

Beitrag psychologischer Erkenntnisse und Methoden zur Bewertung von Fahrerassistenzsystemen (FAS)

• Fahraufgaben • Anforderungsanalyse • Fahrerassistenzsysteme • Nutzenabschätzung • Fahrer-Fahrzeug-Schnittstelle

Zusammenfassung

Der Beitrag diskutiert Problembereiche, Gestaltungsaufgaben und psychologische Erkenntnisse bei Entwurf und Konstruktion von Fahrerassistenzsystemen (FAS). Bisher existiert kein Standardverfahren, um Nutzen und Risiko neuer FAS identifizieren und bewerten zu können. In einer beispielhaften Anwendung der Fahraufgabenmethodik SAFE werden Anforderungen an den Fahrer verglichen, je nachdem, ob sie mit oder ohne FAS bewältigt werden müssen und wie sich die FAS-Komponenten auf Komplexität und Risiko einzelner Teilaufgaben auswirken. Effekte ergaben sich nicht nur in einer verdichteten Bewertung, sondern ließen sich auch in einzelnen Anforderungskategorien nachweisen. Somit erscheint eine Methodik wie SAFE auch gut für solche Zwecke einsetzbar.

Praktische Relevanz

FAS verändern die Aufgabenteilung zwischen Fahrer und Fahrzeug und modifizieren dadurch die mentalen und psychomotorischen Leistungen, mit denen der Fahrer die jeweiligen Fahraufgaben bewältigt. Eine Fahraufgaben- und Anforderungsanalyse mit SAFE erlaubt nicht nur eine prospektive Nutzen- und Risikobewertung eines FAS unabhängig von Fahrerbeobachtungen in Simulator- und Feldstudien, sondern ist auch als iteratives Design-Werkzeug einsetzbar, mit dem verschiedene Spezifikationen des Fahrer-Fahrzeug-Systems modelliert und bewertet werden können.

Contribution des résultats et méthodes psychologiques pour évaluer des systèmes d'assistance du conducteur

• Tache du conducteur • analyse des exigences • systèmes d'assistance du conducteur • analyse coûts-avantages • interface homme-machine

Résumé

L'article discute des problèmes, les tâches de conceptions et les expériences psychologiques pour construire et développer systèmes d'assistance du conducteur. Jusqu'à présent il n'y a pas une méthodologie standard pour identifier et évaluer utilité et risque de systèmes d'assistance du conducteur. Une application exemplaire de l'approche d'analyse de la tâche à la SAFE compare les exigences du conducteur selon qu'ils doivent exécuter sans ou avec systèmes d'assistance du conducteur. Les effets des systèmes d'assistance du conducteur on peut prouver pas seulement en évaluation comprimée mais aussi aux exigences partielles. Donc, il apparaît que la méthodologie est appropriée pour tels objectifs.

Importance pratique

L'introduction des systèmes d'assistance du conducteur modifie le partage de la tâche entre le conducteur et la voiture et donc il change les exigences mentales et psychomotrices qui sont nécessaires en exécutant les tâches du conducteur. On peut utiliser bien l'approche d'analyse de la tâche avec SAFE pour évaluer systèmes d'assistance du conducteur sans qu'on doit observer les conducteurs à l'avance d'une vérification de produits. Les effets de systèmes d'assistance du conducteur sur la complexité et le risque de la tâche partielle on peut classer dans la structure temporelle et spatiale de la tâche être surveillé. En outre, SAFE est un bien outil conceptuel pour une comparaison d'interfaces homme-machine différentes.

Contribution of psychological knowledge and methods to the assessment of ADAS

• *Driving task* • *analysis of behavioural requirements* • *driver assistance systems* • *Risk-benefit assessment* • *HMI (human-machine interface/driver-vehicle interface)*

Summary

Safety problems in car-driving are easily associated with driver errors. Therefore, the classic engineering approach has called for more automation to replace human functions by machines in man-machine systems. But experience in human factors engineering has shown that automation can have disadvantages like deskilling or overconfidence on the side of system users. In car-driving, the idea of assistance has substituted pure automation. The driver is to be supported by information, warnings or interventions, but he can always override the system, thus still being part of the control loop. Assistance systems are nowadays available at all three levels of the driving task. Their development leads to changed task allocations between the driver and the car/system compared to conventional cars. The introduction of the contribution derives some inferences from this fact. At first, possible problems associated with the introduction of ADAS are mentioned and shortly discussed. A focus of the discussion is the ergonomic design of coded information. The information flow between the driver and the car and its subsystems should be on time, restricted to relevant data, situation specific, acceptable and clearcut. Because of the need for situational adequacy of the information to be presented, the designer should have deeply understood the central role of the driving task in the conception and design of assistance systems. Recently the authors of this article have developed a procedure for analysing driving task requirements (SAFE: Situational analysis of behavioural requirements in driving tasks). It is based on a model of human information processing that is used to model the driver and a taxonomy of driving tasks. The text gives a short summary of the central ideas of the methods and its main procedural steps. The main part of the paper describes the application of the method to evaluate the safety impact of a prototype driver assistance system. The system is composed of a navigation aid and a function to support lane-changing. The driving task under investigation is the approach to a signalised junction including a lane change to the left to prepare a left-turning manoeuvre in the junction. The idea is to model this task using the SAFE-method twice: with and without the assistance system and to compare the resulting requirements for the driver with respect to complexity and risk in the different subtasks. The results show that the assistance system eases the task for the driver. This can clearly be demonstrated in the complexity ratings: Without the system parts of the navigation subtasks are assessed to be medium complex; this assessment is changed to ratings of low complexity with the system components. The early announcement of the junction by the system helps to gain time, thus reducing time-pressure linked to various subtasks in the navigation context. Through the redundancy of information in the speech output component, display elements

and out of the vehicle information, the accuracy of information intake by the driver is of less importance. The sum of mental requirements is lower with the assistance system. There are less memory and decision processes necessary, reducing the ratio of conscious to automatic processes. In summary, the complexity of the navigation subtasks in the approach to the intersection is lowered by the system components and the navigation decision is supported in a powerful way. The estimation of risk points into the same direction, based on lower time-pressure with the system. Moreover, less errors are expected with the system. Typical lane change errors like "changing to a wrong lane" or "lane-changing too late" are less probable. After the navigation task has been completed the lane-changing task itself has to be managed. The subtasks related to that phase of the junction approach also gain from the system messages. The ratings of complexity tend to be lower compared to the case without system. Time-pressure and required accuracy of some mental requirements are less critical, e.g. because the system supports difficult judgements such as "time gap to car on the left lane too short". Several demands on driver expectation and memory are eased as well. Whereas the complexity of the subtasks related to the lane-changing manoeuvre is lowered considerably, its riskiness does not change in the two cases. At the end of the contribution some conclusions are drawn. In the framework of the conception and design of ADAS the driver remains the central component of the driver-car-environment system. A reasonable application of an ADAS presupposes a detailed knowledge of the requirements of each driving subtask. The information need of the driver has not only to be determined with respect to its quality, extent and temporal structure, but also the information exchange between the system components has to be optimized to bridge the gulf between the biological system (driver) and the physical system (car). Up to now, there existed no standardized method for a risk-benefit analysis of ADAS. For an early evaluation of prototype system versions the SAFE-method seems to be a very powerful tool. Finally some more applications of the method are reflected.

Practical Relevance

The implementation of ADAS modifies the task allocation between driver and vehicle and therefore changes the mental and psychomotoric driver requirements in task accomplishment. A task analytic approach such as SAFE proves to be useful in a prospective Risk-Benefit analysis of ADAS without having to rely on driver observation and used prior to simulator and field trials. Effects of an ADAS can be listed precisely and appointed to the spatial and temporal structure of the driving task under consideration. Moreover, it may be predisposed as a conceptual design-tool in modelling various variants of HMI-specifications.

1 Problembereiche, Gestaltungsaufgaben und dazu benötigte psychologische Erkenntnisse bei Entwurf und Konstruktion von FAS

Bestrebungen zur Automatisierung des Autofahrens erscheinen auf den ersten Blick sehr naheliegend, da technische Systeme hinsichtlich Sicherheit und Effizienz in der Regel Vorteile gegenüber dem durchschnittlichen Fahrer zu besitzen scheinen. So wird immer wieder behauptet, „menschliches Versagen“ sei die Ursache der allermeisten Unfälle. Um also Unzulänglichkeiten oder gar Fehler des Fahrers zu vermeiden, so wird häufig gefolgert, müsse man nur den Fahrer durch entsprechende technische Systeme ersetzen. Ob durch die veränderte Aufgabenteilung zwischen Fahrer und Fahrzeug quasi automatisch das Sicherheitsproblem gelöst wird, erscheint allerdings mehr als zweifelhaft: so erreicht die Zuverlässigkeit des Fahrers im Straßenverkehr Werte, die durch technische Komponenten nur mit erheblichem Aufwand zu steigern sind (vgl. Reichart & Haller 1995). Auf der anderen Seite wird vor möglichen negativen Folgen von Automatisierung wie z. B. Fertigtungsverlusten und übertriebenem Vertrauen in die Technik gewarnt („Ironies of automation“, Bainbridge, 1983).

Die Kritik an reinen Automatisierungskonzepten hat im Bereich der Kraftfahrzeugentwicklung mittlerweile zur Konzeption von Fahrerassistenzsystemen (FAS) geführt. Im Gegensatz zu Automatisierungskonzepten – die zu einer Aufgabenschiebung weg von der Steuerung hin zu einer verstärkten Überwachung führen – bleibt dem Fahrer im Konzept der Fahrerassistenz durch stets übersteuerbare Unterstützung seine aktive Rolle im Fahrer-Fahrzeug-Wirkkreis erhalten. Der Fahrer soll durch Information, Warnung oder Regelung bei der Bewältigung seiner Fahraufgabe unterstützt werden, ohne zusätzlich belastet oder in seiner Verantwortung eingeschränkt zu werden.

Fahrerassistenzsysteme (FAS) werden künftig für den Autofahrer auf allen Ebenen der Fahrzeugführung verfügbar sein. Die Palette reicht von Anti-Blockier- und Fahrstabilitätsre-

gelungen bis hin zu Navigationssystemen, Systemen zur Unterstützung der Längs- und Querführung (z. B. Adaptive Abstands- und Geschwindigkeitsregelung; Spurwechselhilfen) sowie Kreuzungsannäherung. Der Nutzen dieser Systeme besteht nach ihrem Anspruch einerseits in größerer Leistungsfähigkeit, Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit des Straßenverkehrs. Vor allem aber sollen sie zu einer erhöhten aktiven Sicherheit beitragen, indem sie

- Defizite bei der Aufnahme und Verarbeitung der relevanten Fahrerinformationen beseitigen,
- Fehlhandlungen des Fahrers vermeiden helfen,
- die Folgen von dennoch auftretenden Fahrfehlern mildern und
- die Beanspruchung des Fahrers durch Über- oder Unterforderung abbauen.

Die Entwicklung von FAS führt zu einer veränderten Aufgabenteilung zwischen Fahrer und Fahrzeug/System. Damit werden auch die Belastungen, denen der Fahrer ausgesetzt ist, verändert. Generell können die neuen Aufgabenstellungen leichter oder schwieriger ausfallen als die vergleichbaren Anforderungen bei konventionellen Lösungen; es kann also eine Entlastung oder eine Zusatzbelastung entstehen. Weder das eine noch das andere ist prinzipiell richtig oder falsch; wichtig ist vielmehr, dass es weder zu Unterforderungen noch zu Überforderungen kommt. Vielen Einzelbefunden zu spezifischen Auslegungen bestimmter Systemarten bzw. deren Prototypen stehen allerdings nur wenige grundsätzliche Überlegungen zu Nutzen und möglichen Risiken solcher Systeme gegenüber. Die einzelnen Systeme sind bislang wenig aufeinander bezogen, in ihrer technischen Realisierung häufig suboptimal und nicht immer auf Informationsbedarf, Verarbeitungskapazität und Motivierbarkeit des Fahrers abgestimmt. Nicht alles, was technisch machbar erscheint, ist auch sinnvoll und von Nutzen für den einzelnen Verkehrsteilnehmer. Wesentliche Problembereiche, die nach den bisherigen Erfahrungen bei der Einführung von FAS insbesondere im

Hinblick auf den Nutzer berücksichtigt werden müssen, sind daher z. B.:

- Tatsächlicher Informationsbedarf des Fahrers
- Mögliche Ablenkungseffekte
- Qualität der (ergonomischen) Informationsdarbietung
- Management der vielfältigen Informationen
- Transparenz der Systemfunktionen
- Akzeptanz durch den Fahrer
- Reaktive Verhaltensanpassungen.

Je „intelligenter“ diese Systeme werden, desto mehr gewinnen eine situativ und zeitlich angepasste Informationsdarbietung, sichere und transparente Bedienkonzepte sowie eine differenzielle, an unterschiedlichen Nutzergruppen (z. B. Fahranfänger oder ältere Autofahrer) orientierte Fahrzeuggestaltung an Bedeutung. Dies lenkt den Blick zurück zum engeren Regelkreis „Fahrer-Fahrzeug“, wo wir es mit einer Schnittstelle zwischen einem physikalischen System und dem Humansystem zu tun haben, die die besondere Aufmerksamkeit der Psychologie einfordert. Gilt es doch, gerade im Sinne des Informationsaustausches zwischen Mensch und Maschine die „Kluft“ („gulf of evaluation“/“gulf of execution“) zwischen beiden Systemen zu überwinden (Norman 1986). Dazu muss u. a. geprüft werden, wie Informationen vorverarbeitet werden können, um gewisse Leistungsgrenzen des Fahrers zu kompensieren. Wie z. B. werden Distanzen zu vorausfahrenden Fahrzeugen geschätzt und welche zusätzlichen Informationen sind notwendig bzw. wären für den Fahrer nützlich (wie z. B. Rückmeldesysteme, die Auskunft geben, ob eine Lenktätigkeit oder gar ein Manöver angemessen waren oder nicht)? Ganz allgemein geht es um die psychologisch günstige Gestaltung kodierter Informationen, also darum,

- Information eindeutig und klar verständlich darzubieten,
- die Informationen entsprechend den Fahrebenen zu hierarchisieren,

- sicherheitsfördernde Information redundant zu liefern,
- die Art der notwendigen Information nach Modalität (optisch/akustisch) und nach ihrer Menge sorgfältig auszuwählen.

Ein optimaler Informationsaustausch zwischen Fahrer und Fahrzeug muss kurzgefasst daher folgende Kriterien erfüllen: Die dargebotenen Informationen müssen zeitgerecht, relevant, situationsspezifisch, adäquat und klar verständlich sein; und nicht zuletzt: sie müssen vom Fahrer akzeptiert werden und ihn zu erwünschtem Verhalten motivieren.

Ebenso müssen Untersuchungen der vorfindbaren Bedingungen des situativen Umfeldes vorliegen. Dies führt uns zur Aufgabe des Menschen als Fahrer im Straßenverkehr, kurz: der „Fahrtaufgabe“, die im Rahmen des sicheren Transports von Menschen modelliert werden muss. Sie wird nicht auf der Ebene des Gesamtsystems „Verkehr“, sondern in kleineren Einheiten analysiert, die wir als Mensch-Maschine-System (MMS) „Fahrer-Fahrzeug-Straße“ bezeichnen. In diesem Zusammenhang erfreut sich das hierarchische 3-Ebenen-Modell des Führens von Kraftfahrzeugen (z. B. Allen et al. 1971; Gstalter 2001) großer Wertschätzung. Dabei bilden Navigation, Bahnführung und Stabilisierung in hierarchischer Stufenleiter die typischen Anforderungsformen der Fahraufgabe, denen auf der Bewältigungsseite der Fahrzeugführung die Organisation, Koordination und Regelung gegenüberstehen. Der Fahrer wählt sich eine Route aus dem Verkehrsnetz aus und versucht auf dieser Route sein Fahrziel zu erreichen. Er erledigt auf dieser Ebene also eine Navigationsaufgabe. Auf der Bahnführungsebene orientiert er sich im engeren Fahrraum. Dabei wählt er Manöver aus, die der übergeordneten Navigationsebene entsprechen, und führt diese Manöver durch (Beispiel: Fahrer biegt am nächsten Knotenpunkt links ab). Zur konkreten Realisierung dieser Manöver sind Sollspur und Sollgeschwindigkeit hinreichend genau zu wählen und durch geeignete fertigkeitbasierte Operationen (Lenken, Pedalbedienung) als Stellgrößen an das Fahrzeug zu übermitteln. Dieser

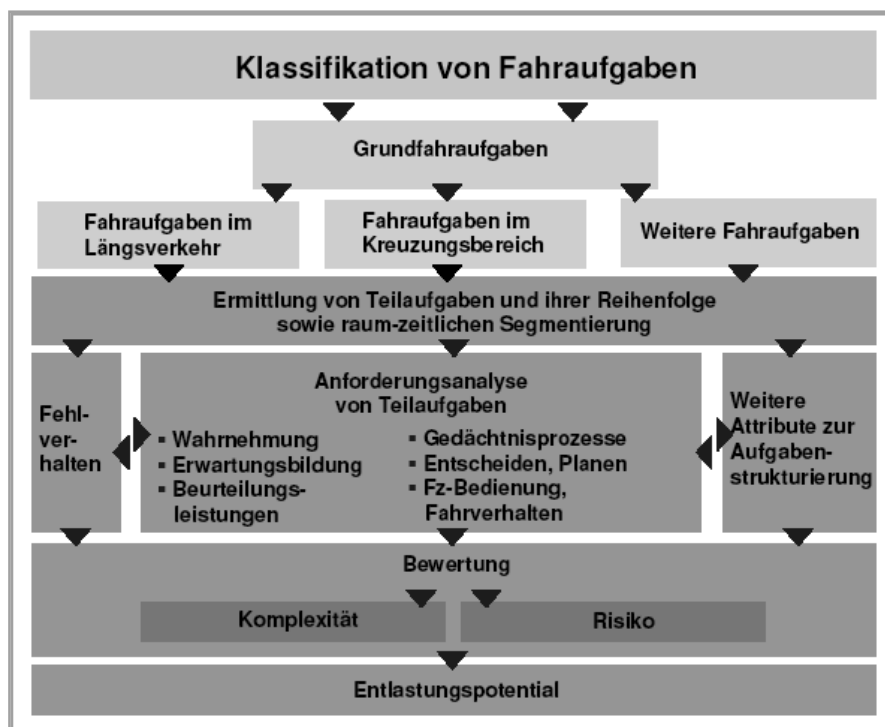


Bild 1: Struktur der Fahraufgabenklassifikation und Anforderungsanalyse in SAFE (nach Fastenmeier & Gstalter 2003)

Figure 1: Structure of the driving task classification and the analysis of the requirements with SAFE

Illustration 1: Structure de la classification de la tache du conducteur et analyse des exigences

Teil der Fahrzeugführung wird als Stabilisierung bezeichnet.

Jede dieser drei Fahraufgabenebenen besitzt verschiedene Zeithorizonte und auch unterschiedliche Prioritäten etwa für die Informationsdarbietung, die zur Fahraufgabenerfüllung befriedigt werden müssen. Probleme auf einer Ebene haben unter Umständen Einfluss auf Entscheidungen auf der nächsthöheren Ebene, z. B. beeinflussen Schwierigkeiten bei der Spurhaltung Entscheidungsprozesse beim Überholen, oder dichter Verkehr führt zu einer anderen Routenwahl, um den Bestimmungsort zu erreichen. Umgekehrt gilt das Gleiche: Entscheidungen auf höherer Aufgabenebene beeinflussen die darunter liegenden Ebenen. Wenn z. B. Zeitdruck besteht, einen bestimmten Zielort zu erreichen, bedeutet das, mehr Überholmanöver zu versuchen; gleichzeitig werden höhere Anforderungen an das Steuerverhalten während solcher Manöver gestellt. Aber auch Interferenzen zwischen den einzelnen Aufgabenebenen müssen berücksichtigt werden: Die Beobachtung von

Verkehrszeichen und der Bewegungen anderer Verkehrsteilnehmer können ein Muster an Informationsaufnahme erzwingen, das zu einem zeitweisen Verlust von visuellem Feedback über die eigene Fahrzeugbewegung führen kann.

Wegen der zentralen Rolle der Fahraufgabe haben Entwurf und Konstruktion von FAS Richtlinien zu befolgen, die sich insbesondere ableiten aus einer Kenntnis:

- der zugrunde liegenden Fahraufgaben und ihrer Teilaufgaben,
- der daraus resultierenden mentalen und psychomotorischen Leistungen, mit denen die jeweiligen Fahraufgaben bewältigt werden können (sog. Anforderungen)
- der damit verbundenen Möglichkeiten und Grenzen menschlicher Informationsverarbeitung.

Nimmt man diese Forderung ernst, benötigt man eine Taxonomie von

Fahraufgaben und ein psychologisches Modell, aus dem die aufgabenimmanenten Anforderungen an den Fahrer abgeleitet und bewertet werden können, also eine Methode zur Fahraufgabenanalyse.

2 Kurzdarstellung einer Analysemethode für Fahraufgaben (SAFE)

Kürzlich wurden mit der Prozedur SAFE (Situative Anforderungsanalyse von Fahraufgaben) die Grundzüge eines Verfahrens entwickelt, das die vorliegenden Ansätze zur Aufgaben- und Anforderungsanalyse integriert und dessen Struktur in Bild 1 dargestellt ist (vgl. Fastenmeier & Gstalter 2003).

Ausgangspunkt ist zunächst ein „Klassifikationssystem von Verkehrssituationen“ (zsf. in Fastenmeier 1995), mit dem die Fahraufgaben – ausgehend vom 3-Ebenen Modell – gekennzeichnet werden. Diese Fahraufgaben werden dann in ihrer raum-zeitlichen Segmentierung beschrieben, in der Reihenfolge ihrer Teilaufgaben gegliedert und auf der Ebene der Teilaufgaben einer Anforderungsanalyse unterzogen. Die Kategorien der Anforderungsanalyse beruhen auf dem Modell menschlicher Informationsverarbeitung von Rasmussen (1986; vgl. auch Muthig 1990). Die ermittelten Daten der Anforderungsanalyse werden dann in einer Reihe von Bewertungsschritten verdichtet und zur Schätzung von Komplexität und Risiko der einzelnen Teilaufgaben einer definierten Fahraufgabe herangezogen. Dabei wird für jede Teilaufgabe geprüft, ob sie in verschiedenen Dimensionen kritische Werte übersteigt. Dies bildet die Basis für die Ermittlung des Entlastungspotentials der einzelnen Teilaufgaben und führt zur Beantwortung der Frage nach den kritischen Ursachen, denen z. B. durch FAS begegnet werden könnte.

Die folgende Darstellung zeigt eine neue Form der Anwendung von SAFE, in dem Anforderungen an die Fahrer verglichen werden, je nachdem, ob Teilaufgaben mit vs. ohne FAS bewältigt werden müssen. Dabei wird modelliert, welchen Einfluß verschiedene

prototypische Komponenten eines Kreuzungsannäherungsassistenten auf Komplexität und Risiko einzelner Teilaufgaben besitzen. Diese Vorgehensweise hat experimentellen Charakter und stellt noch keinesfalls ein standardisiertes Verfahren zur Nutzenanalyse dar. Trotzdem – oder gerade deshalb – schildern wir im folgenden Text die Schritte der Analyse. Wir beginnen mit der Untersuchung der Fahraufgabe mit einem herkömmlichen Fahrzeug und stellen dann die Ergebnisse der Analyse mit einem FAS gegenüber.

3 Nutzenbewertung eines FAS mit Hilfe von SAFE

3.1 Analyse der Fahraufgabe ohne FAS

Die Fahraufgabe.– Die Aufgabe besteht in der Annäherung an einen innerstädtischen lichtsignalgeregelten Knotenpunkt, in dem links abgelenkt werden soll. Wir modellieren diese Fahraufgabe für einen ortsfremden Autofahrer, sodass sie eine Navigationskomponente enthält. Der Fahrer muss also zunächst erkennen, dass er sich einem Punkt nähert, an dem von ihm eine Richtungsentscheidung erwartet wird. Er hat im Straßenumfeld nach navigationsrelevanten Informationen zu suchen und diese der Beschilderung zu entnehmen. Er muss die Richtungsentscheidung dann auf die Bahnführungsebene übersetzen, d. h. einen Spurwechsel nach links als nötig erkennen und diesen schließlich rechtzeitig ausführen. Den letzten Teil der Zufahrt befährt er dann auf dem Abbiegefahrstreifen. Die Ampel zeigt Rotlicht, der Fahrer muss verlangsamen und anhalten.

Segmentierung und Teilaufgaben.– Bild 2 zeigt eine Skizze der Verkehrsanlage mit einer räumlichen Gliederung. Segment 0 beginnt mit der Erkennungsdistanz zum Vorwegweiser und endet an dessen Verschwindepunkt (in Bild 2 mit 15° gekennzeichnet, d. h. von dort ab kann der Fahrer die Information im Wegweiser nicht mehr ohne Kopfbewegungen ablesen). Der Fahrstreifenwechsel sollte vor dem Ende des Segmentes 1 vollzogen sein,

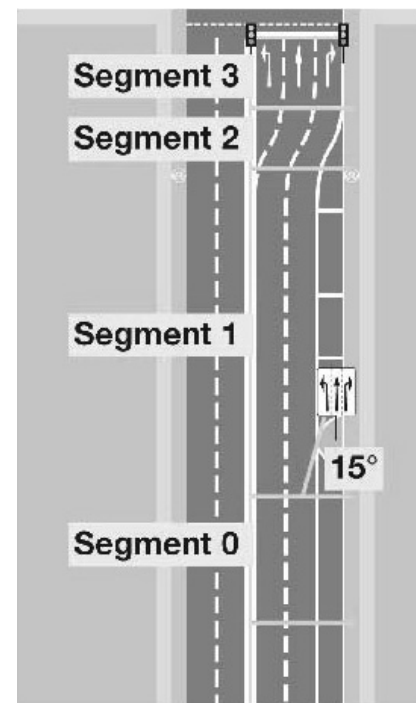


Bild 2: Segmentierung der Fahraufgabe ohne FAS

Figure 2: Segmentation of the driving task without driver assistance system

Illustration 2: Segmentation de la tâche du conducteur sans un système d'assistance du conducteur

welches mit der beginnenden Spuraufweitung endet. Bei Einfahrt in Segment 2 zeigt die Ampel bereits rot.

Im einzelnen ergeben sich für das Befahren der Knotenpunktzufahrt die folgenden Teilaufgaben (TA).

TA 0.1 Erkennen, dass man sich einer Kreuzung nähert

TA 0.2 Erkennen, dass man an der Kreuzung links abbiegen muss

TA 1.1 Erkennen, dass man sich einem LSA-geregelten Knoten nähert

TA 1.2 Prüfen, ob linksabbiegen im Knotenpunkt erlaubt ist

TA 1.3 Erkennen, dass ein Spurwechsel (SW) nach links nötig ist

TA 1.4 Abschätzen der Bewegungen vorausfahrender und linksfahrender Fahrzeuge (Fz)

TA 1.5 Entscheidung zur Durchführung des SW

TA 1.6 Signalisieren der SW- Absicht

TA 1.7 Nötige Geschwindigkeit für SW herstellen

TA 1.8 Durchführung des SW

TA 2.1 In Linksabbiegespur einfahren

TA 2.2 Prüfen, ob angehalten werden muss

TA 3.1 Anhalten

Ergebnisse.– Für diese Teilaufgaben wurde die Anforderungsanalyse mit der Methode SAFE durchgeführt. Wir können hier lediglich die zusammengefassten Ergebnisse wiedergeben. Zunächst zur Einschätzung der Komplexität: Diese ist eine gewichtete Größe aus 4 Parametern: der Summe der Anforderungen, dem Anteil bewusster Verarbeitungsprozesse (B%) sowie der Notwendigkeit, unter Zeitdruck und besonders genau die Anforderungen zu erfüllen. Es ergeben sich für die modellierte Aufgabe nirgends hoch komplex eingestufte Teilaufgaben, aber immerhin fünf mit mittlerer Komplexität, die als Kandidaten für eine Unterstützung durch FAS in Frage kommen. Die Teilaufgaben 0.1 bis 1.3 stellen im wesentlichen die Navigationsaufgabe dar; von diesen werden 2 als mittel komplex eingestuft. Die Teilaufgaben 1.4 bis 1.8 modellieren die weitere Annäherung an den Knotenpunkt und enthalten das Spurwechselmanöver. Teilaufgabe 1.4 bereitet dieses Manöver vor, indem Informationen über die relevanten Objekte um das modellierte Fahrzeug herum gesammelt und bewertet werden. Diese Teilaufgabe wird als relativ komplex eingeschätzt, weil sehr viele Anforderungen bewältigt werden müssen und ein großer Teil davon bewusstseinspflichtige Verarbeitungsprozesse enthält. Die Entscheidung zur Durchführung des Spurwechsels in einem gegebenen Moment stellt ebenfalls viele Anforderungen an den Fahrer, von denen einige besonders sorgfältig bearbeitet werden müssen (z. B. die Beurteilung, ob die Zeitlücke nach links ausreichend ist). Ähnliches gilt für die Durchführung des Spurwechselmanövers selbst,

welches zusätzlich eine zeitkritische Teilaufgabe darstellt. Alle weiteren Teilaufgaben werden von SAFE als wenig komplex eingestuft.

Neben der Komplexität schätzt SAFE für jede Teilaufgabe auch das Risiko ein. Dies geschieht in mehreren Schritten. Zunächst wird aus fünf Faktoren eine Schätzung für das Auftreten einer Schädigung bestimmt („Schadenswahrscheinlichkeit“), danach die zu erwartende Schadenshöhe bestimmt, falls es bei einer Teilaufgabe zu einem Unfall käme („Schadenshöhe“). Letztlich werden beide Einstufungen zu einem kombinierten Risikomaß zusammengeführt.

Hohe Einstufungen der Schadenswahrscheinlichkeit kommen nicht vor, aber einige Teilaufgaben weisen mittlere Beurteilungen auf und könnten damit Kandidaten für FAS sein. Wieder finden sich diese in den Navigations- und Spurwechselteilaufgaben, während die weitere Kreuzungsannäherung unkritisch gesehen wird. Der Index für die Schadenshöhe resultiert aus vier Faktoren: Geschwindigkeit des modellierten Fz, Differenzgeschwindigkeit zu Kollisionsobjekten, Kollisionswinkel, Beteiligung ungeschützter Verkehrsteilnehmer. Die Schätzungen der Schadenshöhe fallen für sämtliche Teilaufgaben niedrig aus und werden deshalb hier nicht weiter berichtet. Insgesamt ergibt sich somit ein Unterstützungspotential vor allem für die folgenden Teilaufgaben:

- TA 1.2: Linksabbiegen erlaubt?
- TA 1.4: Abschätzen der Bewegungen voraus- und linksfahrender Fz
- TA 1.5: Entscheidung zur Durchführung des SW
- TA 1.8: Durchführung des SW

3.2 Analyse der Fahraufgabe mit FAS

Systemkomponenten.– Dieser Abschnitt modelliert den Einfluss verschiedener Komponenten eines FAS auf Komplexität und Risiko der Fahraufgabe. Diese Komponenten sind in Anlehnung an gegenwärtige Entwick-

lungen in der Automobilindustrie konstruiert. Das zu untersuchende System besteht aus folgenden Komponenten:

1. Navigationshilfe mit Spurempfehlung: Auf einem Display erscheint 500 m vor der Kreuzung das Symbol „Lichtsignalgeregelter Knotenpunkt“; gleichzeitig kommt die Sprachansage „an der nächsten Ampel links abbiegen“. Zusätzlich kommt die Ansage „auf den linken Fahrstreifen wechseln“. Diese Mitteilung wird zusätzlich im Display visualisiert.
2. Spurwechselassistent: Im Außenspiegel erfolgt über eine kontinuierliche Leuchtanzeige (gelb oder grün) die Information, ob ein Spurwechsel ratsam ist oder nicht.

Verändert sich die Aufgabenstruktur durch das Assistenzsystem? Die Liste

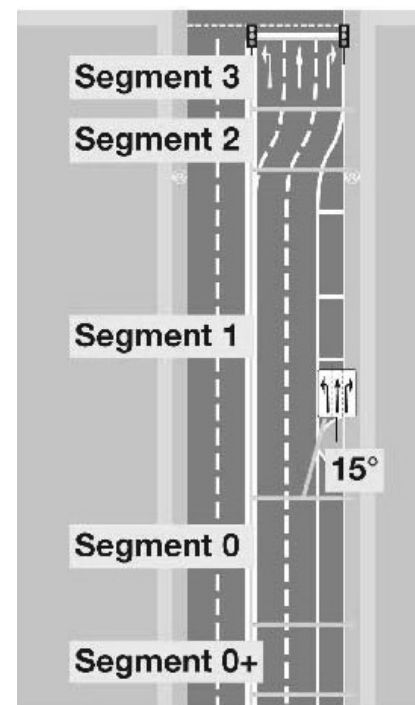


Bild 3: Segmentierung der Fahraufgabe mit FAS

Figure 3: Segmentation of the driving task with driver assistance system

Illustration 3: Segmentation de la tâche du conducteur avec un système d'assistance du conducteur

der Teilaufgaben bleibt auch mit dem System erhalten, aber die Art und Weise, wie der Fahrer sie zu bewältigen hat, verändert sich; dies wird die Anforderungsanalyse ausweisen. Verändert werden muss aber schon die Segmentierung der Verkehrsanlage, weil bestimmte Teilaufgaben bereits vor den bisher definierten Segmenten ausgeführt werden können. Dies wird durch die Tatsache ermöglicht, dass das System dem Fahrer bereits vor der Erkennungsdistanz der Wegweisung Informationen über die Kreuzungsannäherung übermittelt. Wir führen daher ein zusätzliches Segment ein, welches wir 0+ nennen. Dieses beginnt bei der ersten Ankündigung des Knotenpunktes durch das System und endet mit dem Beginn des Segments 0. Diese neue Segmentierung wird in Bild 3 dargestellt.

Tabelle 1 benennt noch einmal die Systemkomponenten, ordnet ihnen Räume zu, in denen sie bedeutsam werden sollen und zählt die entsprechenden Teilaufgaben auf.

3.3 Anforderungsanalyse mit FAS und Vergleich zum Fahren ohne System

Die Anforderungen beim Fahren mit dem System wurden ebenfalls mittels SAFE bestimmt und auf die Komplexitäts- und Risikoeinstufungen der Teilaufgaben verdichtet. Dieser Abschnitt berichtet die Ergebnisse der Analyse, wobei gleichzeitig ein Vergleich mit den Werten ohne System erfolgt. Dabei werden wir uns auf die Darstellung der Effekte der Navigations- und Spurwechselhilfekomponenten beschränken. Tabelle 2 zeigt zunächst den Vergleich der navigationsbezogenen Teilaufgaben.

Der Effekt der Systemkomponenten ist offensichtlich: Die bisher mittelkomplexen Teilaufgaben werden mit dem System nur noch als leicht eingeschätzt. Dafür sind verschiedene Ursachen auszumachen. Einerseits wird durch die rechtzeitige Ankündigung des Knotenpunktes der Zeitdruck zur Erledigung einiger Anforderungen erheblich geringer. Insbesondere das bisher zeitkritische Ablesen der Vor-

Tabelle 1: Teilaufgabenstruktur mit FAS

Table 1: Structure of the subtasks with the driver assistance system

Tableau 1: Structure des sous-tâches avec un système d'assistance du conducteur

Systemkomponente	Segment	Betroffene Teilaufgaben
Navigation mit Spurempfehlung	0+	0.1 Erkennen, dass man sich einer Kreuzung annähert
		0.2 Erkennen, dass man an der Kreuzung links abbiegen muss
	0	1.1 Erkennen, dass man sich einer LSA-geregelten Kreuzung annähert
		1.2 Linksabbiegen erlaubt?
	1	1.3 Erkennen, dass Spurwechsel nach links nötig ist
Spurwechselassistent	1	1.4 Abschätzen der Bewegungen voraus-fahrender und linksfahrender Fahrzeuge
		1.5 Entscheidung zur Durchführung des Spurwechsels
		1.6 Signalisieren der Spurwechselabsicht
		1.7 Nötige Geschwindigkeit für Spurwechsel herstellen
		1.8 Durchführung des Spurwechsels

Tabelle 2: Komplexitätsschätzungen ohne (erste Zeile) und mit FAS (zweite Zeile) für die navigationsrelevanten Teilaufgaben

Table 2: Assessment of task complexity without (first row) and with (second row) the driver assistance system for the navigation subtasks

Tableau 2: Valorisation de la complexité de la tâche sans (première ligne) et avec (deuxième ligne) un système d'assistance du navigation

Element Teilaufgabe	Summe Anforderungen	Anteil bewusster Prozesse (in %)	Zeitdruck	Genauigkeit	Komplexitätsrating
TA0.1 Erkennen, dass man sich einer Kreuzung annähert	10 6	80 50			niedrig
TA0.2 Erkennen, dass man an der Kreuzung links abbiegen muss	10 4	50	ja nein	ja nein	mittel niedrig
TA1.1 Erkennen, dass man sich einer LSA-geregelten Kreuzung annähert	7 6	71 83			niedrig
TA1.2 Linksabbiegen erlaubt?	9 7	78 71	ja nein		mittel niedrig
TA1.3 Erkennen, dass SW nach links nötig ist	10 6	60 50	ja nein		niedrig

wegweiserinformation wird nun einfacher. Ähnliches gilt für die Teilaufgabe 1.3. Durch die frühe Ankündigung der Notwendigkeit eines Spurwechsels kann dieser eher eingeleitet und ohne Zeitdruck in Segment 1 abgeschlossen werden. Für die Teilaufgabe 0.2 entfällt die Notwendigkeit der besonders genauen Erledigung durch die Redundanz

der Sprachansage mit dem Display einerseits und späteren Möglichkeiten der Überprüfung der Abbiegeentscheidung mit Informationen aus der Beschilderung und eventuellen Fahrbahnmarkierungen andererseits. Eine weitere Ursache für die veränderten Komplexitätseinschätzungen besteht in der verringerten Anzahl notwendiger

Tabelle 3: Vergleich der Schadenswahrscheinlichkeit ohne (erste Zeile) bzw. mit (zweite Zeile) FAS für die navigationsrelevanten Teilaufgaben
Table 3: Comparison of the accident probability without (first row) and with (second row) the driver assistance system for the navigation subtasks
Tableau 3: Comparaison de la probabilité d'accident sans (première ligne) et avec (deuxième ligne) un système d'assistance du navigation

Element Teilaufgabe (TA)	Fehler	Konflikt- erwartungen	Summe Fehler und Konflikt- erwartungen	Risiko Monitor	Zeit- druck	Schadens wahr- scheinlich keit
TA 0.1	1					niedrig
TA 0.2					ja nein	niedrig
TA 1.1	2 1		2 1			niedrig
TA 1.2	2		2		ja nein	mittel niedrig
TA 1.3	2 0		2 0		ja nein	mittel niedrig

Tabelle 4: Komplexitätsschätzungen ohne (erste Zeile) bzw. mit (zweite Zeile) FAS für die Spurwechselteilaufgaben
Table 4: Assessment of task complexity without (first row) and with (second row) the driver assistance system for the lane change subtasks
Tableau 4: Valorisation de la complexité de la tache sans (première ligne) et avec (deuxième ligne) un système d'assistance pour les taches de changement des voies

Element Teilaufgabe	Summe Anforde- rungen	Anteil bewusster Prozesse B %	Zeitdruck	Genauig- keit	Komplexi- täts- rating
TA1.4 Abschätzen der Bewegungen vorausfahrender und links fahrender Fz	14 13	79 77			niedrig
TA1.5 Entscheidung zur Durchführung des SW	12 10	67 60		ja nein	mittel niedrig
TA1.6 Signalisieren der SW-Absicht	7 6	43 50			niedrig
TA1.7 Nötige Ge- schwindigkeit für SW herstellen	10 9	40 33			niedrig
TA1.8 Durchführung des SW	9 7	56 43	ja nein	ja nein	mittel niedrig

mentaler Anforderungen mit System. Dies gilt für alle Anforderungsgruppen außer der Fahrzeugbedienung, bei der zeitweise die Notwendigkeit der Zuwendung zum Display dazukommt. Außerdem zeigt sich eine Tendenz zur Vereinfachung bei den zu bewältigen-

den Anforderungen, wie die gesunkene Rate der bewusstseinspflichtigen Prozesse ausweist (insbesondere Gedächtnis- und Entscheidungsprozesse). Insgesamt kann gefolgert werden: Die Komplexität der navigationsrelevanten Teilaufgaben wird geringer und die

Umsetzung der Navigationsentscheidung auf die Bahnführungsebene wird durch das System wirkungsvoll unterstützt.

Im nächsten Schritt prüfen wir auf Unterschiede in den Risikoeinschätzungen. Wir beschränken uns dabei auf die Betrachtung der Schadenswahrscheinlichkeit, da die Schadenshöhe bei einem Unfall mit oder ohne System die selbe sein sollte. Tabelle 3 stellt den Vergleich für die navigationsrelevanten Teilaufgaben dar.

Die Risikoeinstufungen weisen in die selbe Richtung wie die Komplexitätsbetrachtung: Auch hier führt der geringere Zeitdruck zu günstigeren Einschätzungen. Ein weiterer Sicherheitsgewinn ist durch die weniger wahrscheinlichen Fehler mit System zu vermuten: Die sonst für Spurwechselmanöver nicht untypischen Fehler „falsche Spur“ und „Spurwechsel zu spät“ sollten nicht mehr in kritischen Häufigkeiten auftreten.

In Tabelle 4 stellen wir die analogen Vergleiche für die Teilaufgaben dar, die das Spurwechselmanöver beschreiben. Auch die Spurwechselteilaufgaben profitieren erheblich von dem System; zwei von drei Teilaufgaben werden nur noch als gering statt mittel komplex eingestuft. Dies geht auf verschiedene Ursachen zurück. Einerseits auf die Einstufungen bei Zeitdruck und Genauigkeit: hier wurden mit System weniger strenge Ansprüche gestellt, weil das System z. B. bestimmte Beurteilungen unterstützt (z. B. Zeitlücke nach links für Spurwechsel ausreichend?). Auch eine Reihe von Erwartungen und Gedächtnisprozessen wird ebenfalls erfolgreich durch das System unterstützt. Zusätzlich verringert sich bei fast allen Teilaufgaben sowohl die Zahl der Anforderungen als auch der relative Anteil der bewussten, nicht-automatisierten Verarbeitungsprozesse. Insgesamt ergibt sich eine deutliche Unterstützung des Fahrers durch die Spurwechselassistentz.

Die Betrachtung von Tabelle 5 zeigt: Die Risikoeinstufungen haben sich durch die Einbeziehung der Systemfunktionalität wenig verändert. Lediglich bei Teilaufgabe 1.8 wird weniger Zeitdruck erwartet und die Anforderungen an die Gefahrenkognition

Tabelle 5: Ratings der Auftretenswahrscheinlichkeiten von Unfällen ohne (erste Zeile) bzw. mit (zweite Zeile) FAS für die Spurwechselteilaufgaben
Table 5: Ratings of the accident probability without (first row) and with (second row) the driver assistance system for the lane change subtasks
Tableau 5: Comparaison de la probabilité d'accident sans (première ligne) et avec (deuxième ligne) un système d'assistance pour les taches de changement des voies

Element TA	Fehler	Konflikt- erwar- tungen	Summe Fehler und Konflikt- erwartungen	Risiko Monitor	Zeit- druck	Schadens- wahrschein- lichkeit
TA1.4	1	1	2	ja		mittel
TA1.5	1	2	3			mittel
TA1.6	2		2			niedrig
TA1.7	2		2	ja		mittel
TA1.8		1	1	ja nein	ja nein	mittel niedrig

werden geringer eingestuft. Insgesamt kann man die Einschätzungen der Spurwechselassistenten zusammenfassen: Mit dem System wird es einfacher, die Anforderungen zu bewältigen, aber dies wird keine großen Sicherheitseffekte zeitigen. SAFE sagt also einen Gewinn an Komfort, weniger an Sicherheit vorher.

4 Schlussfolgerungen

Im Rahmen der Entwicklung und Erprobung von FAS wird mit Recht der Fahrer als die entscheidende Komponente im System Fahrer-Fahrzeug-Straße betrachtet, denn der Einsatz sinnfälliger FAS setzt eine genaue Analyse der Anforderungen an das Verhalten des Fahrzeuglenkers und der damit verbundenen Informationsverarbeitungsprozesse voraus. Der Bedarf eines Autofahrers an Informationen muss nicht nur in qualitativer, quantitativer und zeitlicher Hinsicht analysiert werden, sondern der Blick muss auch auf die Wechselbeziehungen zwischen den physikalischen Teilsystemen und dem Humansystem gelenkt werden, geht es doch darum, die „Kluft“ zwischen den genannten Systemen zu überbrücken.

Es existiert bisher keine Standardmethode, um Risiken und insbesondere

den Nutzen neuer FAS zu identifizieren und zu bewerten, insbesondere in Entwicklungsphasen, die der Konstruktion von Prototypen und ihrer Überprüfung in Simulator- oder Feldstudien vorausgehen. Für eine solche frühe Bewertung bietet sich eine Fahraufgabenanalyse an, da FAS an verschiedenen Stellen die Fahraufgabe modifizieren (im Sinne einer veränderten Aufgabenteilung zwischen Fahrer und Fahrzeug) und dadurch die mentalen und psychomotorischen Leistungen (also die Anforderungen), mit denen der Fahrer die jeweiligen Fahraufgaben bewältigt, ändern.

Daher wurde in diesem Beitrag in exemplarischer Weise die Fahraufgabenanalysemethodik SAFE eingesetzt, um Anforderungen an die Fahrer zu vergleichen, je nachdem, ob die Teilaufgaben einer modellierten Fahraufgabe (Annäherung an einen innerstädtischen lichtsignalgeregelten Knotenpunkt, an dem links abgelenkt werden soll) mit bzw. ohne FAS bewältigt werden müssen. Dabei wurde modelliert, welchen Einfluß verschiedene prototypische Komponenten eines Kreuzungsannaherungsassistenten auf Komplexität und Risiko einzelner Teilaufgaben haben.

Wie die Beispiele gezeigt haben ergibt die SAFE-Analyse ein deutliches Nutzenpotential in Form geringerer Komplexitäts- und Risikoeinschätzungen

der von FAS-Komponenten betroffenen Teilaufgaben. Diese positiven Effekte erscheinen aber nicht nur in den verdichteten Bewertungen, sondern ergeben sich auch in den einzelnen Zellen der Anforderungsanalyse. Somit kann der ermittelte Systemnutzen präzise der raum-zeitlichen Struktur der betrachteten Fahraufgaben zugeordnet werden.

SAFE ist ein präzises Instrument zur Anforderungsanalyse. Um es im Kontext von FAS adäquat nutzen zu können, ist eine genaue Systemspezifikation notwendig. Hinsichtlich des Spurwechselassistenten ist beispielsweise wichtig zu wissen, ob es sich um ein informierendes System handelt („die Lücke auf dem linken Fahrstreifen beträgt 3 Sekunden“), ob das System Informationen interpretiert („ein Spurwechsel ist nicht ratsam“) oder ob es Entscheidungen fällt („Spurwechsel nicht möglich“). Erst dann kann in der Anforderungsanalyse für jede Teilaufgabe der Einfluss auf Wahrnehmung, Erwartungsbildung, Beurteilung, etc. des Fahrers modelliert werden.

Aus der SAFE-Analyse kann sich eine veränderte Einschätzung von Komplexität und Risiko bestimmter Teilaufgaben ergeben. Das Verfahren hilft aber auch dabei, Hinweise auf die Stimmigkeit der jeweiligen Systemspezifikation zu liefern. Daher bietet SAFE über die prospektive Bewertung des Nutzens eines Assistenzsystems (also im Sinne von „Benefits“) hinaus Möglichkeiten des Einsatzes als iteratives Design-Werkzeug, das unabhängig von konkreten Fahrerbeobachtungen funktioniert oder diese sogar ersetzt. Erweitern lässt sich dies auch hinsichtlich der Modellierung von „Störungen“ aller Art im Fahrer-Fahrzeug-System, also z. B. wenn sich andere Verkehrsteilnehmer falsch verhalten oder wenn der betrachtete Fahrer selbst Fehler begeht, und welche Konsequenzen dies für die Bewältigung der (Teil)Fahraufgabe hat. Dies lässt sich wiederum auf die Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle im Fahrzeug anwenden, indem diese Störungen mit/ohne FAS beschrieben werden. Auch hier werden sich folgerichtig eine veränderte Einschätzung von Komplexität/Risiko bestimmter Teilaufgaben sowie Hinweise auf die Stimmigkeit der jeweiligen Systemspezifikation ergeben. Somit

ist SAFE auch gut für „Risk-Benefit-Analysen“ geeignet.

Literatur

Allen, T.M.; Lunenfeld, H.; Alexander, G.J.: Driver information needs. Highway Research Record 366, 1971 102-115

Bainbridge, L.: Ironies of Automation. Automatica, 19, 1983 775-779

Fastenmeier, W. (Hrsg.): Autofahrer und Verkehrssituation - Neue Wege zur Bewertung von Sicherheit und Zuverlässigkeit moderner Straßenverkehrssysteme (Mensch-Fahrzeug-Umwelt, Bd. 33). Köln: Verlag TÜV Rheinland. 1995

Fastenmeier, W.; Gсталter, H.: Entwicklung und Anwendung einer neuen Methodik zur Fahraufgabenanalyse. VDI-Berichte, 1768, 197-213. Düsseldorf: VDI-Verlag. 2003

Gсталter, H.: Verkehrspsychologie. In Lexikon der Psychologie, Bd. 4 (S. 406-409). Spektrum Akademischer Verlag: Heidelberg Berlin. 2001

Muthig, K.-P.: Informationsaufnahme und Informationsverarbeitung. In C.Graf Hoyos & B. Zimolong (Hrsg.), Ingenieurpsychologie. Enzyklopädie der Psychologie, (Band D, III, 2, S.92-120). Göttingen: Hogrefe. 1990

Norman, D.: Cognitive Engineering. In D. Norman & S. Draper (Eds.), User centered system design (pp. 31-61). Hillsdale: Lawrence Erlbaum. 1986

Rasmussen, J.: Information Processing and Human-Machine Interaction. Amsterdam: Elsevier. 1986

Reichart, G.; Haller, R.: Mehr aktive Sicherheit durch neue Systeme für Fahrzeug und Straßenverkehr. In W. Fastenmeier (1995), Autofahrer und Verkehrssituation - Neue Wege zur Bewertung von Sicherheit und Zuverlässigkeit moderner Straßenverkehrssysteme (S. 199-216). Köln: Verlag TÜV Rheinland. 1995

Anschrift der Verfasser

Dr. phil. Wolfgang Fastenmeier

Dr. rer. nat. Herbert Gсталter

mensch-verkehr-umwelt

Institut für Angewandte Psychologie,
Königinstr. 47

D-80539 München

E-Mail: info@mensch-verkehr-umwelt.de

Die Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. lädt Sie herzlich zum Frühjahrskongress 2008 nach Garching ein.

Die Veranstaltung steht unter dem Leitthema:

Produkt- und Produktionsergonomie – Aufgabe für Entwickler und Planer

Freuen Sie sich auf über 100 Vorträge aus den Bereichen:

- Anthropometrische Gestaltung
- Produkt-Ergonomie
- Produktions-Ergonomie
- Produktions-Ergonomie Fahrzeug
- Komfort / Diskomfort
- Arbeitsplatzgestaltung
- Arbeitsumgebung
- Belastung und Beanspruchung / Arbeitsbewertung
- Arbeitsorganisation
- Methoden
- Arbeitszeit
- Leistungsbewertung
- Qualifikation und Bildung
- Gesundheit
- Gesellschaftliche Wertung der Arbeit



Lokale Organisation und Tagungsort:

Lehrstuhl für Ergonomie, Boltzmannstr. 15
D-85747 Garching
Tel.: +49(0)89 - 289 15400 (Wolfram Remlinger)
Internet:
<http://www.ergonomie.tum.de/gfakongress2008/>



Kongress-Anmeldung:

www.gfa-online.de
Geschäftsstelle der GfA
Tel.: +49(0)2 31/12 42 43 • Fax: +49(0)2 31/7 21 21 54

GfA

54. Frühjahrskongress
der Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Kongress-Termin:
von Mi, 09. April 2008
bis Fr, 11. April 2008