



Diagnose von Fahrerzuständen mittels Fahrverhalten¹

Walter Piechulla, Maria Peißner, Jürgen Wense, Alf Zimmer

Institut für Psychologie, Universität Regensburg

Einleitung

Die Zahl der Benutzer von Mobiltelefonen steigt in Deutschland wie in vielen Ländern der Welt rasch an. Entsprechend gewachsen ist die Besorgnis, dass Telefongespräche und Kurzmitteilungen (SMS) die Sicherheit im Straßenverkehr gefährden.

Der Gesetzgeber hat entsprechend reagiert, seit 1. Februar 2001 gilt in der BRD ein Verbot für die Nutzung von Handys ohne Freisprecheinrichtung im Straßenverkehr. Um den gewünschten Gesprächspartner anzuwählen, ist auch mit Freisprecheinrichtung nur der Druck auf eine Kurzwahltaste gestattet, das Wählen kompletter Nummern darf nur im Stand erfolgen. Das Verbot der Handy-Nutzung ohne Freisprecheinrichtung gilt auch für Stop-and-go-Verkehr und das Halten an einer roten Ampel. Lediglich in einem Stau, in dem sich nichts mehr bewegt und der Motor abgestellt wird, darf der Fahrer sein Handy ohne Freisprecheinrichtung nutzen (Hüskes, 2001).

Allerdings wurden auch beim Telefonieren *mit* Freisprecheinrichtung sicherheitsrelevante Veränderungen nachgewiesen: Verringerte Abstände zum vorausfahrenden Fahrzeug, eine Verschlechterung der Spurführung, sowie Veränderungen des Blickverhaltens. Die Probanden starrten z. B. in voller Konzentration auf das Gespräch teilweise bis zu einer Minute lang bewegungslos vor sich auf die Verkehrsszene (Becker et al., 1995). Das ist ungewöhnlich, da beim normalen Fahren sehr viel öfter Blicke in die Rückspiegel erfolgen. Einen messbaren Anstieg der mentalen Belastung bei zunehmender Komplexität des Gesprächsinhalts konnten Fairclough et al. (1990) nachweisen, eine Freisprecheinrichtung kann hier keine Abhilfe schaffen.

Ein Verbot des Handheld-Betriebs reicht also nicht aus, das Problem der Ablenkung von der Fahraufgabe völlig zu vermeiden. Seit den frühen 90er Jahren werden deshalb *technische Assistenzlösungen* diskutiert, beispielsweise von Verwey (1993, S. 235): „The solution to the overload problem is actually quite simple: a system should be developed which schedules information presentation while taking the driver’s capacities and limitations into account.“ Verwey erwähnt explizit das Blockieren eingehender Telefonanrufe im dichten Stadtverkehr. De Waard (1996, S. 19) stellt ähnliche Überlegungen an und schlägt vor, die Art des gerade befahrenen Straßenabschnitts zu berücksichtigen: „A GIDS² system needs information about the effect of each individual task on workload, preferably dependent upon local situations, before such a system can decide which task or signal to postpone.“ In einem neueren Artikel (Verwey, 2000) ist davon die Rede, dass die Erkennung dieser Verkehrssituationen mittels einer *on-board geographical database* erfolgen könnte.

¹ Die berichteten Arbeiten sind Bestandteil des Projekts SANTOS (Situations-angepasste und Nutzer-Typ-zentrierte Optimierung von Systemen zur Fahrerunterstützung), gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie unter dem Förderkennzeichen 19 S 9826 A/B. Projektleitung: Dr.-Ing. W. König, Robert Bosch GmbH, FV/SLN Forschung und Vorentwicklung und C. Mayser, BMW AG, EV-22 Forschung, Vorentwicklung, Konzepte. Kooperationspartner: Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Fahrzeugtechnik; Technische Universität Darmstadt, Institut für Arbeitswissenschaft; Technische Universität Dresden, Institut für Verkehrswegebau; Technische Universität München, Lehrstuhl für Ergonomie; Universität Regensburg, Lehrstuhl für Psychologie II; Universität Würzburg, Würzburger Institut für Verkehrswissenschaften.

² GIDS = Generic Intelligent Driver Support (vgl. Michon, 1993).

Der Menge und dem Detaillierungsgrad von Vorschlägen hinsichtlich eines als technisches System zu realisierenden Situationserkenners – der aufgrund einer Abschätzung der Fahrerbeanspruchung die Mensch-Maschine Schnittstelle im Fahrzeug selbstadaptiv den Erfordernissen der Situation anpassen soll – steht allerdings bisher bemerkenswert wenig Erfolg bei der tatsächlichen Umsetzung dieser Vorschläge gegenüber. Selbst beim umfangreichen Projekt *Generic Intelligent Driver Support GIDS* (Michon, 1993) gelang es *nicht*, einen voll funktionsfähigen Prototypen zu erstellen. Evaluationsversuche für selbstadaptive Mensch-Maschine-Schnittstellen im Fahrzeug fehlen dementsprechend bisher weitgehend.

Im Zuge des Projekts SANTOS (König & Mayser, 2001) bietet sich aber nun die Möglichkeit, ein derartiges System auf Demonstratorfahrzeugen zumindest soweit zu realisieren, dass die Grundprinzipien der Regelung einer empirischen Evaluation im Feldversuch unterzogen werden können.

Integrierte Fahrerassistenz

Der Versuchsträger ist ein für das Projekt SANTOS modifizierter BMW 540i. Auffälligste Unterschiede zu Serienfahrzeugen sind ein *Adaptive Cruise Control System* (Abstandsregeltempomat, im folgenden ACC genannt) und ein *Heading Control System* (im folgenden HC genannt). HC ist ein Lenkassistenz-System, das über kleine zusätzliche Momente am Lenkrad Lenkvorschläge macht. Für ein begrenztes Testgebiet ist ein *Speed Control System* (im folgenden SC genannt) zuschaltbar, das über Eingriffe in die Motorsteuerung und das Bremssystem automatisch eine bestimmte Sollfahrergeschwindigkeit einstellt. Ebenfalls auf dieses Testgebiet beschränkt ist ein im folgenden als *Situationserkennung* bezeichnetes System. Dieses Software-Modul dient dem Zweck, die situationsspezifische Fahrerbeanspruchung zu schätzen und bei detektierten Spitzenbeanspruchungen die optische und akustische Anzeige von eingehenden Kurzmitteilungen (SMS) und Telefonanrufen zu unterdrücken. Die Beschränkung auf ein begrenztes Gebiet geht darauf zurück, dass die zuletzt genannten Systeme auf Informationen einer speziellen geografischen Datenbank zugreifen, die im folgenden als *Feindigitale Karte FDK* bezeichnet wird.

Entsprechend dem Ziel des Projekts SANTOS sind die Eingriffe aller Assistenzsysteme soweit wie möglich aufeinander abgestimmt. Dies wird durch ein regelbasiertes System erreicht, das bei der Erkennung gewisser Szenarien Parameter der einzelnen Fahrerassistenzsysteme verändern kann, um eine szenarienspezifische Feinabstimmung des Verhaltens dieser Systeme zu erreichen. So wird beispielsweise der ACC-Folgeabstand erhöht, wenn ein Reibwertsensor sinkende Griffigkeit der Fahrbahnoberfläche erkannt hat. Der Nutzer-Typ wird mittels dreier vordefinierter Mengen von Einstellungen berücksichtigt, die für „entspanntes“, „normales“ und „sportliches“ Fahren entworfen wurden. Alle Systemeingriffe sind so ausgelegt, dass der Fahrer ohne weiteres jederzeit die Vorschläge der Assistenzsysteme übersteuern kann.

Kraiss (1998) definiert Assistenz als redundant-parallele Funktionsteilung beim Bearbeiten der gleichen Aufgabe durch Mensch und Maschine. Zentrales Kriterium dieser Assistenz – im Gegensatz zur Automatisierung – ist, dass der Rechner keine Entscheidungsfreiheit besitzt, sondern lediglich entscheidungsvorbereitend arbeitet. Ein Assistenzsystem kann dann als gelungen bezeichnet werden, wenn es vom Benutzer als konsistent, homogen und transparent empfunden wird. Im Idealfall wirken die Informationen des SANTOS-Systems *präattentiv*,

d. h. der geübte Benutzer nimmt die Vorschläge des Systems nicht mehr bewusst wahr, sondern betrachtet sie als Bestandteil eines „normalen“ Fahrzeugverhaltens.

Heutige MMI-Lösungen im Fahrzeug implementieren häufig sogenannte *forcing functions*, zum Beispiel wird der Fernsehempfang nur im Stand ermöglicht, sobald der Wagen fährt wird aber der Bildschirm dunkel geschaltet. Forcing functions sind aber nur in Ausnahmefällen wie dem gerade genannten Beispiel eine gute Lösung; sie werden in der Regel als störender Eingriff von Außen wahrgenommen und verleiten daher den Nutzer, diese Funktionen zu umgehen oder auszuschalten. Fahrerassistenz bedeutet eben *nicht*, den Fahrer zu regelkonformem Verhalten zu zwingen oder ihn dazu zu „erziehen“. Nach Meinung von Rothengatter et al. (1993) kann es auch nicht als Assistenzfunktion betrachtet werden, den Fahrer entgegen seinem gewohnheitsmäßigen, beabsichtigten Verhalten zu warnen, selbst wenn dieses Verhalten ein erhöhtes Unfallrisiko oder eine Gesetzesübertretung bedeutet. Vielmehr müsse das gewohnheitsmäßige Verhalten des einzelnen Fahrers als de facto – Norm für diesen Fahrer angesehen werden, sogar wenn das bedeutet, dass er bedeutende Fehler macht. Diese im Zuge des Projekts GIDS Anfang der 90er Jahre entwickelten verhaltensleitenden Zielbestimmungen für Fahrerassistenz stellen aus heutiger Sicht sicherlich eine Extremposition dar. Aber auch diese spektakuläre Extremposition kann von der psychologisch orientierten Verkehrssicherheitsforschung nicht ignoriert werden.

Selbstadaptivität der Mensch-Maschine-Schnittstelle

Vor diesem Hintergrund ist ein System nicht unproblematisch, das bei vermuteter Überbeanspruchung des Fahrers automatisch Telefonanrufe vor ihm verbirgt. Die Güte der Beanspruchungsschätzung muss daher hoch sein. Andernfalls wird der Nutzer das Abregeln der externen Kommunikation nicht tolerieren, sondern die Regelung einfach abschalten. Das Unterbinden eingehender Informationen muss einen tatsächlichen Komfortgewinn für den Fahrer darstellen und nicht etwa nur widerwillig von ihm toleriert werden.



Abbildung 1: Mensch-Maschine Schnittstelle im SANTOS-Demonstrator

Abbildung 1 zeigt das Fahrzeug-Cockpit des Versuchsträgers mit einem zentralen Display im Armaturenbrett, das auch dazu dient, SMS-Mitteilungen zu lesen und eingehende Telefonanrufe entgegenzunehmen oder abzulehnen. Überschreitet die Beanspruchungsschätzung einen Schwellenwert, der eine gerade noch vertretbare

Fahrerbeanspruchung markiert, so wird dem Fahrer diese Entscheidung abgenommen. Telefonanrufe werden dann ohne die übliche akustische und optische (Popup-Fenster-) Signalisierung fast unsichtbar für den Fahrer in die Mailbox (Anrufbeantworter) umgeleitet. Kurzmitteilungen werden gespeichert, aber ebenfalls nicht mehr auffällig angezeigt. Es wird lediglich für jedes Ereignis ein Zähler inkrementiert, der als unauffällige Zahl am unteren Bildschirmrand platziert ist. Änderungen dieser Zähler bemerkt der Fahrer nur wenn er den Blick bewusst auf das Display richtet. Damit soll die durch eingehende Nachrichten verursachte Ablenkung von der Fahraufgabe in kritischen Fahrsituationen verhindert werden.

Die Situationserkennung beruht einerseits auf *statischen* Informationen zum befahrenen Straßenabschnitt. Eine GPS-Präzisionsortung ermöglicht das Auffinden von Informationen zu diesem Abschnitt in der Feindigitalen Karte. Der Beanspruchungsschätzer verfügt für jede ihm bekannte Situationsklasse über einen Beanspruchungsindex, der als Basis-Beanspruchungsschätzung dient.

Zusätzlich werden *dynamisch* sich ergebende Aspekte des Verkehrsgeschehens berücksichtigt:

- Hat ACC ein vorausfahrendes Fahrzeug erfasst (Fahren im gebundenen Verkehr)?
- Verringert sich der Sekundenabstand zum Vorausfahrenden (Annäherungssituation)?
- Erfolgt gerade eine Übernahmeanforderung des ACC (Aufforderung an Fahrer, wieder selbst zu bremsen, weil die maximale Verzögerung, die ACC bereitstellen kann nicht ausreichen würde)?
- Findet gerade ein Überholvorgang statt?
- Bremst der Fahrer gerade?

All diese Ereignisse bedeuten eine punktuelle Erhöhung der Fahrerbeanspruchung, daher wird die Basis-Beanspruchungsschätzung bei Detektion dieser Ereignisse in geeigneter Weise nachgewichtet³.

Umweltinformationen, die ebenfalls berücksichtigt werden und eine erneute moderate Nachgewichtung der Schätzung bewirken, sind:

- Helligkeitssensor (ist es Tag oder Nacht?)
- Regensensor (regnet es?)
- Reibwertsensor (ist die Straße trocken, nass oder glatt?)

Vorausschau

Aus der Historie der passierten geografischen Punkte der Feindigitalen Karte lässt sich die befahrene Straße und die Fahrtrichtung ermitteln. Falls es laut Karte keine Abbiegemöglichkeiten gibt, können die vor dem Fahrzeug liegenden Streckenabschnitte vorhergesagt werden. Der Fahrer müsste ungewöhnlich reagieren, z. B. auf der Straße wenden, um diese Vorhersage, die oft metaphorisch als *Fahrschlauchprognose* bezeichnet wird, zu invalidieren. Für die Entwicklung und Evaluation der Situationserkennung wurde eine 27 km lange Strecke nördlich von München nach der Situationstaxonomie von Fastenmeier (1995) in minimal sinnvoll unterteilbare Abschnitte klassifiziert und die Zugehörigkeit zur jeweiligen Situationsklasse in die Feindigitale Karte eingetragen. Jeder

³ Wir bitten um Verständnis dafür, dass wir auf Details der implementierten Gewichtung nicht eingehen.

Situationsklasse ist in der Situationserkennung ein Beanspruchungsindex zugeordnet. Die Beanspruchungsindizes werden aus Beanspruchungsmessungen an routinierten Fahrern mit großer Fahrerfahrung gewonnen, die als Modell für einen „Normalfahrer“ dienen. Grundzüge dieser Vorgehensweise wurden erstmals von Verwey (2000) besprochen.

Fahrerbeanspruchungsmessung

Um möglichst viele Aspekte des Konstruktes Beanspruchung zu erfassen, werden in der Verkehrspsychologie meist multivariate Messansätze verfolgt (Richter et al., 1998, Gstalter und Fastenmeier, 1998). Oft wird ein Sekundäraufgabenparadigma (Wickens, 1992; Wickens & Carswell, 1997) verwendet, aus der Leistung in einer *secondary task* wird ein Maß für die verbleibende Rest-Verarbeitungskapazität abgeleitet, die nicht von der Primäraufgabe verbraucht wird. Sekundäraufgabenmaße haben den Vorteil hoher Sensitivität bei kurzen Beobachtungszeiträumen ab ca. 10 Sekunden, während Primäraufgabenmaße wie die Fahrgeschwindigkeit nicht sensitiv für Beanspruchung sind (Verwey & Veltman, 1996). Mit Primäraufgabenmaßen lassen sich in der Regel nur extrem hohe Beanspruchungen nachweisen (O'Donnell & Eggemeier, 1986). Wir verwenden die relative Anzahl der Blickzuwendungen zur Sekundäraufgabe, bzw. deren Ausbleiben als einen Indikator für situationsspezifische Fahrerbeanspruchung.

Zunehmende Bedeutung für die Messung mentaler Beanspruchung wird in der Ingenieurpsychologie psychophysiologischen Beanspruchungsmaßen zugeschrieben (Boucsein & Backs, 2000). Allerdings hat die psychophysiologische Beanspruchungsforschung noch eine Fülle ungelöster theoretischer und praktischer Probleme vor sich, die z. B. im Überblicksartikel von Manzey (1998) besprochen werden. Beispielsweise wird bei Aufgaben, in denen eine Person eine externe Stimulation akzeptiert, also die Aufmerksamkeit „nach außen“ gerichtet ist, *direktionale Fraktionierung* (Lacey, 1967) festgestellt. Das heißt, verschiedene physiologische Parameter *dissoziieren* (laufen auseinander); ein Effekt, der gerade beim Autofahren immer wieder festgestellt wurde (Gstalter & Fastenmeier, 1998). Man geht heute nicht mehr von einem eindimensionalen Konstrukt *allgemeiner zentraler Aktiviertheit* (Bartenwerfer, 1969; Kahnemann, 1973) aus, sondern versucht, *stimuluspezifische Reaktionsmuster* der Probanden (Fahrenberg, 1983) zu identifizieren. Das bedeutet, dass unterschiedliche Probanden auf eine bestimmte Situation mit gleichen, bzw. ähnlichen physiologischen Veränderungen reagieren, die somit ein bestimmtes Reaktionsmuster ergeben. Wir untersuchen drei Maße, die sich in der Verkehrspsychologie als vielversprechend herausgestellt haben auf ihre Tauglichkeit als robuste Beanspruchungs-Indikatoren. Dies sind erstens NS.SCR⁴, also die Anzahl der spontanen Hautleitwertserhöhungen pro Zeiteinheit, gemessen am linken Fuß über dem musculus abductor hallucis (vgl. Zeier, 1972; Richter et al., 1998). Zweitens die Herzratenvariabilität HRV, gemessen als relatives Absinken der Spektraldichte von R-Zacken-Abständen des aus einer Brustwandableitung gewonnenen EKG-Signals im Frequenzband von 0,07 bis 0,14 Hz (vgl. de Waard, 1996; Manzey, 1998; Hoedemaeker, 1999). Drittens das Niveau des integrierten Elektromyogramms einer Ableitung vom *musculus frontalis* (vgl. Zeier, 1979; de Waard, 1996).

Ziel der Versuche zur Beanspruchungsmessung ist es, die Untersuchung der Fahrerbeanspruchung durch multivariate Messung auf eine möglichst breite Datenbasis zu stellen, damit das wissenschaftliche Verständnis von Fahrerbeanspruchung zu vertiefen und manchmal auch Vorschläge für mögliche Anwendungen zu wagen.

⁴ NS.SCR = nonspecific skin conductance response

Ausgewählte Ergebnisse

Exemplarisch sollen nun einige Ergebnisse vorgestellt werden, die wir zur Prognose der Fahrerbeanspruchung verwenden, die durch die Belastungswirkung gleichartiger Situationen im Fahrer entsteht. Das Fehlerbalkendiagramm in Abbildung 2 zeigt die Displayblicke pro Sekunde, also das Ausmaß der Blickzuwendungen zur Sekundäraufgabe. Zusammengefasst sind hier die Daten dreier hochgeübter Fahrer, die jeweils die selbe Strecke drei mal befahren haben. Während auf gut ausgebauten Landstraßen (L1), wie auch auf kurvenreicheren Landstraßen älterer Bauart (L2) gleichmäßig viel visuelle Restverarbeitungskapazität für die Sekundäraufgabe verbleibt, zeigen sich für verschiedene Innerorts-Situationsklassen (C4, C6) signifikante Unterschiede. Wie zu erwarten, sind die Fahrer besonders beim Abbiegen an Kreuzungen (K3-F2) besonders wenig bereit, den Blick von der Verkehrsszene abzuwenden, um die Sekundäraufgabe zu bearbeiten. Die verwendete Klassifikation von Verkehrssituationen ist in Fastenmeier (1995) detailliert beschrieben.

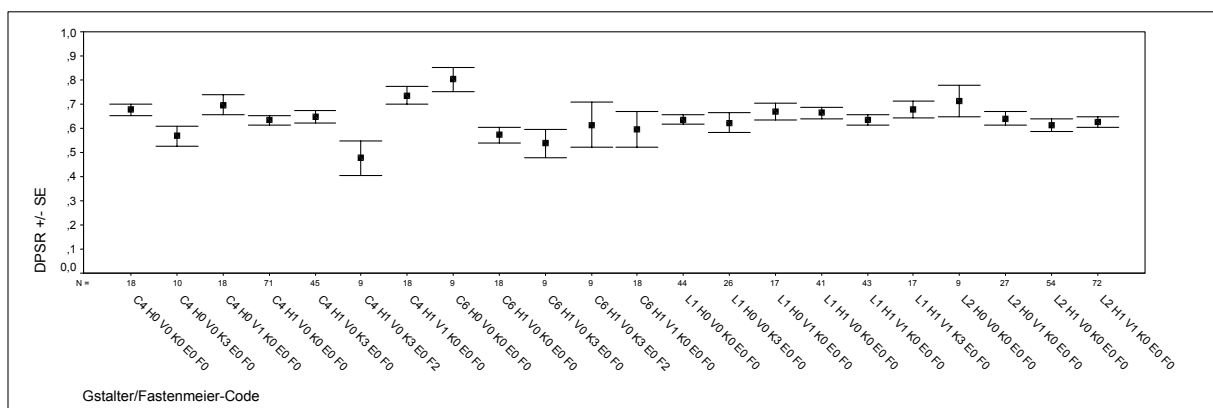


Abbildung 2: Blickzuwendung zur Sekundäraufgabe für 22 Situationsklassen

Implementierung

Einen überblicksmäßigen Eindruck von der Funktionsweise des in Entwicklung befindlichen Beanspruchungsschätzers soll Abbildung 3 vermitteln⁵. Links unten ist die Verfolgung (Tracking) der Karte zu sehen, oben ein Visualisierungswerkzeug zur Beobachtung der Berechnungen innerhalb des Beanspruchungsschätzer-Moduls. Der zweite horizontale Malstreifen (Pane) von oben stellt die statisch aufgrund der auf der weiteren Strecke kommenden Verkehrssituationen vorhergesagte Beanspruchung dar. Die beschrifteten Kästchen (check boxes) zeigen die Detektion verschiedener dynamischer Ereignisse an. Weiterhin wird die insgesamt vorhergesagte Fahrerbeanspruchung und die Qualität dieser Schätzung wiedergegeben. Wenn die prognostizierte Beanspruchung einen festgelegten Schwellwert überschreitet, schaltet die Zustandsmaschine für Telefon und SMS in den Modus, der das Verbergen eingehender Kommunikationsereignisse bewirkt.

⁵ Es kann nicht Ziel dieser Kurzdarstellung sein, auf methodische oder technische Details der Beanspruchungsschätzung einzugehen, wir wollen vielmehr die prinzipielle Vorgehensweise veranschaulichen.



Abbildung 3: Test des Beanspruchungsschätzers

Ausblick

Die vorgestellten Ansätze zur Diagnose von Fahrerzuständen mittels Fahrverhalten stellen nur einen kleinen Ausschnitt aus einer Fülle zu untersuchender Möglichkeiten dar. So versuchen wir beispielsweise auch, den vom Fahrer betriebenen Lenkaufwand mittels Echtzeit-Spektralanalyse des Lenkwinkelsignals in die Beanspruchungsschätzung mit einzubeziehen. Ganz allgemein kann spekuliert werden, dass das Auto der Zukunft nicht nur über Sensorik und maschinelle Intelligenz zur Erfassung des umgebenden Verkehrsraumes verfügen wird, sondern auch seinen Fahrer beobachten und Rückschlüsse auf seine Befindlichkeit ziehen wird. So könnten etwa technologische Durchbrüche im Bereich der Bildverarbeitung dazu führen, dass künftig aus den Bildern einer Beobachtungskamera über eine automatische Analyse der Lidschlussdauer des Fahrers Ermüdungszustände erkannt werden.

Heutige Fahrerassistenzsysteme sind in erster Linie Komfortsysteme, auch wenn in populärwissenschaftlichen Darstellungen gerne ein möglicher Sicherheitsgewinn in den Vordergrund gestellt und der Traum vom unfallfreien Verkehr beschworen wird (z. B. Wüst, 2000). Zwar ist die Zahl der in der BRD jährlich zu beklagenden Todesopfer im Straßenverkehr gegenüber den 70er Jahren auf etwa ein Sechstel zurückgegangen, trotzdem sterben noch immer ca. 7000 Personen pro Jahr auf Deutschlands Straßen (Braess, 1998). Wenn also jährlich die Einwohnerzahl einer Kleinstadt vernichtet wird und der Straßenverkehr mehr Menschen gewaltsam tötet als jede Droge, sollten die enormen Erwartungen in puncto Sicherheit nicht verwundern, die teilweise mit neuen technischen Möglichkeiten verbunden werden.

Wie oben bereits besprochen bedeutet Fahrerassistenz nicht Automatisierung. Trotzdem könnten Befürchtungen aufkommen, dass durch den zunehmenden Einsatz von Assistenz-Technologien der Fahrer beim Führen seines Kraftfahrzeugs in eine eher passive Rolle gedrängt wird. Angesichts der Begeisterung, die wir bei unseren Versuchspersonen erleben, wenn wir sie Fahrerassistenzsysteme erproben lassen, können wir diese Befürchtungen nicht teilen. Fahrerassistenz steht – nach unserer Erfahrung – nicht im Widerspruch zur Freude am Fahren.

Literatur

Bartenwerfer, H. (1969). Einige praktische Konsequenzen aus der Aktivierungstheorie. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie*, 16, 195-222.

Becker, S., Brockmann, M., Bruckmayr, E., Hofmann, O., Krause, R., Mertens, A., Nin, R. & Sonntag, J. (1995). *Telefonieren am Steuer*. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Mensch und Sicherheit. Heft M 45. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.

Boucsein, W. & Backs, R. W. (2000). Engineering Psychophysiology as a Discipline: Historical and Theoretical Aspects. In: R. W. Backs & W. Boucsein (Hrsg.). *Engineering Psychophysiology. Issues and Applications*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Assoc.

Braess, H.-H. (1998). *Der Mensch als aktives und passives Element im Kraftfahrzeug*. Gastvortrag am Lehrstuhl für Psychologie II der Universität Regensburg, 16.07.98. Online verfügbar: <http://pcptpp030.psychologie.uni-regensburg.de/student2001/MMLectures/braess0798/braess0798.html>

De Waard, D. (1996). *The Measurement of Drivers' Mental Workload*. Haren: The Traffic Research Center VSC.

Fahrenberg, J. (1983). Psychophysiologische Methodik. In K. J. Groffmann & L. Michel (Hrsg.), *Verhaltensdiagnostik. Enzyklopädie der Psychologie. Band B/II/4*, (S. 1-192). Göttingen: Hogrefe.

Fairclough, S. H., Ashby, M. C., Ross, T., Parkes, A. M. (1990). *Effects on driving behaviour of handsfree telephone use*. DRIVE Project V1017 (BERTIE) Report No. 48. Loughborough: HUSAT Research Institute, November 1990.

Fastenmeier, W. (Hrsg.).(1995). *Autofahrer und Verkehrssituation. Neue Wege zur Bewertung von Sicherheit und Zuverlässigkeit moderner Straßenverkehrssysteme*. Köln:Verlag TÜV Rheinland GmbH, Bonn:Deutscher Psychologen-Verlag.

Gstalter, H. & Fastenmeier, W. (1998). *Ablenkungskritische Situationen: Theoretische Konzepte und praktische Hinweise*. Motiv-MMI-AP5-Bericht, Teilprojekt Diagnose & Transfer. Diagnose & Transfer, Institut für Angewandte Psychologie, München.

Hoedemaeker, D. M. (1999). *Driving with Intelligent Vehicles. Driving behaviour with adaptive cruise control and the acceptance by individual drivers*. Delft: Delft University Press.

Hüskes, R. (01.01.2001). *Jahreswechsel: Handy-Verbot am Steuer*. Online verfügbar: <http://www.heise.de/newsticker/data/jk-01.01.01-004/>

Kahnemann, D. (1973). *Attention and Effort*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

König, W. & Mayser, C. (1999). *S.A.N.T.O.S Situations-angepasste und Nutzer-Typ-zentrierte Optimierung von Systemen zur Fahrerunterstützung*. Projekt-Homepage: <http://www.santosweb.de>

- Kraiss, K. F. (1998). Benutzergerechte Automatisierung – Grundlagen und Realisierungskonzepte. *at – Automatisierungstechnik* 46, 457-467.
- Lacey, J. I. (1967). Somatic response patterning and stress: Some revisions of activation theory. In M. H. Appley & R. Trumbull (Hrsg.), *Psychological stress: Issues in research*. New York: Appleton Century Crofts.
- Manzey, D. (1998). Psychophysiologie mentaler Beanspruchung. In F. Rösler (Hrsg.). *Ergebnisse und Anwendungen der Psychophysiologie. Enzyklopädie der Psychologie. Band C/1/5* (S. 799-864). Göttingen: Hogrefe.
- Michon, J. A. (Hrsg.) (1993). *Generic Intelligent Driver Support. A Comprehensive Report on GIDS*. London: Taylor & Francis.
- O'Donnel, C. R. & Eggemeier, F. T. (1996). Workload assessment methodology. In K. R. Boff, L. Kaufman & J. P. Thomas (Hrsg.), *Handbook of perception and human performance: Vol. II. Cognitive processes and performance*. (42.1-42.29). New York: Wiley.
- Richter, P., Wagner, G., Heger, R. & Weise, G. (1998). Psychophysiological analysis of mental load during driving on rural roads – a quasi-experimental field study. *Ergonomics*, 41, 593-609.
- Rothengatter, T. A., Alm, H., Kuiken, M. J., Michon, J. A. & Verwey, W. B. (1993). The Driver. In: J. A. Michon (Hrsg.). *Generic Intelligent Driver Support. A Comprehensive Report on GIDS*. (S. 33-52). London: Taylor & Francis.
- Verwey, W. B. (1993). How can we prevent overload of the driver?, In A. M. Parkes and S. Franzen (Hrsg.), *Driving Future Vehicles* (S. 235-244). London: Taylor & Francis.
- Verwey, W. B. (2000). On-line driver workload estimation. Effects of road situation and age on secondary task measures. *Ergonomics*, 43, 187-209.
- Verwey, W. B. & Veltman, J. A. (1996). Detecting short periods of elevated workload. A comparison of nine common workload assessment techniques. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 2, 270-285.
- Wickens, T. D. (1992) *Engineering psychology and human performance* (2nd. ed.). New York: HarperCollins Publishers Inc.
- Wickens, C. D. & Carswell, C. M. (1997). Information Processing. In: Salvendy, G. (Hrsg.): *Handbook of Human Factors and Ergonomics*, zweite Auflage. New York: John Wiley & Sons.
- Wüst. C. (2000). Sanfter Griff ins Lenkrad. *Der Spiegel*. Nr. 52/25.12.2000. 172-173.
- Zeier, H. (1979). Concurrent physiological activity of driver and passenger when driving with and without automatic transmission in heavy city traffic. *Ergonomics*, 22, 799-810.