren, Kameras oder Laserscannern erfolgt. Es ist kein automatischer Eingriff vorgesehen, um eine Kollision mit anderen Fahrzeugen zu verhindern, die Verantwortung für sicheres Fahren verbleibt vollständig beim Fahrer. Warnungen werden optisch durch Leuchtanzeigen, meist im Bereich der Außenspiegel, akustisch oder haptisch durch Vibration des Lenkrads oder des Blinkerhebels ausgegeben. Eine Weiterentwicklung stellt die Spurwechselunterstützung dar, von der ein Spurwechsel auf Wunsch des Fahrers automatisch durchgeführt wird. In Zukunft wird die Sensorik rund ums Fahrzeug weiter zunehmen, auch um dem Fahrer Gefahrensituationen anzuzeigen, die er mit seinen natürlichen Sinnen gar nicht erkennen kann (schon immer gefürchtet von Autofahrern ist der dunkel gekleidete Fußgänger auf der nächtlichen Landstraße). Aktuell in der Entwicklung sind die "Night Vision" Geräte, die mit Infrarotkameras bei Dunkelheit Fußgänger, Wild oder andere Hindernisse in einer Entfernung bis zu 300 m vor dem Fahrzeug erfassen, lange bevor sie im Scheinwerferlicht für den Fahrer sichtbar werden (Abb. 2). Auf die Darstellung des Infrarotbildes im Bordmonitor kann der Fahrer rechtzeitig reagieren, sofern er in einer gefährdenden Situation den Monitor im Blick hat.

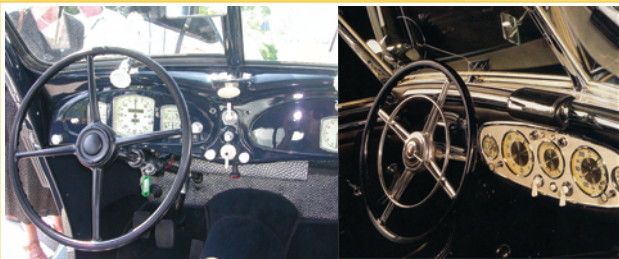


Abb. 3: Armaturenbrett des BMW 327 (1939, links) und Mercedes 500K (1936, rechts)

Mit der technischen Entwicklung des Automobils und der technischen Komponenten, die den eigentlichen Fahrvorgang unterstützen, veränderte sich auch die Mensch-Maschine-Schnittstelle zur Informationsaufnahme und Informationsübertragung. Nur aus technischen Gründen waren an den ersten Fahrzeugen direkt am Kühler Thermometer angebracht sowie einige Füllstandsanzeigen für die unterschiedlichen Ölkreisläufe. Schon bald verlangte der Gesetzgeber eine Geschwindigkeitsanzeige, die als Zusatzinstrument irgendwo im Gesichtsfeld des Fahrers montiert wurde. Die ursprünglich von Hand bewegten Scheibenwischer wurden bald von einem Elektromotor angetrieben und Fahrtrichtungsanzeiger ("Winker") kamen hinzu. Ende der 20er und Anfang der 30er Jahre wurden verschiedene Anzeigen, Schalter und Hebel in einem "Armaturenbrett" zusammengefasst (Abb. 3), Autoradios hingegen gehörten noch nicht zur Ausstattung von Fahrzeugen (noch in den 50er Jahren wurde ernsthaft darüber diskutiert, ob Radiohören während der Fahrt eine zu starke Ablenkung für den Fahrer darstellt). Der zunehmende Anspruch der Kunden an Unterhaltung und Information machte den Radioeinbau dann aber unumgänglich. Die Entwicklungsstufen vom einfachen Röhrengerät zum High-End "Entertainment System" (Radio, Cassette und CD-Wechsler, z.T. auch TV und Video) zeigt Abb. 4.



Blaupunkt 1950



Becker 1960



Blaupunkt 2000



Mercedes FIS 2004

Abb. 4: Vom Röhrengerät, über das Transistorradio bis zum modernen Entertainment System

Die Anordnung einer zunehmenden Anzahl von Einzelgeräten (Radio, CD-Spieler, Klimabediengerät), Anzeigen und Bedienelementen auf dem Armaturenbrett (heute Instrumenten Tafel oder kurz I-Tafel genannt) führte in den 90er Jahren zum Eindruck der Überladenheit. Im Jahre 2003 kam BMW mit einem revolutionären Bedienkonzept in der 7er-Reihe auf den Markt: dem iDrive, wobei - so BMW - das "i" für intelligent und integriert, informativ und innovativ, intuitiv und interaktiv steht. Das System besteht aus zwei Komponenten, einem großen LCD-Monitor in der Mitte der I-Tafel und dem Controller in der Mittelkonsole, mit dem die verschiedenen Bedienungsfunktionen durch Schieben/Ziehen, Drehen und Drücken ausgewählt und aktiviert werden können (Abb. 5). In der Ausgangsposition zeigt das Display acht Hauptmenüs: Kommunikation, Bordcomputer-Daten, Navigation, Hilfe, Entertainment, Einstellungen, Klima und den Telematikdienst BMW ASSIST. Angesteuert werden sie alle durch das Schieben bzw. Ziehen des Controllers in die jeweilige Richtung. Bei gleichzeitiger Erhöhung der Funktionsvielfalt (ca. 700 Funktionen sind während der Fahrt bedienbar) soll dadurch die Fahrzeugbedienung erleichtert werden. Der BMW-Slogan "Etwas wohl Vertrautes werden Sie im neuen 7er nicht mehr finden - aber Sie werden es nicht ver-

missen" hat sich für dieses völlig neuartige System zur Fahrzeugbedienung nicht erfüllt, denn es erfordert eine lange Eingewöhnungszeit und ist durch die Menüstruktur nicht ganz einfach zu bedienen. Dies gilt besonders für ältere Kunden, die weniger mit der Navigation in Menüs vertraut sind, aber einen Großteil der Zielgruppe ausmachen. Der Fahrer, der sich mit iDrive beschäftigen muss, um beispielsweise nur den warmen Luftstrom in den Fußraum zu lenken, ist häufig und länger vom Verkehrsgeschehen abgelenkt. Aufgrund anhaltender Kritik wurde iDrive mehrfach überarbeitet. Neben zahlreichen Vereinfachungen in der Menüführung, wurde eine Menütaste hinzugefügt, die ein direktes Zurückspringen von jeder beliebigen Stelle eines Untermenüs ins Hauptmenü ermöglicht, und einige häufig benutzte Bedienfunktionen wurden wieder durch direkten Zugriff auf Tasten ermöglicht. Ähnliche Konzepte werden auch von anderen Fahrzeugherstellern angeboten, z.B. von Audi das MMI-System<sup>7</sup>.



Abb. 5: iDrive (BMW 7er-Reihe, links) und MMI (Audi A8, rechts)

Neben der Einführung neuer Technologien wurden die Informationsmittel auf der I-Tafel funktionell gruppiert, wobei zwischen dem Fahrer-Assistenz-System (FAS) und dem Fahrer-Informationssystem (FIS) unterschieden wird (Abb. 6). Das Fahrer-Assistenz-System ist im zentralen Gesichtsfeld des Fahrers hinter dem Lenkrad angeordnet und vermittelt zusätzlich zu den vertrauten Anzeigen (Tacho, Drehzahlmesser, Tank- und Kühlwasser-Anzeige) neuerdings auch Informationen über ACC-Einstellungen und -Aktionen sowie ESP-Eingriffe. Einige dieser Informationen werden teilweise mittels der Head-Up-Display Technik (HUD) in die Außensicht projiziert (Chevrolet Corvette, BMW 5er und 6er). Die verschiedenen Lichtfunktionen befinden sich links vom Lenkrad.

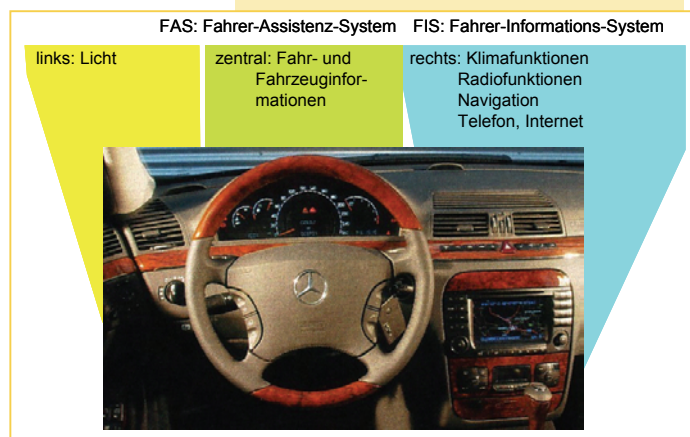


Abb. 6: Funktionelle Gruppierung der Informationsmittel auf der I-Tafel

Das Fahrer-Informationssystem ist in der Mitte der I-Tafel positioniert und beinhaltet das Navigationssystem, Entertainment-Funktionen (Radio, CD-Wechsler, z.T. auch TV), Kommunikations-Funktionen (Telefon, Email, Internet), Bordcomputer-Informationen sowie Klimafunktionen. Über dieses System lassen sich auch fahrdynamische Einstellungen vornehmen, z.B. Parameter des ESP oder der Elektronischen Dämpfer Control (EDC) verändern.

### 3 Aktive und Passive Sicherheit

Wie im vorigen Abschnitt beschrieben, gingen die wesentlichen Impulse zur Entwicklung der Informationsverarbeitung im Fahrzeug (unabhängig davon, ob mechanisch, elektrisch oder elektronisch realisiert) von Bestrebungen aus, die Bedienung des Fahrzeugs zu vereinfachen und die Unfallrate zu reduzieren. Wie Abb. 7 veranschaulicht, konnten durch die Verbesserung der aktiven und passiven Sicherheit im Fahrzeug die Zahl der Verkehrstoten im Straßenverkehr deutlich reduziert werden, bei gleichzeitig stetiger Zunahme der Transportleistung.

Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes verloren insgesamt 6.606 Menschen im Jahre 2003 ihr Leben im Straßenverkehr. Das sind 3,4 Prozent weniger als 2002 und ist der niedrigste Stand seit Einführung der Unfallstatistik im Jahre 1953. Bereits im Jahr 1936 wurden 8.388 Tote gezählt, allerdings waren damals nur 945.000 Autos zugelassen. In 2003 kletterte die Zahl der Personenkraftwagen auf den Höchststand von 44,7 Millionen. Der Negativrekord der letzten 50 Jahre wurde 1970 erreicht: Damals hatte es in der Bundesrepublik 21.332 Verkehrstote gegeben (19.193 in der BRD, 2.139 in der ehemaligen DDR) bei 15,1 Millionen zugelassenen Autos. Die deutliche Abnahme der Getöteten und Verletzten im Straßenverkehr ab Mitte der 70er Jahre ist u.a. auch auf die Einführung der Gurtpflicht ab 1976 zurückzuführen<sup>8</sup>.

Während die Zahl der Verkehrstoten kontinuierlich abnimmt, scheint die Zahl der Verletzten in den letzten Jahren auf konstant hohem Niveau - ca. 500.000 - zu stagnieren, und die Zahl der Unfälle nimmt mit der stetig ansteigenden Zahl der zugelassenen Fahrzeuge zu. Eine kürzlich veröffentlichte Studie von DaimlerChrysler belegt, dass serienmäßig mit ESP ausgestattete Mercedes-Benz Fahrzeuge deutlich weniger in der Unfallkategorie "Verlust der Kontrolle über das Fahrzeug" vertreten sind als andere Fahrzeuge (Abb. 8). Darüber hinaus ist die Verletzungsschwere in Fahrzeugen mit ESP signifikant geringer als bei Fahrzeugen ohne ESP. Dies ist auch darauf zurückzuführen, dass ESP-Fahrzeuge weniger von Seitenkollisionen betroffen sind als Fahrzeuge, die ins Schleudern geraten sind und die "Flanke" bei der Kollision bieten.

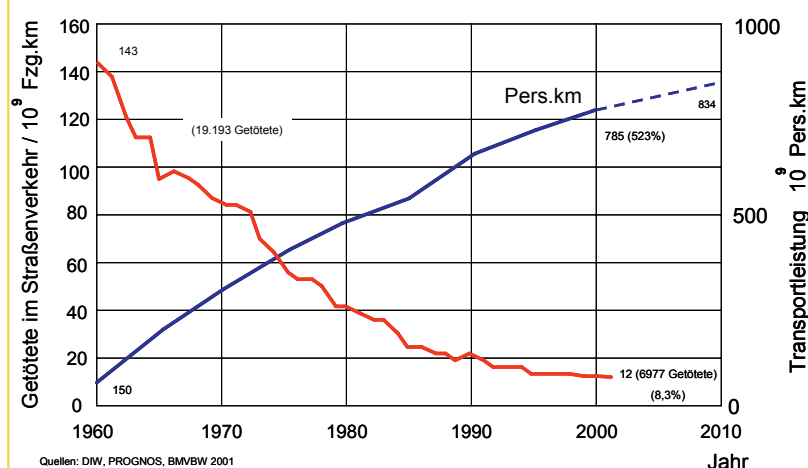


Abb. 7: Getötete im Straßenverkehr und Transportleistung von 1960 bis 2001

7 Ein kürzlich von "auto, motor und sport" mit 5 Fahrzeugen (Audi Q7, BMW 7er, Lexus RX, Mercedes ML und Range Rover Sport) durchgeführter Vergleichstest zeigt, dass es die perfekte Bedienmethode (noch) nicht gibt. Die Bedienzeiten beim iDrive-System sind gegenüber denen bei den Mitbewerber-Systemen um den Faktor 2 länger. Die satt klickenden Tasten und der fein rastende Drehdrücksteller beim MMI von Audi vermitteln zwar das beste Bediengefühl (ein Verdienst der Haptik-Abteilung), führten aber durch längere Blickabwendungszeiten beim Auffinden der in der Mittelkonsole untergebrachten Tasten zu vielen Fahrfehlern. Einen vernünftiger Kompromiss zwischen über Menüsteuerung und durch direkten Tastenzugriff erreichbarer Bedienfunktionen scheint beim Command-System von Mercedes gelungen zu sein. Verbesserungspotenzial gibt es jedoch bei allen Systemen.

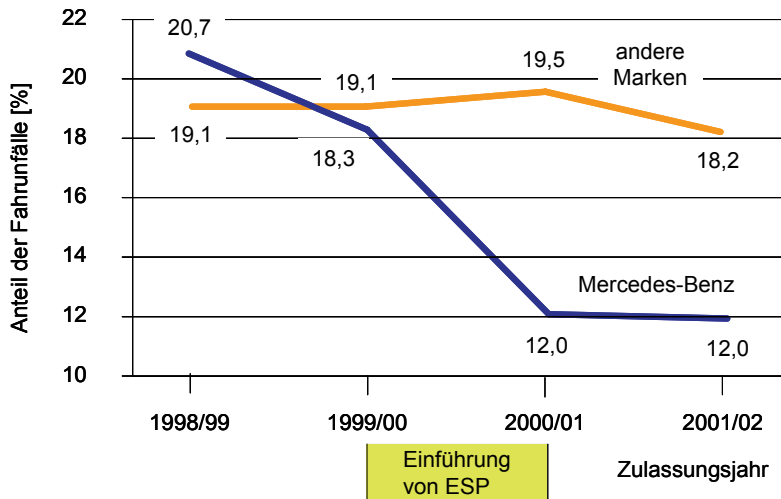


Abb. 8: Einfluss der Serieneinführung von ESP bei Mercedes-Benz Fahrzeugen auf deren prozentualen Anteil an Fahrunfällen

8 Trotz des historischen Tiefstandes bei den Unfallopfern fordern Verkehrsverbände weitere Sicherheitsanstrengungen. Der ADAC, der Automobilclub von Deutschland (AvD) und die Deutsche Verkehrswacht nannten die Tatsache, dass täglich 18 Menschen im Straßenverkehr ihr Leben verlieren, immer noch erschreckend. Vor allem bei jungen Kraftfahrern muss das Sicherheitstraining und damit das Gefühl für das Auto verstärkt werden, da fast jeder Vierte (23 Prozent) der tödlich Verunglückten zwischen 18 bis 25 Jahren alt ist. Darüber hinaus appelliert die Deutsche Verkehrswacht an die Kraftfahrer, sich der vielen Ablenkungsmöglichkeiten während der Fahrt bewusst zu werden. Essen, Trinken und das Bedienen von Navigationsgeräten führten nicht selten neben dem mobilen Telefonieren zu "unbewussten Schaltpausen".

Für die "Vision Zero" (Null Verkehrstote) muss der Verkehr zu einem Fehler verzeihenden System werden. Angesichts der steigenden Zulassungs- und Unfallzahlen geht es primär darum, sowohl die Anzahl der Verkehrsunfälle zu reduzieren als auch die Unfallfolgen zu minimieren. Der Staat und seine Behörden versuchen diesem Anspruch dadurch gerecht zu werden, indem sie den Verkehrsfluss und die Verkehrsregelungen an die Verkehrsdichte anzupassen versuchen (z.B. Geschwindigkeitsbegrenzungen mit verschärften Kontrollen und harten Geldbußen, Kreisverkehr statt Kreuzungen). Wie auf der Seite der Fahrzeughersteller das Beispiel ESP zeigt, können Unfälle und deren Folgen nur durch eine weitere Verbesserung der aktiven Sicherheit im Fahrzeug reduziert werden. Auf der Basis der aktuellen Unfallstatistik lässt sich prognostizieren, dass allein durch die serienmäßige Ausstattung aller neu zuzulassenden Fahrzeuge etwa 700 Verkehrstote weniger pro Jahr zu beklagen wären. Ein wichtiger Schritt, wenn bis zum Jahre 2010 die Zahl der Verkehrstoten auf 3.500 halbiert werden soll.

Assistenzsysteme im Kraftfahrzeug müssen den Fahrer unterstützen. Sie müssen fast

unmerklich arbeiten, dürfen nicht erschrecken, nicht verunsichern und nicht ablenken. Auf der anderen Seite muss der Fahrer eine Rückmeldung über den Eingriff dieser Systeme in den Fahrvorgang beziehen, um sein eigenes Verhalten der jeweiligen Fahrsituation anpassen zu können. Die Entwicklung dieser Systeme muss daher durch ergonomische Forschung zur Mensch-Maschine-Interaktion begleitet werden.

#### 4 Ergonomische Analyse der Fahraufgabe

Das Fahren eines Kraftfahrzeugs erfordert die Bewältigung mehrerer Teilaufgaben, die teilweise hierarchisch geordnet und teilweise auch unabhängig voneinander sind. Grundsätzlich lässt sich unterscheiden zwischen der primären Fahraufgabe, die vom Fahrer verlangt, das Fahrzeug mit einer bestimmten Geschwindigkeit auf Kurs zu halten, und sekundären Aufgaben, die in Abhängigkeit von der jeweiligen Verkehrssituation erforderlich sind und die primäre Aufgabe unterstützen. Als tertiäre Aufgaben bezeichnet man Bedienvorgänge, die mit dem eigentlichen Fahren nichts zu tun haben. Abb. 9 vermittelt einen Überblick über diese Teilaufgaben.

##### Primäre Fahraufgabe

Die Aufgabenstellung für die primäre Fahraufgabe ist allgemein definiert durch den Transport von Personen und/oder Gütern, die zu einem bestimmten Zeitpunkt ihr Ziel erreichen sollen. Aus dieser Transportaufgabe leitet sich die Navigationsaufgabe ab: die Fahrtroute ist festzulegen, eine Durchschnittsgeschwindigkeit für die zu befahrende Strecke abzuschätzen, um damit den Startzeitpunkt für die Fahrt zu bestimmen. Bekanntlich wird diese Aufgabe heute durch GPS basierte Navigationssysteme unterstützt, wobei der Fahrer die kürzeste oder schnellste Verbindung, Nebenstrecken oder Schnellstraßen wählen kann. Durch die Festlegung der zu befahrenden Strecke ist ein globaler Rahmen für die tiefer gelegene Hierarchieebene, die Führungsaufgabe vorgegeben. Die Führungsaufgabe verlangt vom Fahrer, in Abhängigkeit von der aktuellen Verkehrssituation den Sollkurs und die Sollgeschwindigkeit festzulegen. Diese mental zu bildenden Führungsgrößen sind entsprechend der äußeren Bedingungen wie Straßenverlauf, Hindernisse auf der Fahrbahn, Witterungsbedingungen, Verkehrsdichte und dem Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer zu bestimmen. Die Ergebnisse wissenschaftlicher Untersuchungen zeigen, dass diese Aufgabe permanent für eine räumliche Distanz bis maximal 200 m vor dem Fahrzeug und innerhalb eines Zeitfensters von etwa 2 s durchgeführt wird. Dabei legt der Fahrer von seiner aktuellen Position auf der Straße eine Verbindungslinie zu einem Zielpunkt im Straßenverlauf, der nicht weiter als 200 m entfernt ist. Bei Hindernissen auf der Straße, z.B. geparkten Fahrzeugen, ist diese Verbindungslinie entsprechend gekrümmt. Die Bestimmung des Sollkurses wird schwieriger, wenn sich die Hindernisse auf der Straße bewegen (vorausfahrendes Fahrzeug, kreuzendes oder überholendes Fahrzeug, Fußgänger).

Abb. 10 veranschaulicht in Form eines Flussdiagramms die vom Fahrer zu jedem Zeitpunkt vorzunehmenden Einschätzungen, insbesondere zur Wahl einer angepassten Geschwindigkeit bei eingeschränkter Sicht und bei Kurvenfahrt. Auf dieser Ebene der primären Fahraufgabe bieten aktuelle Entwicklungen eine Unterstützung für den Fahrer. Das bereits vorgestellte ACC-System hält eine vom Fahrer eingestellte Sollgeschwindigkeit und einen gewählten Sicherheitsabstand zum vorausfahrenden Fahrzeug konstant, wobei das eigene

Fahrzeug automatisch verzögert und wieder bis zur Sollgeschwindigkeit beschleunigt, wenn der Vorderrmann bremsst bzw. wieder Gas gibt. Eine Erweiterung des ACC-Systems um eine automatische Erkennung von Geschwindigkeitsbegrenzungen durch die Vernetzung mit dem Navigationssystem (unveränderliche Bereiche mit Geschwindigkeitsbegrenzungen liegen über GPS-Koordinaten fest) oder durch Kamerasysteme (z.B. in Verbindung mit dem HC-System) steht kurz vor der Serienreife. Bei der Festlegung des Sollkurses unterstützt das HC-System zumindest in dem Maße, als das Überschreiten von Toleranzbereichen für den Sollkurs durch korrigierende Lenkmomente dem Fahrer angezeigt wird.

Durch Betätigung der Bedienelemente bewirkt der Fahrer auf der Ebene der Stabilisierung die Übereinstimmung der Istgrößen (Istkurs, Istgeschwindigkeit) mit den mental gebildeten Sollgrößen. Für diese zweidimensionale Stabilisierungsaufgabe (Längs- und Querdynamik) werden in einem Hand geschalteten Fahrzeug fünf Bedienelemente verwendet, wobei allein vier Stellteile für die Regelung der Längsdynamik zu bedienen sind: Bremse, Kupplung, Schalthebel, Gas. Fahrzeuge mit Automatikgetriebe bieten hier den Vorteil, dass nur noch drei Bedienelemente zur Stabilisierung benötigt werden.

Eine ergonomische Grundregel besagt, dass die Dimensionalität der Aufgabenstellung möglichst auf die Dimensionalität des Stellteils abzubilden ist. Bereits in den 50er Jahren wurde von General Motors (GM) eine zweidimensionale Joystick-Steuerung für Kraftfahrzeuge vorgestellt, um den Bedienaufwand zu reduzieren. Neuere Systeme dieser Art nutzen die Vorteile moderner Elektronik und wurden vorgestellt von Bubb (1985), Bolte (1991), Eckstein (2000) und aktuell von DaimlerChrysler zur Steuerung von Nutzfahrzeugen (Abb. 11).

Der Joystick ist mit einer Krafterückmeldung ausgestattet. Nach einem Vorschlag von Bubb (1985) sollte die Joystick-Steuerung als Aktives Bedienelement ausgelegt werden, wobei die von der Hand aufgebrachten Kräfte die Eingangsgrößen für die Subsysteme zur Regelung der Längs- und Querdynamik (Motormanagement, Bremse, Lenkung) darstellen. Diese Kräfte werden von Kraft-Spannungswandlern (z.B. Dehnmessstreifen) in analoge elektrische Größen gewandelt, Bordrechnern zugeführt, die über entsprechende Stellglieder Verstellungen an der Drosselklappe, der Bremse und der Lenkung vornehmen. Die aktuellen Istgrößen des Fahrzeugs werden gemessen (Istgeschwindigkeit, Querbewbeschleunigung) und als Position auf das Stellteil mittels eines Servomotors zurückgemeldet (Bedienelement mit Krafteringabe und Wegrückmeldung). Mit einer derartigen Lösung hat der Fahrer die dynamischen Eigenschaften des Fahrzeugs buchstäblich "in der Hand", er fühlt zu jedem Zeitpunkt die seinem Wunsch entsprechenden Reaktionen des Fahrzeugs in der Hand. Das Aktive Bedienelement hat eine stark dämpfende Wirkung im Fahrer-Fahrzeug-Regelkreis. Bolte (1991) und Eckstein (2000) konnten in Simulator- bzw. Fahrversuchen zeigen, dass ein mit dieser Steuerung ausgerüstetes Fahrzeug nicht mehr ins Schleudern gebracht werden kann. Moderne Assistenzsysteme wie ABS und ESP unterstützen den Fahrer auf der Stabilisierungsebene, vor allem bei extremen äußeren Bedingungen (z.B. glatte Fahrbahn). Keine technische Regelung vermag allerdings die physikalischen Grenzen zu überwinden. Es ist deshalb zwingend erforderlich, dem Fahrer die Annäherung an diese Grenzen anzuzeigen. So zeigen nicht nur das Pulsieren des Bremspedals, sondern auch zusätzliche Warnleuchten in der I-Tafel an, dass das ABS-System und ggf. auch die ASR aktiv sind. Diese unmittelbaren Rückmeldungen führen innerhalb der verschachtelten

#### Primäre Aufgabe: Halten des Fahrzeugs auf Kurs

- Navigation
- Führung
- Stabilisierung



#### Sekundäre Aufgaben: Tätigkeiten in Abhängigkeit von Fahranforderungen

- Aktion (Blinken, Hupen)
- Reaktion (Auf- und Abblenden, Wischen)



#### Tertiäre Aufgaben: Tätigkeiten, die nichts mit dem Fahren zu tun haben

- Komfortverbesserung (Klimaanlage, SitzEinstellung, Radio ...)
- Kommunikation (Radio, Telefon, Internet ...) auch hier Aktion  $\longleftrightarrow$  Reaktion



Abb. 9: Primäre, sekundäre und tertiäre Aufgaben beim Fahren eines Kraftfahrzeugs

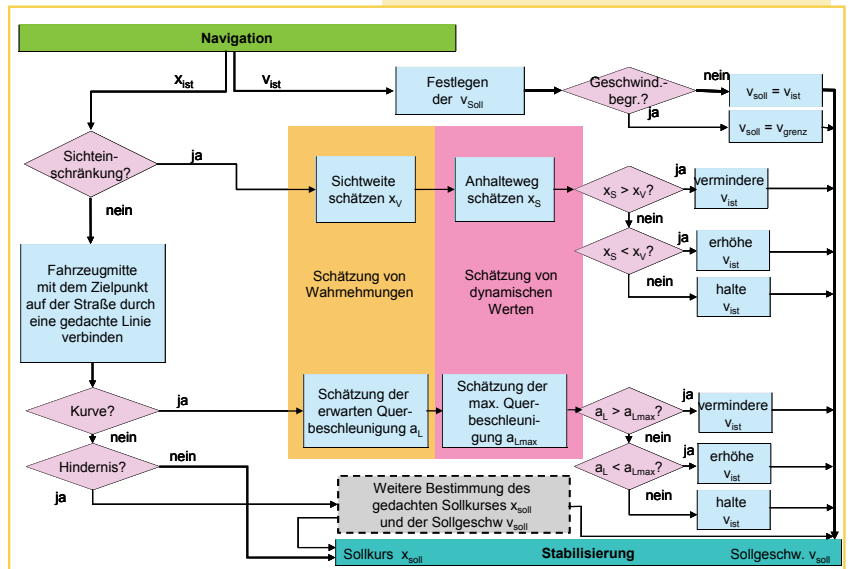


Abb.10: Einschätzungen und Entscheidungen auf der Ebene der Führungsaufgabe



Abb. 11: Joystick-Steuerung für Kraftfahrzeuge: Versuchsfahrzeug von GM (links oben), Design-Vorschlag von Lammel (1983; rechts oben) Mercedes-Benz Versuchsträger (Eckstein, 2000; links unten), DC für Nfz (rechts unten)

Unterregelkreise der primären Fahraufgabe dazu, dass eine auf einer bestimmten Ebene bemerkte Abweichung der Istgrößen von den Sollgrößen durch eine Strategieänderung auf der nächst höheren Ebene kompensiert werden muss. Wird beispielsweise der Fahrer auf der Ebene der Führungsaufgabe mit einer Straßensperrung oder einem Stau konfrontiert, hat dies Konsequenzen für die Navigationsaufgabe: Eine neue, zum Ziel führende Umgehungsroute muss gefunden werden. Navigationsaufgaben fallen also auch während der Fahrt an, und gerade in diesen ohnehin Stress trächtigen Situationen in fremder Umgebung sollen Navigationssysteme, möglichst ohne Manipulationen seitens des Fahrers, optimal unterstützen. In diesem Punkt sind neuere Systeme durch die Vernetzung mit TMC (Traffic Message Control) im Vorteil, da sie eine Ausweichroute anbieten, die lediglich vom Fahrer zu akzeptieren oder abzulehnen ist. Beim Befahren der Ausweichstrecke kann es aber vorkommen, dass diese Strecke bereits völlig überlastet ist, darüber aber (noch) keine entsprechenden Meldungen vorliegen. Derartige Erfahrungen bestärken nicht gerade das Vertrauen des Fahrers in moderne Fahrzeugelektronik, insbesondere dann nicht, wenn er die Erfahrung gemacht hat, dass ein Ortskundiger, dem er auf "gut Glück" gefolgt ist, den Stau sehr viel besser umgangen hat als sein "up-to-date"-Navigationssystem.

### **Sekundäre Fahraufgaben**

Sekundäre Fahraufgaben unterstützen die primäre Fahraufgabe, wobei der Fahrer mit Aktionen andere Verkehrsteilnehmer über seine Intentionen informiert oder auf äußere Bedingungen reagiert. Beispiele für Aktionen sind das Betätigen der Fahrtrichtungsanzeige beim Spurwechsel oder Abbiegen sowie das Betätigen der Lichtthupe, um z.B. einem an einer Ausfahrt wartenden Verkehrsteilnehmer anzuzeigen, dass man ihm Vorrang gewährt (manchmal wird man von solidarischen Autofahrern mit diesen Lichtzeichen auch vor Radarfallen gewarnt). Beispiele für Reaktionen sind das Umschalten von Fernlicht auf Abblendlicht bei Gegenverkehr, das Einschalten der Nebelscheinwerfer bei Nebel oder das Einschalten des Wischers bei Regen. Gerade diese reaktiven Sekundäraufgaben lassen sich automatisieren, wie in Fahrzeugen der gehobenen Mittelklasse oder Premiumklasse (meist jedoch nur als Sonderausstattung) bereits realisiert in Form intelligenter Lichtsysteme<sup>9</sup> oder durch Regensensoren, über welche die Wischintervalle optimal an die Scheibenbenetzung angepasst werden können.

Auch das Schalten der Gänge stellt eine sekundäre Fahraufgabe dar, die entweder als Reaktion auf äußere Bedingungen anfällt (z.B. Herunterschalten beim Befahren von Steigungen oder Gefälle) oder als Aktion bei bestimmten Fahrmanövern (Heraufschalten beim Beschleunigen auf gewünschte Geschwindigkeit, Herunterschalten vor dem Überholen). Kupplung und Getriebe sind rein technisch gesehen erforderlich, um einerseits Anfahren zu können und um andererseits das von der Drehzahl abhängige Drehmoment des Motors an die Erfordernisse der Fahrsituation anzupassen. Wie bereits erläutert, ist das Anfahren ohne Betätigung eines Kupplungspedals und das Schalten der Gänge ohne Schalthebel durch ein Automatikgetriebe mit Drehmomentwandler bereits sehr früh in den USA (1940) automatisiert worden, was im Hinblick auf die zweidimensionale Fahraufgabe eine sinnvolle Entlastung des Fahrers darstellt<sup>10</sup>. Während amerikanische Hersteller so gut wie keine handgeschalteten Fahrzeuge für den amerikanischen Markt produzieren, gibt es in Deutschland weniger Befürworter als Gegner des Automatikgetriebes. Der technisch versierte Fahrer bezeichnet das Automatikgetriebe als "Drehmomentvernichter" und die eher sportlich orientierten Fahrer sehen in dem schnelleren Herunterschalten von Hand beim Überholen einen Sicherheitsgewinn. Tatsächlich reagiert die Automatik mit dem Herunterschalten erst mit einer gewissen Verzögerung auf den Kick down mit dem Gaspedal, was ein vorausschauendes Fahren erforderlich macht. Beim Befahren eines starken Gefälles reagiert das Automatikgetriebe auf das Abbremsen des Fahrzeugs meist nicht mit der Fahrstufe, die für das "Motorbremsen" notwendig wäre. Deshalb sind bei Automatikgetrieben die verschiedenen Fahrstufen auch von Hand schaltbar. Die Beispiele zeigen, dass die Automatik speziell für den degressiven Fahrer einen Komfortgewinn darstellt, für bestimmte Fahrmanöver aber Defizite aufweist. Dieser Aspekt wird in Abschnitt 5 noch eingehender beleuchtet.

### **Tertiäre Fahraufgaben**

Tertiäre Fahraufgaben haben mit der eigentlichen Fahraufgabe nichts zu tun. Der Begriff "Fahraufgabe" ist in diesem Zusammenhang nur angebracht, weil es sich um Aufgaben handelt, die vom Fahrer während der Fahrt durchgeführt werden. Mit diesen Aufgaben nimmt der Fahrer einerseits Einfluss auf die Komfortbedingungen im Fahrzeug (z.B. Bedienung der Klimaanlage) oder sie dienen der Information und Kommunikation oder schlicht der Unterhaltung (z.B. Bedienung des Radios, um Verkehrsmeldungen oder den Wetterbericht zu hören, Telefonieren, Abspielen einer CD). Wie bei den sekundären Fahraufgaben lassen sich auch hier Aktionen und Reaktionen unterscheiden. Eine aktive Aufgabe stellt das Anrufen

<sup>9</sup> Das "Intelligent Light System" von Mercedes-Benz besteht aus variabel steuerbaren Scheinwerfern mit fünf verschiedenen Lichtfunktionen. Ab einer Geschwindigkeit von mehr als 90 km/h schaltet sich in zwei Stufen automatisch das neue Autobahnlicht ein, wobei zunächst die Leistung der Xenon-Lampen von 35 auf 38 Watt erhöht und in der zweiten Stufe ab 110 km/h die Reichweite des fahrbahninneren Scheinwerfers vergrößert wird. So entsteht ein gleichmäßiger, bis zu 120 Meter weit reichender Lichtkegel, der die Fahrbahn auf ihrer gesamten Breite ausleuchtet. Sobald bei einer Sichtweite von weniger als 50 Metern und einer Geschwindigkeit unterhalb von 70 km/h die Nebelschlussleuchte eingeschaltet wird, schwenkt der linke Bi-Xenon-Scheinwerfer um acht Grad nach außen und senkt seinen Lichtkegel gleichzeitig nach unten. Das erweiterte Nebellicht bleibt bis zu einer Geschwindigkeit von 100 km/h eingeschaltet.

<sup>10</sup> In den 60er Jahren gab es in Deutschland für fast alle Autos dieser Zeit alternativ zum Schaltgetriebe den "Saxomat" von Fichtel & Sachs. Dabei handelte es sich um eine elektropneumatisch geschaltete Kupplung, die zum Anfahren über eine Fliehkraftkupplung verfügte. Dadurch konnte das Kupplungspedal entfallen. Die Schaltvorgänge wurden durch den Fahrer mittels Gaspedal und Schalthebel kontrolliert. Berührte der Fahrer den Schalthebel, so wurde ausgekuppelt und man konnte schalten. Der Saxomat war vor allem bei älteren Fahrern beliebt, büßte aber im Laufe der Zeit an Beliebtheit ein, da die Einstellung schwierig sowie die Störanfälligkeit hoch waren. In vielen Fällen wurden mit dem Saxomat ausgerüstete Fahrzeuge auf normale Schaltung umgebaut.

eines Gesprächspartners dar, während das Entgegennehmen eines Anrufs die Reaktion auf das Läuten des Telefons ist.

In jedem Falle lenken tertiäre Aufgaben von der Fahraufgabe ab. Viele Untersuchungen haben gezeigt, dass der Fahrer in aller Regel Ablenkungszeiten bis zu einer Zeitspanne von 2 s toleriert. In einer experimentellen Studie konnte Rassl (2004) jedoch zeigen, dass in einigen Fällen Ablenkungszeiten bis zu 16 s Dauer auftraten<sup>11</sup>. Daraus leitet er die Forderung ab, dass technische Einrichtungen nach systemergonomischen Regeln gestaltet werden müssen. Werden diese Regeln beachtet, kann die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten extrem langer Ablenkungszeiten signifikant reduziert werden.

Aktuell werden verschiedene Ansätze verfolgt, um tertiäre Fahraufgaben mit reaktivem Charakter mit Hilfe technischer Einrichtungen zu managen (Marsteller et al., 2001). Eine Idee beruht beispielsweise darauf, einen Telefonanruf in einer schwierigen Verkehrssituation so lange zu unterdrücken (mit einer automatischen Ansage an den Anrufer) bis ein gefährloses Telefonieren während der Fahrt wieder möglich erscheint. Das technische Problem besteht darin, wie etwa auf der Basis von Bildverarbeitung Verkehrssituationen hinsichtlich der Bindung der Aufmerksamkeit seitens des Fahrers zu kategorisieren sind, während das ergonomische Problem darin zu sehen ist, wie der Fahrer über den Systemzustand zu informieren ist ohne ihn nennenswert vom Verkehrsgeschehen abzulenken.

### 5 Automatik - ja oder nein?

Mit der Entwicklung von Assistenzsystemen im Automobil gewinnt die "Ironie der Automatisierung", auf die zuerst von Bainbridge (1987) hingewiesen wurde, eine neue Bedeutung. Sie legt dar, dass menschliche Fehler durch die Automatisierung von Teilaufgaben nicht reduziert, sondern lediglich in andere Aufgabenbereiche verlagert werden. Wenn Subsysteme Aufgaben des Menschen übernehmen, wird er in die Rolle eines "Monitors höherer Ordnung" gedrängt, der er immer schwieriger gerecht werden kann, da er z.T. den Bezug zu den eigentlichen Vorgängen verliert, weil komplexe Systeme dazwischengeschaltet sind. Anstatt seine Handlungen zu kontrollieren, überwacht der Mensch, wie ein System einen Prozess überwacht. Der Operateur muss also nicht nur den Prozess an sich verstehen, sondern auch das System, dass diesen Prozess überwacht. Automatisierung kann zu einer Unterforderung, Trainingsverlust und mangelndem Situationsbewusstsein führen<sup>12</sup>. Des Weiteren werden durch das "passive Monitoring" auftretende Fehlfunktionen einzelner Systeme schlechter erkannt.

Häufig wird auch eine beabsichtigte Vereinfachung von menschlichen Handlungen durch Automatisierung nicht erreicht. Dies kann am Beispiel des Automatikgetriebes veranschaulicht werden. Abb. 12 zeigt in Form eines Flussdiagramms die einzelnen Teilaufgaben (Entscheiden, Handeln) beim Wechsel der Fahrstufen in einem Handgeschalteten Fahrzeug. Durch die Einführung einer konventionellen Geschwindigkeitsautomatik (Abb. 13) reduziert sich auf den ersten Blick der Bedienaufwand, allein schon durch den Wegfall der Kupplungsbetätigung. Bei normaler Fahrt genügt für die Geschwindigkeitsregelung des Fahrzeugs die dosierte Betätigung des Gaspedals, wenn man zunächst Bremsvorgänge unberücksichtigt lässt (grau unterlegter Bereich in Abb. 13). Wenn jedoch die vom Automatikgetriebe geschaltete Fahrstufe für eine bestimmte Fahrsituation unangemessen ist (z.B. beim Befahren eines Gebirgspasses), muss der Fahrer mehrere Teilaufgaben bewältigen, die in ihrer Struktur denen bei Handschaltung ähnlich sind, aber seltener auftreten und deshalb nicht als hoch trainierte Handlungen praktisch unbewusst bearbeitet werden.

Bei einer modernen (elektronischen) Getriebeautomatik (mit 5 oder 6 Gängen, z.B. BMW Steptronic) ist das beschriebene Problem ergonomisch sinnvoll gelöst (Abb. 14). Wenn der Fahrer von Automatik auf Handschaltung wechseln will, genügt eine Seitwärtsbewegung des Wählhebels, wobei bei jeder (kompatiblen!) Rückwärtsbewegung des Hebels eine Fahrstufe heruntergeschaltet und bei einer entsprechenden Vorwärtsbewegung eine Fahrstufe heraufgeschaltet wird. Handschaltung und Automatik sind damit sehr einfach alternativ und intuitiv nutzbar.

In gleicher Weise lassen sich die Teilaufgaben bei der Bedienung des ACC-Systems analysieren (Abb. 15). Der Fahrer muss dabei zwei aufeinander folgende Hauptaufgaben bearbeiten. Zunächst sind eine der Verkehrssituation angepasste

11 Die durchschnittlichen Bedienzeiten für Audio und Navigation lagen bei dem schon erwähnten Vergleichstest von "auto, motor und sport" in dieser Größenordnung (Ausnahme BMW 7er).

12 Der Flugunfall bei Überlingen am Bodensee (1.7.2002), bei dem eine Boeing 757 und eine Tupolev 154 in der Luft kollidierten, wäre nicht passiert, wenn beide Piloten ihrem TCAS (Traffic Alert and Collision Avoidance System) vertraut hätten und den Anweisungen gefolgt wären.

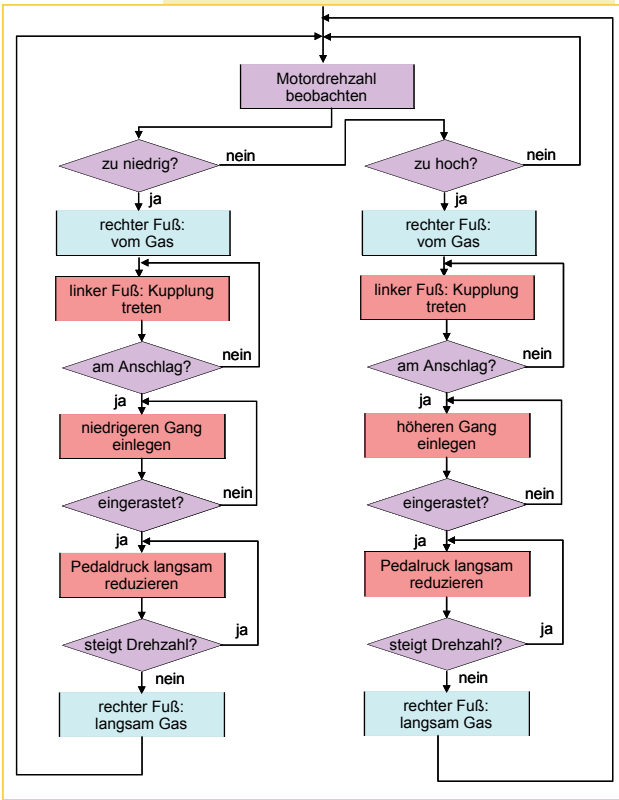


Abb. 12: Teilaufgaben beim Schalten der Gänge von Hand

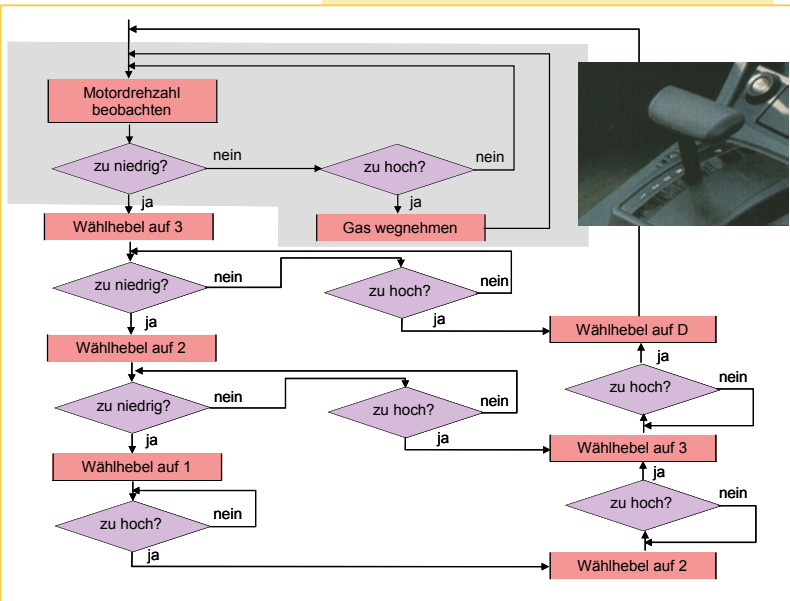


Abb. 13: Teilaufgaben bei einer konventionellen Getriebeautomatik

Sollgeschwindigkeit und ein dem individuellen Sicherheitsbedürfnis entsprechender Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug zu wählen. Bei der Abstandswahl können z.B. die zeitlichen Abstände von 1,0, 1,5 oder 2,0 Sekunden eingestellt werden, denen entsprechend der gewählten Sollgeschwindigkeit korrespondierende Abstände in Metern entsprechen. Sind diese Parameter vom Fahrer gesetzt, beschränkt sich die zweite Hauptaufgabe auf die Überwachung der automatischen Geschwindigkeits- und Abstandsregelung ("passives Monitoring").

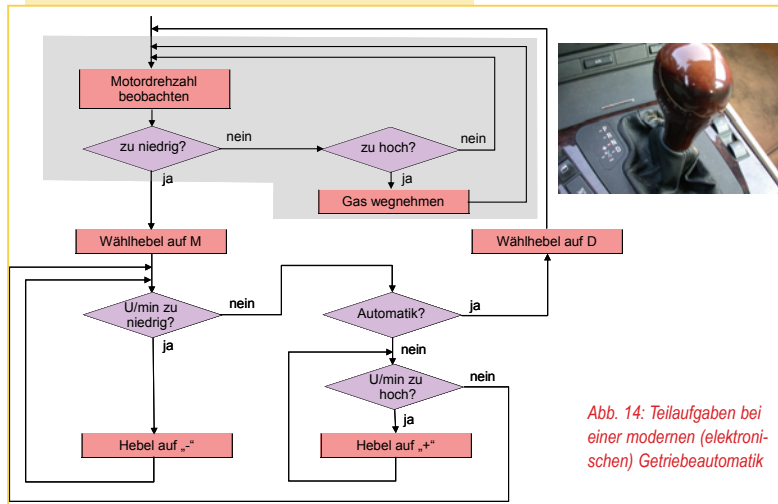


Abb. 14: Teilaufgaben bei einer modernen (elektronischen) Getriebeautomatik

Verkehrsdichte unangemessen auf die Sollgeschwindigkeit beschleunigt. Um auf der linken Spur herannahende Fahrzeuge nicht unnötig zu behindern, müssen wir die Beschleunigung auf die Sollgeschwindigkeit durch Treten des Gaspedals unterstützen ("Unterstützung des Unterstützungssystems"). Dieses kurzzeitige "Übersteuern" der Automatik ist aber unschädlich für die weitere ACC-Regelung, im Gegensatz zu Bremsmanövern, die z.B. bei einem plötzlich vor dem eigenen Fahrzeug einsicherenden Pkw notwendig werden können. Wie Abb. 15 durch den roten Pfeil verdeutlicht, führt schon das leichte Antippen des Bremspedals zum Abschalten der ACC-Regelung. Diese per se aus Sicherheitsgründen sinnvolle Abschaltung (wie auch bei der bekannten Tempomat-Regelung) kann jedoch bei stärkerem Verkehrsaufkommen irritierend wirken, weil sich der Fahrer nach der Reaktivierung des ACC-Systems ggf. durch mehrere Kontrollblicke auf das FAS davon überzeugen muss, ob das System mit den gleichen Parametern arbeitet wie zuvor.

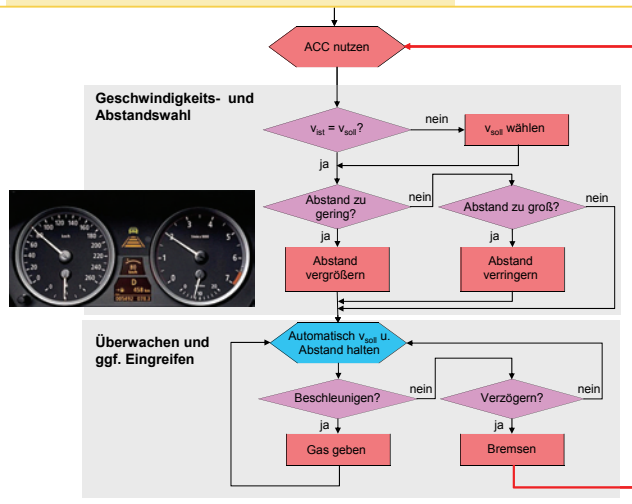


Abb. 15: Teilaufgaben bei der ACC-Bedienung und -Überwachung

Auf einer wenig befahrenen Autobahn funktioniert die Geschwindigkeits- und Abstandsregelung meist zufrieden stellend, während gerade in schwierigen Verkehrssituationen, in denen der Fahrer eine Unterstützung dringlicher benötigen würde, manuelle Eingriffe häufig unumgänglich werden. Ein weiteres Beispiel für die "Ironie der Automatisierung" (manche Hersteller werben deshalb für ihre ACC-Systeme mit einem Gewinn an Komfort und nicht mit einem Gewinn an Sicherheit).

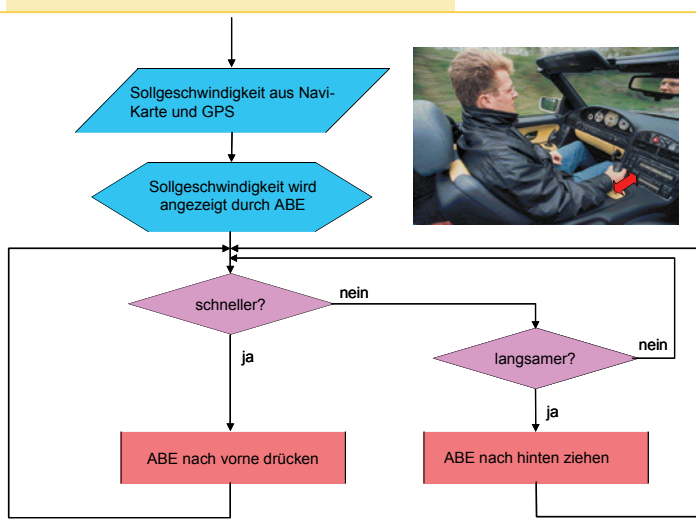


Abb. 16: Teilaufgaben bei der Bedienung und Überwachung eines optimierten ACC-Systems mit ABE

Ein nach systemergonomischen Regeln in Verbindung mit dem bereits erläuterten Aktiven Bedienelement (ABE) optimiertes ACC-System zeigt Abb. 16. Bei diesem Layout wären vom Fahrer weder die Sollgeschwindigkeit, noch der Abstand zu wählen.

Die maximal mögliche Sollgeschwindigkeit könnte aus unveränderlichen Geschwindigkeitsbegrenzungen, die in der digitalen Straßenkarte des Navigationssystems abgelegt sind, entnommen werden, oder es wird eine vom Fahrer, nicht während der Fahrt, sondern generell gewählte Richtgeschwindigkeit (z.B. die in vielen europäischen Ländern auf Autobahnen maximal erlaubten 130 km/h), die im Bordcomputer gespeichert und aktiviert ist, zugrunde gelegt. Aktuelle Geschwindigkeitsbegrenzungen, z.B. an Baustellen könnten zusätzlich aus dem Internet abgerufen werden, um die Karteninformation zu ergänzen. Mit diesen "Voreinstellungen" fährt der Fahrer wie mit dem Aktiven Bedienelement gewohnt. Eine Annäherung an Geschwindigkeitsgrenzen wird ihm durch eine höhere Rückstellkraft angezeigt, die er aber leicht überwinden kann, sollte er, z.B. aus Sicherheitsgründen die Geschwindigkeitsbegrenzung ignorieren wollen (z.B. bei einem bereits eingeleiteten Überholvorgang).

Auch bei dieser Auslegung limitiert der Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug die aktuell fahrbare Geschwindigkeit. In diesem Fall sollte aber nur die Unterschreitung des kritischen 1,0 Sekunden Abstandes dem Fahrer durch eine Erhöhung der Rückstellkraft angezeigt werden. In beiden Fällen hat die haptische Rückmeldung die gleiche Bedeutung: "langsamer Fahren", und in beiden Fällen erfolgt eine Rückmeldung nur dann, wenn sich der Fahrer einer Gefahrengrenze annähert.

Die gleichen Überlegungen lassen sich auf die Unterstützung des Fahrers bei der Regelung der Querdynamik übertragen. Penka (2000) konnte in einem Simulatorexperiment zeigen, dass die Probanden unterstützende Eingriffe der Elektronik an einem Aktiven Bedienelement eher akzeptieren als über die konventionellen Stellteile Lenkrad, Gas- und Bremspedal. Das ABE bietet noch den zusätzlichen Vorteil, dass von der Elektronik ermittelte Bremsmanöver dem Fahrer mittels des Servoantriebs intuitiv angezeigt werden können.

Die Frage nach "Automatik - ja oder nein?" kann unter der Voraussetzung bejaht werden, dass den Fahrer unterstützende Systeme nach systemergonomischen Regeln gestaltet sind (Funktion, Rückmeldung und Kompatibilität). Wie die vorgestellten Beispiele verdeutlicht haben, ist Automatik nicht gleich Automatik, sondern nur eine systemergonomische, an die Eigenschaften und Fähigkeiten des Fahrers angepasste Auslegung bewirkt den Unterschied für den Nutzer. Eine Automatik, die nur im "grünen Bereich" des Verkehrsgeschehens gut funktioniert, ist für den Fahrer keine Unterstützung im Sinne des Wortes, sondern lediglich "nice to have". Lenken diese Systeme in kritischen Verkehrssituationen mehr Aufmerksamkeit und Bedienvorgänge auf sich selbst, wird es schlicht gefährlich.

## 6 Neue Technologien

Für die künftige Weiterentwicklung der Automobiltechnik lässt sich eine noch erweiterte Sensorik im und rund um das Fahrzeug (Radar, Lidar, Infrarot und Ultraschall) prognostizieren. In Verbindung mit intelligenter Software wird es dann noch besser als bisher gelingen, das dynamische Verhalten des Fahrzeugs und das Geschehen auf der Straße mit elektronischen Systemen zu detektieren und zu interpretieren. Bestehende Assistenzsysteme werden durch ständige ergonomische Begleitforschung, in die der Lehrstuhl für Ergonomie der TU München seit Jahren eingebunden ist, weiter optimiert werden.

Bekanntlich arbeiten technische Systeme nicht fehlerlos. Auch aus diesem Grund fordert der Gesetzgeber den Grundsatz "Hand vor Automatik", d.h. der Fahrer muss in jeder Situation "Herr der Lage" sein. Auf der anderen Seite folgt der Straßenverkehr, trotz aller Verkehrsregelungen, keinen deterministischen Regeln, die den Grundsatz "Automatik vor Hand"<sup>13</sup> rechtfertigen könnten. Hinzu kommt, wie eingangs bereits erwähnt, das eingeschränkte Vertrauen der Fahrer in moderne Automobiltechnik. Insofern bietet die Möglichkeit, die Technik zu dominieren, gleichzeitig eine Chance für die Nutzung dieser Systeme ("Ich fahre ganz gerne mit dem ACC, kann es aber jederzeit abschalten").

Aus ergonomischer Sicht wäre es daher sinnvoll, den Fahrer darüber zu informieren, welche von einem Assistenzsystem verarbeitete Information zu einer Entscheidung und Reaktion geführt hat. Wenn z.B. das ACC-System verzögert, wird der Fahrer zwar glauben, dass die Technik seinen Vorgaben folgt, überprüfen kann er die Funktion allerdings nicht, da z.B. ein 1,5 Sekunden Abstand bei 130 km/h für ihn als Distanz in Metern zum vorausfahrenden Fahrzeug weder während der Fahrt berechenbar, noch als Entfernung in der Realität richtig abschätzbar ist. Diese zusätzliche, für die Führungsaufgabe wichtige Information muss dem Fahrer situationsadäquat visualisiert werden, damit sie in Relation zur aktuellen Verkehrssituation unmissverständlich interpretierbar ist.

Für alle Informationen, die großenteils in die Wirklichkeit zu übertragen sind, bietet sich das sog. Kontakt analoge Head-up-Display (HUD) an. Bubb (1976) hat in seinen Untersuchungen zur Anzeige des Bremsweges im Kraftfahrzeug die Funktionsweise des HUD vorgestellt und dann gemeinsam mit Assmann (1985) ein Versuchsfahrzeug mit dieser Anzeige ausgerüstet. Abb. 17 zeigt den Blick des Fahrers durch den "Combiner"<sup>14</sup> auf die Straße, auf welcher der Abstandsbalken als virtuelles Bild einer stabförmigen Lichtquelle auf der Straße zu "liegen" scheint und in der richtigen Entfernung vor dem eigenen Fahrzeug den Sicherheitsabstand oder Bremsweg anzeigt.

Das Kontakt analoge HUD wäre eine sinnvolle Ergänzung für mehrere Assistenzsysteme im Fahrzeug (ACC: Anzeige des vorgegebenen Sekunden-Abstandes als Distanz vor dem Fahrzeug; HC: Anzeige des Toleranzbandes auf der Straße, in dem das Fahrzeug gehalten werden soll; Navigationssystem: Darstellung von Wegweispfeilen auf der Straße). Wie bereits im Zusammenhang mit haptischen Rückmeldungen durch das Aktive Bedienelement erläutert, sollten diese Informationen nur dann im HUD angezeigt werden, wenn sie der Fahrer zur Unterstützung des Situationsbewusstseins benötigt. Für das ACC- und HC-System würde das bedeuten, dass kurz vor dem Eingriff des Systems der Fahrer durch die entsprechende Anzeige im HUD über die Annäherung an eine Gefahrengrenze informiert wird. Mit diesen zusätzlichen Informationen würde es dem Fahrer auch wesentlich erleichtert, das dynamische Verhalten dieser Assistenzsysteme zu verstehen. Mit verschiedenen Sensorsystemen kann der Verkehrsraum um das Fahrzeug überwacht werden (z.B. Night Vision, s. Abb. 2, Park Distance Control). Für den Fahrer werden nicht

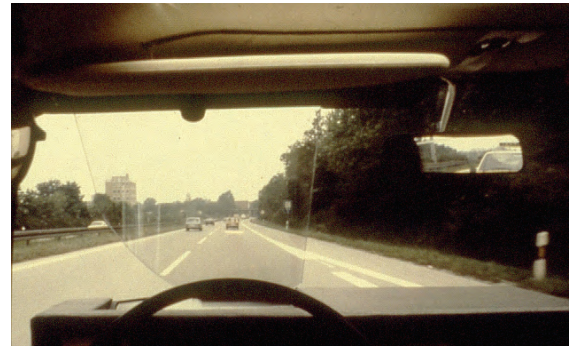


Abb. 17: Anzeige des Bremsweges oder Sicherheitsabstandes im Kontakt analogen HUD

<sup>13</sup> Dieser Grundsatz wird streng verfolgt beim Betrieb deutscher Kernkraftwerke. Dies ist aber nur möglich, da bei aller Komplexität die Prozesse streng determiniert sind, z.B. die Verfahren zur Durchführung von Lastwechseln. Erst die mehrfache und absichtliche Überwindung der Automatik hat 1986 zur Katastrophe in Tschernobyl geführt.

<sup>14</sup> Der Combiner "verbindet" als teilverspiegelte plane Glasscheibe den Strahlengang der Projektionseinrichtung mit dem Strahlengang des Fahrerrauges (monokular oder binokular).

### Literatur:

Assmann, E. (1985): Untersuchung über den Einfluss einer Bremsweganzeige auf das Fahrverhalten. Dissertation an der TU München.

Bolte, U. (1991): Das aktive Stellteil - ein ergonomisches Bedienkonzept. Fortschrittsberichte VDI-Reihe 17, Nr. 75, VDI-Verlag, Düsseldorf.

Bainbridge, L. (1987): The Ironies of Automation, In: Rasmussen, J., Duncan, K. & Leplat, J. (Eds.): New Technology and Human Error, Wiley, London

Bubb, H. (1976): Untersuchung über die Anzeige des Bremsweges im Kraftfahrzeug. Forschungsbericht aus der Wehrtechnik BMVg-FBWT76-7.

Bubb, H. (1981): The Influence of Braking Distance Indication on the Driver's Behaviour. In: Osborne, D.J., Levis, J.A. (Eds.): Human Factors in Transport Research, Vol. 1 und 2, 338.

direkt wahrnehmbare Hindernisse vor dem Fahrzeug, z.B. ein bei Nacht und Nebel am rechten Fahrbahnrand abgestelltes Fahrzeug, nur dann kritisch, wenn sie sich einem vom Fahrer noch beeinflussbaren Aktionsraum des Fahrzeugs annähern. Gemäß Abb. 18 lassen sich verschiedene Aktionsräume um das Fahrzeug unterscheiden.

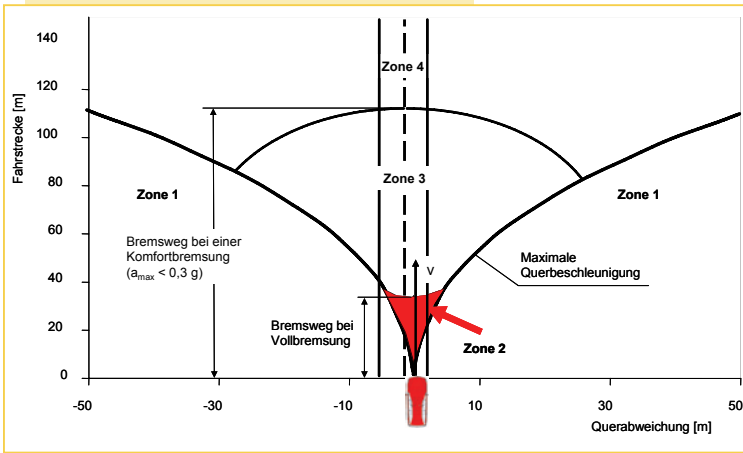


Abb. 18: Aktionsräume eines Fahrzeugs in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit

Innerhalb der Zone 1, die links und rechts neben dem Fahrzeug durch zwei Kurvenbögen begrenzt wird, deren Radius von der momentanen Fahrgeschwindigkeit  $v$  und der maximal möglichen Querbeschleunigung bestimmt ist ( $r = v^2/a_{\text{max}}$ ), sind keine Fahrmanöver möglich. Die Zone 2 ist seitlich durch diese Kurvenbögen und in Fahrtrichtung durch die Bremswegdistanz bei einer Vollbremsung definiert. Gelangen Hindernisse in diese Zone, ist eine Kollision unvermeidlich. Zone 3 ist in Fahrtrichtung durch den Bremsweg definiert, den das Fahrzeug bei einer Komfortbremsung zurücklegt, wobei davon ausgegangen wird, dass seitliche Ausweichmanöver (ggf. mit Verlassen der Straße) ebenfalls mit dieser konstanten Bremsverzögerung gefahren

werden. Zone 4 stellt einen uneingeschränkten Aktionsraum des Fahrzeugs dar.

Eine Warnung an den Fahrer erfolgt nur dann, wenn sich ein Hindernis in Zone 3 der Zone 2 mehr und mehr annähert, wobei für die rechtzeitige Warnung des Fahrers auch die Annäherungsgeschwindigkeit von Bedeutung ist. Diese Warnung könnte durch eine entsprechende haptische Rückmeldung des Aktiven Bedienelementes (Bewegung in Verzögerungsrichtung) und visuell durch Symbole im Kontakt analogen HUD erfolgen. Durch die zusätzliche optische Information im HUD wäre es für den Fahrer auch in diesem Fall einleuchtend, warum die Elektronik eingegriffen hat.

## 7 Zusammenfassung

Die technische Weiterentwicklung des Automobils soll bei weiter zunehmender Verkehrsdichte die Fahraufgabe erleichtern, um auf der einen Seite den Komfortanspruch des Kunden zu befriedigen und zum anderen einen Beitrag zur aktiven Sicherheit zu leisten. Die einzelnen Komponenten des passiven Unfallschutzes (Knautschzonen, Seitenaufprallschutz, steife Fahrgastzelle, Gurtstrammer mit Gurtkraftbegrenzern, deformierbare Lenksäulen, intelligente Airbagsysteme) erscheinen weitgehend ausgereizt. Eine weitere Senkung der Unfallzahlen und der Verkehrstoten ("Vision Zero") ist nur durch eine ständige Verbesserung der aktiven Sicherheit möglich.

Ein wichtiger Schritt in diese Richtung wurde bereits durch die Entwicklung von Assistenzsystemen auf der Ebene der Stabilisierungsaufgabe (ABS, ASR, ESP) getan, die den Fahrer in extremen Fahrsituationen unterstützen. Da Assistenzsysteme auf der Ebene der Führungsaufgabe mit Informationsverarbeitungsprozessen des Fahrers interagieren, erfordert ihre Auslegung die Beachtung systemergonomischer Regeln. Eine ergonomische Grundanforderung und gleichzeitig eine Anforderung des Gesetzgebers beziehen sich darauf, dass der Fahrer stets die Oberhand über ein technisches System behält. Darüber hinaus dürfen Assistenzsysteme auf der Ebene der Führungsaufgabe mit ständigen zusätzlichen Informationen (Anzeigen, Meldungen) nicht dominant wirken. Solange der Fahrer "auf der sicheren Seite" unterwegs ist, müssen diese Systeme vom Fahrer unbemerkt arbeiten. Erst wenn er sich einer Gefahrenzone nähert, müssen Assistenzsysteme in einer für den Fahrer verständlichen Form mit haptischen und optischen Rückmeldungen eingreifen. Ergonomische Lösungen, die diesem Anspruch gerecht werden, wurden als "Visionen" vorgestellt.

Werden diese Grundregeln bei der künftigen Auslegung von Assistenzsystemen berücksichtigt, wird die Elektronik im Kraftfahrzeug auch nicht länger als "Schnickschnack" abgetan werden. Und Akzeptanz ist schließlich die Grundvoraussetzung für mehr Sicherheit und Komfort.

Bubb, H. (1985): Arbeitsplatz Fahrer - eine ergonomische Studie. Automobilindustrie 30, 265-275.

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

Lammel, U. (1983): Gestaltung eines Fahrerarbeitsplatzes nach ergonomischen Gesichtspunkten. Diplomarbeit FH München.

Marsteller, R., Mayser, C., Kohlhof, S., Bubb H. (2001): Akzeptanzuntersuchungen zu einer automatischen Geschwindigkeitsregelung im Automobil. 4. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme "Bedienen und Verstehen", 14. - 15. Oktober 2001, VDI-Fortschrittsbericht, Reihe 22, Band 8, ISBN 3-18-300822-X.

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

Rassl, R. (2004): Ablenkungswirkung tertiärer Aufgaben im Pkw - Systemergonomische Analyse und Prognose. Dissertation an der TU München

Langen, P. (2005): Vom Fahrwerk zum Fahrerlebnis, Paradigmenwechsel. Vortrag auf der fahrwerk.tech, Tagung 4.-5. April 2005 in München. TÜV Automotive GmbH, TÜV Akademie GmbH, TÜV SÜD Gruppe.

# Assistenz zur Optimierung der Fahrerposition

Haltungskomfort und Sitzkomfort im Vordergrund der Betrachtung

Jürgen Hartung

Fahrzeughersteller bemühen sich zunehmend die Variabilität ihrer Kunden durch immer mehr Verstellmöglichkeiten von Sitz, Lenkrad oder sogar Pedalen gerecht zu werden. Mit jeder zusätzlichen Verstellmöglichkeit erhöht sich auch die Anzahl der Freiheitsgrade, auf die der Fahrer Einfluss nehmen kann.

Bei der Optimierung der verschiedensten Einstellmöglichkeiten wird der Fahrer dann alleine gelassen und unterliegt oft einer Überforderung durch die hohe Anzahl der möglichen Verstellungen.

Die hier im Fokus stehenden Verstellmöglichkeiten im Fahrzeug lassen sich alle auf Optimierung der Haltung des Fahrers gegenüber Fahrzeuggeometrien zurückführen. Es stellt sich nun die Frage, welche Kriterien können für diese Optimierung herangezogen werden?

Eine Grundforderung ist die Bedienbarkeit des Fahrzeuges an sich. Für diese Betrachtung wird davon ausgegangen, dass diese Forderung für gängige Fahrzeuge weitestgehend erfüllt ist und wird deshalb nicht weiter ausgeführt.

Damit treten die Kriterien Haltungskomfort und Sitzkomfort in den Vordergrund, welche über den Sitz eng miteinander verkoppelt sind.

## Betrachten wir zunächst den Haltungskomfort.

In diesem Bereich wurden bereits umfangreiche Studien durchgeführt. Ergebnis dieser Studien sind Komfortwinkelbereiche für die Körpergelenke, welche eingehalten werden sollten. Ziel eines Assistenzsystems muss es sein, diese Winkelbereiche in Abhängigkeit von den jeweiligen Körperabmessungen des Fahrers zu erreichen. Die automatische Verstellung der Fahrzeugkomponenten und Optimieren der Haltung stellen hierbei nicht die Hauptproblematik dar, sondern die fehlende Information über die Körperabmessungen des Fahrers. Eine einfach zu realisierende, aber recht umständliche Methode, wäre die Vermessung der relevanten Körpermaße des Fahrers und eine manuelle Eingabe in das Optimierungssystem. Die Herausforderung der Zukunft liegt darin, durch Sensorsysteme im Fahrzeug diese Daten vom Fahrer automatisch zu erheben.

Ist der erste Schritt der Ermittlung der optimalen Haltung durchgeführt, lassen sich weitere Optimierungsmaßnahmen hinsichtlich des Sitzkomforts vornehmen.

Untersuchungen am Lehrstuhl für Ergonomie haben gezeigt, dass insbesondere für die Sitzfläche eine bestimmte Verteilung der Last vom Fahrer, auch über lange Zeit, als optimal bewertet wird. Zudem zeigt sich die Tendenz, dass die Verteilung der Last auf der Sitzfläche sogar den Komfort im unteren Rücken maßgeblich zu beeinflussen scheint.

Haupteinflussfaktoren für die Verteilung der Last sind der Winkel zwischen Sitzfläche und Oberschenkel sowie die geometrische Ausformung der Sitzfläche. **Ziel einer Optimierung hinsichtlich des Sitzkomfort** muss es deshalb sein, im ersten Schritt die Neigung der Sitzfläche und im zweiten Schritt die Sitzoberflächengeometrie so anzupassen, dass die optimale Verteilung der Last möglichst gut angenähert wird. Die Verstellmöglichkeiten der Sitzoberflächen sind dabei heute schon in Form von Kinematiken für die Sitzverstellung und aktiven Sitzsystemen zur Beeinflussung der Oberflächengeometrie vorhanden. Diese Verstellungen können ggf. wiederum die Haltung beeinflussen, wodurch sich ein iterativer Optimierungsprozess ergibt (siehe Abbildung). Messsysteme wie z.B. die Sitzbelegungs-erkennung können zur Messung der aktuellen Lastverteilung in den Optimierungsprozess integriert werden. Die Herausforderung der Zukunft liegt darin, Algorithmen zu konzipieren, die diese Optimierung automatisch durchführen können.

Als letzte Herausforderung muss, wie immer bei Assistenzsystemen, **auf die Nutzerakzeptanz eingegangen werden**. Hier müssen Wege gefunden werden, entwickelte Systeme dem Kunden so näher zu bringen, dass er die Systemvorschläge als echten Mehrwert und nicht als eine Bevormundung erfährt. Dies bedeutet aber auch, dass Assistenzsysteme Vorlieben des Benutzers ggf. erkennen, aber auf jeden Fall berücksichtigen müssen.

## Assistenz zur Optimierung der Fahrerposition

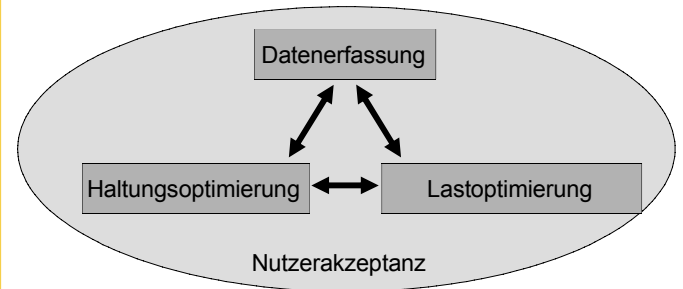


Abb.: Iterative Vorgehensweise bei der Optimierung der Fahrerposition, eingebettet in die Nutzerakzeptanz

# Fahrerassistenzsysteme

Ein Überblick über den jetzigen und zukünftigen zu erwarteten Stand

Hagen Wolf

## Einleitung

Fahrerassistenzsysteme in Personen- und Lastkraftwagen haben in den letzten Jahren verstärkt Einzug gehalten und es sind auch in Zukunft weitere neue Fahrerassistenzsysteme zu erwarten. Der Teilbereich der Systemergonomie beschäftigt sich intensiv mit der Auslegung der Mensch-Maschine-Schnittstelle, d.h. mit der Informationsaufnahme, Informationsverarbeitung und Informationsumsetzung bei der Bedienung und Nutzung von Fahrerassistenzsystemen.

Die Definition, wann ein System zu den Fahrerassistenzsystemen zu zählen ist, erfolgt in der Fachliteratur recht unterschiedlich (Freyman 2004, Wandke et al. 2005, Belz et al. 2004). Beispielsweise lässt sich die Frage, ob nun das Antiblockiersystem (ABS) zu den Fahrerassistenzsystemen zählt, recht unterschiedlich diskutieren. Aus Sicht der Ergonomie kann ein Fahrerassistenzsystem daran erkannt werden, dass es aktiv wird, wenn die Regelleistung des Fahrers unzureichend ist, was wiederum unterschiedliche Ursachen, wie zu heftige, mangelnde oder gar keine Reaktion des Fahrers haben kann. Insofern wäre das Antiblockiersystem zu den Fahrerassistenzsystemen zu zählen.

*Ein Fahrerassistenzsystem schützt den Fahrer vor folgenschweren Fehlhandlungen, assistiert bei immer wiederkehrenden Tätigkeiten und vermindert die Belastung und Beanspruchung des Fahrers bei der Erfüllung der Fahraufgabe.*

Häufig wird auch einigen Fahrerassistenzsystemen eine Komfortwirkung zugewiesen, die jedoch im Gefallensbereich des Fahrers selbst liegt und nicht objektiviert werden kann.

Die Fahraufgabe wird in der Ergonomie üblicherweise in die drei hierarchischen Ebenen Navigation, Bahnführung und Stabilisierung eingeteilt (siehe Abb. 2). Kann der Fahrer die Fahraufgabe auf einer der Ebenen nicht mehr erfüllen, dann muss er dies gleichermaßen auf der nächst höheren versuchen (siehe Bubb 1993, S. 406). Jedes System, das dem Fahrer auf einer der drei genannten Ebenen assistiert, ist somit ein Fahrerassistenzsystem. Das gilt damit für das Navigationssystem, das dem Fahrer auf der Navigationsebene assistiert. Hilfreich ist auch die Darstellung von Braess und Donges (2006), die die drei Ebenen einem zeitlichen Kriterium (Zeit vor einem potenziell kritischen Zeitpunkt) zuweisen. Wie in Abb. 2 zu erkennen, erfüllt der Fahrer Sekunden vor einem potenziell kritischen Zeitpunkt bzw. Ereignis die Fahraufgabe nur noch auf der Stabilisierungsebene. Nur noch Systeme, die dem Fahrer auf dieser Ebene assistieren, können dann noch wirksam werden.

## Unterscheidungsmöglichkeit von Fahrerassistenzsystemen

Eine erste Möglichkeit der Unterscheidung von Fahrerassistenzsystemen ist es zu differenzieren, ob das System eigenständig agiert oder ob es den Fahrer nur warnt und er selbst und unabhängig vom Fahrerassistenzsystem handeln muss. Die zweite Unterscheidung ist die, ob das System immer eingeschaltet und betriebsbereit ist oder ob es vom Fahrer explizit aktiviert bzw. deaktiviert werden muss. Hinzu kommt noch, ob der Fahrer noch zusätzlich Systemeinstellungen vornehmen kann oder muss.

Durch die beiden Unterscheidungsmöglichkeiten wird klar, wie viele unterschiedliche Fahrerassistenzsysteme es gibt. Die Mensch-Maschine-Schnittstelle fällt somit ebenso entsprechend der charakteristischen Eigenschaften der Fahrerassistenzsysteme unterschiedlich komplex aus. Die Komplexität steigt mit dem Informationsfluss zwischen Fahrer und System an der Mensch-Maschine-Schnittstelle.

Die nachfolgenden Tabellen (Teile 1-5) zeigen die aktuellen und zukünftig zu erwartenden Fahrerassistenzsysteme. In den Tabellen wird aufgezeigt, ob die Fahrerassistenzsysteme bereits auf den Markt verfügbar sind. Aus Sicht der Ergonomie wird verdeutlicht, um welche Art von Fahrerassistenz-

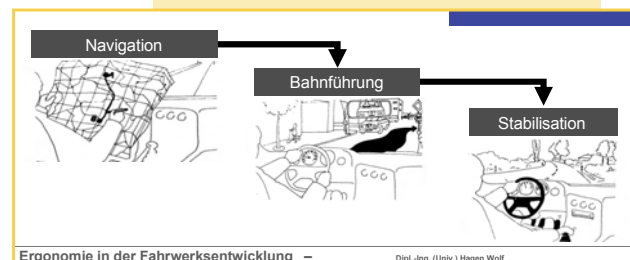


Abb. 1: Die drei Ebenen der Fahrzeugführung (nach Bernotat 1970)

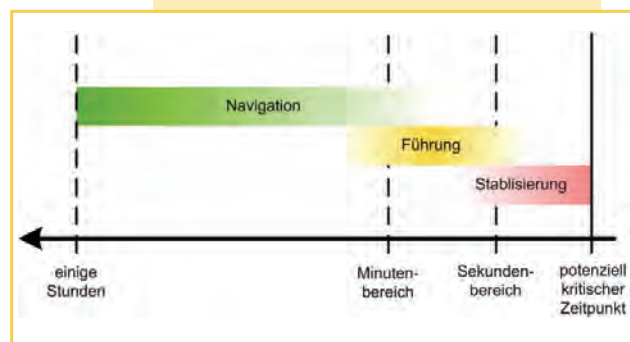


Abb. 2: Die drei Ebenen der Fahrzeugführung in Abhängigkeit vom zeitlichen Abstand zu einem potenziell kritischen Ereignis (Braess und Donges 2006)

systemen es sich handelt, bei welcher Fahraufgabe das Fahrerassistenzsystem assistiert und welche Komplexität die Mensch-Maschine-Schnittstelle hat. Die Tabellen beinhalten auch, wie eine nach derzeitigem Kenntnisstand ideale Mensch-Maschine-Schnittstelle für die einzelnen Fahrerassistenzsysteme aussehen sollte.

Fahrerassistenzsystem	ESP	Bremsassistent	ACC ACC Stop & Go	Night-Vision
<b>assistiert bei</b>	Fahrzeugquerführung (primärer Fahraufgabe)	Vollbremsungen (primäre Fahraufgabe)	Längsregelung (Abstand, sekundäre Fahraufgabe)	Dunkelheit (sekundäre Fahraufgabe)
<b>Art</b>	autonom agierend, vom Fahrer abschaltbar, bedingt einstellbar	autonom agierend	autonom agierend	vom Fahrer zu aktivieren
<b>ähnliche oder verwandte Fahrerassistenzsysteme</b>	-	Notbremsassistent, Front-Collision-Avoidance, Front-Collision-Warning	Lane-Keeping-Assistent, Road-Keeping-Assistent	-
<b>Marktverfügbarkeit</b>	auf dem Markt	auf dem Markt	auf dem Markt	auf dem Markt
<b>zusätzliche Rückmeldung des Eingriffs</b>	keine zusätzliche Rückmeldung erforderlich, jedoch als Glättewarnung	keine zusätzliche Rückmeldung erforderlich	ja	-
<b>empfohlene Einstellmöglichkeiten seitens des Fahrers</b>	Abschaltung für Schneeketten bzw. Einstellung mit größerer Regeltoleranz	keine Einstellbarkeit durch den Fahrer	Abstand (1) und Geschwindigkeit (2)	nur Displayeinstellungen (Helligkeit, Kontrast)
<b>Rückmeldung der Einstellungen</b>	ja	-	ja, optisch	im entsprechenden Menü
<b>Rückmeldung der Nichtregelbarkeit</b>	zeitlich nicht mehr sinnvoll	zeitlich nicht mehr sinnvoll	ja, optisch und akustisch	-
<b>Komplexität Mensch-Maschine-Schnittstelle</b>	gering	gering	hoch	gering
<b>ergonomische Herausforderungen und Schlüsselfaktoren</b>	Regeleingriff für Fahrer erkennbar und nachvollziehbar, um Glättesituation zu erkennen und für zukünftige Antizipation der Reibverhältnisse Reifen-Fahrbahn	über Pedalgefühl vermitteln, dass Fahrer eigentlich zu schwach bremsst und FAS mithilft (z.B. Wegziehen des Pedals).	Bedienaufwand und Bedienlogik, zeitkritische Rückmeldungen, Situationserfassung durch den Fahrer	Blickverhalten des Fahrers, Problem des Regelns nach dem Bildschirm, Zuordnung Bildschirm - reale Welt
<b>als ergonomisch optimalste Lösung angesehen</b>	Rückmeldung des Eingriffs durch Kontrollleuchte und leichte haptische Rückmeldung am Lenkrad (bei Eingriff an Vorderrädern), evtl. haptische Rückmeldung über aktives Gaspedal	nicht abschaltbar, eindeutiges unterscheidbares anderes Pedalgefühl bei Aktivierung	vom Fahrer zu aktivieren, Abstand und Einstellungen über kontaktanalogen Head-Up-Display, aktuelle Abstandsanzeige über haptisches Gaspedal	vom Fahrer bei Bedarf zu aktivieren, Anzeige im Head-Up-Display in 1:1-Darstellung; Bild entspricht in Farbe und Hell-Dunkel-Verteilung in etwa dem realen
<b>technischer Aufwand (Sensorik, Berechnung)</b>	gering	gering	mittel	mittel
<b>Verhinderung von Unfällen der Art...</b>	Kontrolle verlieren aufgrund zu hoher Geschwindigkeit bzw. Lenkaktivität	zu schwaches Bremsen	zu geringer Abstand, zu spätes Reagieren	Übersehen oder zu spätes Sehen bzw. Erkennen

Tabelle in 5 Teilen zur Erläuterung der Assistenzsysteme und deren Funktionen

Eine relativ starke Verbreitung und immer größere Beliebtheit haben die Navigationssysteme. Da sie von den Fahrzeugherstellern zusammen mit Radio und mit weiteren Informationssystemen (u.a. Bordcomputern) als ein einheitliches System angeboten werden, hat sich die Bezeichnung "Infotainmentsystem" etabliert. Navigationssysteme sind eindeutig den Fahrerassistenzsystemen zuzuordnen, da sie den Fahrer auf der Navigationsebene der drei unterscheidbaren Ebenen der Fahrzeugführung unterstützen. Für die Ergonomie sind Navigationssysteme eine Herausforderung, da ihre Bedienung und Funktionalität gegenüber anderen Fahrerassistenzsystemen sehr komplex ist, v.a. dann wenn sie Bestandteil eines zentralen Anzeige-Bedien-Konzepts sind (Bedienung von Klimaanlage, Radio, Fahrzeugvoreinstellungen, etc.). Die Vergleichbarkeit von Navigationssystemen gestaltet sich schwierig, wenngleich das immer wieder probiert wird. Bis heute gibt es kein gängiges bzw. standardisiertes Prüfverfahren, mit dessen Hilfe man die Handhabbarkeit von Navigationssystemen objektiv untereinander vergleichen kann.

Fahrerassistenzsystem	Notbremsassistent	Front-Collision-Avoidance (Bremsen und Ausweichen)	Front-Collision-Warning	Side-Collision-Avoidance
assistiert bei	Längsregelung (primäre Fahraufgabe)	Fahrzeuglängsführung (Bremsen, primäre Fahraufgabe) und Fahrzeugquerführung (Lenken, primäre Fahraufgabe)	Fahrzeuglängsführung (sekundäre Fahraufgabe)	Fahrspurwechsel, Überholen und Abbiegen (sekundäre Fahraufgabe)
Art	autonom agierend	autonom agierend	warnend	autonom agierend
ähnliche oder verwandte Fahrerassistenzsysteme	Bremsassistent, Front-Collision-Avoidance, Front-Collision-Warning	Notbremsassistent	Front-Collision-Avoidance, Notbremsassistent	Road-Keeping-Assistent, Lane-Keeping-Assistent, Spurwechselassistent
Marktverfügbarkeit	Einführung demnächst	Einführung unbekannt	Einführung demnächst	Einführung unbekannt
zusätzliche Rückmeldung des Eingriffs	je nach Art; handlungsauffordernd oder Rückmeldung der Selbstaktivität	keine zusätzliche Rückmeldung erforderlich	ja, optisch, akustisch und ggf. Bremsruck, evtl. stufenweise Warnung sinnvoll	haptisch über Lenkkraftänderung
empfohlene Einstellmöglichkeiten seitens des Fahrers	keine Einstellbarkeit durch den Fahrer	keine Einstellbarkeit durch den Fahrer	keine Einstellbarkeit durch den Fahrer	keine Einstellbarkeit durch den Fahrer
Rückmeldung der Einstellungen	-	-	-	-
Rückmeldung der Nichtregelbarkeit	zeitlich nicht mehr sinnvoll	ja, optisch und akustisch	-	ja, optisch und akustisch
Komplexität Mensch-Maschine-Schnittstelle	gering	gering	mittel	gering
ergonomische Herausforderungen und Schlüsselfaktoren	hohe Zuverlässigkeit der Erkennung und Regelung	hohe Zuverlässigkeit von Erkennung (unverstellter Ausweichweg) und Regelung; Systemverhalten, wenn Fahrer selbst zusätzlich noch aktiv wird	ausreichend frühe Warnung an den Fahrer	sichere Erkennung und Regelung der Situation, auch sicheres Erkennen der Situation geradeaus
als ergonomisch optimalste Lösung angesehen	nicht abschaltbar, Regelung im Head-Up-Display angezeigt, Einsatz in Kombination mit Front-Collision-Warnung, wenn Fahrer nicht adäquat reagiert	nicht abschaltbar, Regelung im Head-Up-Display angezeigt, Lenkwinkleingriff haptisch über Lenkkraftänderung angezeigt, Einsatz in Kombination mit Front-Collision-Warnung, wenn Fahrer nicht adäquat reagiert	nicht abschaltbar, stufenweise und rechtzeitige Warnung (3-stufig: optisch; optisch + akustisch; optisch + akustisch + Bremsruck + evtl. Zurückschieben des Gaspedals)	vom Fahrer bei Bedarf deaktivierbar, Eingriff akustisch und optisch (in den Spiegeln) angezeigt
technischer Aufwand (Sensorik, Berechnung)	hoch	hoch	mittel	hoch
Verhinderung von Unfällen der Art..	Übersehen, zu spätes oder kein Reagieren des Fahrers bei notwendiger Vollbremsung	Auffahren aufgrund von Übersehen, Nichtsehen, Blickabwendung	Auffahren aufgrund von Übersehen, Nichtsehen, Blickabwendung	Fehler bei Spurwechsel, Totwinkel, Geschwindigkeitsunterschätzung herannahendes Fahrzeug

### Zukünftige Entwicklung und zu lösende Probleme bei Fahrerassistenzsystemen

Zukünftige Entwicklungen bei den Fahrerassistenzsystemen sind vor allem durch die klassifizierten Unfallhäufigkeiten in den entsprechenden Unfallstatistiken getrieben. Hier werden vor allem Fahrerassistenzsysteme entwickelt, die schweren Unfällen entgegenwirken sollen. Die Motivation wird sehr häufig aus den Unfallzahlen gezogen, die ein sehr hohes Reduktionspotenzial suggerieren. Auf Basis der Unfallzahlen werden auch Abschätzungen vorgenommen, welche finanziellen Umsätze zukünftig in Deutschland mit Fahrerassistenzsystemen zu erwarten sind.

Es wird also anhand von geschätzten Ursachen versucht, ein passendes Fahrerassistenzsystem zu entwickeln. Mit geschätzter Ursache ist hier gemeint, dass es sich um Schätzungen der unfallaufnehmenden Personen handelt, was denn nun die tatsächliche Unfallursache war. Häufig ist eine überhöhte Geschwindigkeit als Ursache in den Unfallstatistiken zu lesen, da dies leicht festzustellen ist. Streng genommen handelt es sich also um auf-tretensorientierte Statistiken. Die eigentliche Ursache dürfte in den meisten Fällen unbekannt bleiben. Somit bleibt auch abzuwarten, inwieweit eine an den Unfallstatistiken orientierte Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen zur Senkung der Unfallzahlen hilfreich und sinnvoll ist. Nachfolgend soll diskutiert werden, welche Probleme bei der großflächigen Einführung der Fahrerassistenzsysteme entstehen können.

Problematisch für einige zukünftig angedachte Fahrerassistenzsysteme ist, dass ein einheitlicher Standard (z.B. beim Ampelassistenten) und der teilweise notwendige hohe Grad an Ausrüstung bei den Fahrzeugen notwendig ist. Hier dürfte es besonders schwer sein, die anfallenden Kosten an den Kunden weiterzugeben.

Gelöst werden muss auch das Problem der gleichzeitigen Rückmeldung. Nach derzeitigem Wissensstand kann der Fahrer nicht mehr als zwei gleich-

### Literatur

- Belz et al. 2004  
 Belz, J. et al.: Fahrerassistenz im Spannungsfeld zwischen Komfort- und Sicherheitsanforderungen. In: VDI (Hrsg.): 21. Internationale VDI/VW-Gemeinschaftstagung Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenz. VDI-Berichte Nr. 1864. Düsseldorf: VDI-Verlag, 2004.
- Bernotat 1970  
 Bernotat, R.: Anthropotechnik in der Fahrzeugführung. Ergonomics, Vol. 13, No. 3, 1970.
- Bubb 1993  
 Bubb, H.: Systemergonomie. Teil 5. In: Schmidtke, H. (Hrsg.): Ergonomie. 3. Auflage. München: Hanser Verlag, 1993.
- Bubb 2003a  
 Bubb, H.: Fahrerassistenz - primär ein Beitrag zur aktiven Sicherheit oder eher zum Komfort? VDI-Berichte Nr. 1768. Düsseldorf: VDI-Verlag, 2003.
- Braess und Donges 2006  
 Braess, H.-H.; Donges, E.: Technologien zur aktiven Sicherheit von Personenkraftwagen - "Konsumierbare" oder echte Verbesserungen?. Tagung "Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz", Garching b. München, 4.-5. April, 2006.

Fahrerassistenzsystem	Spurwechselassistent	Ampelassistent	Verkehrszeichenerkennung	Linksabbliegeassistent
<b>assistent bei</b>	Wechseln der Fahrspur (sekundäre Fahraufgabe)	Erkennen von Ampeln (sekundäre Fahraufgabe)	Erkennen von Verkehrszeichen (sekundäre Fahraufgabe)	Linksabbliegen (sekundäre Fahraufgabe)
<b>Art</b>	warnend	warnend	warnend	je nach Assistenzgrad warnend oder autonom handelnd
<b>ähnliche oder verwandte Fahrerassistenzsysteme</b>	Side-Collision-Avoidance	Verkehrszeichenerkennung	Ampelassistent	Kreuzungsassistent
<b>Marktverfügbarkeit</b>	auf dem Markt	Einführung unbekannt	Einführung unbekannt	Einführung unbekannt
<b>zusätzliche Rückmeldung des Eingriffs</b>	nein	nein	nein	bei autonomer Handlung Rückmeldung über Lenkkraftänderung
<b>empfohlene Einstellmöglichkeiten seitens des Fahrers</b>	keine Einstellbarkeit durch den Fahrer	bei Bedarf Voreinstellung Warnung vor roter Ampel und "grüne Welle"	bei Bedarf Voreinstellungen, welche Schilder erkannt werden sollen. Keine Abschaltung warnender oder vorfahrtsregelnder Schilder	keine Einstellbarkeit durch den Fahrer
<b>Rückmeldung der Einstellungen</b>	-	im entsprechenden Menü	im entsprechenden Menü	-
<b>Rückmeldung der Nichtregelbarkeit</b>	-	-	-	ja, bei autonom handelnden durch optische und akustische Signale
<b>Komplexität Mensch-Maschine-Schnittstelle</b>	gering	mittel	mittel	mittel
<b>ergonomische Herausforderungen und Schlüsselfaktoren</b>	Erkennung der Spurwechselabsicht, auch wenn Fahrer Blinker gar nicht oder zu spät setzt, sichere Erkennung auch von kleineren Fahrzeugen	Standard für Kommunikation mit Ampel; zuverlässige Warnung falls Ampel vorhanden, aber nicht erkannt (Problem, dass sich Fahrer auf das System verlässt)	stufenweise Warnung erforderlich; Auswahl der Schilder; Zuverlässigkeit der Erkennung; unklares Fahrverhalten auf Assistenten v.a. bei Vorfahrt regelnden Verkehrszeichen	rechtzeitige Warnung des Fahrers womöglich nicht möglich; Vielzahl von Kreuzungstypen; stark unterschiedliches Abbliegeverhalten
<b>als ergonomisch optimalste Lösung angesehen</b>	vom Fahrer bei Bedarf deaktivierbar, im Spiegel wird Objekt hervorgehoben, bei Spurwechselabsicht zusätzlich akustische Warnung (örtlich codiert)	vom Fahrer bei Bedarf deaktivierbar, Anzeige bzw. kontaktsanaloge Hervorhebung der Ampel mit Geschwindigkeitsempfehlung für Überfahrt bei "grün"	vom Fahrer bei Bedarf deaktivierbar, Anzeige im Head-Up-Display	nicht abschaltbar, Anzeige von Regelung oder Nichtregelbarkeit im Head-Up-Display
<b>technischer Aufwand (Sensorik, Berechnung)</b>	mittel	mittel	mittel	hoch
<b>Verhinderung von Unfällen der Art...</b>	Fehler bei Spurwechsel, Totwinkel, Geschwindigkeitsunterschätzung herannahendes Fahrzeug	Übersehen roter Ampeln	Übersehen von Vorfahrts-, Geschwindigkeits- und Gefahrenzeichen	Übersehen oder Fehleinschätzung des Gegenverkehrs

Freyman 2004

Freyman, R.: Möglichkeiten und Grenzen von Fahrerassistenzsystemen und aktiven Sicherheitssystemen. Tagung "Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz", Garching b. München, 11.-12. April, 2004.

Ehmanns und Kosch 2006

Ehmanns, D.; Kosch, T.: Entwicklung von Kreuzungsassistentensystemen und Funktionalitätserweiterungen durch den Einsatz von Kommunikationstechnologien. Tagung "Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz", Garching b. München, 4.-5. April, 2006.

Meitinger et al. 2006

Meitinger, K.-H.; Heißing, B.; Ehmanns, D.: Linksabbliegeassistent - Beispiele für die Top-Down-Entwicklung eines aktiven Sicherheitssystem. Tagung "Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz", Garching b. München, 4.-5. April, 2006.

Straßberger und Adler 2006

Straßberger, M.; Adler, C.: Lokale Gefahrenwarnung in Fahrzeug-Ad-Hoc-Netzen - Eine umfassende Analyse und aktuelle Lösungsansätze. Tagung "Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz", Garching b. München, 4.-5. April, 2006.

zeitige Rückmeldungen aus Fahrerassistenzsystemen, Kommunikations- (z.B. Telefon) und Informationssystemen (z.B. Kontrollleuchten) zeitgleich aufnehmen. Als zeitgleich wird der Zeitraum des Gegenwartsempfindens von 3s angesehen. Eine Reduktion der Rückmeldungen einzelner Fahrerassistenzsysteme ist ergonomisch nicht sinnvoll und kann unter Umständen gefährlich sein (Wolf et al. 2005 und Wolf et al. 2006). Es ist eher notwendig, die Rückmeldungen an den Fahrer in einer je nach Situation angemessenen zeitlichen Reihenfolge zu präsentieren.

Kritisch ist auch die Kundenakzeptanz, welche sich auch in den Verkaufszahlen bisheriger Assistenzsysteme zeigt, die hinter den Erwartungen zurückzubleiben scheinen. Ein Schlüssel zum Erfolg ist eine mit Bedacht gestaltete Mensch-Maschine-Schnittstelle und die Zuverlässigkeit des Eingriffs eines Assistenzsystems. Damit sind die Voraussetzungen besser, dass der Kunde auch bei seinem nächsten Fahrzeug wieder das gleiche Fahrerassistenzsystem bestellt.

Heute sind Fahrerassistenzsysteme vorwiegend unabhängige Einzelösungen, sog. Insellösungen. Derzeit wird neben den bekannteren Systemen wie ABS und ESP auch der Abstandstempomat ACC angeboten. Einzelne Fahrzeughersteller bieten seit kurzem Head-Up-Displays, Spurwechselassistenten und Notbremsassistenten an. In Zukunft dürften die Fahrerassistenzsysteme zunehmend vernetzter werden, um einzelne Insellösungen zu vermeiden. Der Connected-Drive-Ansatz der Fa. BMW hat dies zum Ziel. Die Vernetzung könnte beispielsweise sein, dass überwachende und warnende Fahrerassistenzsysteme autonom agierend Systeme aktivieren oder dass sich einzelne Fahrerassistenzsysteme gegenseitig informativ austauschen (z.B. Straßenverlaufsinformationen an den Abstandstempomat ACC). Denkbar wäre auch, dass der Fahrer zunächst nur gewarnt wird und eine autonome, vom Fahrer unabhängige Regelung dann erfolgt, wenn der Fahrer nicht bzw. nicht adäquat reagiert. Nicht zuletzt wird sich von einer Vernetzung eine zunehmendere Intelligenz der Fahrerassistenzsysteme erhofft.

Fahrerassistenzsystem	Kreuzungsassistent	Lane-Departure-Warning	Lane-Keeping-Assistent
assistiert bei	Annäherung und Überfahrt der Kreuzung (sekundäre Fahraufgabe)	Fahrzeugquerführung; Verlassen der Fahrspur (sekundäre Fahraufgabe)	Fahrzeugquerführung; Verlassen der Fahrspur (sekundäre Fahraufgabe)
Art	je nach Assistenzgrad warnend oder autonom handelnd	warnend	autonom handelnd
ähnliche oder verwandte Fahrerassistenzsysteme	Linksabbiegeassistent	Road-Departure-Warning	Road-Keeping-Assistent
Marktverfügbarkeit	Einführung unbekannt	auf dem Markt	Einführung unbekannt
zusätzliche Rückmeldung des Eingriffs	ja, bei autonom handelnden durch optische und akustische Signale	nein, evtl. jedoch mehrstufige Warnung sinnvoll	über Lenkkraftanstieg
empfohlene Einstellmöglichkeiten seitens des Fahrers	keine Einstellbarkeit durch den Fahrer	seitlicher Abstand	seitlicher Abstand
Rückmeldung der Einstellungen	-	optisch im Head-Up-Display oder im Instrumentenkombi	optisch im Head-Up-Display oder im Instrumentenkombi
Rückmeldung der Nichtregelbarkeit	ja, bei autonom handelnden durch optische und akustische Signale	-	ähnlich ACC, für Fahrer aber davon unterscheidbar
Komplexität Mensch-Maschine-Schnittstelle	mittel	mittel	hoch
ergonomische Herausforderungen und Schlüsselfaktoren	Zuverlässigkeit der Erkennung und Warnung	Kompromiss aus rechtzeitiger und nicht zu häufiger Warnung (Fahrerakzeptanz)	Ausreichend spürbare haptische Rückmeldung des Lenkwinkleingriffs, Lösung des Problems, wenn Fahrer während Lenkwinkleingriff zusätzlich noch deutlich lenkt.
als ergonomisch optimalste Lösung angesehen	nicht abschaltbar, auf Verkehrsregeln (diskrete Auslegung: verweist nur auf vorfahrtgewährende Schilder) und andere Verkehrsteilnehmer hinweisend (Richtung der Fahrzeuge akustisch codiert und im Head-Up-Display	vom Fahrer bei Bedarf deaktivierbar, keine mehrstufige Warnung, Lenkradvibration und zusätzliche akustische (örtlich codiert) und optische Anzeige im Head-Up-Display (kontaktanaloge Hervorhebung des Fahrspurrandes)	vom Fahrer bei Bedarf zu aktivieren, Eingriffsrückmeldung durch Lenkkraftänderung, sowie optisch (kontaktanaloge Hervorhebung des Fahrspurrandes) und akustisch angezeigt
technischer Aufwand (Sensorik, Berechnung)	hoch	mittel	hoch
Verhinderung von Unfällen der Art...	Übersehen oder Fehleinschätzung der Geschwindigkeit anderer Verkehrsteilnehmer; Übersehen von Verkehrsregeln	Spurverlassen aufgrund unterschiedlicher Ursachen (Übersehen, Ablenkung, Einschlafen, etc.)	Spurverlassen aufgrund unterschiedlicher Ursachen (Übersehen, Ablenkung, Einschlafen, etc.)

Eine gute und mit Bedacht gewählte ergonomische Auslegung ist vor allem bei komplexeren Fahrerassistenzsystemen notwendig. Am einfachsten dürfte die Mensch-Maschine-Schnittstelle bei autonom agierenden Fahrerassistenzsystemen ausfallen, da beispielsweise wie beim ESP, nur eine Kontrollleuchte für den Eingriff und den Systemausfall benötigt wird. Eine komplexere Schnittstelle ergibt sich beispielsweise für das ACC.

### Allgemeine Empfehlungen und Gestaltungsregeln für Fahrerassistenzsysteme

Für die Gestaltung von Fahrerassistenzsystemen gelten nachfolgende Empfehlungen und Regeln:

- Die Bedienung und Einstellung eines Fahrerassistenzsystems erfolgt immer als zusätzliche Aufgabe.
- Es ist zu erwarten, dass Einstellungen und Bedienungen, die im Stand vorgenommen werden könnten, auch zum größten Teil während des Fahrens durchgeführt werden.
- Das Blickverhalten des Fahrers ist im Fahrzeug völlig anders als beispielsweise vor einem Computer. Das kann zu größeren Bedienzeiten führen (in etwa das 2- bis 3-fache).
- Bei so genannten adaptiven (sich an den Fahrer anpassenden) Auslegungen ist zu beachten, dass der Fahrer sich selbst ebenso hoch adaptiv verhält. Es sollte also im Zweifelsfall auf eine Anpassung des Systems an den Fahrer verzichtet werden.
- Systemeinstellungen, Systemeingriffe, Systemausfälle, Übernahmeauforderungen müssen dem Fahrer über die Mensch-Maschine-Schnittstelle mitgeteilt werden.
- Der Eingriff eines Assistenzsystems muss dem Fahrer stets situationsadäquat erscheinen.

Wandke et al. 2005

Wandke, H.; Wetzstein, E.; Polkehn, K.: Handlungsbezogene Elementarbausteine für Fahrerassistenzsysteme. In: VDI (Hrsg.): Fahrer im 21. Jahrhundert - Der Mensch als Fahrer und seine Interaktion als Fahrer. VDI-Berichte Nr. 1919. Düsseldorf: VDI-Verlag, 2005.

Wolf und Bubb 2005

Wolf, H.; Bubb, H.: Ergonomie in der Fahrwerksentwicklung - Wo und wie kann sie dort hilfreich sein? Tagung "Fahrwerk.tech 2005", Garching b. München, 4.-5. April, 2005.

Wolf et al. 2005

Wolf, H.; Zöllner, R.; Bubb, H.: Ergonomische Aspekte der Mensch-Maschine-Interaktion bei gleichzeitig agierenden Fahrerassistenzsystemen. Zeitschrift für Verkehrssicherheit (ZVS), Nr. 3, 2005, S. 119-124.

Wolf et al. 2006

Wolf, H.; Zöllner, R.; Bubb, H.: Ergonomischer Lösungsansatz für die gleichzeitige Rückmeldung mehrerer Fahrerassistenzsysteme an den Fahrer. Tagung "Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz", Garching b. München, 4.-5. April, 2006.

Fahrerassistenzsystem	Road-Departure-Warning	Road-Keeping-Assistant	Wachhalteassistent
<b>assistiert bei</b>	Fahrzeugquerführung; Verlassen der Fahrbahn (sekundäre Fahraufgabe)	Fahrzeugquerführung; Verlassen der Fahrbahn (sekundäre Fahraufgabe)	Einschlafgefahr Fahrer (primärer und sekundärer Fahraufgabe)
<b>Art</b>	warnend	autonom handelnd	warnend
<b>ähnliche oder verwandte Fahrerassistenzsysteme</b>	Lane-Departure-Warning	Lane-Keeping-Assistant	-
<b>Markverfügbarkeit</b>	Einführung demnächst	Einführung unbekannt	Einführung unbekannt
<b>zusätzliche Rückmeldung des Eingriffs</b>	nein, evtl. jedoch mehrstufige Warnung sinnvoll	über Lenkkraftanstieg	nein
<b>empfohlene Einstellmöglichkeiten seitens des Fahrers</b>	seitlicher Abstand	seitlicher Abstand	keine Einstellbarkeit durch den Fahrer
<b>Rückmeldung der Einstellungen</b>	deutliche Rückmeldung der Deaktivierung	optisch im Head-Up-Display oder im Instrumentenkombi	-
<b>Rückmeldung der Nichtregelbarkeit</b>	-	ähnlich ACC, für Fahrer aber davon unterscheidbar	-
<b>Komplexität Mensch-Maschine-Schnittstelle</b>	mittel	hoch	gering
<b>ergonomische Herausforderungen und Schlüsselfaktoren</b>	Lösung des Zielkonflikts von rechtzeitiger Warnung (vermutlich bis zu 1s vorher) und angemessener Warnungshäufigkeit	Kompromiss aus rechtzeitiger und nicht zu häufiger Warnung (Fahrerakzeptanz)	berührungslose und diskrete Erkennung des Fahrers; Fahrerakzeptanz des Systems
<b>als ergonomisch optimalste Lösung angesehen</b>	vom Fahrer bei Bedarf deaktivierbar, keine mehrstufige Warnung, Lenkradvibration und zusätzliche akustische (örtlich codiert) und optische Anzeige im Head-Up-Display (kontakanaloge Hervorhebung des Straßenrandes)	vom Fahrer bei Bedarf zu aktivieren, Rückmeldung der Erfassung des Straßenrandes optisch, ähnlich ACC	diskretes berührungsloses System, dass nicht bevormundend auf den Fahrer wirkt (rein optische Anzeige), nicht abschaltbar
<b>technischer Aufwand (Sensorik, Berechnung)</b>	mittel	hoch	mittel
<b>Verhinderung von Unfällen der Art...</b>	Fahrbahnverlassen aufgrund unterschiedlicher Ursachen (Übersehen, Ablenkung, Einschlafen, etc.)	Fahrbahnverlassen aufgrund unterschiedlicher Ursachen (Übersehen, Ablenkung, Einschlafen, etc.)	Einschlafen des Fahrers, Sekundenschlaf, Ermüdung des Fahrers

- Die Rückmeldestrategie ist so zu gestalten, dass Hinweise, Gefahrenmeldungen und Übernahmeaufforderungen an den Fahrer von diesem unterscheidbar sind.
- Eine Rückmeldung über mehrere Sinneskanäle ist generell sinnvoller, als nur über einen einzelnen, vor allem dann, wenn der Fahrer innerhalb kurzer Zeit reagieren muss. Auf (zusätzliche) haptische Rückmeldungen kann der Mensch nachweislich 4-6 mal schneller reagieren.
- Eine haptische Rückmeldung (z.B. über Lenkkraftänderung) muss im Falle eines Assistenzeingriffs von anderen haptischen Rückmeldungen unterscheidbar sein und dem Fahrer situationsadäquat erscheinen.
- Akustische Rückmeldungen sollten soweit als möglich räumlich codiert sein. Wird z.B. beim Spurwechsel vor einem Auto auf der rechten Seite gewarnt, dann sollte möglichst eine akustische Warnung aus den rechten Lautsprechern des Fahrzeugs erfolgen.
- Kann der Fahrer Systemeinstellungen selbst vornehmen (z.B. Abstand beim ACC), dann sollte dies in nicht zu vielen Stufen möglich sein.
- Ist eine schnelle Fahrerreaktion erforderlich, so sollte eine möglichst haptische Rückmeldung erfolgen, die allerdings von anderen haptischen Informationen deutlich zu unterscheiden sein muss.
- Für Kontrastumfänge, Helligkeiten, Symboliken, Blinkfrequenzen, Mindestgrößen gelten die üblichen Gestaltungsregeln, die zum größten Teil in Normen formuliert sind.
- Warnungen müssen rechtzeitig erfolgen, in der Regel benötigt der Fahrer für Querregelsysteme eine Vorwarnzeit von ca. 1s, da er in etwa eine halbe Sekunde benötigt, um einen entsprechenden Lenkwinkel einzustellen.

# Virtual Reality als Hilfsmittel zur Beantwortung ergonomischer Fragestellungen

Florian Engstler

In den letzten Jahren haben Virtual Reality Systeme sowohl in der Industrie als auch in der Forschung eine gewisse Verbreitung gefunden. Dabei wird Virtual Reality (VR) heute jedoch noch oft als reines Präsentationswerkzeug verstanden und angewendet. Es stellt sich daher die Frage, welchen Beitrag VR als Hilfsmittel zur Beantwortung ergonomischer Fragestellungen leisten kann. Die folgenden Ausführungen zeigen anhand zweier Beispiele den potentiellen Nutzen, aber auch die Grenzen der Technologie auf.

Prinzipiell sind für die Anwendung von Virtual Reality in der Ergonomie zwei Anwendungsbereiche zu unterscheiden. Zum einen kann VR als Werkzeug für die ergonomische Gestaltung von Produkten verstanden werden. Dies zeigt sich beispielhaft an der virtuellen Begutachtung von Fahrzeuginnenräumen [2]. Zum anderen können VR-Technologien aber auch für die ergonomische Verbesserung von Arbeitsplätzen angewendet werden, indem Sie bisherige Anzeige- und Dialogtechniken erweitern oder ersetzen. Als entsprechendes Beispiel dient hier der Einsatz von Augmented Reality (AR) in der Montage [5].

Virtual Reality kann prinzipiell immer nur einen Ausschnitt der Realität wiedergeben. Diese Einschränkung beruht in erster Linie auf systemimmanenten Eigenschaften und den technischen Randbedingungen. So ist es beispielsweise nur mit hohem technischen Aufwand möglich, haptische Rückmeldung zu simulieren, wobei das Ergebnis in den seltensten Fällen überzeugen kann [4]. Weiterhin ist es mit den heutigen Systemen physikalisch nicht möglich, alle Tiefeninformationen (Konvergenz, Akkommodation), die der Mensch zu einer visuellen räumlichen Wahrnehmung kombiniert, zu simulieren [1]. Darüber hinaus spielt selbstverständlich auch die Qualität der virtuell dargebotenen Information eine entscheidende Rolle. Dies gilt besonders wenn es darum geht, dem Nutzer das Gefühl zu vermitteln, Teil der virtuellen Umgebung zu sein. Hier sind z.B. bei der visuellen Wahrnehmung eine möglichst fotorealistische Darstellung und ein hoher Detailreichtum des Modells von Vorteil. Speziell in diesen Bereichen schreitet die Entwicklung, nicht zuletzt getrieben durch die Computerspielindustrie, rasant voran. Generell sind VR-Systeme heute sehr stark auf die Darstellung visueller Informationen fokussiert. Erst durch die Einbindung weiterer Sinneskanäle wird jedoch eine umfassendere Simulation der Wirklichkeit möglich. Das langfristige Ziel ist also ein multimodales VR.

Der interessante Ansatz der beiden oben genannten Beispiele liegt nun in einer derartigen Kombination von realen und virtuellen Elementen, dass Schwächen der einen durch Stärken der anderen Welt zumindest teilweise ergänzt werden.

Im Fall der virtuellen Begutachtung von Fahrzeuginnenräumen (siehe **Abb. 1**) wird dies mit Hilfe sog. Mixed Reality Systeme erreicht. Hier wird ein Fahrzeug Mock-Up aus einigen realen Bauteilen wie Sitz, Lenkrad und Pedalen aufgebaut, welche dem Nutzer als Schnittstellen dienen und eine haptische Wahrnehmung der wichtigsten Bauteile ermöglichen. Die visuellen Informationen des restlichen Fahrzeugs werden nun rein virtuell dargestellt. Sie werden entweder über ein Projektionssystem [2] oder ein Head Mounted Display (HMD) [3] dargeboten. HMDs haben den Vorteil, den Nutzer komplett von der realen visuellen Welt zu entkoppeln. Dies kann den Eindruck, Teil der virtuellen Welt zu sein, fördern. Es erfordert aber auch eine virtuelle Repräsentation des Nutzers, da dieser sich selbst durch das HMD nicht mehr sehen kann. Zu diesem Zweck werden seine Haltung und Bewegungen erfasst und in Form eines digitalen

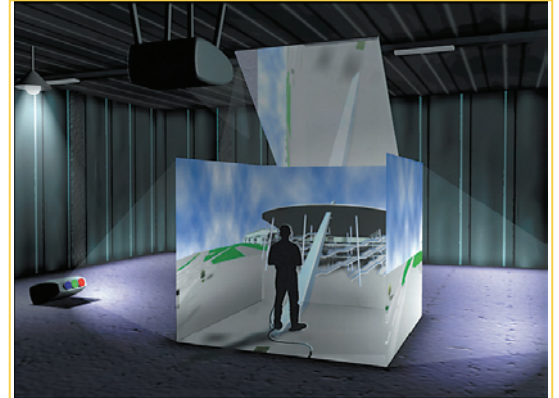


Illustration: Fraunhofer Institut Medienkommunikation IMK

*"Wie andere Technologien ist auch Virtual Reality nicht ein Entweder-Oder, sondern ein Sowohl-Als-Auch. Einige werden es als Mischung aus Unterhaltung, Flucht und Sucht benutzen, andere werden mit dessen Hilfe durch die gefährlichen und komplexen Probleme des 21. Jahrhunderts navigieren."*

Howard Rheingold, 1992.

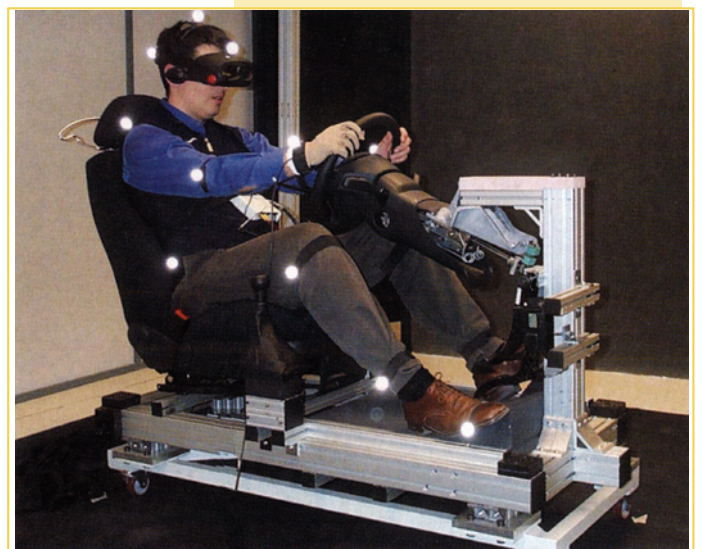


Abb. 1: Mixed Reality zur Fahrzeuginnenraumbewertung mit zusätzlichen Verkleidungselementen (AUDI AG, 2006)

#### Literatur:

- [1] Engstler, F., Zöllner, R., Seitz, T., Bubb, H., Research into the perception of dimensions in virtual environments, in: Proceedings IEA 2006 Congress, Elsevier
- [2] Hofmann, J., Raumwahrnehmung in virtuellen Umgebungen, Wiesbaden 2002, Deutscher Universitäts-Verlag



Abb. 2: Augmented Reality in der Montage  
(Internetseite metaio GmbH, 2006)

- [3] Schrader, K., Remlinger, W., Meier, M., Mixed Reality with Ramsis, In: Digital human modeling conference Tagung München 2002, Düsseldorf 2002, VDI
- [4] Zäh, M. F., Reinhart, G., Petzold, B., Patron, C., Force Feedback in VR/AR-Anwendungen - Grundlagen, Bewertungsgrößen und technische Integration, In: Tagungsband zum 1. Paderborner Workshop Augmented Reality und Virtual Reality in der Produktentstehung 2002, Paderborn 2002
- [5] Zäh, M. F., Wiesbeck, M., Rudolf, H., Vogl, W., Digitale Werkzeuge zur Unterstützung der variantenreichen Montage, S. 36-39, Jahrbuch Logistik 2006, Verlag free beratung GmbH

Menschmodells simuliert [3]. Dieser Aufbau ermöglicht nun, sich in einem rein virtuellen Fahrzeug umzusehen und Aspekte wie Design, Raumeindruck, Sichtverhältnisse und teilweise auch Erreichbarkeiten zu bewerten. Solche Analysen entwickeln sich gerade zu einem Bestandteil des Fahrzeugentwicklungsprozesses, da sie unter anderem bereits in recht frühen Entwicklungsphasen eingesetzt werden können und somit Entscheidungen vor der Existenz realer Prototypen ermöglichen.

Die Grenzen dieser Anwendungen sind vor allem durch technische Eigenschaften wie hohe Latenzzeiten, eingeschränkte Sichtfelder oder eine zu niedrige Auflösung der Displays bestimmt. Hier ist aber weiterhin mit einer positiven Entwicklung zu rechnen. Eine weitere Einschränkung stellt für viele Absicherungsumfänge die teilweise fehlende haptische Rückmeldung dar. So fällt es schwer beispielsweise Erreichbarkeiten zu prüfen, ohne das Bauteil tatsächlich berühren zu können. Ein vollständiger Ersatz realer Prototypen zur Ergonomieabsicherung wird also in absehbarer Zeit nicht zu erreichen sein. Jedoch kann VR als zusätzliches Hilfsmittel verstanden werden und evtl. Entwicklungsprozesse beschleunigen.

Auch die zweite, in Abb. 2 dargestellte Anwendung, der Einsatz von AR in der Montage [5], befindet sich noch im Forschungsstadium. Der Ansatz ist hier nicht die Simulation der Wirklichkeit, sondern eine Erweiterung der realen Umgebung um zusätzliche, zumeist visuelle Informationen. So können dem Nutzer Informationen, die heute papier- oder bildschirmbasiert dargestellt werden, bei Bedarf direkt am entsprechenden Ort dargeboten werden. Erreicht wird dies beispielsweise durch die Nutzung von AR-Brillen. Hier sieht der Nutzer durch ein lichtdurchlässiges Display die reale Umgebung, bekommt aber zusätzliche Informationen in das Sichtfeld eingeblendet. Die Herausforderung, aber gleichzeitig auch der Reiz dieses Konzepts ist nun, diese Informationen im Kontext zur Umgebung an der richtigen Position darzustellen.

Dies wird über entsprechende Trackingsysteme realisiert. Solch eine kontextsensitive Informationsdarbietung erhöht aufgrund der hohen Kompatibilität die Effizienz der Informationsausgabe und reduziert bei richtiger ergonomischer Gestaltung die mentalen Anforderungen bei der Informationsverarbeitung. Als problematisch stellen sich heute, neben den hohen Kosten solcher Systeme, die ortsgenaue Darstellung und die Darstellungsqualität dar. Aufgrund solcher Einschränkungen ist auch die Akzeptanz potenzieller Anwender im industriellen Umfeld bisher recht niedrig. Andere Systeme, die ohne das Tragen von Ausrüstung durch den Nutzer auskommen, und auch zu den AR-Technologien zu zählen sind, werden bereits eingesetzt. Ein Beispiel ist die Informationsdarstellung mittels Laserprojektion direkt auf Bauteiloberflächen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass VR-Technologien zwar ein hohes Potenzial für Anwendungen in der Ergonomie bieten, jedoch aufgrund des heutigen Standes der Technik nur sehr eingeschränkt für einen industriellen Einsatz geeignet sind. Um diese Lücke zu schließen, sind also weitere Forschungsvorhaben vonnöten.

# Designassistenz - Tools

SEA-Tool, Simuli, EKIDES und die erste Ergonomische Online Enzyklopädie

Iwona Jastrzebska-Fraczek

## Kurzfassung

Bei der Entwicklung neuer Technologien werden die Gewinnung von Informationen, Recherchen und Marktforschung eine immer bedeutsamere Rolle spielen. Bei der Verbreitung des Internets und der breiten Akzeptanz des Mediums sind Recherchen aller Art auf der einen Seite viel leichter geworden, auf der anderen Seite durch die unkontrollierte Flut von Informationen, bezogen auf die Fragestellungen, schwieriger geworden. Desto bedeutsamer ist es, neue Unterstützungsformen und Methoden zu entwickeln, die mit einer selektiven Informationsmenge Ingenieuren und Designern zur Verfügung stehen. Die am LfE entwickelten Software-Anwendungen bieten eine Unterstützung bei einer Aufgaben-Gestaltung und deren Inhalt, bei der Gestaltung von Produkten und Arbeitsplätzen und bei der Literaturrecherche. Die ergonomische Überprüfung bestehender oder sich in der Entwicklungsphase befindender Produkte wird mit mehreren Methoden unterstützt, basierend auf etablierten Usability Kriterien, Standards und ISO-Normen.

## 1 Einleitung

Im Gestaltungsprozess nach VDMA [10] - bestehend aus Nutzungskontextanalyse, Ableitung von Anforderungen hinsichtlich Bedienen, Gestalten, Visualisieren, Evaluieren und Entwicklungsbegleitung - spielt der Regelkreis zwischen Gestalten, Visualisieren und Evaluieren eine bedeutende Rolle (Abb. 1). Ein kurzer Überblick über die Software Anwendungen SEA-Tool, EKIDES, SIMULI und die Ergonomische Online Enzyklopädie zeigt, dass eine Designassistenz aus verschiedenen Blickwinkeln durchgeführt werden kann.

## 2 SEA Tool - Systemergonomische Analyse der Aufgaben

Das Programm basiert auf der systemergonomischen Analyse (Bubb, 1993), die eine Optimierung des Informationsflusses zwischen Mensch und Maschine gewährleisten soll. Jede Aufgabe, die geplant oder mit dem vorhandenen Produkt realisiert wird, kann in mehrere Handlungen zerlegt werden. Wie diese Handlungen zueinander stehen und wie der Dialog zwischen dem Menschen und der Maschine funktioniert, wird mit SEA-Tool visualisiert. Durch eine einfache Flussdiagrammdarstellung wird deutlich, welche Handlungsschritte (sequentielle Bedienung) zusammengefasst werden können und welche in einer gleich zur Verfügung stehenden Art (simultane Bedienung) den Benutzer überfordern.

Durch die kontextbezogene Bedienung des Flussdiagramms, kann der Benutzer die einzelnen Handlungsschritte zueinander verändern: löschen, umbenennen, verschieben. Neue simultane (z.B. zu Handlungen C, D, E - noch eine Handlung E1) oder sequentielle Handlungen (z.B. zu Handlungen A, B - noch eine Handlung B1) können erstellt werden. Die Darstellung eines dynamischen Flussdiagramms erlaubt dem Benutzer eine systemergonomische Betrachtung (Funktion, Rückmeldung und Kompatibilität). Das Fenster mit der systemergonomischen Analyse ist aufrufbar und eine entsprechende "Beratung" mit mehreren Beispielen erst möglich. In der Abb. 3 ist eine Sammlung von Gestaltungsbeispielen gezeigt, die durch die systemergonomische Analyse eines einzelnen Handlungsschrittes aufgerufen wurde.

Besonders hilfreich hat sich die zusätzliche Option (Menüleiste: Kompatibilität / Einführung) in SEA-Tool im Bereich der Kompatibilität erwiesen, welche mit den einzelnen Beispielen

Aktivität	Methoden	Dokumentation in VDMA Systemspezifikation	Definition von Aufgabenszenarien, Benutzergruppen und Nutzungsumgebungen für Evaluation
<b>Analysieren des Nutzungskontexts</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kontext-Workshops</li> <li>Beobachten + Interviews</li> <li>Focus Groups</li> <li>Aufgabenanalysen</li> </ul>	2.5 Benutzergruppen 2.6 Anwendung und Abläufe 2.1 Systemumgebung 2.2 Systemkonfiguration 4.3 Software Schnittstellen	Aufgabenszenarien für Gestaltung
<b>Ableiten von Anforderungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anforderungs-Workshops</li> </ul>	3.5.1 Bedienbarkeit	Evaluationsfragen
<b>Gestalten</b> (unter Berücksichtigung von Kapitel 2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gestaltungsworkshops</li> <li>Scenario Based Design</li> </ul>	4.1 Benutzerschnittstelle	
<b>Visualisieren</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Paper Prototypes</li> <li>Interaktive Prototypen</li> </ul>		
<b>Evaluieren</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Experten Review</li> <li>Usability Test mit Benutzern</li> </ul>		Argumente für Durchsetzung
<b>Begleiten Entwicklung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gestaltungsworkshops</li> </ul>	4.1 Benutzerschnittstelle	

Abb. 1 Überblick über alle Aktivitäten und Methoden, sowie Dokumentation in der Systemspezifikation gemäß VDMA Vorlage (VDMA Methoden & Verfahren, Teil 1 + Teil 2, 2001)

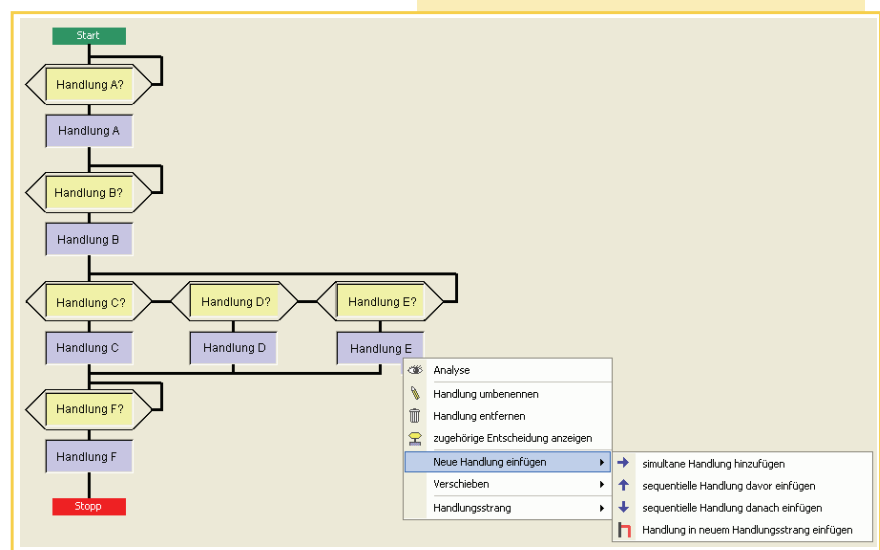


Abb. 2 Darstellung eines Flussdiagramms, um Aufgaben zu illustrieren



Abb. 3 Auswahl aus einem "Beratungsfenster" mit Design-Beispielen

len die Wichtigkeit dieses systemergonomischen Aspektes deutlich macht (Abb. 4). Durch Anklicken der Befehlsschaltflächen werden die Begriffe der primären, (äußeren und inneren) und sekundären Kompatibilität erklärt.

Das Programm SEA-Tool beinhaltet zur Zeit die Beratungsbeispiele aus

Abb.4 Kompatibilitätsprobleme bei Designaufgaben

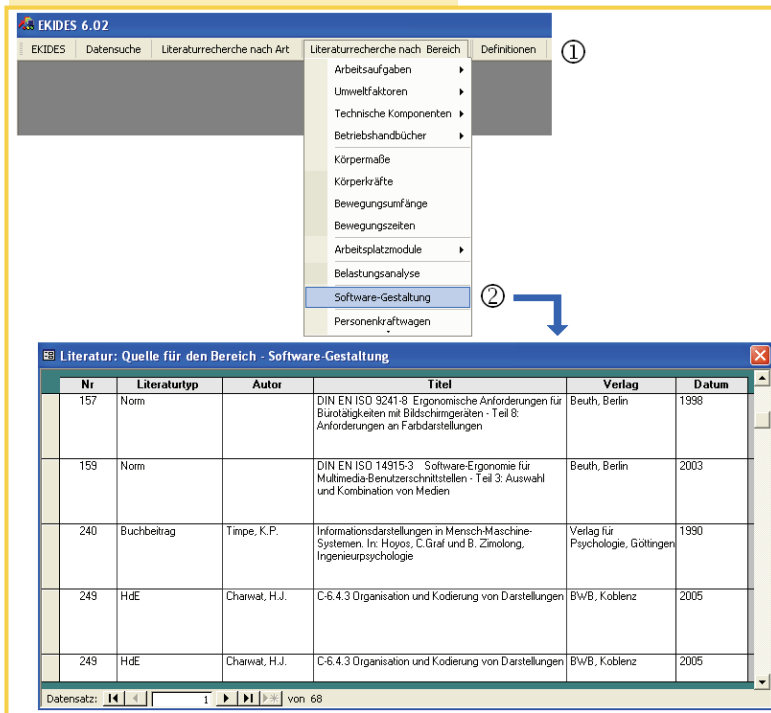
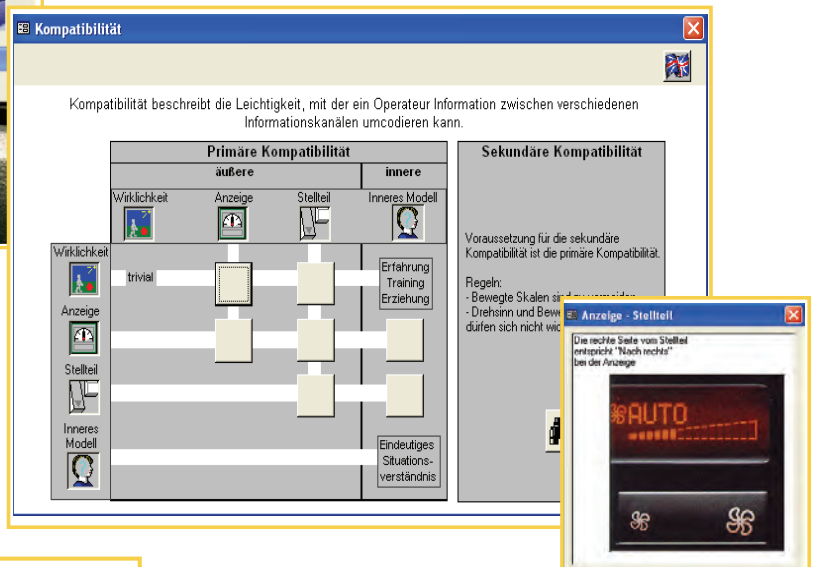


Abb. 5 Literaturrecherche nach "Art" und "Bereich", hier "Software-Gestaltung"

dem Bereich Fahrzeugtechnik, Software-Ergonomie und Informationstechnik.

Die zugrunde liegende Datenbank mit praxisbezogenen Designbeispielen, die dem Benutzerkreis als Hilfestellung dienen kann, wird ständig vergrößert, ohne Modifikationen am bestehenden Programm vornehmen zu müssen.

### 3 EKIDES (Ergonomics Knowledge and Intelligent Design System) Daten und Bewertungsmethoden

Die Software EKIDES (früher EDS, Schmidtke, H., Jas-trzebska-Fraczek, I. (2000)) ist ein umfassendes Ergonomisches Datenbank-System, das die ergonomiegerechte Konstruktion technischer Systeme, Produkte und Arbeitsplätze unterstützt. Mit mehreren Prüf- sowie Bewertungshilfen bietet das System eine Unterstützung in den drei wichtigsten Phasen des Gestaltungsprozesses (Abb. 1): Gestalten, Visualisieren Evaluieren. Das "Wissen" des Systems basiert auf Normen, Richtlinien und der Literatur. Die gezielte Informationssuche geschieht intuitiv durch eine klare Informationsarchitektur und Navigation im System. Die Einhaltung von Accessibility Richtlinien und die Transparenz des Systems werden am Beispiel der Software-Ergonomie gezeigt. Die Suche nach den wichtigsten Literaturquellen aus diesem Bereich ist mit EKIDES mit nur zwei Handlungsschritten (Abb.5) zu erreichen. Als Ergebnis erscheinen im Fenster

alle wichtigen Literaturquellen. Die ergonomischen Anforderungen sind in einer kurzen Form in den Datenblättern zusammengefasst. Ein Beispiel eines Blattes ist in der Abb. 6 dargestellt.

Die wichtigsten Gestaltungsprinzipien nach ISO 9241 Teil 10 (Aufgabenangemessenheit, Selbstbeschreibungsfähigkeit, Steuerbarkeit, Erwartungskonformität, Fehlerrobustheit, Individualisierbarkeit und Lernförderlichkeit) sind sowohl mit den Beispielen und Animationen als auch mit kleinen Experimenten visualisiert. Die besondere Rolle der Rückmeldung (VD-MA Richtlinie Leitfaden Software-Ergono-

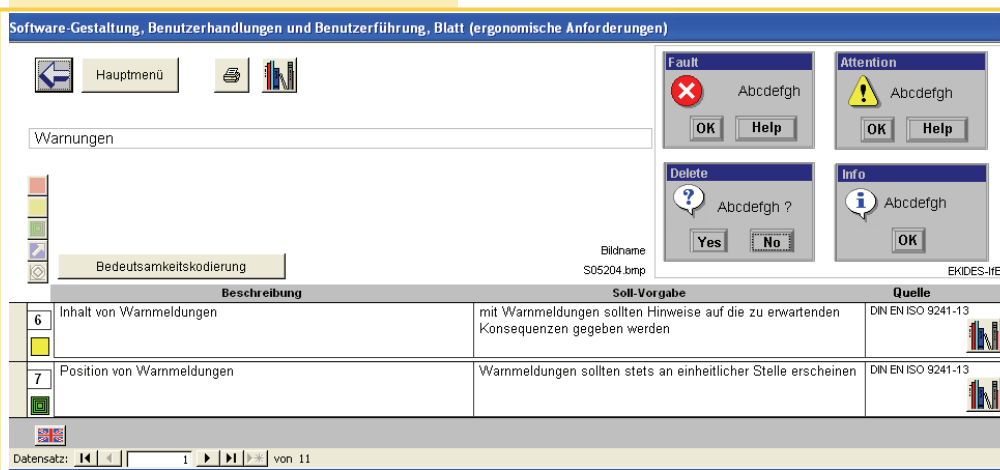


Abb. 6 Beispiel eines Blattes mit den Anforderungen für Warnungen bei einer Software-Gestaltung

mie [11]) bei der Gestaltung der Software ist mit den Zeit-Experimenten deutlich betont (Abb.7).

Die Überprüfung der Software kann auf der Basis der Datensammlung (rechnergestützte ergonomische Prüfung), mit den Checklisten oder mit der auf den sechs Kriterien basierenden (Funktionalität und Effizienz, Rückmeldung, Navigation, Erlernbarkeit, Fehlermeldung und Visueller Gestaltung) subjektiven Bewertung durchgeführt werden. Ein Beispiel der subjektiven Bewertung einer Software "Warehouse" durch drei User ist in der Abb. 8 dargestellt.

Die subjektive Bewertung kann sowohl durch Experten als auch durch eine ausgewählte repräsentative Stichprobe von Benutzern durchgeführt werden, die zur Entwicklung der Software beitragen können. Konkrete Verbesserungsvorschläge und auch kritische Bemerkungen können als Kommentare gespeichert werden, die bezogen auf die 6 Kriterien (s.o.) ein Bestandteil der subjektiven Bewertung sind. Für diese Art der Bewertung ist die nützliche und schnell ausführbare Usability Plattform geschaffen worden.

Sicherlich ähnelt diese Art von Akzeptanz-Messung der von zahlreichen Checklisten und ähnlichen Spinnennetz-Methoden ([2], [5], [8], [9]); in diesem Fall werden aber die Ergebnisse in einer Datenbank gespeichert und können auf Dauer eine sehr wichtige Rolle spielen, wenn die Kommentarsammlung von vielen Benutzer ständig benutzt und beobachtet wird.

Das System EKIDES wird ständig mit den neusten Literaturquellen aktualisiert. Zurzeit entstehen zwei zusätzliche Methoden im Bereich Prüfmodul: Gefährdungsanalyse und freie Akzeptanzanalyse, als Usability screening der Nutzerakzeptanz (Abb.9).

#### 4 SIMULI - Usability Plattform

Eine optimale Gestaltung kann manchmal durch den Vergleich unterschiedlicher Lösungsansätze gefunden werden. Das Programm SIMULI ermöglicht diese Betrachtungsweise durch eine Simulation, die auf Unterschiede in der Bedienungszeit, Bedienungsumfang und auf Fehlhandlungen hinweist. Somit ist das Programm SIMULI eine experimentelle "Software - Usability" - Plattform. Grundsätzlich werden für die Vergleiche mit SIMULI drei Gestaltungskonzepte dargestellt. Dabei können sowohl schon realisierte als auch die in der Entwicklungsphase befindlichen Konzepte verglichen werden.

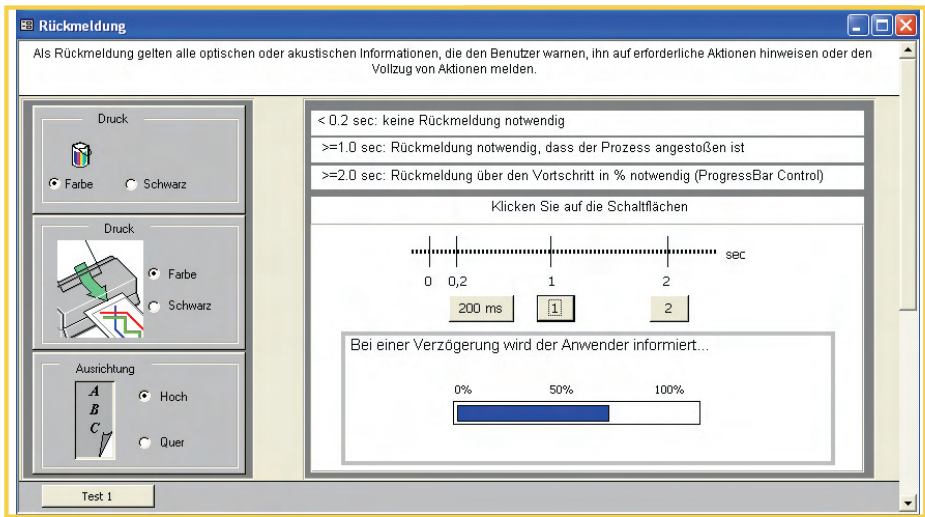


Abb. 7 Visualisierung der Rückmeldung bei der Gestaltung der Software

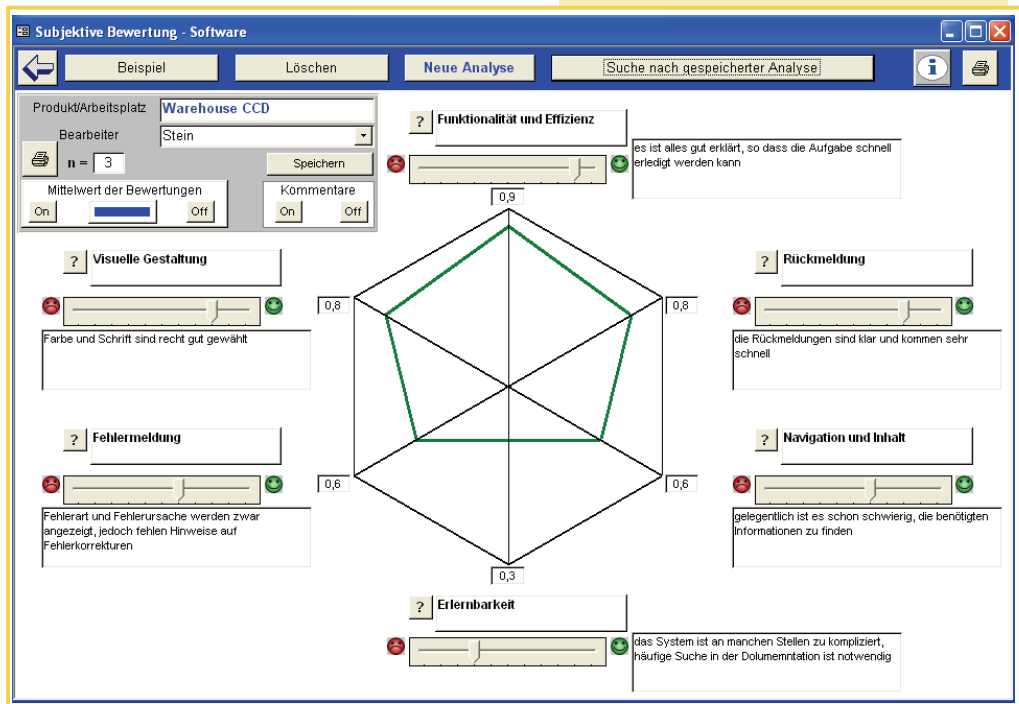


Abb. 8 Die subjektive Bewertung der Software

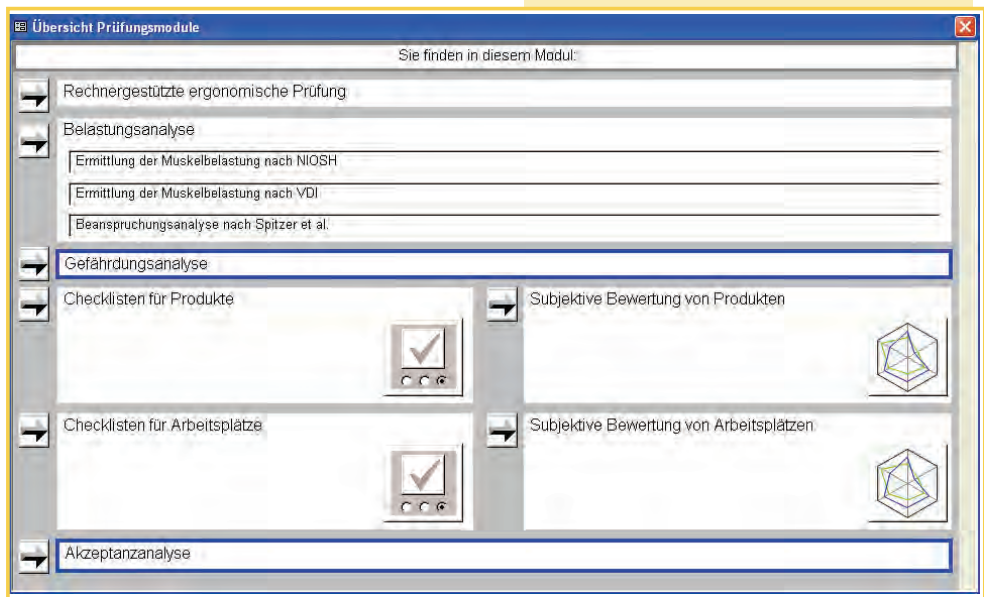


Abb. 9 Zusätzliche Methoden im Modul "Ergonomische Prüfung"



Abb. 10 Aufbau des Untersuchungsfensters

Das Untersuchungsfenster (Abb. 10) besteht aus drei Bereichen:

- im Zentrum des Dialogfensters wird das zu untersuchende Design abgebildet,
- rechts oben befindet sich die Aufgabe, die für den Benutzer formuliert ist,
- rechts unten im Navigationsbereich liegen die entsprechenden Befehlschaltflächen, mit denen die Untersuchung gestartet und beendet wird.

Das Fenster kann auch ohne die Untersuchung zu starten geschlossen werden. SIMULI ist am besten für Untersuchungen an Software-Gestaltungen geeignet (z.B. Menügestaltung), kann aber auch für die ergono-

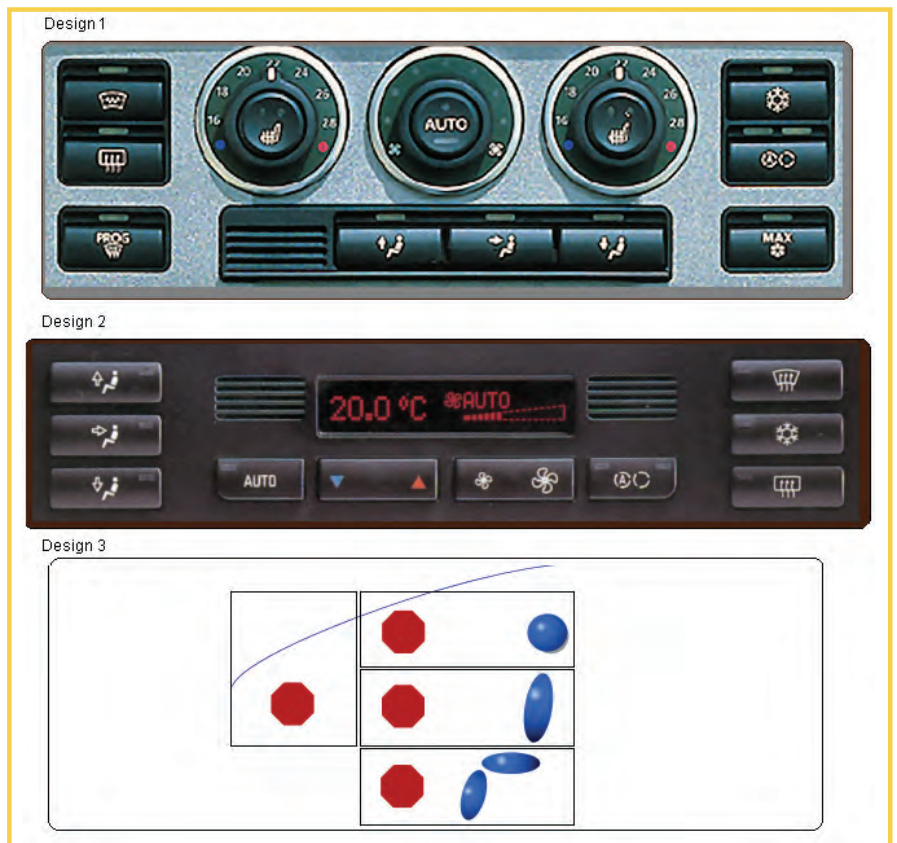


Abb. 11 Vergleich des Design für die Belüftungskontrollen

ische Analyse von Hardware-Komponenten eingesetzt werden. Abb. 11 zeigt drei unterschiedliche Designs für Klimabediengeräte, die in SIMULI visualisiert wurden. Die Aufgaben der Versuchspersonen (VP) werden konkret formuliert (z.B. Stellen Sie mit dem Test sicher, dass die Belüftung ausschließlich für die Frontscheibe, Kopfraum und Oberkörper aktiviert ist). Dabei kann analysiert werden, wie schnell die Benutzer symbolische Darstellungen in den abgebildeten Anlagen erkennen und wie oft Verwechslungsfehler auftreten, die durch ähnliche Icons für die Front- und Heckscheibe möglich sind.

Die Gesamtauswertung für diese Untersuchungsreihe ist in der Abb. 12 dargestellt. Hier werden die Unterschiede der durchschnittlich benötigten Zeit, die Anzahl der Bedienschritte und der Fehler sichtbar. Werden die drei Designs miteinander betrachtet, ist die dritte Lösung die beste. Offensichtlich spielt die klare Darstellung der Frontscheibe eine sehr große Rolle bei der Reduzierung der Fehleranzahl.

Gesamtauswertung				
Auswertung	Design 1	Design 2	Design 3	
Anzahl Testpersonen:	18	18	18	
Durchschnittliche benötigte Zeit:	26,56	14,97	10,27	
Durchschnittliche Bedienschritte:	3,8	3,167	3	
Durchschnittliche Anzahl Fehler:	0,5	0,667	0	
Geringste benötigte Zeit:	7,27	5,480	4,105	
Geringste Zahl an Bedienschritten:	1	2	3	
Geringste Anzahl Fehler:	0	0	0	
Größte benötigte Zeit:	76,40	21,89	18,02	
Größte Zahl an Bedienschritten:	5	5	3	
Größte Anzahl Fehler:	2	2	0	

Abb. 12 Ergebnisse der SIMULI Untersuchung

Durch diese unterstützende Methode kann der Konstrukteur oder Designer eine Kombination der besten Ansätze wählen und so die optimale Lösung finden.

Mit der Software SIMULI wurden Untersuchungen durchgeführt, die auf signifikante Unterschiede bei der Gestaltung der Druckersoftware hingewiesen haben. In Kürze werden Internet-Reisesuchmaschinen untersucht (Abb. 13).

### 5 Ergonomische Online Enzyklopädie

Die neueste Hilfestellung beim Nachschlagen gängiger ergonomischer Begriffe bietet die erste Ergonomische Online Enzyklopädie, die am Lehrstuhl für Ergonomie in Rahmen einer Diplomarbeit (Labitzke, 2005) konzipiert wurde. Die Enzyklopädie, die auf den Web-Seiten des Lehrstuhls für Ergonomie bereits seit Juni 2005 online ist (siehe Abbildung 14), basiert auf der ursprünglichen Definitionssammlung von EKIDES mit 1250 Begriffen. Nach der Wahl der Sprache auf der Startseite der Enzyklopädie stehen dem Benutzer eine Suchfunktion, der alphabetische Index und alle Elemente der Menüleiste zur Verfügung.

Der Benutzer kann über die Suchfunktion (in der Abb. 15 wurde das Wort "Reflexion" gesucht) oder dem alphabetischen Index nach den Begriffsinhalten der Ergonomischen Enzyklopädie suchen. Die Ergebnisse der Suche sind in gruppierter Form, links im Fenster angezeigt.

Betrachtet man die Ergebnisse in der Abb. 15, so stehen dem Benutzer fünf Begriffe zur Verfügung, die das Wort "Reflexion" an der ersten Stelle beinhalten. Davon sind die ersten vier Begriffe zusätzlich mit einer Grafik versehen, die durch das kleine Kamera-Icon gekennzeichnet ist. Die nächste Gruppe (Titeltreffer) beinhaltet die Begriffe, die das Wort "Reflexion" auch im Titel haben, nicht aber an der ersten Stelle. Die dritte Gruppe beinhaltet die zur Verfügung stehenden Begriffe, die in der Erklärung auch das Wort "Reflexion" beinhalten. Die Ergonomische Enzyklopädie steht zurzeit in deutscher und englischer Sprache zur Verfügung. Durch Anklicken der Befehlschaltfläche "Diesen Artikel anzeigen in Englisch" (Abb. 15) erscheint ein Fenster mit der englischen Übersetzung des Begriffes Reflexionsgrad (r). Die Ergonomische Enzyklopädie wird ständig erweitert.



Abb.13: Gestaltungs-untersuchung von drei Suchmaschinen-Seiten für Flugbuchungen.

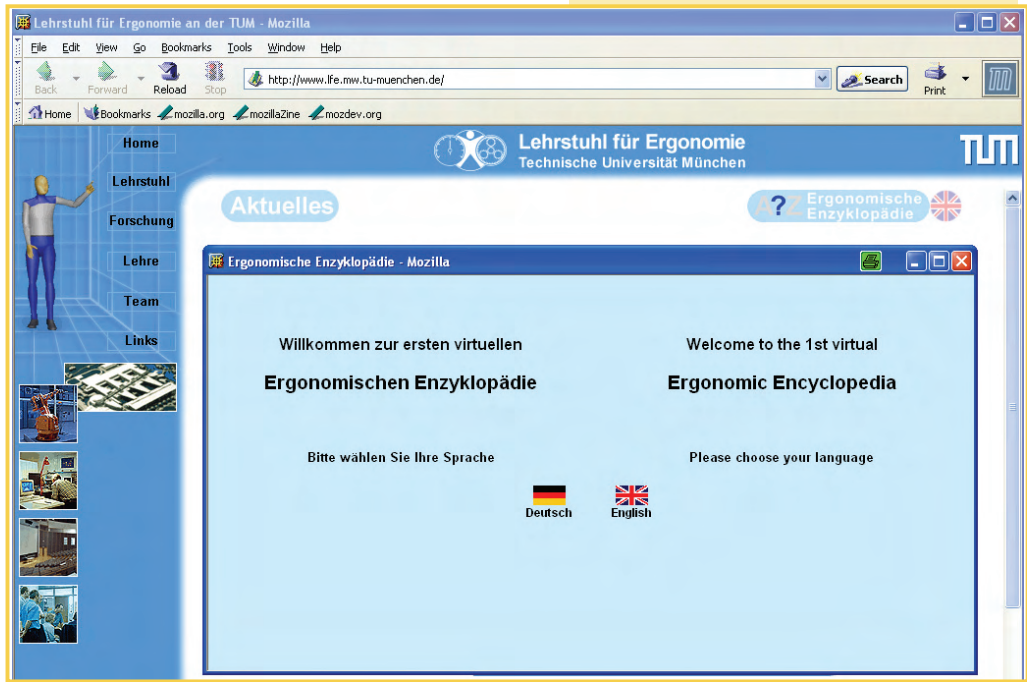


Abb. 14 Ergonomische Online Enzyklopädie

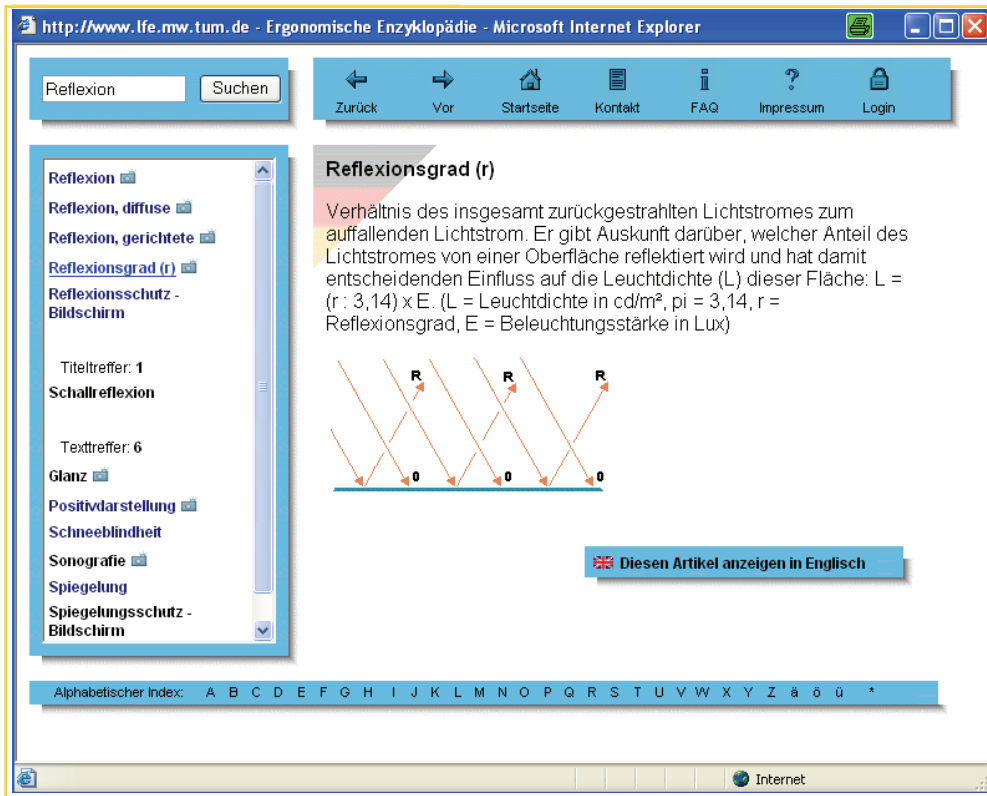


Abb. 15: Darstellung eines Begriffes aus der ergonomischen online Enzyklopädie

## 6 Ausblick

Die softwaretechnische Unterstützung von Anwendern bei der Gestaltung eines Produktes oder Arbeitsplatzes ist inzwischen durch verschiedene "Werkzeuge", wie Expertensysteme, Menschmodelle, Zusatzbibliotheken, elektronische Nachschlagewerke, Bewertungssysteme (Landau, 2000) gewährleistet. An der weiteren Entwicklung dieser Werkzeuge wird am LfE intensiv weiter gearbeitet mit dem Ziel, Prozesse zu veranschaulichen, Bedienfehler zu reduzieren oder zu visualisieren, Produkte sowohl objektiv als auch subjektiv zu bewerten.

## Literatur

- [1] Bubb, H. (1993): Systemergonomische Gestaltung; In: Schmidtke, H. (Hrsg.), Ergonomie, C. Hanser Verlag, München, 3. Auflage
- [2] Harker, S., Tilley, J. (2003): Developing for the subjektive evaluation of the usability of interactive consumer products. In: Proceedings of IEA Seoul proceeding
- [3] Jastrzebska-Fraczek, I., Bubb, H. (2003): Ergonomic Analysis of WEB Page with SEA - Tool. In: Proceedings Quality of Work and Products in Enterprises of the Future, Munich, Germany 989-992, Verlag Ergonomia, Stuttgart
- [4] Jastrzebska-Fraczek, I., Bubb, H. (2003): Software Design and Evaluation by Ergonomics Knowledge and Intelligent Design System (EKIDES). In: PsychNology Journal, Volume 1, Number 4, 378-390
- [5] Lin, X.X., Choong, Y.Y., Salvendy, G. (1997): A Proposal Index of Usability: A Method for Comparing the Relative Usability of Different Software Systems Behavior & Information Technology 16 4/5, 267-278
- [6] Labitzke, F. (2005): Entwicklung und Implementierung einer virtuellen Ergonomischen Enzyklopädie. Diplomarbeit Technische Universität München, 2005
- [7] Landau, K. (Hrsg.) (2000): Ergonomic Software Tool in Product and Workplace Design. Verlag ERGON GmbH. Stuttgart
- [8] Nielsen, J. (1993): Usability Engineering Academic Press Chapter, 115
- [9] Jeffries, R., Turner, AA., Polson, PG., Atwood, ME. (1981): The processes involved in designing software. In: Anderson, JR. (ed.), Cognitive skills and their acquisition. Erlbaum, Hillsdale, NJ, 255-283
- [10] Schmidtke, H., Jastrzebska-Fraczek, I. (2000): The ergonomic database system (EDS) - an example of computer-aided production of ergonomic data for the design of technical systems. In: Landau, K. (Ed.) Ergonomic Software Tools in Product and Workplace Design. Verlag ERGON, Stuttgart
- [11] VDMA Richtlinie Leitfadens Software-Ergonomie, Gestaltung von Bedienoberflächen. VDMA, Fachverband Software 2004
- [12] VDMA Methoden & Verfahren, Teil 1 + Teil 2, 2001

# Die Haptik von Bedienelementen

Die Optimierung des Informationsflusses in der Mensch-Maschine-Kommunikation entlastet den Fahrer

Jörg Reisinger

Der Fahrerarbeitsplatz hat sich in den letzten Jahrzehnten stark gewandelt. Eine Vielzahl zusätzlicher Aufgaben und Möglichkeiten während der Fahrt sind hinzugekommen, die Verkehrsdichte hat stark zugenommen, ganz abgesehen von einer wesentlich erhöhten Reisegeschwindigkeit. Wirtschaftliche Anforderungen der Globalisierung und Schnellebigkeit sind in den alltäglichen Gebrauch von Kraftfahrzeugen vorgedrungen. Nicht zuletzt deshalb, weil diese durch stetige Neuerungen und Weiterentwicklungen wiederum neue Möglichkeiten im beruflichen Alltag bieten. Das Automobil von heute stellt bereits einen Universalarbeitsplatz dar. Der Weg zum perfekten Automobil-Arbeitsplatz ist lange und keineswegs einfach. Es gibt vielerlei Aspekte der Mensch-Maschinen-Interaktion, die berücksichtigt werden müssen. Die Komfortpyramide (Abb. 1) liefert einen Anhaltspunkt, welche Aspekte höhere Priorität besitzen und vorrangig bearbeitet werden müssen: Je weiter unten ein Punkt gelegen ist, desto wichtiger ist dieser. Erst bei dessen zufriedenstellender Erfüllung werden die nächst höher gelegenen Punkte relevant. Viele dieser Aspekte sind heute so weit entwickelt, dass zunehmend Aspekte wichtiger werden, die der Menschen unbewusst wahrnimmt. Mit den heutigen Ansprüchen befinden wir uns längst in den obersten Bereichen der Komfortpyramide.



Abbildung 1: Komfortpyramide. Werden die tiefer gelegenen Ansprüche besser erfüllt, so gewinnen die darüberliegenden Aspekte an Bedeutung.

## Bedeutung der Bedienkonzepte

Bedienkonzepte rücken zunehmend in den Mittelpunkt. Ein wesentlicher Aspekt stellt die Bedienung der umfangreichen Technik dar. Ziel der Bedienkonzepte ist es, die Bedienung einer Vielzahl von Funktionen möglichst intuitiv zu gestalten.

Die Automobilindustrie geht in diesem Sinne den Weg, die Bedienelemente auf eine überschaubare Anzahl zu reduzieren. Verschiedene Beispiele wie das BMW „iDrive“, das Audi „MMI“ oder der Daimler-Chrysler „Command“ befinden sich bereits auf dem Markt.

„Zentrale“ Bedienelemente spielen dabei eine ganz „zentrale“ Rolle.

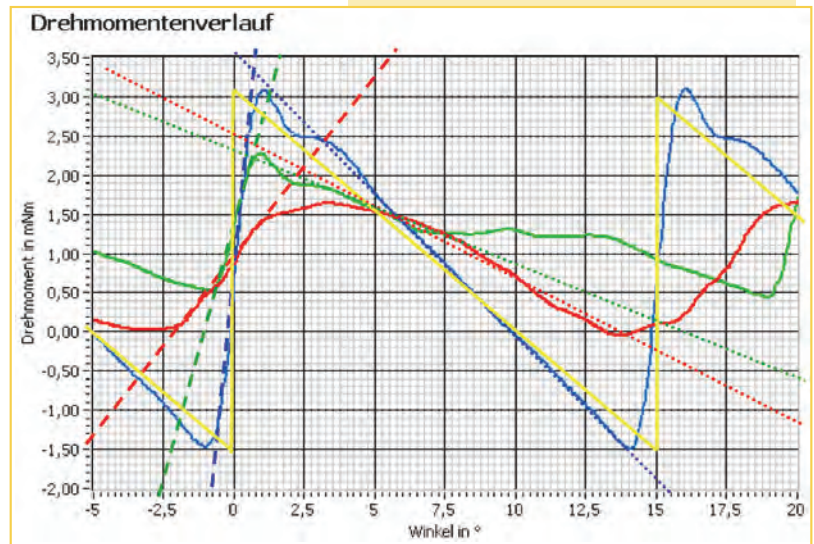
Funktionen von Systemen, wie Navigation, Radio und Klimaanlage werden mittels eines Displays visualisiert und die Auswahlmenüs durch Dreh-Drücksteller und einige wenige Funktionstasten bedient. Für eine eindeutige Rückmeldung (Feedback) des Bedienelementes ist eine präzise Positionierbarkeit notwendig, da eine daraus resultierende Fehlbedienung eine zusätzliche Belastung für den Fahrer bedeutet.

Ein klares Feedback kann auch durchaus schmerzhaft oder unangenehm empfunden werden. Ist dies der Fall, so wird das System gemieden werden und nur im äußersten Bedarfsfall verwendet, was ebenso wenig erwünscht ist wie ein minderwertiger Eindruck. In diesem Sinne sollte das Feedback einen

möglichst klaren und hochwertigen Eindruck beim Bediener hinterlassen und nebenbei trägt es unbewusst zum gesamten Qualitätseindruck und damit auch zur Kaufentscheidung bei.

## Betrachtung existierender Bedienelemente

Eine zunächst sinnvolle technische Beschreibung von rotatorischen Bedienelementen stellt die Darstellung des Drehmomentes über dem Drehwinkel dar. Dieser Zusammenhang lässt sich relativ einfach ermitteln, da sowohl Drehmomente und die zugehörige Position (Drehwinkel) direkt messbar sind. Abbildung 2 zeigt mehrere so ermittelte Drehmoment-Kennlinien. Zur



Bedienelement 1 (BMW) —  
Bedienelement 2 (Volvo) —  
Bedienelement 3 (Audi) —  
Idealisierte Kennlinie —

Abbildung 2: Messungen haptischer Drehmomentkennlinien im Automobilmarkt. Die durchgängigen Linien stellen die jeweilige gemessene Kennlinie dar. Die gestrichelten Geraden stellen vereinfacht die steigende Flanke, die gepunkteten die fallende Flanke der jeweiligen Kennlinie dar.

### Haptik:

Der Begriff ‚Haptik‘ stammt aus dem griechischen (griech.: haptain 'berühren, greifen, (be)tasten') und steht generell für die Lehre vom Tastsinn. ‚Haptik‘ umfasst alle Wahrnehmungen, die in unmittelbarem Zusammenhang mit ‚Anfassen, Erfühlen, Begreifen‘ stehen. Physiologisch umfasst Haptik sowohl Taktilität, wie auch Tiefensensibilität. Verhaltenspsychologisch wird Haptik als ‚aktive Berührung‘ aufgefasst, wobei der Bediener aktive Bewegungen bei der Erkundung eines Objektes ausführt.

### Taktilität:

Auch ‚Oberflächenwahrnehmung‘ genannt, umfasst physiologisch gesehen, die Sinnesorgane der Haut, welche Aspekte der Berührung vermitteln. Darunter fallen neben den Mechanosensoren (Merkel, Meissner, Ruffini und Pacini) auch die Thermosensoren für Wärme und Kälte und die für die Schmerzempfindung verantwortlichen ‚Nozizeptoren‘. Aus verhaltenspsychologischer Sicht gesehen, wird Taktilität meist als *passive Berührung* verstanden. Zumeist wird hierbei keine relative Bewegung zwischen Objekt und Benutzer angenommen. Genau betrachtet ist jedoch gerade zur Oberflächenerkennung eine relative Bewegung notwendig, um neben der Temperatur (Wärmekapazität des Stoffes), auch Vibrationen zu erzeugen, die weitere Aufschlüsse über das Material und dessen Beschaffenheit liefern.

### Tiefensensibilität:

Neben der Taktilität ist die Tiefensensibilität ein wichtiger Bestandteil der haptischen Wahrnehmung. Sie liefert Informationen über die Stellung des Skelettes und die Muskelkräfte. Organe sind die sog. Muskelspindeln (Weg), Golgieorgane (Kraft) und die Gelenkorgane (Winkelstellung). Sie geben wertvolle haptische Rückmeldung bei der Betätigung von Mechanismen.

### Kinästhetik:

Kinästhetische Organe liefern Informationen über die Stellung des Körpers im Raum. Dazu gehören die Macula- und Vestibularorgane im Innenohr. Sie liefern Informationen über die translatorische und rotatorische Beschleunigung des Körpers in allen drei Raumrichtungen (sechs Freiheitsgrade). Traditionell wird der Kinästhetik auch die Tiefensensibilität, welche die Stellung der Gliedmaßen und damit auch des Körpers im Raum beschreibt, zugeordnet. Aus informationstechnischer Sicht kann der Mensch jedoch klar zwischen der Beschleunigung des gesamten Körpers im Raum und der Belastung einzelner Körperteile und der eigenen Körperhaltung differenzieren. In umgekehrtem Sinne wird die Beschleunigungswahrnehmung bezüglich der Haptik von Bedienelementen keine Rolle spielen, es sei denn, das Bedienelement löst einen Schleudersitz oder ähnliches, auf dem man sich befindet, aus... Vor diesem informationstechnischen Hintergrund unterscheiden wir hier zwischen Kinästhetik und Tiefensensibilität.

haptischen Beschreibung translatorischer Bedienelemente wird die Kraft über dem Weg aufgetragen. Im Folgenden konzentrieren wir uns auf rotatorische Bedienelemente.

Weshalb gibt es jedoch solch große Unterschiede zwischen den Bedienelementen? Weshalb fühlen sich verschiedene Kennlinien hart, weich, rau, schwammig, präzise, hochwertig oder einfach billig an? Gibt es hier bestimmte Abschnitte oder Eigenschaften in den Kennlinien, die entsprechende Auswirkungen auf das ‚Feeling‘ eines solchen Bedienelementes haben?

Um relevante haptische Parameter zu finden, lohnt ein Blick in das weite Feld existierender Bedienelemente. Eine Recherche im Automobilmarkt zeigt auf, dass die Tendenz vorhanden ist, eine Drehmomentkennlinie ähnlich der eines steilen Sägezahns zu verwenden (siehe Abbildung 2, gelbe Kennlinie). Die Bezeichnung "steil" bezieht sich dabei auf die ansteigende Flanke des Sägezahns, von links nach rechts gesehen. In deren Mitte befindet sich der ‚Rastpunkt‘, auch ‚Ruhelage‘ des Bedienelementes genannt.

Die gemessenen Kennlinien variieren, was die Steigungen, Rundungen oder Ecken angeht. Es ist jedoch gut ersichtlich, dass die ansteigende Flanke (Abbildung 2, gestrichelte Linien) durchweg steiler ausgelegt ist, als die abfallende Flanke (Abbildung 2, punktierte Linien). Ein genereller Trend in diese Richtung scheint hier vorhanden zu sein.

Theoretisch betrachtet ergibt dies ein aus der Ruhelage heraus rasch ansteigendes Drehmoment, was einen sofort spürbaren Widerstand und damit eine eher eng und präzise geführte Ruhelage bewirken müsste.

Um diese Parameter genauer zu untersuchen, werden zunächst sämtliche Einflussgrößen der Bedienelemente betrachtet.

## Aspekte der Haptik von Bedienelementen

Die Haptik von Bedienelementen lässt sich in verschiedene Einflussgrößen unterteilen. Neben den allgemein aus Physiologie und Psychologie bekannten Differenzierungen (Oberflächensensibilität (Taktilität), Tiefensensibilität und Kinästhetik), lässt sich die Haptik von Seiten des Bedienelementdesigns auch in folgende technische Aspekte gliedern:

- Eine *übergeordnete Kurvenform* (Grundform der Drehmomentkennlinie ohne höherfrequente Anteile). Sie wird durch die mechanische Rastung erzeugt und meist mittels einer Kurvenscheibe und mindestens einer Feder realisiert.
- Die *statische Reibung*. Sie erzeugt abhängig von Materialpaarung und Oberflächengüte sowie der Lagerpressung einen Kraft- bzw. Drehmoment-Offset.
- Die *Reibpaarungen*. Sie haben dieselben Einflussgrößen wie die statische Reibung. Bei ihnen vermitteln diese jedoch typische Frequenzmuster aufeinander ‚gleitender Bauelemente‘ und damit deren Oberflächeneigenschaften wie bei ‚direkter Berührung‘.
- Die *Massenträgheiten* sind material- und geometrieabhängig. Sie haben Einfluss auf das dynamische Verhalten des Bedienelementes.
- Die *Wärmekapazität*. Sie beeinflusst das Temperaturverhalten, ist materialabhängig und vermittelt in diesem Sinne Material- und Oberflächeneigenschaften.

All diese Aspekte ergeben gemeinsam das haptische Feedback eines Bedienelementes.

Ein gesonderter Fokus liegt auf der oben genannten übergeordneten Kurvenform der Drehmomentkennlinie. Diese ist entscheidend dafür verantwortlich, wie exakt ein Bedienelement rastet und wie der Übergang von einer Rastung in die nächste erfolgt. Sie ermöglicht eine eindeutige Positionierung und damit verbunden eine geringere Ablenkung des Bedieners bei der Bedienung des Systems.

## Haptische Beschreibung von Bedienelementen

Im Folgenden konzentrieren wir uns auf die übergeordnete Kennlinie rotatorischer Bedienelemente.

Die gängige Darstellung des Drehmomentes über dem Drehwinkel ist schwer zu interpretieren und nahezu nicht intuitiv lesbar. Ein einfaches Bei-

spiel zeigt die Identifikation des Rastpunktes. Intuitiv wählen die meisten Personen die Ruhelage in einer Senke. Reell liegt sie jedoch in der Mitte der ansteigenden Flanke, da dort das Drehmoment ‚Null‘ wird. Es stellt sich die Frage, weshalb hier die Kraft in Form des Drehmomentes und nicht etwa eine andere physikalische Größe Anwendung findet, welche die oben genannten Probleme nicht aufweist. Wie bereits erwähnt, stellt das Drehmoment die physikalische Größe dar, die am einfachsten zu messen, technisch auch sinnvoll und damit erste Wahl ist. Andere Darstellungen müssen zuerst weiterverarbeitet werden. Es gibt also Grund zur Annahme, dass eine intuitive Beschreibung existiert.

Ausgehend von dem mechanischen Modell eines Bedienelementes wurde eine Darstellung entwickelt, welche die Topographie der Kurvenscheibe nachbildet. Dabei ergab sich die Darstellung des Integrals des Drehmomentes über dem Drehwinkel. Dies kann auch als Darstellung der Arbeit respektive Energie über dem Drehwinkel ausgedrückt werden.

In Versuchen wurde nachgewiesen, dass diese Darstellung den intuitiven Ansprüchen gerecht wird und damit eine hilfreiche Ergänzung ist.

## Haptik-Simulation

Zur näheren Untersuchung einzelner haptischer Parameter wurden haptische Simulatoren entwickelt. Mit ihnen ist es möglich, haptische Charakteristika am Rechner zu gestalten, diese direkt auf den entsprechenden Simulator zu übertragen und entsprechend haptisch spürbar wiederzugeben, so als bediene man ein echtes Bedienelement.

Das ermöglicht eine hohe Variabilität in kürzester Zeit ohne eine zeitaufwändige und teure Herstellung von Prototypen. Überdies sind in Vergleichsstudien, bei denen von Versuchspersonen zwei oder mehrere Bedienelemente verglichen werden sollen, die Randbedingungen dieselben, so dass weitere Einflussfaktoren ausgeschlossen werden, und nur die vorgesehenen Parameter variieren. Die zu diesem Zweck aufgebauten Simulatoren für Drehsteller und Drucktaster werden im Folgenden beschrieben. Sie sind für haptische Untersuchungen mit Probanden spezifiziert und bieten eine Vielzahl an Variationsmöglichkeiten.

Die Simulation haptischer Kennlinien von Bedienelementen erfordert die Wiedergabe einer positionsabhängigen Kraft, respektive eines Drehmomentes. Dabei gilt es, verschiedene Randbedingungen bezüglich Massenträgheit, Reibung, mechanischer Führung und Dynamik des Systems zu berücksichtigen.

Abb.: 3 zeigt den rotatorischen Simulator, Abb.: 4 zeigt den fertigen Aufbau des translatorischen Haptik-Simulators für Drucktaster.

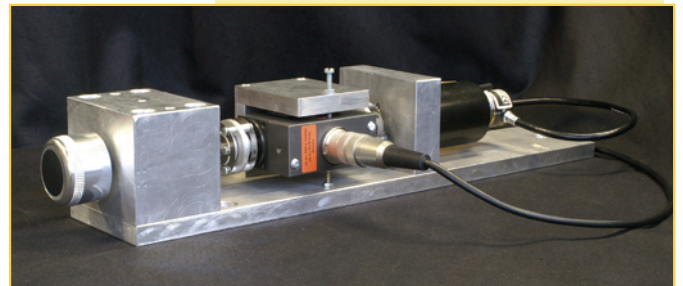


Abb.: 3: Simulator für rotatorische Bedienelemente.

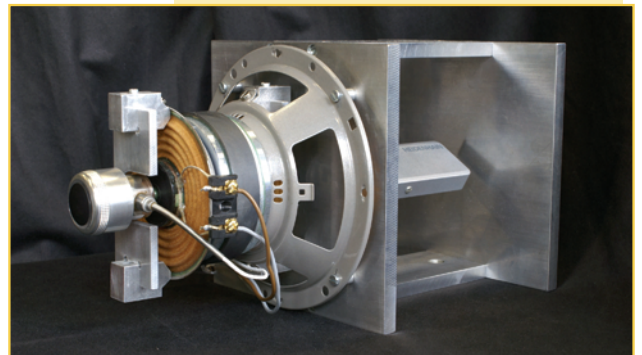


Abb.: 4: Simulator für translatorische Bedienelemente.

Der gesamte Vorgang basiert auf der Positions Vorgabe des Benutzers. Dieser beabsichtigt das Bedienelement in eine bestimmte Position zu bringen.

Im Normalfall ist dies bei Drucktastern das Erreichen einer Position, bei der eine Bestätigung des Schaltvorganges (Feedback) stattfindet. Es wird so lange versucht die Position zu ändern, bis sicher davon ausgegangen werden kann, dass die gewünschte Funktion ausgelöst worden ist. Das Feedback kann vielfältig ausfallen (haptisch, akustisch, visuell, aber auch Temperaturanpassung, Luftzug bei Fensteröffnung).

In Abb.: 5 ist schematisch der gesamte Vorgang der Regelung dargestellt: Der Benutzer gibt eine Position vor, die mittels eines Positionssensors erfasst wird. Aus dieser Position wird nun über eine vorgegebene Kennlinie der Form  $M(\varphi)$  das positionsabhängige Soll-Drehmoment vorgegeben. Der Vergleich mit dem aktuellen Ist-Drehmoment ergibt die Regelabweichung, welche an den Drehmoment-Regelalgorithmus weitergegeben wird und über den Aktor die Rückmeldung des Drehmoments (gängige Begriffe dafür sind auch ‚Kraftrückmeldung‘ oder ‚Force-Feedback‘) an den Benutzer gibt (Ist-Drehmoment).

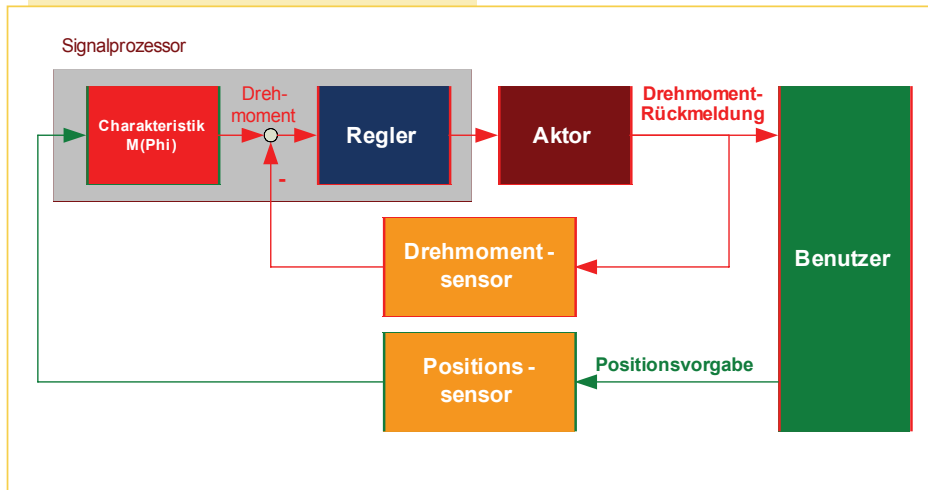


Abb.: 5: Reglerprinzip eines Haptik-Simulators für Bedienelemente (hier rotatorische, bei translatorischen steht äquivalent für das Drehmoment die Kraft)

Eine Vielzahl existierender Systeme steuert den Aktor ‚open-loop‘, d. h. ohne separate Kraft- bzw. Drehmomentregelung an. Die Verwendung einer solchen Kraftmessung bringt jedoch dynamische Vorteile, so dass Einflüsse von Massenträgheiten in einem gewissen Bereich reduziert werden können.

### Rotatorischer Simulator

Das Grundprinzip der rotatorischen Simulation (Drehsteller) läuft wie in Abb.: 5 dargestellt ab.

Der rotatorische Simulator ist wie folgt aufgebaut: Als Aktor findet hier ein

eisenloser Gleichstrommotor mit einem hochauflösenden Winkelencoder Verwendung. Eine Drehmomentenwelle liefert das Ist-Drehmoment. Das System ist kugellagert, um die Grundreibung möglichst gering zu halten.

### Translatorische Simulation

Das Grundprinzip der Simulation rotatorischer Bedienelemente läuft nach demselben Schema wie das der rotatorische Simulation ab. Anstelle der Drehmomente  $M$  müssen vorgesehene Kräfte  $F$  und als Positionswert der Weg  $x$  anstelle des Winkels  $\varphi$  verwendet werden. Demzufolge ergibt sich translatorisch die Charakteristik  $F(x)$  vergleichbar mit der rotatorischen Charakteristik  $M(\varphi)$ .

Aufgebaut ist der translatorische Simulator wie folgt: Der Aktor basiert auf einem Lautsprecher der Firma Ehmann & Partner, der anstelle der akustischen Membrane mit einer zweiten Zentriermembrane ausgestattet ist. Beide Zentriermembranen ergeben eine zwar begrenzte, aber dennoch sehr weiche, stick-slipfreie und eisenlose Linearführung. Eine hoch auflösende Positionserkennung liefert ein Messtaster der Fa. Heidenhain, der durch eine leichtgängige, kugelgeführte Aufhängung keine negativen haptischen Einflüsse mit sich bringt. Eine Kraftmessdose liefert den IST-Wert der Kraft, welche der Benutzer spürt.



Abbildung 6: Versuchsaufbau mit dem Simulator für rotatorische Bedienelemente, integriert in eine Sitzbox.

### Überprüfung von Beobachtungen am Simulator

Abb.: 6 zeigt den in einer Sitzbox integrierten Simulator für rotatorische Bedienelemente, wie er in Versuchsreihen eingesetzt wird. Es ist nur die ‚Kappe‘ des Bedienelementes zu sehen, also nicht, was sich sonst noch dahinter verbirgt, um einer falschen Erwartungshaltung entgegen zu wirken. Die zuvor aufgestellten Hypothesen zur übergeordneten Kurvenform werden durch Aussagen von Versuchspersonen am Simulator bestätigt: der steile Sägezahn (Abb. 7 c) bringt eine exakte, angenehme Positionierbarkeit und einen "weichen", "runden", "gut geführten" Übergang von einer zur anderen Rastung (Detent) mit sich.

Werden die Kennlinien (vgl. Abb. 7) von steilem Sägezahn (c) über Dreieck (d) oder Sinus (b) hin zum flachen Sägezahn (a) variiert, so nehmen die positiven Aussagen dahingehend ab, dass die Ruhelage als "weiter", "schwammiger" und "weniger präzise", bzw. der Übergang als "schnappend" und "unangenehmer" beschrieben wird.

Diese Aussagen decken sich mit Eindrücken der Probanden bezüglich der jeweils zugehörigen Integral-Darstellungen, wie sie in Abb. 8 (a)-(f) dargestellt sind.

Eine nähere Betrachtung der Integral-Kennlinien zeigt: Die enge Führung beim steilen Sägezahn (Abb. 8 c, grüne Pfeile) ist hier ebenso gut ersichtlich, wie die weite Ruhelage des flachen Sägezahnes (Abb. 8 a, blaue

Pfeile). Sinus und Dreieck befinden sich dazwischen. In diesem Sinne verhält es sich mit dem Übergang zwischen den Rastungen rund und weich beim steilen Sägezahn, während der flache Sägezahn in die nächste Ruhelage ‚schnappt‘.

## Zusammenfassung

Die Haptik von Bedienelementen stellt ein immer wichtiger werdendes Element der Mensch-Maschine-Kommunikation im Kraftfahrzeug dar. Der Informationsfluss wird optimiert und damit der Fahrer entlastet.

Eine Vielzahl von Aspekten beeinflusst das haptische Design eines Bedienelementes. Bei Drehstellern stellt die übergeordnete Charakteristik eine wesentliche Größe dar, welche das Einrasten und den Übergang zwischen diesen Rastungen charakterisiert. Die dafür verwendete Kennlinie des Drehmomentes über dem Drehwinkel weist interpretatorische Probleme auf und ist nicht intuitiv lesbar. Eine hilfreiche Ergänzung stellt das Integral des Drehmomentes, aufgetragen über dem Drehwinkel dar. Sie gibt Aufschluss über Art der Ruhelage und den Übergang von einer Rastung zur nächsten.

Das Projekt wird von der Landesstiftung Baden-Württemberg getragen und freundlicher Weise von den Firmen Schunk GmbH & Co.KG, Ehmann & Partner GmbH und der Audi AG unterstützt.

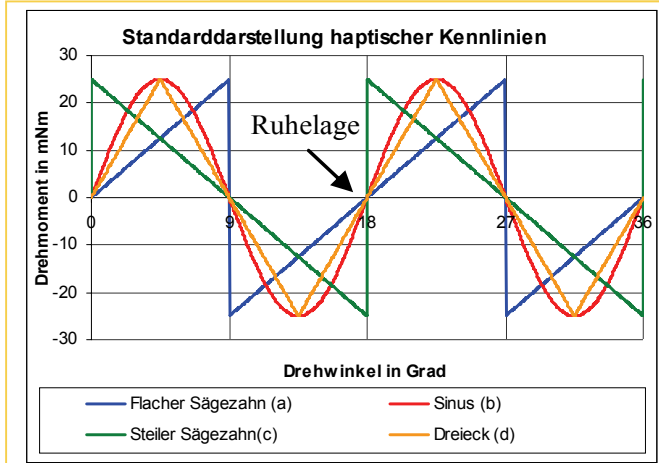


Abb.: 7: Drehmomentdarstellung der haptischen Charakteristika. Es handelt sich hierbei um idealisierte Kennlinientypen zur Feststellung haptischer Parameter.

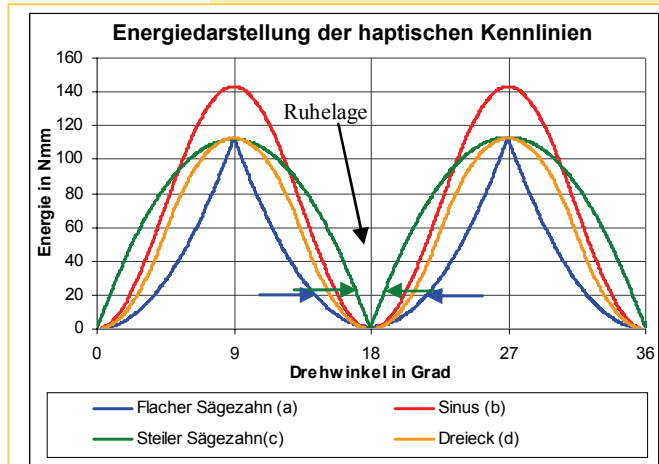


Abb.: 8: Energiedarstellung der haptischen Charakteristika. Die Charakteristik der Ruhelage zwischen den Pfeilspitzen ist sehr schön zu erkennen. Der flache Sägezahn hat eine weite, weiche Ruhelage, während der steile Sägezahn eine harte, eng geführte Ruhelage besitzt (grüne Pfeilspitzen). Die Übergänge (Maxima) zeigen einen besonders runden, weichen Übergang beim steilen Sägezahn ((c), grün), während der flache Sägezahn ((a), blau) zunehmend steiler ansteigt und sprunghaft abfällt.

Zum Autor:

Dipl.-Ing. (FH) Jörg Reisinger ist am Lehrstuhl für Ergonomie und im Automotive Competence Center der Hochschule Heilbronn (Prof. Dr.-Ing. Jörg Wild) Spezialist für haptische Fragestellungen.

# Effektive Assistenz durch hohe Nutzungsfrequenz oder warum nicht nur das Geben selig ist

Rolf Zöllner und Herbert Rausch

***Der Abruf von Informationen ist für ein effektives Wissensmanagement-System von ebenso großer Bedeutung wie das Einstellen neuer Informationen***

"Denn Geben ist seliger als Nehmen".

Häufig wird diese Weisheit aus der Apostelgeschichte (griech.: **Πραξις Αποστολων**) sinngemäß als die Voraussetzung für ein effektives Wissensmanagement genannt. Sicherlich, nur indem die Nutzer das Wissensmanagementsystem kontinuierlich mit Inhalten füllen wird der Grundstock für den nutzbringenden Einsatz in den Arbeitsprozessen gelegt. Doch zeigt sich bei der Nutzung des Wissensmanagement-Systems, dass das "Nehmen" zu Unrecht hintenansteht. Bevor hier jedoch für die Rehabilitierung des "Nehmens" argumentiert wird, ist zunächst zu klären was unter Wissensmanagement verstanden wird.

Die Zusammenschau der Literatur z.B. Lüthy, Voit & Wehner (2002); Probst, Raub & Romhardt, 1999; Nonaka & Takeuchi (1997), liefert einige inhaltliche Hauptcharakteristika, die für das Verständnis von Wissensmanagement entscheidend sind. Wissensmanagement ist so gesehen eine Methodik, die darauf abzielt die organisationale Wissensbasis in Hinblick auf die Zielerreichung der organisationalen Aufgaben systematisch zu optimieren. Dies erfolgt durch die Verbesserung der Leistungsfähigkeit der einzelnen Organisationsmitglieder durch die Optimierung der aufgabenbezogenen Qualität und Quantität der Informations- und Datenflüsse (Bubb & Zöllner, 2003).

Mit anderen Worten, bezogen auf die individuelle Arbeitsaufgabe:

- verteilt und liefert das Wissensmanagementsystem erforderliche Daten und Informationen für die Aufgabenerfüllung
- erfasst und strukturiert bei der Aufgabenerfüllung neu entstehende Daten und Informationen, um diese für die Nutzung in zeitlich nachfolgenden Aufgabenstellungen zu speichern.

Aus Sicht der Nutzer unterstützt das Wissensmanagement-System die Informationsbeschaffung, die Generierung, Dokumentation und Verteilung der informatorischen Arbeitsergebnisse (Beraha, Maus, Mertins, Puhr-Westerheide, Rausch, Zimmermann & Zöllner, 2002). Mit Fug und Recht versteht sich ein Wissensmanagement-System daher als Assistenzsystem, das dem Nutzer bei der Bewältigung der Arbeitsaufgabe assistiert. Ein Wissensmanagement-System lebt dabei vom Nutzenvorteil, den es dem Anwender im Vergleich zu anderen Methoden ermöglicht. Die Situation ist analog zu den Fahrerassistenzsystemen: Welcher Fahrer würde sich die Mühe machen, mühsam den Zielort in das Navigationssystem seines Autos einzugeben, wenn es nicht deutliche Nutzenvorteile gegenüber der konventionellen Karte auf Papier hätte?

Wie ist es nun mit dem "Geben" im Wissensmanagement? Zugestanden, das Einbringen von Informationen in das Wissensmanagement-System verlangt vom Nutzer die Überwindung motivationaler Hürden und anderer Barrieren. Die Wissensmanagement-Aufgabe "Informationen eingeben" wird für die aktuell bearbeitete Arbeitsaufgabe zunächst als nicht-wertschöpfende Zusatzarbeit erlebt. Es entstehen Kosten durch das Eingeben der Informationen. Aber es resultieren keine unmittelbaren, zeitnah-wahrnehmbaren Vorteile. Vielmehr noch, einen direkten Vorteil tragen nur die anderen Nutzer des Wissensmanagement-Systems davon, die auf die neue Information zugreifen können. So gesehen ist das "Geben" auch im Wissensmanagement selig.



Abb.: Konservative Form der Wissensverwaltung

## **Literatur:**

Beraha, D., Maus, H., Mertins, P., Puhr-Westerheide, P., Rausch, H., Zimmermann, M., Zöllner, R. (2002). Technische und organisatorische Grundlagen für das Wissensmanagement in der Reaktorsicherheit. Band I. GRS-A-3048. Garching: GRS.

Bubb, H. & Zöllner, R. (2003). Systemergonomische Gestaltung von Informationsflüssen in komplexen Systemen. In H. Luczak (Hrsg.) Kooperation und Arbeit in vernetzten Welten. Stuttgart: ergonomia.

Lüthy, W., Voit, E. & Wehner, T. (2002). Wissensmanagement-Praxis. Einführung, Handlungsfelder und Fallbeispiele. Zürich: vdf.

Doch lässt sich die Situation mit dem aus der Persönlichkeitsforschung stammenden Konstrukt des "Delay of Gratification" (Mischel, 1974) treffend beschreiben: Seine Belohnung für das "Geben" erhält der Nutzer nicht sofort, sondern erst mit Zeitverzug, wenn er für eine spätere Arbeitsaufgabe die eingegeben Informationen vorteilhaft nutzen kann. Das Sichern der Information könnte er aber ebenso gut auf der lokalen Festplatte seines PCs vornehmen. Ergo muss die Nutzung des Wissensmanagement-Systems dem Informationsgeber einen signifikanten Mehrwert eröffnen. Das Einstellen von Informationen in das Wissensmanagement-System entpuppt sich als knallharte Investition in die Zukunft, um informatorische Zinsen zu gewinnen. So gesehen büßt das "Geben" seine altruistische Seligkeit im Wissensmanagement ein.

Doch woher stammt dieser Mehrwert für den Informationsgeber? An dieser Stelle kommt das "Nehmen" ins Spiel, d.h. der Nutzung der eingestellten Informationen durch andere Anwender des Wissensmanagement-Systems (=Informationsnehmer). Die eingestellten Informationen werden

von den anderen Nutzern in handlungsrelevantes Wissen transferiert und im Kontext der Arbeitsaufgabe verwendet. Dabei entsteht neues Wissen, das durch das Wissensmanagement-System erfasst wird. Und in diesen Wissensgewinn liegt der gesuchte Mehrwert begründet: Der Informationsgeber eröffnet sich durch das Wissensmanagement-System wertvolle Zusatzinformationen. Er profitiert so von den Erfahrungen der Informationsnehmer.

Dies geschieht auf zweifache Weise, direkt und indirekt. In direkter Form erhält der Informationsgeber, ähnlich wie in einem Online-Forum, Kommentare und Bewertungen zu seinen Informationen. Dadurch gewinnt er nicht nur Hinweise zur Qualitätsbewertung seiner Information sondern es eröffnet sich eine zusätzliche Informationsquelle: Die Interaktivität stößt sozialpsychologische Gruppenprozesse an, die zur Ausbildung loser Communities of Practice führen können, in denen bezogen nur auf spezifische Aufgaben entsprechende Informationen ausgetauscht werden. Indirekt hinterlässt der Informationsnehmer

durch die Nutzung des Wissensmanagement-Systems Verhaltensspuren bei der Suche, Auswahl und Abruf von Informationen für eine Arbeitsaufgabe. Diese Verhaltensspuren werden z.B. als Log-Files protokolliert. Mit Hilfe verschiedener statistischer Verfahren lassen sich diese Log-Files gezielt auswerten. Anhand der so gewonnenen Kenntnis z.B. über die Aufrufhäufigkeiten von Informationen und deren qualitativer Wichtung kann abgeschätzt werden, welche Informationen für eine bestimmte Arbeitsaufgabe mit größerer Wahrscheinlichkeit verwendet werden als andere. Zusammen mit der qualitativen Wichtung kann letztlich auf die Relevanz der Information für die Arbeitsaufgabe geschlossen werden. Ebenso ermöglichen die Verhaltensspuren eine Einteilung der Nutzer des Wissensmanagement-Systems aufgrund ihrer Nutzungsgewohnheiten.

Nur durch das Zusammenwirken von Informationsgabe und Informationsnahme wird ein Prozess der Selbstorganisation angestoßen, aus dem eine dynamische Klassifikation der Informationen im Wissensmanagement-System aufgrund des Nutzungsverhaltens resultiert. Diese Klassifikation ermöglicht dann die zielgenauere Bereitstellung relevanter und qualitativ-hochwertiger Informationen. Der Nutzer wird auf diese Weise bei seinen Entscheidungen zur Bewältigung der Arbeitsaufgabe wirksam assistiert. Summa summarum bietet das Wissensmanagement-System somit Assistenzfunktionen, die einen Nutzenvorteil gegenüber der Ablage auf dem lokalen PC eröffnen und zur Optimierung der Aufgabenerfüllung führt. Diese Vorteile steigern wiederum die Nutzungsmotivation der Anwender des Wissensmanagement-Systems. Damit schließt sich der Kreis zu einem selbstverstärkenden Prozess. So gesehen ist das Nehmen genauso selig wie das Geben - zumindest im Wissensmanagement, denn beide sind die Voraussetzungen für sein Funktionieren.

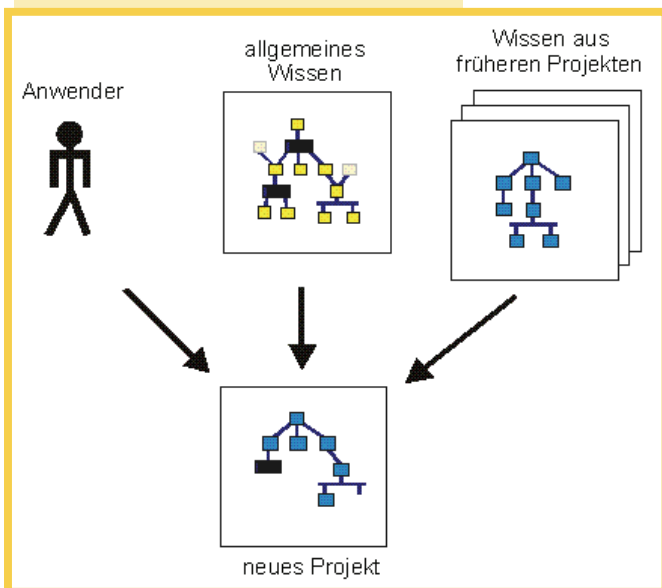


Abb.: Mehrwert des Management-Systems

Mischel, W. (1974). Processes in delay of gratification. In L. Berkowitz (Hrsg.). Advances in experimental social psychology. Band 7. 249-292). New York: Academic Press.

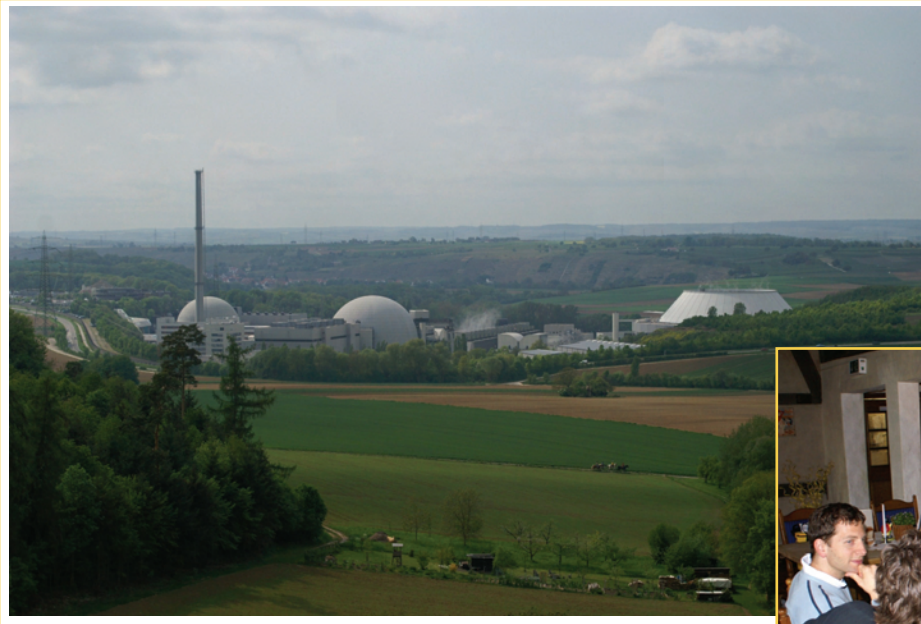
Nonaka, I., Takeuchi, H. (1997). Die Organisation des Wissens. Frankfurt: Campus.

- Bubb, H. (2005). **Human Reliability. A Key to Improved Quality in Manufacturing.** Human Factors and Ergonomics in Manufacturing, 15(4), 353-368.
- Bubb, H. (2005). **What Is Work? A Consideration of the Relation of Entropy, Energy and Ergonomics.** Zeitschrift für Arbeitswissenschaft. 59(3-4) / 2005 pp. 187-196.
- Bubb, H. (2006). **A consideration of the nature of work and the consequences for the human-oriented design of production and products.** Applied Ergonomics, 37(4), 401-409
- Engstler, F., Zöllner, R., Seitz, T., Bubb, H. (2006). **Research into the perception of dimensions in virtual environments.** In R.N. Pikaar Eur.Erg., E.A.P. Koningsverld Eur.Erg. and P.J.M. Settels Eur.Erg. (Editors). Proceedings IEA 2006 Congress, Elsevier
- Forschungsbericht 2006 der Hochschule Heilbronn** Reisinger, J., J. Wild, G. Mauter, H. Bubb (2005): "Mechatronic tools in haptic research for automotive applications." Nachdruck von (1., s.o.) S. 48-53  
Herausgeber: Der Rektor der Hochschule Heilbronn Januar 2006
- Fritzsche, F. **"Kraftbasierter Diskomfort für das Hand-Arm-System"**, In: Tagungsband zum 2. alaska Anwendertreffen, 10. - 11. März, Augustenburg, 2005, S.21-22
- Fukuda, R., Jastrzebska-Fraczek, I., Bubb, H., Schmidtke, H. **Development of a Trilingual Ergonomics Knowledge and Intelligent Design System (EKIDES).** Las Vegas, Nevada USA.: HCI International, 2005. CD-ROM.
- Hartung, J. (2006). **Objektivierung des statischen Sitzkomforts auf Fahrzeugsitzen durch die Kontaktkräfte zwischen Mensch und Sitz.** Dissertation am Lehrstuhl für Ergonomie, Technische Universität München.
- Hartung, J.; Mergl, C.; Bubb, H.: **Werkzeuge zur Beurteilung des statischen Sitzkomforts.** 47. Fachausschusssitzung Anthropotechnik: Komfort als Entwicklungskriterium in der Systemgestaltung, Volkswagen AG, Wolfsburg, 25.-26. Oktober 2005.
- Hoensch, Volker (2006). **Sicherheitsgerichtetes Leistungsverhalten in Kernkraftwerken.** Dissertation am Lehrstuhl für Ergonomie, Technische Universität München.
- Hummel, S. (2005). **"Der Audi Fahrsimulator"**. PITECH (Princess Interactive Technologie Conference 2005. Ort Magdeburg Datum: 29.9.2005 - 30.9.2005
- Jastrzebska-Fraczek I.: **Chronik eines Ergonomischen Prüfverfahrens. Von der DOS-Version zum dreisprachigen EKIDES unter Windows.** Ergonomie aktuell. LfE Zeitung Ausgabe 006, S.9-17, ISSN 1616-7627
- Jastrzebska-Fraczek, I.: **Simulation, Visualization, and Evaluation: The Best Triad for Successful Software Design.** Las Vegas, Nevada USA.: HCI International, 2005. CD-ROM.
- Lange, C. (2005). **The development and usage of Dikablis (Digital wireless gaze tracking system);** Thirteenth European Conference on Eye Movements ECEM13 Abstracts; Lange C. Die Veranstaltung war in Bern, Schweiz und zwar vom 14.-18. August, Seite 50
- Linsenmaier, Bernd (2006). **Systemische Erfassung von unerwünschten Ereignissen bei Mensch-Maschine-Interaktionen.** Dissertation am Lehrstuhl für Ergonomie, Technische Universität München.

- Mergl, C. (2006). **Entwicklung eines Verfahrens zur Optimierung des Sitzkomforts auf Automobilsitzen**. Dissertation am Lehrstuhl für Ergonomie, Technische Universität München.
- Mergl, C.; Klendauer, M.; Mangen, Cl.; Bubb, H.: Predicting long term riding comfort in cars by contact forces between human and seat. SAE Paper No. 2005-01-2690, DHMS 2005 in Iowa.
- Rausch, H, Zöllner, R & Bubb, H. (2005). **Gestaltung von Stellteilen zur Steuerung von Kraftfahrzeugen**. In H. Luczak & L. Schmidt (Hrsg.). E-Learning-Kooperation in der Arbeitswissenschaft. 149-159. Stuttgart: ergonomia.
- Reisinger, J., J. Wild, G. Mauter, H. Bubb (2005): "**Mechatronik tools in haptic research for automotive applications**."  
Aus: REM2005, 6th International Workshop on Research and Education in Mechatronics, June 30th - July 1st, 2005 Annecy, FRANCE  
Proceedings of the REM 05, IEEE, pp.293-298  
ISBN: 2-9516453-6-8
- Vogt, C., Mergl, C., Bubb, H. (2005). **Interior Layout Design of Passenger Vehicles with RAMSIS**. Human Factors and Ergonomics in Manufacturing. 15(2) / 2005 pp. 197-212.
- Wolf, H.; Zöllner, R.; Bubb, H. (2006). **Ergonomischer Lösungsansatz für die gleichzeitige Rückmeldung von Fahrerassistenzsystemen**. Tagung "Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz", Garching b. München, 4.-5. April, 2006. München: TÜV Süd.
- Wolf, H.; Bubb, H.: **Ergonomie in der Fahrwerkentwicklung - Wo und wie kann sie dort hilfreich sein?** Tagung "Fahrwerk.tech 2005", Garching b. München, 4.-5. April, 2005.
- Wolf, H.; Zöllner, R.; Bubb, H.: **Ergonomische Aspekte der Mensch-Maschine-Interaktion bei gleichzeitig agierenden Fahrerassistenzsystemen**. Zeitschrift für Verkehrssicherheit (ZVS), Nr. 3, 2005, S. 119-124.
- Zöllner, R., Pataki, K. & Rosenthal, K.-P. (2006). **Generation of the user documentation by means of software's specification in UML**. Proceedings of the International Symposium Facteurs Humains et Conception des Systèmes de Travail : Optimiser les Performances de l'Enterprise. Nice, France, 1-3 Mars 2006, Nice: Comité AISS Recherche.
- Zöllner, R., Mainka, F., Steinbrück, J., Pataki, K. & Rosenthal, K.-P. (2005). **Generierung der Benutzerdokumentation basierend auf der Spezifikation einer Software in UML**. In L. Urbas & C. Steffens (Hrsg.). Zustandserkennung und Systemgestaltung. 6. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme. pp. 173-178. Fortschritt-Berichte VDI, Nr. 22, Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Zöllner, R. & Rausch, H. (2005). **E-Learning in der Hochschule. Ein Lernmodul zur Vermittlung arbeitswissenschaftlicher Inhalte**. In J. Pangalos, G. Spöttl, S. Knutzen, F. How (Hrsg.). Informatisierung von Arbeit, Technik und Bildung. pp. 297-306. Münster: Lit-Verlag.
- Zöllner, R., Riechelmann, E. & Vollerthun, A. (2005). **Optimierung von Entwicklungsprozessen komplexer Produkte in verteilten Entwicklungsumgebungen**. In E., Müller & B., Spanner-Ulmer (Hrsg.). Strategien für ganzheitliche Produktion in Netzen und Clustern. TBI'05. (pp. 122-128). Wissenschaftliche Schriftenreihe des Institutes für Betriebswissenschaften und Fabriksysteme, Sonderheft 11, Oktober 2005. Chemnitz: Technische Universität Chemnitz. Tag des Betriebsingenieurs. Chemnitz: TU Chemnitz.

# Exkursion des LfE zum GKN Gemeinschaftskernkraftwerk Neckarwestheim

Jörg Reisinger



Das Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar der EnBW ist mit zwei Reaktorblöcken aus den Jahren 1976 und 1989 und einer Gesamtleistung von 2235 kW der jüngste Kraftwerksreaktor Deutschlands. Mit einer Produktion von über 17 Milliarden kWh deckt das GKN rund ein Drittel des Jahresstrombedarfs Baden-Württembergs ab.

Gerade im Bereich der Kernenergie ist die Betrachtung der Menschlichen Zuverlässigkeit eine unerlässliche Notwendigkeit. Aus diesem Grund startete der Lehrstuhl am Dienstag, den 09. Mai 2006 zu einer Exkursion in eines der modernsten Kernkraftwerke Deutschlands, das GKN Neckarwestheim.

In einer Einführungsveranstaltung wurden detailliert das Prinzip der Kernspaltung sowie die verschiedenen Reaktortypen, ihre Risiken und die eingesetzten Sicherheitsmaßnahmen dargestellt.

Nach eingehender Diskussion wurde die Anlage rund um Block 2 und das Containment (Reaktorkuppel), mit einem stattlichen Durchmesser von 54 Metern, besichtigt.

Neueste Entwicklungen im Bereich der menschlichen Zuverlässigkeit, wie SOL (Sicherheit durch Organisationales Lernen) wurde uns von Herrn Schwarz, dem Sicherheitsverantwortlichen am Standort, vorgestellt und angeregt diskutiert.

Nach einem Abstecher auf das malerische Schloss Liebenstein ging es wieder auf die Rückfahrt nach München.

Wir bedanken uns beim GKN für den freundlichen Empfang.



... Der Blick in die Zukunft ... ?





Im vergangenen Jahr gab es wieder einige personelle Veränderungen am Lehrstuhl.

So waren drei unserer Doktoranden gut gerüstet, die Karriereleiter weiter nach oben zu klettern und gleichzeitig die Chancen zu nützen in der Industrie ihr Wissen unter Beweis zu stellen.



## **Bernd Linsenmaier**

Studium der Luft und Raumfahrttechnik an der Uni Stuttgart. Schwerpunkte: Raumfahrtssysteme und Flugregelung.

Journalistisches Volonariat und freie Mitarbeit in der Evangelischen Rundfunkagentur Württemberg.

Freiberufliche Tätigkeit auf dem Gebiet Unfallanalyse (Luftfahrt, Kerntechnik, Arbeitssicherheit)

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Ergonomie, TUM.

Anstellung als Ereignisanalytiker im Kernkraftwerk Neckarwestheim.

Seit 2006 Fachspezialist für Vorkommnisanalyse bei der Schweizer Kernenergieaufsicht HSK.

Promotion an der TU München im Januar 2006

## **Bernd Linsenmaier**

### ***Systemische Erfassung von unerwünschten Ereignissen bei Mensch-Maschine-Interaktionen***

Gegenstand dieser Arbeit ist die Erfassung von unerwünschten Ereignissen in beliebigen Umgebungen und Situationen der menschlichen Arbeitswelt. Dazu zählen zunächst alle Unfälle mit Sach- oder Personenschaden, aber auch Beinaheunfälle, Arbeitsfehler oder technische Ausfälle. Mit der hier erarbeiteten Methodik werden solche Ereignisse systemisch erfasst, d. h., es wird das gesamte Arbeitssystem und nicht nur einzelne Aspekte daraus betrachtet. Auf diese Weise wird von dem Geschehen über den ereignisrelevanten Zeitraum hinweg ein umfassendes Abbild erstellt. Dabei wird aber jede analytische Bewertung vermieden: Es wird festgehalten, „was passiert ist“ und „welche Umstände“ dies begleitet haben. Es wird nicht gefragt, „warum“ es dazu kam bzw. welche Ursachenzusammenhänge eine Rolle gespielt haben. Mit dieser weitgehend wertungsfreien Darstellung der Sachverhalte wird angestrebt, dass nachfolgende Analysen unvoreingenommen durchgeführt werden können. Damit können auch alternative oder zukünftige Bewertungsmethoden in diesen Ereignisdokumentationen möglichst neutrale Datenquellen vorfinden. Durch eine abfragende Erfassungsmethodik wird die Vollständigkeit und Detailliertheit der Datenerhebung gefördert und damit die inhaltliche Güte der Darstellung erhöht. Die vorgegebene Beschreibungsstruktur liefert den Rahmen der Erfassung und gewährleistet, dass subjektive Einflüsse der erfassenden Personen auf die Ereignisdarstellung auf ein Minimum reduziert werden und eine einheitliche Dokumentation erfolgt. Dies hat den Vorteil, dass Ereignisse aus unterschiedlichen Arbeitsbereichen oder unterschiedlicher Komplexität einer direkten und tiefgehenden Vergleichsanalyse unterzogen werden können. Wegen der zunehmenden Bedeutung des „menschlichen Einflusses“ bei unerwünschten Ereignissen wird dieser bei der Erfassung besonders berücksichtigt.

Im gegenwärtigen Arbeitsalltag wird nach dem Auftreten eines unerwünschten Ereignisses üblicherweise das Ziel verfolgt, dass sich dieses Ereignis nicht wiederholt. Zu diesem Zweck wird das einzelne Ereignis qualitativ ausgewertet, wobei sich die Analysetiefe an branchenspezifischen Mindestforderungen orientiert. Ein detaillierter analytischer Vergleich von verschiedenen Ereignissen findet gewöhnlich nicht statt. Durch Einzelanalysen kann aber prinzipiell nicht unterschieden werden, ob eine gefundene Ursache nun zufälliger oder systematischer Natur ist. Eine solche Einteilung basiert meistens auf der Einschätzung von zu Rate gezogenen Experten. Sinnvolle Gegenmaßnahmen sind nur dann bestimmbar, wenn bekannt ist, ob eine Ursache systematisch oder zufällig zu einem Ereignis geführt hat. Systematische Ursachen lassen sich gezielt angehen, während bei zufälligen Fehlern nur deren Auswirkungen mit Hilfe von Toleranzkonzepten abgemildert werden können. Eine sichere Unterscheidung wird aber erst durch eine quantitative Auswertung vieler Ereignisse möglich. Vergleichende Betrachtungen werden meist nur auf übergeordneter Ebene durchgeführt, beispielsweise um Häufigkeiten von allgemeinen Ursachen wie Alkoholeinfluss, Wegeunfall oder technischen Ausfällen zu gewinnen. Tief gehende Vergleiche von Ereignissen finden derzeit nur selten und nur in kritischen Bereichen mit hohen Sicherheitsauflagen statt. Ein Grund für die geringe Verbreitung von detaillierten Vergleichsanalysen mag darin liegen, dass verschiedene Ereignisse auf den ersten Blick oftmals schwer miteinander vergleichbar sind. In der Tat ereignen sich Unfälle in verschiedenen Situationen, bei verschiedenen Arbeiten und in unterschiedlichsten Umgebungen. Ein Vergleich über verschiedene Fachgebiete hinweg scheint dabei noch weniger möglich zu sein. Trotzdem zieht sich durch fast alle Ereignisse ein roter Faden: der Mensch bzw. der menschliche Einfluss. Aus dem Blickwinkel des arbeitenden Menschen, der mit einer Handlung oder einem Verhalten eine Aufgabe zu erfüllen versucht, wird es möglich, auch noch so verschiedene Ereignisse ähnlich und damit vergleichbar zu beschreiben, wie diese Arbeit zeigen wird. Einführend wird die gängige Praxis der Ereigniserfassung anhand von vier exemplarischen Bereichen betrachtet. Anschließend werden allgemeine theoretische Grundlagen und Anforderungen an die Ereigniserfassung erarbeitet. Darauf aufbauend wird eine Methode für den Abbildungsprozess entwickelt und als rechnergestütztes Erfassungswerkzeug realisiert.

In einem repräsentativen Versuch wird getestet, wie sich das Werkzeug für die Erfassung eignet, wie gut die Versuchspersonen es handhaben und welche Güte die erzeugten Ereignisdarstellungen aufweisen. Hierbei wird insbesondere den Fragen nachgegangen, wie ähnlich ein bestimmtes Ereignis von verschiedenen Personen beschrieben wird und wie gut das

Ergebnis mit der Erwartung übereinstimmt? Anhand des Versuchsergebnisses wird die Anwendbarkeit des Erfassungswerkzeuges diskutiert, weiteres Entwicklungspotenzial aufgezeigt und zusätzliche Einsatzmöglichkeiten angedacht.

### **Christian Mergl**

#### **Entwicklung eines Verfahrens zur Optimierung des Sitzkomforts auf Automobilsitzen**

Der Komfortaspekt wird in der Automobilbranche zunehmend wichtiger, um sich als Hersteller von der Konkurrenz abzusetzen. Da der Autositz die größte Kontaktstelle zwischen Mensch und Fahrzeug darstellt, ist er auch für den Komfort im Fahrzeug sehr wichtig. In der Literatur wird der Druckverteilung, die sich beim Sitzen einstellt, ein großer Einfluss auf das Komfort- bzw. Diskomfortempfinden im Sitz beigemessen. Allerdings fehlt hierzu bisher ein objektives Messinstrument. Ziel dieser Arbeit ist demnach die Entwicklung eines Verfahrens zur Messung und Optimierung des Sitz(dis)komforts in Automobilen.

So wurde zunächst untersucht, welche Parameter für die subjektive Beurteilung einer Druckverteilung entscheidend sind. Das Besondere an der Auswertung war, dass das subjektive Empfinden und die Druckverteilung bezogen auf den menschlichen Körper erfasst und ausgewertet wurden. Dabei stellte sich heraus, dass die komplette Form der Druckverteilung wichtig ist. Diese Form kann über drei Parameter beschrieben werden: der Verteilung der prozentualen Last, den maximalen Druck und den Verlauf des Gradienten, also der Druckänderung, in verschiedenen Körperbereichen. Im Weiteren wurden für diese Parameter Optimalwerte ermittelt. Diese Optimalwerte können als Richtwerte zur Beurteilung von Druckverteilungen - und damit Sitzen - verwendet werden. Diese Richtwerte konnten für das Kurzzeit- sowie für das Langzeitverhalten im Rahmen von Validierungsstudien in Fahrzeugen bestätigt werden. Außerdem zeigte die Studie zur Validierung des gefundenen Modells bezüglich des Langzeitverhaltens, dass die Druckverteilung der Sitzfläche den Diskomfort im unteren Rücken beeinflusst. Des Weiteren kann festgehalten werden, dass die gefundenen Richtwerte mit den Werten der Literatur gut übereinstimmen. Sitzentwickler können mit diesem entwickelten und validierten Modell schon nach wenigen Minuten entscheiden, wie sich der Sitz nach mehreren Stunden anfühlen wird.

Basierend auf dem Wissen zur Interpretation von Druckverteilungen wurden zwei "Werkzeuge" entwickelt, die eine durchgängige Entwicklung eines Sitzes von der virtuellen Phase bis zum fertigen Sitz ermöglichen: Dies sind zum einen ein dreidimensionales Finite Elemente Modell des menschlichen Gesäßes und zum anderen ein Hardwaredummy, der einem sitzenden Menschen entspricht. Sowohl das numerische als auch das physikalische Modell konnte für die Druckverteilung validiert werden.

Werden die einzelnen Entwicklungen zusammengeführt, erhält man ein Verfahren, das die Optimierung des Sitzkomforts ermöglicht.



### **Christian Mergl**

Als Doktorand und wissenschaftl. Mitarbeiter war Herr Chr. Mergl vom Oktober 2001 bis August 2006 im Lehrstuhl tätig. Hier war er vor allem in der Gruppe Anthropometrie mit Untersuchungen zum Diskomfortempfinden bei Fahrzeugsitzen beschäftigt und hat in dieser Zeit ein Verfahren zur Optimierung des Sitzkomforts auf Automobilsitzen entwickelt, worüber seine Dissertation an der TU handelt und er im Januar 2006 seine Doktorprüfung erfolgreich ablegte. Er hat bei der Fa. AUDI, Ingolstadt neue Aufgaben im Bereich der Entwicklung von Seriensitzen übernommen und wird dort zukünftig seine hier am Lehrstuhl erworbenen Kenntnisse einsetzen.

Wir wünschen ihm für seine weitere berufliche und private Zukunft viel Erfolg und alles Gute.

**Neues aus dem Lehrstuhl**



**Jürgen Hartung**

Als Doktorand und wissenschaftl. Mitarbeiter ist Herr Jürgen Hartung seit 1998 am Lehrstuhl tätig. Hier hat er sich vor allem in der Gruppe Anthropometrie mit Untersuchungen des statischen Sitzkomforts und den auftretenden Kontaktkräften beschäftigt. Er hat, wie in seiner Dissertation beschrieben, ein objektives Verfahren erarbeitet, das es ermöglicht, Sitze hinsichtlich des durch die Kontaktkräfte zwischen Mensch und Sitz hervorgerufenen Diskomforts zu optimieren. Die Doktorprüfung legte er im Januar 2006 mit Erfolg ab. Für seine weitere berufliche und private Zukunft wünschen wir ihm alles Gute.

## **Jürgen Hartung**

### **Objektivierung des statischen Sitzkomforts auf Fahrzeugsitzen durch die Kontaktkräfte zwischen Mensch und Sitz**

In den letzten Jahrzehnten rückte bei der Fahrzeugsitzgestaltung der Gesichtspunkt des Diskomforts immer stärker in den Vordergrund. Ein wichtiger Teilaspekt hierbei ist der Diskomfort durch die Kräfteverteilung zwischen Mensch und Sitz bei statischer Belastung. Dieser Aspekt soll in einer Versuchsreihe genauer untersucht werden. Primäres Ziel ist die Ableitung eines Regressionsmodells, das es erlaubt, aus objektiven Parametern der Kräfteverteilung zwischen Mensch und Sitz die subjektiven Aussagen eines Probandenkollektivs zu prognostizieren.

Den Ausgangspunkt dieser Arbeit bildet eine Literaturbetrachtung zum Stand der Forschung im Bereich des statischen Sitzkomforts, zur Physiologie der Mechanorezeption und der Komfort-/Diskomfortmodellierung.

Die Aufteilung des Gesamtprojektes in eine Vor- und eine Hauptversuchsphase dient dem Zweck, die Versuchsmethodik zunächst an einem kleineren Versuchspersonenkollektiv zu testen und diese dann, basierend auf den gewonnen Erkenntnissen, zu optimieren.

In der Hauptphase nehmen 48 Versuchspersonen an insgesamt 1.344 Sitzversuchen teil. Die 24 männlichen und 24 weiblichen Versuchspersonen sind dabei so gewählt, dass ihre Körperhöhe und ihre Korpulenz zwischen dem 40. und dem 60. Perzentil liegen. Zum Einsatz kommen drei PKW-Sitze aus verschiedenen Fahrzeugklassen und zwei Nutzfahrzeugsitze. Durch Vermessung und der anschließenden Simulation der Sitze mit dem Forschungsstuhl 2000 ist es möglich, für jeden der Sitze jeweils drei Sitzvarianten zu erstellen, die sich in der Federsteifigkeit unterscheiden. Um auf Fahrzeuge übertragbare Ergebnisse zu erzielen, werden Mockups eingesetzt, die die wichtigsten Packagemaße der Fahrzeuge wiedergeben. Die subjektiven Eindrücke der Versuchspersonen werden über eine Befragung ermittelt.

Bei der Auswertung werden zunächst nur die subjektiven Wertungen betrachtet. Die Versuchspersonen verspüren auf den verwendeten Sitzen meist nur sehr geringen bis keinen Diskomfort. Aus diesen Daten ergeben sich Regressionsmodelle, über die aus den Einzeldiskomfortwertungen der Körperregionen der Gesamtdiskomfort prognostiziert werden kann. Außerdem weist die detaillierte Betrachtung der Daten Unterschiede zwischen Männern und Frauen hinsichtlich der Diskomfortwertungen auf.

Im Weiteren erfolgt die Einbeziehung der objektiven Daten in die Analyse. Durch Aufteilung der gemessenen Druckverteilungen in einzelne Körperregionen können körperbereichsspezifisch die objektiven Parameter mittlerer Druck, maximaler Druck und Druckgradient bestimmt werden. Die Korrelation dieser gemessenen Parameter mit den entsprechenden Diskomfortaussagen ergibt keine verwertbaren Ergebnisse. Die Ableitung eines Regressionsmodells zur Prognose des Diskomforts auf Basis der Kräfteverteilung zwischen Mensch und Sitz ist somit in diesem Projekt nicht möglich.

Weitere Analysen zeigen den Trend, dass Druckverteilungen mit sehr niedrigen Diskomfortwertungen ähnlich sind. Basierend auf dieser Erkenntnis werden "optimale" Lastverteilungen für Rücken und Gesäß abgeleitet, die den Mittelwert der Lasten für sehr niedrige Diskomfortwertungen darstellen. Besonders zu betonen ist hierbei, dass die Lastverteilungen menschenbezogen ermittelt werden und nicht wie sonst üblich sitzbezogen. Der Vergleich der ermittelten Lastverteilungen mit Literaturwerten hinsichtlich einer zu empfehlenden Last- und Druckverteilung auf Sitzen zeigt, dass sich die gefunden Ergebnisse sehr gut in die bisherigen Erkenntnisse einfügen.

Die Validierungsuntersuchung mit sechs weiteren Versuchspersonen und jeweils vier Varianten für Lehne und Sitzfläche belegt, dass Lastverteilungen, die den "optimalen" Lastverteilungen ähnlich sind, besser bewertet werden als solche, die diesen unähnlich sind. Die Ergebnisse lassen somit den Schluss zu, dass die ermittelten "optimalen" Lastverteilungen als Richtwert für die Sitzentwicklung von PKWs eingesetzt werden können.

Anhand einer kurzen Anleitung wird gezeigt, wie die praktische Umsetzung der Ergebnisse für die Sitzoptimierung erfolgen kann.

Somit steht nun ein objektives Verfahren zur Verfügung, das es ermöglicht, Sitze hinsichtlich des durch die Kontaktkräfte zwischen Mensch und Sitz hervorgerufenen Diskomforts zu optimieren.

## **Thomas Seitz**

Herr Thomas Seitz war von Dezember 1997 bis zum August 2005 hier am Lehrstuhl als wissenschaftl. Mitarbeiter und nach Ablegen seiner Doktorprüfung im Dez. 2003 (Promotion zur markerlosen und modellbasierten Detektion menschlicher Anthropometrie, Haltung und Bewegung) als Koordinator der Forschungsgruppe "Human Modeling" tätig.

Seine Arbeitsschwerpunkte am Lehrstuhl waren die Themen um PCMAN, RAMSIS und der komplexe Bereich der Anthropometrie. Er ist seit September 2005 am VDI Institut in Offenbach/Main und dort als Produktgruppenleiter zuständig für Ergonomie und Usability und berät vorwiegend die nationale und internationale Elektroindustrie in diesen Belangen.

Wir wünschen ihm für seine zukünftigen Aufgaben alle Gute und viel Erfolg.

## **Florian Engstler**

Herr Dipl.-Ing. Florian Engstler ist seit Januar 2006 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Ergonomie. Er absolvierte sein Maschinenbaustudium an der TU München mit den Studienschwerpunkten Ergonomie und systematische Produktentwicklung. Im Rahmen seiner Diplomarbeit beschäftigte er sich mit der Raumwahrnehmung in virtuellen Umgebungen. In seiner Tätigkeit am Lehrstuhl wird sich Herr Engstler intensiv mit der anthropometrischen Vermessung von Menschen, besonders mit der Erfassung menschlicher Bewegungen auseinandersetzen.

## **Marianna Rakic**

Seit dem 1.1.2006 ist Frau Dipl.-Ing. Mariana Rakic am Lehrstuhl tätig und unterstützt die Arbeitsgruppe Systemergonomie. Nach ihrem Studium des Maschinenwesens an der TU München war sie von 2003-2005 als externe Doktorandin des Lehrstuhls bei der DaimlerChrysler AG beschäftigt. Im Rahmen ihrer Dissertation befasst sie sich mit der Entwicklung und Überprüfung sicherheitsrelevanter Gestaltungskriterien für Informations- und Kommunikationssysteme im Fahrzeug.

## **Neues aus dem Lehrstuhl**



### **Impressum:**

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

Verantw. i.S.d.P.:  
Prof. Dr. H. Bubb  
Layout: Werner Zopf  
Redaktion:  
Dr. Herbert Rausch, Werner Zopf  
Druck: inhouse LfE  
ISSN: 1616-7627

## Neues aus dem Lehrstuhl



### **Iris Zacher**

Frau Dipl.-Sportw. (Univ.) Iris Zacher war vom März 2002 bis Juni 2006 am LfE als wissenschaftliche Mitarbeiterin beschäftigt. Neben ihrer Dissertation mit dem Thema: "Ansatz eines kraft-/haltungsabhängigen Diskomfortmodells für simulierte Bewegungen" stand sie federführend bei vielen Projekten und Sonderaufgaben in der ersten Reihe. Ganz besonders schätzten wir ihre ausgezeichnete Organisationsfähigkeit und ihr frisches, gewinnendes und zielstrebiges Wesen, welche oft nicht unerheblich zum Arbeitserfolg beitrugen. Wir wünschen ihr für ihren weiteren Berufsweg und ihre persönlichen Ziele viel Glück und Erfolg.



### **Christian Zacherl**

Als Elektriker war Herr Christian Zacherl seit September 1999 am Lehrstuhl angestellt. Im Juli 2003 absolvierte er erfolgreich die Prüfung zum staatl. gepr. Elektrotechniker und schied im September 2006 als nahezu unentbehrlicher Elektro- und Elektronikfachmann leider aus dem Lehrstuhl aus. Beim Aufbau von Sondermaschinen, Konzeption und Ausrüstung von Messfahrzeugen, Schaltungsentwicklung und Herstellung von dazu notwendigen Platinen, deren Bestückung und Kalibrierungen sowie bei allen anfallenden elektronischen Problemen setzte er Ideenreichtum und Kreativität und Mut zu ungewöhnlichen Lösungen ein. Nicht nur dem Lehrstuhl-Netzwerk und der umfangreichen Rechnerbetreuung drückte er durch seine besondere Fachkompetenz seinen Stempel auf. In den Neuaufbau des lehrstuhleigenen Fahrsimulators war er im Besonderen maßgeblich involviert und er hat zum Gelingen dieser umfangreichen Zielsetzung einen ganz erheblichen Beitrag geleistet. Er wird bei Fa. Kathrein in Rosenheim die Entwicklungsabteilung verstärken. Wir wünschen ihm für seine weitere berufliche und private Zukunft viel Erfolg und alles Gute.

UNSERE LEHRSTUHL ZEITUNG KÖNNEN SIE KOSTENLOS  
ABONNIEREN:

**Teilen Sie uns Ihre vollständige Adresse bitte schriftlich (lesbar!) mit und Sie erhalten die nächste Ausgabe per Post zugestellt.**

**Auch für Beiträge oder Anregungen sind wir immer aufnahmebereit. Für Informationen zum Abdruck Ihrer Anzeigen rufen Sie uns an oder schreiben Sie an:**

**Lehrstuhl für Ergonomie  
Technische Universität München  
z. Hd. Herrn Werner Zopf  
Boltzmannstrasse 15  
85747 Garching**

**Tel.: 089 - 289 15 391 • Fax: 089 - 289 15 389  
mail to: zopf@tum.de • rausch@tum.de  
URL: [www.ergonomie.tum.de](http://www.ergonomie.tum.de)**

## Lehrerfortbildung 2006 in der Fakultät Maschinenwesen an der TU-München

Die Fakultät Maschinenwesen führte im Juli 2006 wieder Lehrerfortbildungsmaßnahmen durch. Es wurden von 9 Lehrstühlen attraktive Themen angeboten, die von den Lehrkräften aller Schularten zu sogenannten Workshops individuell zusammengestellt werden konnten.

### Stand der Lehrerfortbildung

Nach den Ergebnissen der PISA-Studie bestehen bei Schülern in Deutschland erhebliche Defizite in der naturwissenschaftlichen Grundbildung. "Hier sehen wir uns in der Pflicht, an einer wissenschaftsnahen Lehrerbildung mitzuwirken", so TU-Präsident Prof. Wolfgang A. Herrmann. "Eine methodisch orientierte, gleichzeitig aber praxisnahe Lehrerbildung setzt ein Technik bejahendes Umfeld voraus, wie es die TU München in den Natur- und Ingenieurwissenschaften, in der Medizin und in den Lebenswissenschaften bietet". [Pressemitteilung TUM, 03.06.2003]

Die Angebote zur Lehrerfortbildung der TU-München ergänzen und erweitern die staatliche Lehrerfortbildung in Bayern. Die staatliche Lehrerfortbildung in Bayern gliedert sich nach Reichweite und Trägerschaft in die zentrale, regionale, lokale und schulinterne Lehrerfortbildung. Hinzu kommen noch Fortbildungsangebote einzelner Kommunen (z. B. die Pädagogischen Institute in München und Nürnberg) sowie Veranstaltungen zur Fortbildung von Religionslehrkräften, die in Zusammenarbeit mit den Kirchen bzw. Religionsgemeinschaften durchgeführt werden.

Die zentrale Lehrerfortbildung richtet sich an Lehrkräfte aus ganz Bayern. Die Träger sind

- die Akademie für Lehrerfortbildung und Personalführung (ALP), Dillingen,
- das Institut für Lehrerfortbildung, Gars (katholischer Religionsunterricht),
- das Institut für Lehrerfortbildung, Heilsbronn (evangelischer Religionsunterricht),
- die Bayerische Landesstelle für den Schulsport, München (Sportunterricht).

Darüber hinaus gibt es eigene Lehrgänge des Bayerischen Staatsministeriums für Unterricht und Kultus. [KMBek vom August 2002]

Technik als Lerninhalt und Technikkultur wird in den aktuellen staatlichen Fortbildungsangeboten für allgemeinbildende Schularten nur selten thematisiert. [s. <http://alp.dillingen.de/lehrgaenge/>]

### Ziele

Die Lehrerfortbildung in der Fakultät für Maschinenwesen soll die fächerübergreifende Vernetzung von Wissen aufzeigen,

- wichtige Schwerpunkte des Grundlagenwissens und dessen aktuelle Bedeutung hervorheben,
- vielfältige moderne (ingenieurmäßige) Methoden und Vorgehensweisen vermitteln und damit helfen,

- die Aufgabenkultur an Schulen weiterzuentwickeln,
- naturwissenschaftliches Forschen in Verbindung mit ingenieurwissenschaftlichem Arbeiten zu propagieren,
- Basiswissen zu fördern und dauerhaft zu sichern, dass junge Menschen Technik als wesentlichen Bestandteil unserer Kultur anerkennen.

Aus organisatorischer Sicht soll ein am Bedarf orientiertes Fortbildungsangebot mit hoher fachlicher Qualität und leistungsgerechten Kosten erstellt werden. Marktähnliche Mechanismen (viele Anbieter öffnen einen Markt, Inhalte und Umfang regelt der Markt nach Angebot und Nachfrage, öffentliche Evaluierung schafft Transparenz, Bezahlung nach Umfang der Leistung minimiert die Fixkosten) sollen auch langfristig die Aktualität und die Qualität sichern. Das Organisationsmodell soll auf andere Fakultäten übertragbar sein.

### Inhalte / Themen

14 Lehrstühle der Fakultät Maschinenwesen bieten z.B. folgende Themen an:

- Innovative Fahrerarbeitsplätze (3 Stunden)
- Reibungsverhalten von Getriebeschmierstoffen (6 Stunden)
- Solare Wasserstoffwirtschaft - Versorgung eines Schulgebäudes mit solar erzeugtem Wasserstoff (3 Std.)
- Angewandte Kinetik (6 Stunden)
- Berührungslöse Handhabung (6 Stunden)
- Muskeln und Motore in der Mikrotechnik (Piezo, Mikroturbine) (6 Stunden)
- Umformtechnik: Tiefziehen (6 Stunden)
- Virtuelle Welten (3 Stunden)
- Hochleistungs-Verbundwerkstoffe in Luft- und Raumfahrt (3 Stunden)

Diese konkreten Beispiele aus der "High - Tech" Forschung bieten einen Einblick in aktuelle Forschungsthemen, in viele Problemstellungen der Technik und die Bedeutung der schulischen Grundlagen anschaulich mit realen Maschinen, Versuchsaufbauten und Messgeräten aufzeigen, fächerübergreifende Aufgabenstellungen und Hintergrundwissen für viele Unterrichtsstunden liefern und moderne, ingenieurmäßige Methoden und Vorgehensweisen erlebbar machen.

Damit zeigen wir an vielfältigen Beispielen die Bedeutung und die Verknüpfung der Inhalte einzelner Schulfächer auf. Wir liefern den Lehrkräften fundiertes, aktuelles Hintergrundwissen und aktuelle Problemstellungen für einen motivierenden Unterricht (hierzu gibt es einen Angebotsflyer, der im Lehrstuhl angefordert werden kann).

**Weitere Infos erhalten Sie von:** Dr. Herbert Rausch, Lehrstuhl für Ergonomie, Boltzmannstr. 15, 85748 Garching, Tel./Fax: 089/289-15394 / -15389, mail: [rausch@tum.de](mailto:rausch@tum.de)