

Online-Fahrerbeanspruchungsschätzung

Ausgangssituation

Das Aufmerksamkeitsmanagement im Kraftfahrzeug ist ein noch ungelöstes Problem, das die Verkehrspsychologie immer wieder beschäftigt. Nach Verwey (1993) spielt „driver inattention“ in 30 bis 50 Prozent aller Unfälle eine Rolle. Sprenger (1999) vermutet sogar, dass die Ablenkung von der Fahraufgabe eine der größten Unfallursachen im Straßenverkehr darstellt.

Die Anzahl und Vielfalt von Informations- und Kommunikationssystemen, die im Fahrzeug verfügbar sind und um die Aufmerksamkeit des Fahrers konkurrieren, steigt aber weiter an. Zum klassischen Armaturenbrett sind längst elektronische Navigationshilfen und Zielführungssysteme, sowie Mobiltelefon und SMS-Kurznachrichten gekommen.

Die neuen Geräte und Dienste versprechen zwar einerseits, die Fahraufgabe komfortabler, effizienter und sicherer zu machen. Andererseits warnen Ergonomen und Psychologen seit langem vor der Ablenkungswirkung gerade solcher Nebentätigkeiten beim Autofahren (z.B. Alm, 1993; McLoughlin et al., 1993; Verwey, 1993). Hinzu kommt, dass bis vor kurzem keine Integrationskonzepte erkennbar waren, die Einzelgeräte im Fahrzeug zu einer einheitlichen Mensch-Maschine-Schnittstelle zusammenfassen. So mahnt Labiale (1997), der Innenraum eines PKW werde irgendwann einem Flugzeugcockpit gleichen, wenn man nicht damit aufhöre, immer neue zusätzliche Anzeigen und Bedienelemente einfach nebeneinander auf dem Armaturenbrett zu verteilen.

Schon lange umstritten und deshalb ein geradezu klassisches Beispiel für eine potentiell gefährliche Nebentätigkeit ist das Telefonieren am Steuer. Becker et al. (1995) kommen in ihrer Studie zu dem Schluss, dass sich aus den von ihnen gewonnenen Ergebnissen zwar kein generelles Verbot ableiten lässt, Autotelefone allerdings generell mit Freisprechanlagen ausgerüstet sein sollten und das Wählen mit dem Hörer in der Hand beim Fahren unterbleiben sollte. Inzwischen hat der Gesetzgeber reagiert, seit dem 1. Februar 2001 ist in Deutschland das Telefonieren während der Fahrt nur noch mit Freisprecheinrichtung erlaubt. Um den gewünschten Gesprächspartner anzuwählen, ist auch mit Freisprecheinrichtung nur der Druck auf eine Kurzwahltaste gestattet, das Wählen kompletter Nummern darf nur mittels Spracheingabe oder im Stand erfolgen.

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). Einen messbaren Anstieg der mentalen Belastung bei zunehmender Komplexität des Gesprächsinhalts konnten Fairclough et al. (1990) nachweisen, eine Freisprecheinrichtung kann hier keinerlei Abhilfe schaffen.

Große Resonanz in den Massenmedien und damit einen ungewöhnlichen Bekanntheitsgrad erlangten kürzlich die Ergebnisse des so genannten Mobile Phone Report des Transport Research Laboratory TRL in Berkshire, UK (Direct Line, 2002). Das TRL hatte im Auftrag des KFZ-Versicherers Direct Line eine Simulatorstudie durchgeführt, bei der Reaktionszeiten auf ein Signal unter vier verschiedenen Bedingungen gemessen wurden: Normales Fahren, Fahren unter Alkoholeinfluss, Fahren und Telefonieren mit Freisprecheinrichtung, sowie Fahren und Telefonieren mit einem Handapparat. Für die Alkoholbedingung wurden die Probanden auf die in Großbritannien am Steuer gerade noch erlaubte Blutalkoholkonzentration (BAK) von 0,8 Promille gebracht. Zweck des spektakulären und nicht unumstrittenen Vergleiches zwischen Trunkenheitsfahrt und Telefonieren am Steuer war es, zu quantifizieren und allgemeinverständlich zu demonstrieren, wie stark ein Telefongespräch die Fahrleistung beeinträchtigt. Daher wurden die durchschnittlichen gemessenen Reaktionszeiten auch auf den Weg umgerechnet, den ein Fahrer in dieser Zeit bei einer Fahrgeschwindigkeit von 70 mph (112 km/h) zurückgelegt hätte. Bei normalem Fahren sind dies 31 m, in der Alkoholbedingung 35 m, beim Telefonieren über Freisprecheinrichtung



39 m und beim Telefonhörer am Ohr 45 m. Selbst mit Freisprecheinrichtung reagieren telefonierende Autofahrer signifikant langsamer als Fahrer mit einer BAK von 0,8 Promille. Der Autoversicherer Direct Line und das renommierte TRL geben damit zu verstehen, Telefonieren während des Fahrens – in Großbritannien sehr zum Missfallen der Versicherungsbranche immer noch bedingungslos erlaubt – sei schlimmer als betrunken zu fahren, egal ob mit oder ohne Freisprecheinrichtung. Über Sinn und Unsinn dieser Aussage lässt sich zwar trefflich streiten, der Mobile Phone Report zeigt aber eindrucksvoll die immens große praktische Bedeutung des Themas Aufmerksamkeitsmanagement im Kraftfahrzeug.

Die Idee der beanspruchungsadaptiven Mensch-Maschine-Schnittstelle

Anfang der 90er Jahre entstand im DRIVE Projekt V1041 Generic Intelligent Driver Support, kurz „GIDS“ genannt (Michon, 1993) die Idee einer adaptiven Mensch-Maschine-Schnittstelle, die die optimale Allokation von Aufmerksamkeitsressourcen beim Steuern eines Kraftfahrzeugs maschinell unterstützen soll: „The solution to the overload problem is actually quite simple: a system should be developed which schedules information presentation, [...] which presents only one attention demanding message at the time [...]. In addition, it should adapt message presentation to the current demands exerted upon the driver by the driving task. [...] When, for example, a driver gets very busy with manouvring his/her car in heavy city traffic the interface might adapt to the increased demands of driving by blocking phone calls [...]“ (Verwey, 1993, S. 235).

Weil direkte Beanspruchungsmessungen beim Fahren – z.B. psychophysiologische Messungen – erstens wohl kaum vom Autofahrer akzeptiert würden und zweitens nur die augenblickliche Beanspruchung erfassen, aber keinerlei Vorhersagemöglichkeit für zwar schon absehbare, aber noch nicht eingetretene Ereignisse bieten, muss die zentrale Komponente eines solchen Systems ein Beanspruchungsschätzer (Workload Estimator) sein (Piersma, 1991, 1993). Das heißt, Verkehrssituationen müssen vorausschauend erkannt werden und es bedarf eines Fahrermodells, mit dem Schätzungen der aufgrund der erkannten Verkehrssituation zu erwartenden Fahrerbeanspruchung möglich sind.

Reichart (1993, S. 145) zeigt sich angesichts der Komplexität des Verkehrsgeschehens und der Vielzahl möglicher Interaktionen mit verschiedenen Fahrervariablen skeptisch in Bezug auf die Realisierungsmöglichkeiten dieses Konzepts: „It will be obvious [...] that there is still a long way to go before convincing concepts for adaptive interfaces can be introduced“. Sehr viel optimistischer ist dagegen Verwey (1993), er sieht die Möglichkeit, einfache statische Lookup-Tabellen zur Beanspruchungsschätzung zu benutzen, wenn es gelingt, die für die Fahrerbeanspruchung relevanten Parameter sinnvoll zu klassifizieren.

Tatsächlich war auch der im GIDS-Projekt verwendete Beanspruchungsschätzer sehr einfach aufgebaut (Piersma, 1993): Aus einer als „Driving Model“ bezeichneten recht detaillierten Repräsentation der Fahraufgabe für einige wenige Verkehrssituationen (so genannte „Small World“, siehe McLoughlin et al., 1993) erhält der „Workload Estimator“ vorausschauend Informationen über die kommenden Situationen und Fahraufgaben. Die Sekundäraufgabenleistungen von 24 Versuchspersonen in insgesamt sechs verschiedenen Verkehrssituationen auf Autobahn und Landstraße wurden gemittelt, um als Schätzwert für die jeweils nicht von der Primäraufgabe des Fahrens verbrauchten Verarbeitungsressourcen eines durchschnittlichen Fahrers zu dienen (Piersma, 1993; Verwey, 1991). Verwey hat dieses Verfahren später auf zehn verschiedene Verkehrssituationen ausgeweitet (Verwey, 2000). Eine systematische Klassifikation von Verkehrssituationen ist dabei aber jeweils nicht erkennbar. Völlig ausgeklammert bleibt auch die Frage, wie die kommenden Verkehrssituationen erkannt werden sollen, wenn der Fahrer nicht einer festen Versuchsstrecke folgt, sondern seine Fahrtroute frei wählen kann. Die GIDS-Evaluationsversuche waren entweder Simulatorstudien oder wurden mit einem provisorisch ausgerüsteten Fahrzeug des TNO Institute for Perception durchgeführt, bei dem nicht vorhandene Systemkomponenten simuliert werden mussten, was die Evaluationsmöglichkeiten stark einschränkte. So waren zum Beispiel keine Abstandsmessungen zu beliebigen vorausfahrenden Fahrzeugen möglich, sondern nur zu einem speziell ausgerüsteten Hilfsfahrzeug und die Positionsbestimmung des Systems funktionierte nur mit Infrarot-Reflektoren am Straßenrand, die

entlang einer im voraus festgelegten Fahrstrecke angebracht werden mussten (Janssen & Kuiken, 1993).

Das GIDS-Projekt war dominiert von einer benutzerzentrierten, eher psychologisch als technisch orientierten Sichtweise der Fahraufgabe (Michon, 1991). Die dabei entstandenen Ideen und aufgeworfenen Fragen haben bis heute kaum an Aktualität eingebüßt. Zehn Jahre nach GIDS wurden im Projekt SANTOS¹ unter anderem die Anfang der 90er Jahre entstandenen Ideen und Konzepte neu aufgegriffen und auf dem aktuellen Stand der Technik weiterverfolgt, insbesondere auch das Konzept des Beanspruchungsschätzers.

Das SANTOS-System

Grundgedanke des Projekts SANTOS ist eine Erhöhung von Sicherheit und Fahrkomfort durch die individuelle, adaptive und integrierte Form der Fahrerassistenz (König et al., 2000). Integrierte Assistenz bedeutet die Abstimmung einzelner Assistenzsysteme zu einem stimmigen Gesamtkonzept von Fahrerassistenz sowie die Optimierung von zeitlich sich überschneidenden Informations- und Kommunikationsereignissen. Die SANTOS-Demonstratoren sind modifizierte BMW-Fahrzeuge. Auffälligste Unterschiede zu Serienfahrzeugen sind Adaptive Cruise Control (Abstandsregelsystem, im folgenden ACC genannt) und Heading Control (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 zuschaltbar, das über Eingriffe in die Motorsteuerung und das Bremssystem automatisch eine bestimmte Sollfahrgewindigkeit einstellt. Ebenfalls auf dieses Testgebiet beschränkt ist der Beanspruchungsschätzer. Dieses Software-Modul dient dazu, die Fahrerbeanspruchung vorausschauend zu schätzen und bei prognostizierten Spitzenbeanspruchungen die von Anzeigen, Signalen und Systemmeldungen im Fahrzeug verursachte Zusatzbeanspruchung zu reduzieren, indem Meldungen niedriger Priorität aufgeschoben werden oder ganz unterbleiben. Die Beschränkung von Speed Control und Beanspruchungsschätzung auf ein begrenztes Gebiet geht darauf zurück, dass diese Systeme auf Informationen einer speziellen geografischen Datenbank zugreifen, die im folgenden als Feindigitale Karte (FDK) bezeichnet wird. Die wechselseitige Abstimmung der Assistenzsysteme wird durch ein regelbasiertes System erreicht, das bei der maschinellen Erkennung gewisser Szenarien Parameter der einzelnen Fahrerassistenzsysteme verändert, um eine Anpassung des Systemverhaltens 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 (vgl. Mayser, 2002). Alle Systemeingriffe der Assistenzsysteme sind so ausgelegt, dass der Fahrer ohne weiteres die Vorschläge der Systeme jederzeit übersteuern kann.

Beanspruchungsindizes für die Situationen der feindigitalen Karte

Eine 27 km lange Teststrecke im Einzugsgebiet der FDK wurde zunächst gefilmt, dann anhand der Videoaufzeichnung nach der Taxonomie für Verkehrssituationen von Fastenmeier (1995) klassifiziert. Die Übergänge zwischen den 186 resultierenden Situationen wurden dann vor Ort mit differenziellem GPS vermessen und die entsprechenden Koordinaten in die FDK-Datenbank eingetragen. Zur Schätzung der relativen Beanspruchungswirkung der 22 auf der Teststrecke vorkommenden Situationsklassen nach

¹ SANTOS (Situations-angepasste und Nutzer-Typ-zentrierte Optimierung von Systemen zur Fahrerunterstützung) wird 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 Vorausbildung und C. Mayser, BMW Group, Fahrzeugforschung. 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. Für den Inhalt von Veröffentlichungen sind die jeweiligen Autoren verantwortlich.

Fastenmeier wurden Beanspruchungsversuche im Sekundäraufgabenparadigma verwendet: In neun Realfahrten mussten die Vpn eine visuelle Suchaufgabe in einem Lauftext-Display bearbeiten. Als Maß für die informationelle Restverarbeitungskapazität der Fahrer wurde die Anzahl der Blickzuwendungen zu dieser Sekundäraufgabe pro Sekunde verwendet. Das Maß differenziert gut (ANOVA, $p = ,006$) zwischen leicht zu bewältigenden Situationen, in denen die Fahrer relativ viele Blicke auf die Sekundäraufgabe richten und schwierigen Situationen, in denen die Fahrer den Blick seltener vom Verkehrsgeschehen abwenden. Die Beanspruchungsindizes für die 22 Situationsklassen werden definiert als: Beanspruchungsindex = $1 - \text{mittlere Blickzuwendungshäufigkeit}$. Situationsklassen werden also als umso beanspruchender gewertet, je weniger die Vpn in den entsprechenden Situationen auf das Display mit der Sekundäraufgabe schauen.

Beanspruchungsschätzung im SANTOS-System

Im Gegensatz zum GIDS-System (Janssen & Kuiken, 1993) ist der Beanspruchungsschätzer des SANTOS-Systems voll funktionsfähig. Er arbeitet zweistufig: Mit fest zugeordneten Beanspruchungsindizes für aus der FDK erkannten Verkehrssituationen nach Fastenmeier (1995) wird zunächst eine Basis-Beanspruchungsschätzung vorgenommen. Diese wird dann durch Berücksichtigung von fahrdynamischen Größen und Sensordaten über die Umgebungsbedingungen verfeinert. Die Idee, zunächst eine Klassifikation von Verkehrssituationen zugrunde zu legen, ist nicht neu. Sie ist in Grundzügen schon bei de Waard (1996, S. 19) zu erkennen: „A GIDS 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.“ Noch klarer spricht sich Verwey (2000, S. 188) für diese Vorgehensweise aus: „The findings [...] that type of road situation is the most important determinant of secondary task performance, suggests that an adaptive interface might largely prevent driver overload on the basis of knowledge about the type of road situation the car is in.“ In Verweys (2000, S. 190, S. 198) Gedankenexperimenten wird sogar die Verwendung einer digitalen Karte vorausgesehen, die Verwey als „on-board geographical database“ bezeichnet.

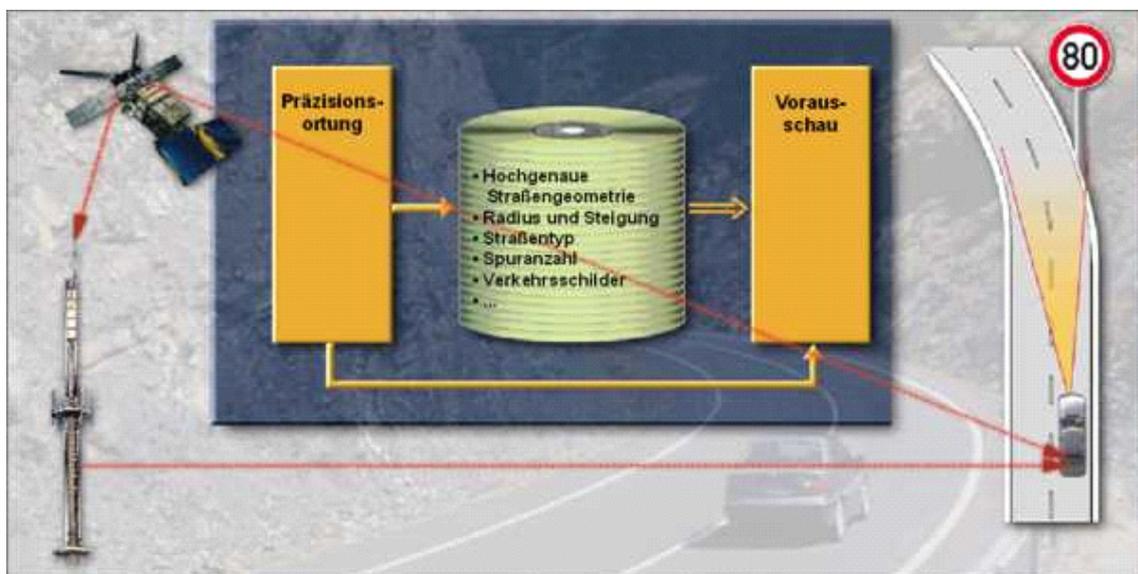


Abb. 1: Differenzielle GPS-Ortung (DGPS), Maptracking und Vorausschau

Basis-Beanspruchungsschätzung

Zunächst muss das System seinen geografischen Standort bestimmen, was durch differenzielle GPS-Ortung, kurz DGPS, geschieht. DGPS ist eine Technik zur Verbesserung der Positionierungsgenauigkeit, bei der der GPS-Positionierungsfehler für einen bekannten Standort bestimmt wird, um daraus Korrekturdaten für Positionsberechnungen von DGPS-Empfängern zu erhalten, die in der selben geografischen Region arbeiten und Daten der selben GPS-Satelliten empfangen. Die Korrekturdaten müssen in Echtzeit an die DGPS-

Empfänger übermittelt werden. Für den von SANTOS benutzten DGPS-Dienst ALF (Accurate Positioning by Low Frequency) geschieht dies beispielsweise durch einen Langwellensender in Mainflingen bei Frankfurt. Damit werden flächendeckend Genauigkeiten von bis zu drei Meter und besser erreicht. Dieser Dienst ist seit 1997 bundesweit verfügbar (GPS GmbH).

Der Abgleich der Positionsdaten mit einer experimentellen feindigitalen Karte (FDK) durch einen speziellen Tracking-Algorithmus erlaubt die Prognose der Fahrtroute (Fahrtschlauch). Zuverlässigkeit der Prognose und Reichweite der Vorausschau hängen dabei vom Vorhandensein von Abbiegemöglichkeiten und dem Detailreichtum der Karte ab. Abb. 2 zeigt oben ein speziell angefertigtes Visualisierungsprogramm, mit dem die Berechnungen des Beanspruchungsschätzers in der Endphase seiner Entwicklung beobachtet wurden, in Abb. 2 unten ist ein typischer sechsminütiger Ausschnitt aus einer aufgezeichneten Beanspruchungsschätzung geplottet.

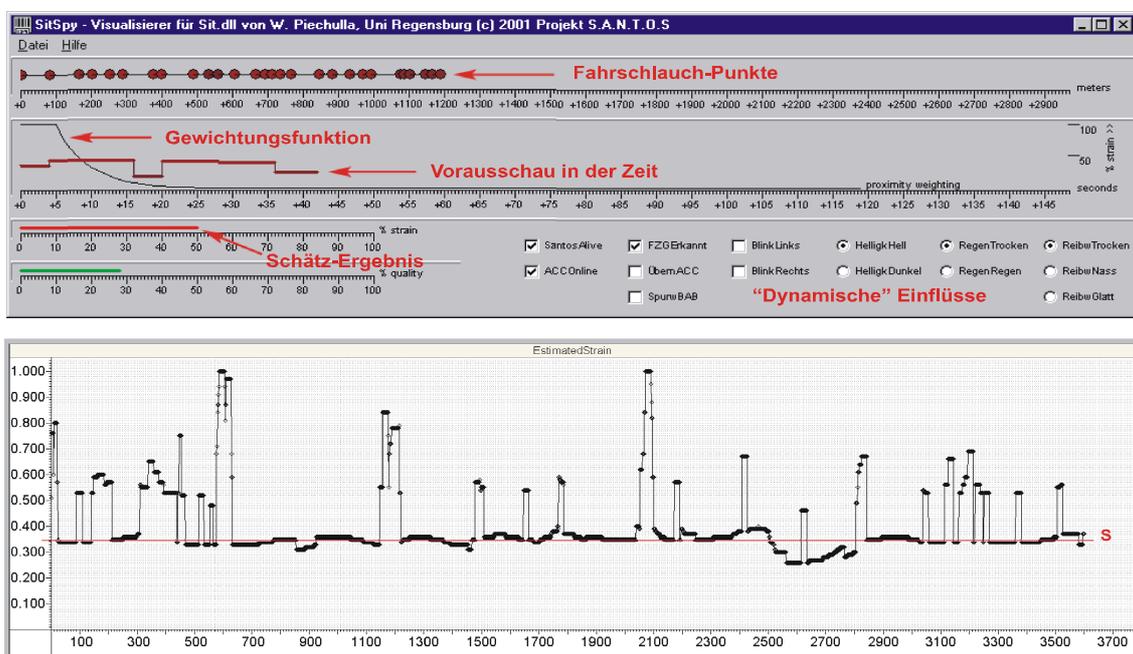


Abb. 2: Der Beanspruchungsschätzer (oben) und ein Schätzprotokoll (unten)

Im Bildschirmauszug des Visualisierungsprogramms wird ganz oben die Fahrtschlauchprognose in der Form dargestellt, in der sie der Beanspruchungsschätzer vom Tracking-Algorithmus (vgl. Schraut, 2000) erhält. Es handelt sich um Exemplare einer Datenstruktur, die der Einfachheit halber als ein „Punkt“ bezeichnet werden soll. Ein solcher Punkt beschreibt einen geografischen Ort auf der voraussichtlichen Fahrtroute und enthält verschiedene Informationen über die Beschaffenheit der Strasse an diesem Ort. Der Beanspruchungsschätzer benötigt davon nur die Entfernung des Punktes vom Fahrzeug und seine Zugehörigkeit zu einer Situationsklasse nach Fastenmeier (1995). In einer einfachen Lookup-Tabelle wird der Beanspruchungsindex der jeweiligen Situation nachgeschlagen, aus einer Abfolge von Punkten wird so eine Abfolge prognostizierter Beanspruchungslevels des Fahrers. Über die Berücksichtigung der aktuellen Fahrgeschwindigkeit wird abgeschätzt, wann eine bestimmte Situation voraussichtlich erreicht sein wird. Diese Beanspruchungsprognose in der Dimension Zeit ist naturgemäß umso unsicherer, je weiter die Prognose in die Zukunft reicht, weil die Annahme einer gleich bleibenden Fahrgeschwindigkeit eine starke Vereinfachung darstellt – für nahe liegende Situationen ist sie aber wegen des relativ schnellen Iterationszyklusses der Berechnungen von 10 Hz recht gut. Dies ist nur ein Grund, warum eine Relevanzgewichtung der Situationen nach zeitlicher Nähe sinnvoll ist. Ein weiterer ist eher grundsätzlicher Natur. Es stellt sich nämlich die Frage, welches Zeitintervall

als Verkehrssituation aus Sicht des Fahrers relevant ist, d.h. wie nahe muss eine Situation sein, damit es Sinn macht, sie bereits zu berücksichtigen?

Verwey (2000) schlägt ohne weitere Begründung einen Vorausschaubereich von vier Sekunden vor, wir erweitern diesen Bereich etwas auf fünf Sekunden, die voll berücksichtigt werden. Weiter in der Zukunft liegende Streckenabschnitte werden mit einem exponentiellen Abfall erster Ordnung ($y = 2.71866 * e^{-x/4.72657}$) gewichtet. Die Auslegung der Gewichtungsfunktion ist mehr oder weniger willkürlich: Wie Verwey (2000) müssen wir uns hier in Ermangelung besserer Erkenntnisquellen schlicht auf unsere Intuition verlassen. Die gewichtete Summe der Beanspruchungsindizes für alle kommenden Fahrschlauchpunkte dient als Basis-Beanspruchungsschätzung.

Nachgewichtung der Beanspruchungsschätzung

Die statische, nur auf der Klassifikation von Verkehrssituationen beruhende Basis-Beanspruchungsschätzung kann verbessert werden, indem zusätzlich Wissen über das Verkehrsgeschehen, fahrdynamische Größen und veränderliche Umgebungsbedingungen berücksichtigt wird. Wir bezeichnen dies im Folgenden als dynamische Einflüsse.

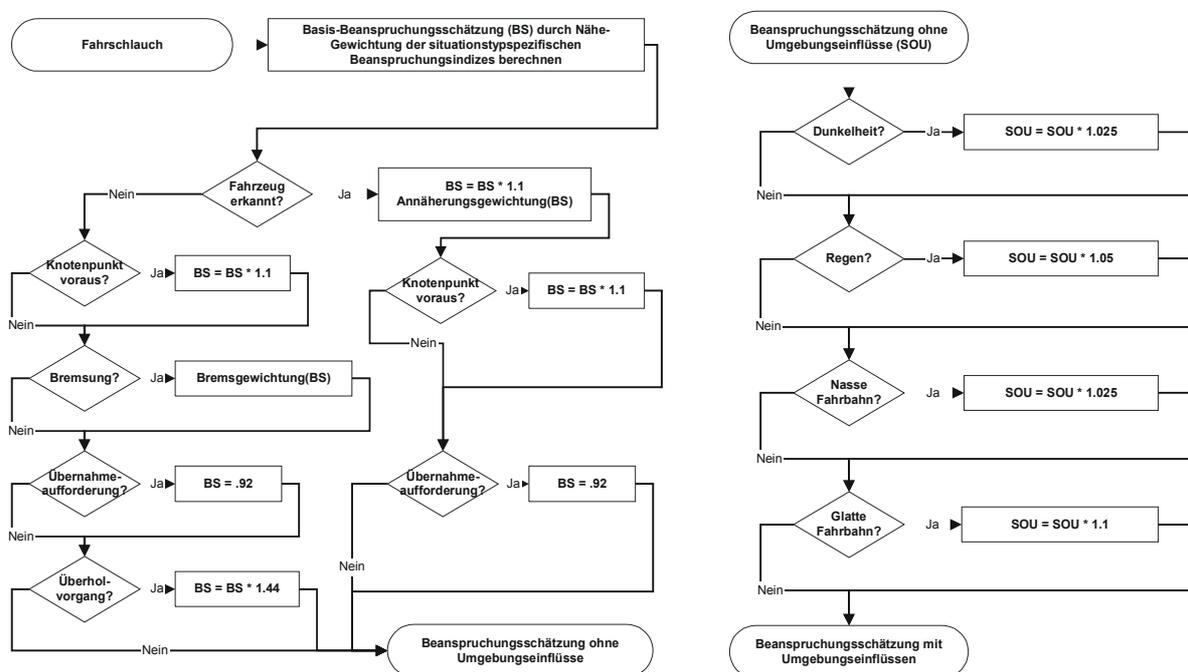


Abb. 3: Nachgewichtung der Beanspruchungsschätzung

Die Auslegung der in Abb. 3 wiedergegebenen Feinabschätzung musste heuristisch gewonnen werden, weil groß angelegte Versuchsreihen zur Klärung aller Detailfragen den Kosten- und Zeitrahmen des Projekts SANTOS gesprengt hätten. Startpunkt für die Logik der Nachgewichtung waren Literaturbefunde, vor allem die Ergebnisse der Studie von Weinberger (2001), sowie Befunde und Erfahrungen aus diversen eigenen Versuchen und Probefahrten. Ein Mitarbeiter der Universität Regensburg, der das Demonstratorfahrzeug im Selbstversuch schon intensiv getestet hatte, bevor die Beanspruchungsschätzung implementiert war, wurde als Experte für das praktische Erleben der integrierten SANTOS-Fahrerassistenz betrachtet. Seine Einschätzungen und Vorschläge wurden für die Feinauslegung der Gewichtung dynamischer Einflüsse bei der Beanspruchungsschätzung herangezogen. Nach einem mehrtägigen iterativen Prozess des Verbesserns und Testens, hatten wir die bestmögliche Gewichtung dynamischer Einflüsse gefunden. Die zu optimierende Software konnte dabei dank der flexiblen Systemarchitektur – das SANTOS-System ist ein Netz aus Softwaremodulen auf verteilten Rechnern, die über Multicast-TCP/IP miteinander kommunizieren (vgl. Schumann, Mayser & Gehrke 2002) – auf einem Notebook-Rechner vom Beifahrersitz aus modifiziert, neu kompiliert und sofort weiterverwendet

werden. In der resultierenden Schätzlogik, die in Abb. 3 dokumentiert ist, bewirken folgende dynamische Ereignisse eine Erhöhung der Basis-Beanspruchungsschätzung:

- Beim Übergang vom ungebundenen in den gebundenen Verkehr (vorausfahrendes Fahrzeug detektiert) steigt der Schätzwert leicht an
- Steht das Erreichen eines Knotenpunktes bevor (X-Kreuzung oder T-Kreuzung), wird der Schätzwert nochmals leicht erhöht
- Bei einer Übernahmeaufforderung des ACC (maximale dem System erlaubte Verzögerung reicht nicht, Fahrer muss daher selber bremsen) wird der Schätzwert auf 92 Prozent des erreichbaren Maximalwertes gesetzt
- Im ungebundenen Verkehr (kein vorausfahrendes Fahrzeug erkannt) werden Bremsvorgänge als beanspruchungserhöhend gewertet, insbesondere starke Verzögerungen
- Detektierte Überholvorgänge werden als stark beanspruchungserhöhend gewertet

Sensordaten zu Umgebungsbedingungen werden schließlich für eine erneute moderate Nachgewichtung herangezogen. Existierende Literaturbefunde zu solchen Umgebungsfaktoren erweisen sich als uneinheitlich und sind tatsächlich kaum zu verallgemeinern. Dementsprechend können die in Abb. 3 rechts dokumentierten Gewichte nur als vorläufige Daumenpeilungen bezeichnet werden. Die berücksichtigten Einflüsse sind:

- Dunkelheit
- Regen
- Nasse Fahrbahn
- Glatte Fahrbahn

Einflüsse der Umgebungsbedingungen konnten wegen mangelnder Herstellbarkeit nicht im Evaluationsversuch berücksichtigt werden. Die Evaluation fand im August 2001 statt. Gefahren wurde jeweils nachmittags bei durchgängig sonnigem Wetter und trockener Fahrbahn.

Evaluation

Am Evaluationsversuch auf einer ländlichen Versuchstrecke mit Landstraßen älterer und neuerer Bauart, sowie ausgedehnten Ortsdurchfahrten, nahmen zwölf Vpn teil. Sechs davon waren fahr-erfahrene PKW-Halter (mittlere Dauer des Führerscheinbesitzes 6,7 Jahre), sechs Führerscheineulinge (mittlere Dauer des Führerscheinbesitzes 50 Tage). Jede Vp fuhr die 27 km lange Versuchstrecke drei mal, dabei war die Reihenfolge der Versuchsbedingungen innerhalb der Erfahrungsgruppen vollständig permutiert. Gefahren wurde einmal ohne Fahrerassistenzsysteme (Leerfahrt), einmal mit ACC (Abstandsregelsystem) und HC (Spurhaltesystem) und einmal mit ACC, HC und dem Beanspruchungsschätzer, der Telefonanrufe abblockte (Telefoneingriff), wenn die Beanspruchungsschätzung einen festgelegten Schwellwert überschritt. Damit der Telefoneingriff oft genug auslösen konnte, musste diese Schwelle relativ niedrig eingestellt werden, schon die Detektion eines vorausfahrenden Fahrzeugs reichte in Situationen mit hohem Beanspruchungsindex aus, um einen eingehenden Anruf abzuweisen. In jeder Fahrt wurde der Fahrer genau zehn mal angerufen und nach der Lösung einer einfachen Kopfrechenaufgabe gefragt (Zahl 12 zu einer zweistelligen Zufallszahl addieren, also „Wie viel ist XX plus 12?“). Diese Aufgabe dient dazu, einen Gesprächsinhalt mit mittlerem Schwierigkeitsgrad zu simulieren. Unter der Bedingung Telefoneingriff waren bis zu 64 Anrufversuche notwendig, da bis zu 54 Anrufe vom System abgewiesen wurden. Das Ausmaß an aufgetretener mentaler Beanspruchung wurde per Fahrt mit objektiven (EKG, EMG) und subjektiven Messverfahren (Fremdbeurteilung der Beanspruchung, NASA-TLX-Selbstbeurteilung der Beanspruchung) erfasst.

Ergebnisse

Abb. 4 zeigt das über alle Vpn gemittelte Periodogramm einer Spektralanalyse der aufgezeichneten Elektrokardiogramme. Bei mentaler Beanspruchung nimmt die Spektraldichte (Power) im Frequenzband von 0,07 bis 0,14 Hz ab (Task Force, 1996; Berntson et al., 1997). Aus der Darstellung ist ersichtlich, dass die Spektraldichte für EKGs der Telefoneingriffsbedingung vergleichsweise hoch ist. Alle im folgenden erwähnten

quantitativen Ergebnisse wurden, wenn nicht ausdrücklich anders angegeben, mit 2 (Fahrerfahrung, between subjects) x 3 (Systemunterstützung, within subjects) Messwiederholungs-Varianzanalysen berechnet. Die integrierte Power pro Person als Kennwert ist für die Telefoneingriffsbedingung tendenziell am höchsten, was für geringe mentale Beanspruchung spricht (Abb. 5 links oben). Tendenziell am niedrigsten ist die integrierte Power in der Versuchsbedingung mit ACC und HC, die Werte der Leerfahrt ohne Assistenzsysteme bewegen sich dazwischen. Die Unterschiede sind nicht statistisch signifikant.

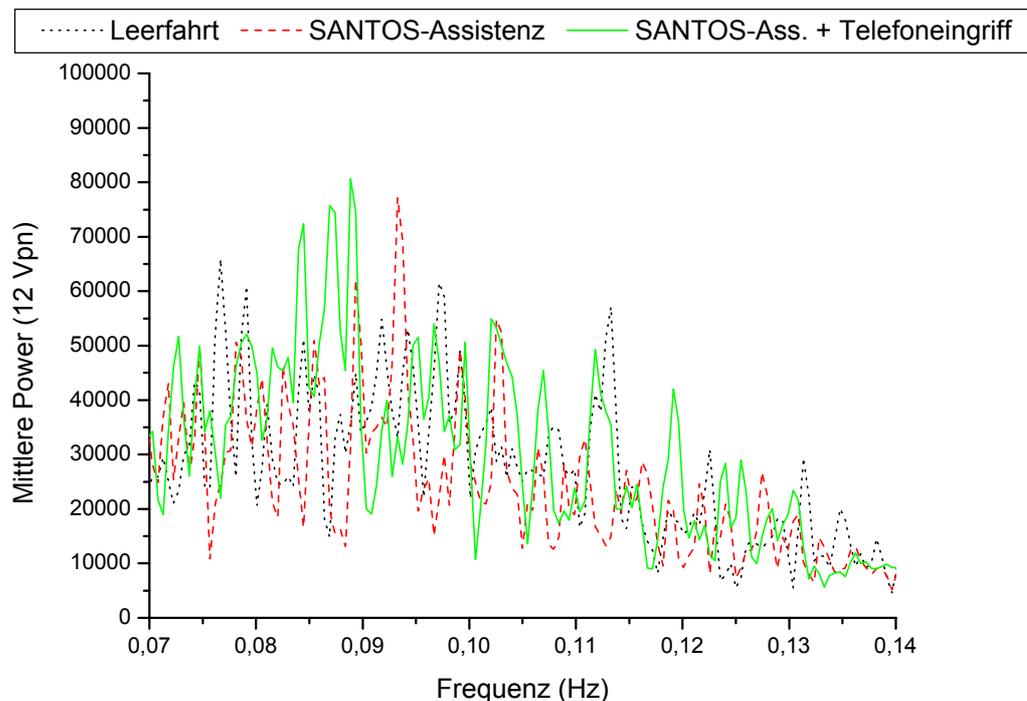


Abb. 4: 0,1-Hz-Komponente der Herzratenvariabilität, Daten von 12 Vpn gemittelt. Frequenzband von 0,07-0,14 Hz, Intervallfunktion linear interpoliert und mit 8 Hz für FFT getastet, FFT mit Hann-Windowing.

Die Herzrate in BPM (beats per minute) ist ein für die Messung der Beanspruchung im Straßenverkehr gerne verwendetes Maß (z.B. Hering, 1999), das allerdings nicht diagnostisch ist zur Unterscheidung von physischer und mentaler Beanspruchung, die gleichermaßen zu einer Erhöhung der Herzrate führen (Manzey, 1998). Abb. 5 rechts oben zeigt die mittlere Herzrate der 12 Vpn in den verschiedenen Versuchsbedingungen. Es ist eine tendenzielle, allerdings nicht signifikante Verminderung der Herzraten in der Telefoneingriffsbedingung erkennbar.

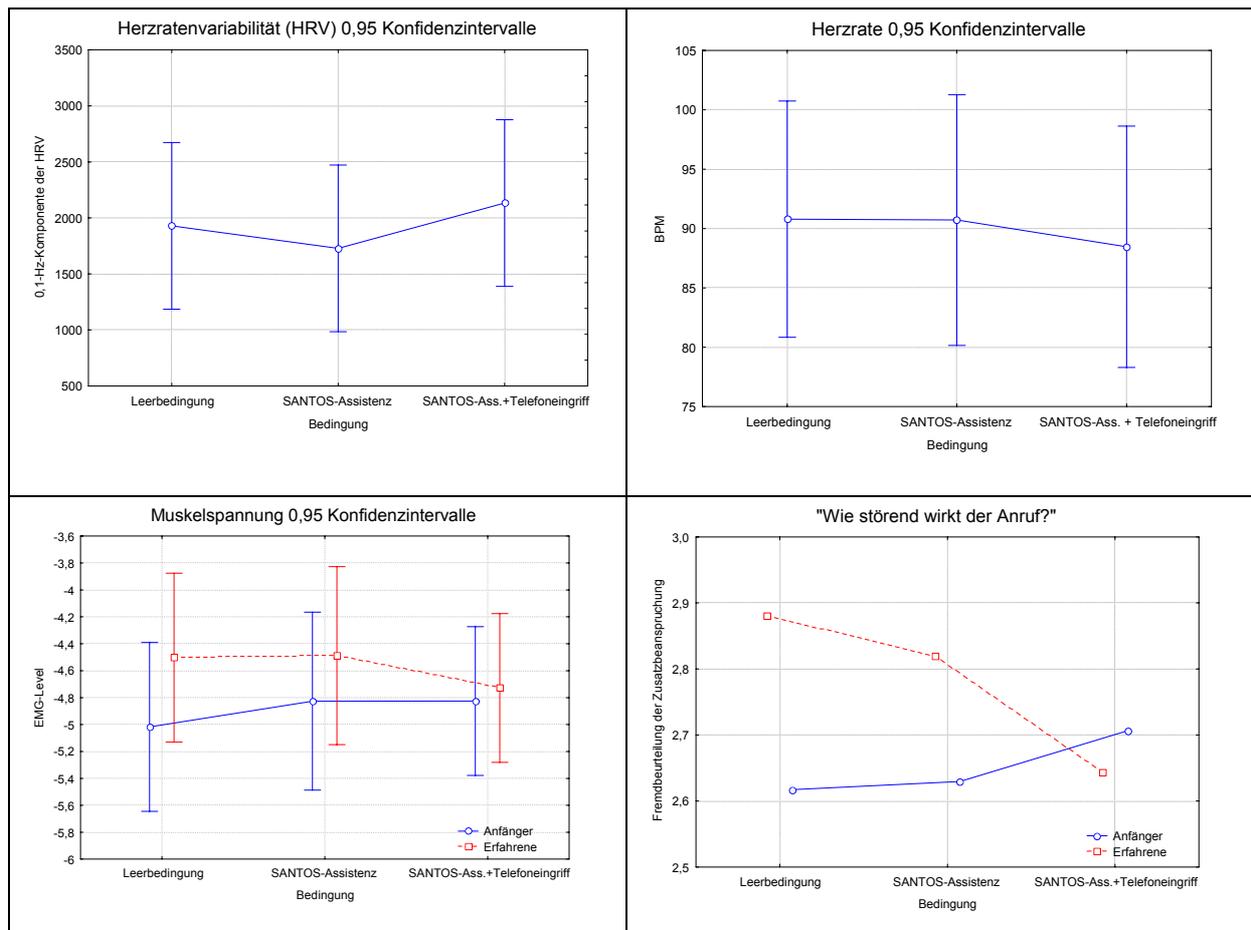


Abb. 5: Herzratenvariabilität, Herzrate, Spannung des musculus frontalis und Fremdbeurteilung der Telefon-Gesprächssituationen

Ein weiteres Maß für mentale Beanspruchung ist die tonische Spannung aufgabenirrelevanter Muskelgruppen. Insbesondere geeignet für solche Messungen ist die Gesichtsmuskulatur (Manzey, 1998; Fridlund & Cacioppo, 1986). Wir verwenden eine Ableitung vom musculus frontalis, ein tiefliegender Stirnmuskel, der nach de Waard (1996) besondere Diagnostizität in Bezug auf mentale Beanspruchung aufweist, während andere Gesichtsmuskel-Ableitungen eher die emotionale Beanspruchung der Probanden wiedergeben. In der Telefoniegriffsbedingung zeigt sich eine tendenzielle Reduktion der Muskelspannung bei den fahr-erfahrenen Probanden (Abb. 5), die aber nicht statistisch signifikant ist.

Eine von Fairclough (1991) für das Autofahren angepasste Version der NASA-TLX-Skala wurde von den Vpn jeweils direkt nach jeder Fahrt ausgefüllt. Hier zeigt sich ein marginal signifikanter Effekt der Erfahrungsgruppenzugehörigkeit ($p=,06257$), die Fahranfänger schätzen ihre Beanspruchung höher ein als die erfahrenen Fahrer. Unterschiede zwischen den Versuchsbedingungen sind mit dem TLX nicht feststellbar.

Fahrer und Verkehrssituation wurden im Evaluationsversuch mit einer Multiplexer-Videoanlage gefilmt, die das Geschehen aus vier verschiedenen Kameraperspektiven aufzeichnete. Die insgesamt 360 Telefonanrufssituationen (30 Gespräche pro Person x 12 Vpn) wurden einer Video-Fremdbeurteilung unterzogen. 20 Beurteiler mussten die Videosequenzen im Blindversuch auf einer sechsstufigen Ratingskala danach einordnen, wie stark ihrem Eindruck nach die zusätzliche Beanspruchung des Fahrers durch das Telefongespräch war. Die Beurteiler wurden nicht von den verschiedenen Versuchsbedingungen unterrichtet, die den Aufnahmen zugrunde lagen. Für die erfahrenen Fahrer werden die Telefonate in der Telefoniegriffsbedingung als weniger störend beurteilt (Abb. 5 rechts unten) als in der Leerbedingung (Wilcoxon Signed Rank Test, $p=,0006$) und der SANTOS-Standardassistenten-Bedingung (Wilcoxon Signed Rank Test, $p=,0133$). Die Beobachterübereinstimmung nach

McGraw & Wong (1996) ist mit $ICC(A,20)=,924$ erfreulich hoch, die Reliabilität der Urteile ist damit gewährleistet.

Diskussion

Gemäß der Fremdbeurteilung zeigen die Ergebnisse eine Beanspruchungsreduktion durch den vom Beanspruchungsschätzer gesteuerten Telefoneingriff: Durch das Verlagern der Telefonanrufe in leicht zu bewältigende Verkehrssituationen werden erfahrene Fahrer signifikant entlastet. Einige Ergebnisse weisen darüber hinaus auf eine tendenziell beanspruchungsreduzierende Wirkung auch in der Gruppe der Führerscheinneulinge hin, die aber nicht zufallskritisch abgesichert werden kann.

Eine mögliche Erklärung für die unbefriedigenden Ergebnisse in der Gruppe der Führerscheinneulinge ist deren Unerfahrenheit im Erkennen kritischer Situationen. Gerade bei den Fahranfängern konnten wir nämlich einige Beispiele für ein dramatisches Absinken der Fahrleistung während der Telefonate beobachten (Verlassen der befestigten Fahrbahn, unmotiviertes Befahren der Linksabbiegerspur bei verlangter Geradeausfahrt). Wir vermuten daher, dass Fahranfänger noch nicht ausreichend in der Lage sind, anspruchsvolle Verkehrssituationen zu erkennen und generell zu viele ihrer kognitiven Ressourcen bereitwillig auf Nebentätigkeiten verlagern, selbst wenn sie dabei die Fahraufgabe in gefährlicher Weise vernachlässigen ohne sich dessen bewusst zu werden. Demnach muss der Fahranfänger auch die Wahrnehmung kritischer Situationen und deren Bewältigung durch das Aufbringen vermehrter mentaler Anstrengung erst einmal erlernen.

Eine experimentelle feindigitale Karte und DGPS-Präzisionsortung ermöglichen es also, Fahrzeuge mit einer Art „Bewusstsein“ für die Verkehrsumgebung auszustatten und den Informationsfluß zum Fahrer mittels einer autoadaptiven Mensch-Maschine-Schnittstelle so zu steuern, dass eine Überbeanspruchung vermieden wird. Das System ist zwar noch auf ein kleines Testgebiet beschränkt, vergleichbare Möglichkeiten stehen aber in nicht allzu ferner Zukunft möglicherweise flächendeckend zur Verfügung. Messdaten intelligenter Sensoren wie der Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug, aber auch relativ einfach zu bestimmende Größen wie die Längsbeschleunigung können wertvolle Hinweise auf die situationscharakteristische mentale Beanspruchung des Fahrers liefern. Weiterentwicklungen des vorgestellten Systems könnten in Zukunft die Fahraufgabe komfortabler und sicherer machen. Eine weitere unabdingbare Voraussetzung für die Umsetzung ist die Integration der Kommunikationsendgeräte in das Fahrzeug, beziehungsweise die Mensch-Maschine-Schnittstelle des Fahrzeuges. Nur dann ist es möglich, den Informationsfluss zwischen dem Kommunikationsendgerät und dem Fahrer dahingehend zu beeinflussen, dass eine mögliche Überbeanspruchung vermieden werden kann.

Literatur

- Alm, H. (1993). Route navigation. Deciding driving information needs. In A.M. Parkes & S. Franzen (Hrsg.), *Driving future vehicles* (S. 187-192). London u.a.: Taylor & Francis.
- 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.
- Berntson, G.G., Bigger, J.T., Eckberg, D.L., Grossman, P.G., Kaufmann, P.G., Malik, M., Nagaraja, H.N., Porges, S.W., Saul, J.P., Stone, P.H., & Van der Molen, M.W. (1997). Heart rate variability: Origins, methods, and interpretive caveats. *Psychophysiology*, 34, 623-648.
- De Waard, D. (1996). The Measurement of drivers' mental workload. Haren: The Traffic Research center VSC.
- Direct Line Motor Insurance (2002). The mobile phone report. A report on the effects of using a 'hand-held' and 'hands-free' mobile phone on road safety. Veröffentlicht von Direct Line.
- 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.
- Fairclough, S.H. (1991). Adapting the TLX to measure driver mental workload. DRIVE Project V1017 (BERTIE) Report No. 71. Loughborough: HUSAT Research Institute, November 1991.

- Fastenmeier, W. (1995). Die Verkehrssituation als Analyseeinheit im Verkehrssystem. In W. Fastenmeier (Bd-Hrsg.) *Autofahrer und Verkehrssituation: neue Wege zur Bewertung von Sicherheit und Zuverlässigkeit moderner Straßenverkehrssysteme* (S. 27-78). Köln: Verl. TÜV Rheinland.
- Fridlund, A.J. & Cacioppo, J.T. (1986). Guidelines for human electromyographic research. *Psychophysiology*, 23, 567-589.
- GPS GmbH (undatiert). *Handbuch d-BlackBox Plus*. © GPS Gesellschaft für professionelle Satellitennavigation und Kommunikation mbH.
- Hering, K. (1999). *Situationsabhängiges Verfahren zur standardisierten Messung der kognitiven Beanspruchung im Straßenverkehr*. Inaugural-Dissertation. Universität zu Köln. Online verfügbar: <http://www.ub.uni-koeln.de/ediss/archiv/abstract/hering.htm>
- Janssen, W.H. & Kuiken, M.J. (1993). Evaluation studies. In A.J. Michon (Hrsg.) *Generic intelligent driver support* (S. 195-215). London: Taylor & Francis.
- König, W., Weiß, K.E., Gehrke, H. & Haller, R. (2000). S.A.N.T.O.S Situationsangepasste und Nutzer-Typ-zentrierte Optimierung von Systemen zur Fahrerunterstützung. In H. Bubb (Hrsg.) *Ergonomie und Verkehrssicherheit. Dokumentation der Herbstkonferenz der GfA in München, 12.-13.10.2000* (S. 107-113). München: Utz.
- Labiale, G. (1997). Cognitive ergonomics and intelligent systems in the automobile. In Y. I. Noy (Hrsg.), *Ergonomics and safety of intelligent driver interfaces* (S. 169-184). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Manzey, D. (1998). Psychophysiologie mentaler Beanspruchung. In F. Rösler (Hrsg.). *Ergebnisse und Anwendungen der Psychophysiologie. Enzyklopädie der Psychologie. Band C/II/5* (S. 799-864). Göttingen: Hogrefe.
- Mayser, C. (2002). An advanced concept for integrated driver assistance systems. In *Proceedings of the 9th World Congress on Intelligent Transport Systems in Chicago, October 14-17, 2002*.
- McGraw, K.O. & Wong, S.P. (1996). Forming inferences about some intraclass correlation coefficients. *Psychological Methods*, 1, 30-46.
- McLoughlin, H.B., Michon, J.A., van Winsum, W. & Webster, E. (1993). GIDS intelligence. In A.J. Michon (Hrsg.) *Generic intelligent driver support* (S. 89-112). London: Taylor & Francis.
- Michon, J.A. (1991). Generic intelligent driver support: A general overview. In Y. Quéinnec und F. Daniellou (Hrsg.) *Designing for everyone* (S. 1536-1537). London u.a.: Taylor & Francis.
- Michon, J.A. (Hrsg.) (1993). *Generic intelligent driver support*. London: Taylor & Francis.
- Piersma, E.H. (1991). Real time modelling of user workload. In Y. Quéinnec und F. Daniellou (Hrsg.) *Designing for everyone* (S. 1547-1549). London u.a.: Taylor & Francis.
- Piersma, E.H. (1993). Adaptive interfaces and support systems in future vehicles. In A.M. Parkes and S. Franzen (Hrsg.), *Driving Future Vehicles* (S. 321-332). London: Taylor & Francis.
- Reichart, G. (1993). Problems in vehicle systems. In A. M. Parkes and S. Franzen (Hrsg.), *Driving Future Vehicles* (S. 143-146). London: Taylor & Francis.
- Schraut, M. (2000). *Umgebungserfassung auf Basis lernender digitaler Karten zur vorausschauenden Konditionierung von Fahrerassistenzsystemen*. Dissertation. Online verfügbar: <http://tumb1.biblio.tu-muenchen.de/publ/diss/ei/2000/schraut.html>
- Schumann, M., Mayser, C. & Gehrke, H. (2002). Komponentenbasierte System-Softwareplattform für Versuchsfahrzeuge zur Validierung integrierter Fahrerassistenzsysteme. In D. Peier & H. Hirsch (Hrsg.), *Tagungsband ECT 2002 – Electronics and Communications in Traffic Systems, 04.-06.06.2002* (S. 345-454). Heidelberg: Hüthig.
- Sprenger, A. (1999). Ablenkung durch MMI-Lösungen. Der Blick zu Instrumenten im Fahrzeug als Unfallursache. In F. Meyer-Gramcko (Hrsg.), *Verkehrspsychologie auf neuen Wegen: Herausforderungen von Strasse, Wasser, Luft und Schiene* (S. 148-156). Bonn: Dt. Psychologen-Verl.
- Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. (1996). Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation*, 93, 1043-1065.

- Verwey, W.B. (1991). Adaptive interfaces based on driver resource demands. In Y. Quéinnec und F. Daniellou (Hrsg.) *Designing for everyone* (S. 1541-1543). London u.a.: 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.
- Weinberger, M. (2001). *Der Einfluß von Adaptive Cruise Control auf das Fahrerverhalten*. Aachen: Shaker.