

Ambulantes psychophysiologisches Monitoring im Straßenverkehr

Walter Piechulla

Interdisziplinäres Zentrum für Verkehrswissenschaften an der Universität Würzburg

Einleitung

Der Begriff *ambulant* kommt bekanntlich vom lateinischen *ambulare*, was spazierengehen bedeutet. Gemeint ist also, dass sich die Versuchsperson während der Messung frei in Alltagssituationen bewegen kann. Allerdings wird unser heutiger Alltag mitbestimmt durch eine Mobilität, die nicht mehr nur in Schrittgeschwindigkeit stattfinden kann.

Dieser Beitrag beschreibt psychophysiologische Messungen beim Steuern von Personenkraftwagen zur Untersuchung und Verbesserung des Mensch-Maschine-Interface (MMI) im Automobil. Ziele sind verbesserter Komfort und vor allem erhöhte Sicherheit. Auf Deutschlands Straßen sterben derzeit jährlich ca. 7000 Menschen durch Verkehrsunfälle. Die Zahl der Verkehrstoten hat sich in den letzten zehn Jahren nicht mehr wesentlich verringert. Der durch Verkehrsunfälle entstehende volkswirtschaftliche Schaden ist immens.

Verwey (1993) vermutet, dass Unaufmerksamkeit eines Fahrers in etwa 30-50% aller Verkehrsunfälle eine Rolle spielt, Sprenger (1999) nimmt sogar an, dass Ablenkung von der Fahraufgabe eine der wichtigsten Unfallursachen darstellt. Vor diesem Hintergrund ist es nicht verwunderlich, dass die menschengerechte Gestaltung von Informations- und Assistenzsystemen im Fahrzeug ein wichtiger Gegenstand der Verkehrspsychologie geworden ist. Das eingesetzte Methodeninventar ist vielfältig, psychophysiologische Methoden sind dabei aber nicht mehr wegzudenken. In diesem Beitrag wird zunächst über die psychophysiologische Evaluation eines experimentellen Fahrerassistenzsystems berichtet, das ein „Aufmerksamkeitsmanagement“ im Fahrzeugcockpit einführt. Dann wird ein im Aufbau befindliches Eyetracking-System in einem Fahrsimulator vorgestellt, sowie die Fragestellungen, die mit diesem System bearbeitet werden. Erwägungen zu den Vor- und Nachteilen, Möglichkeiten und Grenzen der einzelnen Verfahren beschließen den Beitrag.

Eine Workload-Studie im Feld

Anfang der 90er Jahre entstand erstmals die Idee eines situationsadaptiven MMI im Kraftfahrzeug (KFZ), das den Fahrer vor informationeller Überlastung bewahren soll (Verwey, 1991, 1993). Paradebeispiel für das Verhalten dieses gedachten Systems ist das Abweisen von Telefonanrufen, wenn der Fahrer bereits durch schwierige Verkehrssituationen, z.B. im dichten Stadtverkehr, stark belastet wird.

Versuche, ein solches System tatsächlich technisch zu realisieren, blieben aber lange Zeit aus. Es gab nur Studien, die sich mit Teilaspekten wie der Messung der Belastungswirkung verschiedener Verkehrssituationen befassten (z.B. Verwey, 2000). Gleichzeitig wurde das Problem der Ablenkung und Überlastung des Fahrers aber nicht geringer, sondern durch die zunehmende Marktdurchdringung neuer Telematikdienste im KFZ (Beispiel: Navigationsgeräte) eher noch verschärft. Labiale (1997) warnte, 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. Schließlich begannen immer mehr Länder, der als gefährlich erkannten Entwicklung mit gesetzgeberischen Maßnahmen entgegen zu wirken: Telefonhörer oder „Handys“ wurden vom Fahrerarbeitsplatz verbannt, eine Freisprecheinrichtung vorgeschrieben. Leider verbessert sich die Lage damit nicht wesentlich. Dass beim Telefonieren mit Freisprecheinrichtung ein messbarer Anstieg der mentalen Beanspruchung bei zunehmender Komplexität des Gesprächsinhaltes nachweisbar ist zeigten Fairclough, Ashby, Ross & Parkes (1990). Eine neue Fahrsimulatorstudie (Kirchner, Vogel, Törnros,

Bolling, Nilsson, Patten, Malström & Ceci, 2004) kommt gar zu dem Schluss, dass Freisprecheinrichtung und Handheld-Bedienung die Fahrleistung *gleichermaßen* negativ beeinflussen. Solche Ergebnisse lassen die Idee eines maschinellen „Workload-Managers“ im Fahrzeug, der den Fahrer vor Ablenkungen in kritischen Situationen bewahrt, noch vielversprechender erscheinen.

Ein für Feldexperimente funktionsfähiges derartiges System wurde kürzlich vorgestellt (Piechulla, Mayser, Gehrke & König, 2003). Hier soll vor allem über die System-Evaluation mit psychophysiologischen Maßen berichtet werden, zunächst aber ist ein kurzer Abriss des Systems angebracht.

Das allgemeine Funktionsprinzip ist einfach: Das System bestimmt zunächst die geographische Position des Fahrzeugs. Diese wird mit einer „feindigitalen Karte“ (FDK) abgeglichen. Der gerade befahrene Streckenabschnitt bis zur nächsten Abbiegemöglichkeit ergibt dabei eine Routenprognose, den „Fahrschlauch“. Dieser ist ein Vektor aus Exemplaren einer Datenstruktur (Fahrschlauch-Punkt), die einen vorausliegenden geographischen Punkt auf der Fahrbahn, sowie dessen Eigenschaften beschreibt. Eine der Eigenschaften, die für jeden Fahrschlauch-Punkt vorliegen, ist die Kennung der Situationsklasse, zu der der Punkt gehört. Mittels dieser Kennung wird in einer Tabelle der Workload-Index des Punktes (bzw. seiner Situationsklasse) nachgeschlagen. Unter der Annahme gleichbleibender Fahrgeschwindigkeit wird die räumliche Abfolge der Workload-Indizes in eine zeitliche Prognose der zu erwartenden Fahrerbeanspruchung umgerechnet. Diese zeitliche Abfolge wird gewichtet zu einer skalaren Beanspruchungsprognose für den „Jetzt“-Zeitpunkt verrechnet, zeitlich nähere Indizes erhalten dabei höheres Gewicht. Alle Berechnungen werden mit einer Frequenz von 10 Hz ständig aktualisiert.

Die Beanspruchungsprognose beruht also zunächst nur auf Urteilen über die relative Belastungswirkung von überdauernden, statischen Streckenmerkmalen. Sie wird aber in einem zweiten Schritt mit Sensorinformationen über die dynamische, gerade vorfindbare Verkehrssituation nachgewichtet. Wenn die resultierende Beanspruchungsprognose einen Schwellwert überschreitet, werden eingehende Anrufe nicht an den Fahrer signalisiert (kein „Telefonklingeln“), sondern in die Telefon-Mailbox (Anrufbeantworter) umgeleitet.

Die bisherigen Ausführungen beschreiben zwar die Funktionsweise des Systems, lassen aber zwei Fragen offen: Erstens, was ist eine statische Verkehrssituation und zweitens, woher kommen die Workload-Indizes für diese statisch definierten Situationen?

Statische Situationen werden nach der Taxonomie von Fastenmeier (1995) definiert. Das Streckennetz eines Testgebiets wurde zunächst befahren und dabei auf Video aufgezeichnet. Der Beginn einer neuen Situation wird definiert als eine Änderung in einer der sechs Dimensionen, die das Klassifikationssystem nach Fastenmeier ausmachen. Das sind: (1) Straßentyp (fünf Autobahnklassen, zwei Landstraßenklassen, sieben City-Klassen) (2) horizontaler Streckenverlauf (Kurve vs. Geradeaus) (3) vertikaler Straßenverlauf (Steigung/Gefälle vs. ebener Verlauf) (4) Kreuzungen (vier Klassen) (5) Engstelle (ja/nein) (6) Fahrtrichtung (Links, Rechts, Geradeaus). Die Übergänge zwischen den Situationen werden bei einer erneuten Befahrung des Testgebietes per GPS vermessen. Die Information über die geographische Lage der Situationsübergänge wird zusammen mit der Information über die Situationsklasse in die FDK eingetragen.

Der Workload-Index einer Situationsklasse soll die mentale Beanspruchung angeben, die ein Durchschnittsfahrer beim Befahren von Situationen dieser Klasse erlebt. Zur Bestimmung der Workload-Indizes wurden Beanspruchungsmessungen beim Befahren der Strecke verwendet. Vpn waren drei Taxifahrer, die Messstrecke wurde insgesamt neun mal durchfahren. Dabei wurden verschiedene Verfahren der Beanspruchungsmessung eingesetzt. Mit psychophysiologischen Methoden waren hier *keine* Unterschiede zwischen den Situationsklassen erkennbar. Weder die EKG-Maße Herzrate (HR) und 0,1-Hz-Komponente der Herzratenvariabilität (HRV), noch der an der Stirn gemessene Muskeltonus (laterales

Frontalis-EMG) und auch nicht ein an der linken Fußsohle erhobenes Maß der elektrodermalen Aktivität der Haut (non-specific skin conductance response NS.SCR) trennten zwischen den Situationen. Hauptproblem war die extreme zeitliche Kürze der Situationsdurchfahrt, sehr kurze Situationen der Strecke sind bei zügigem Fahren oft nur einige Sekunden lang.

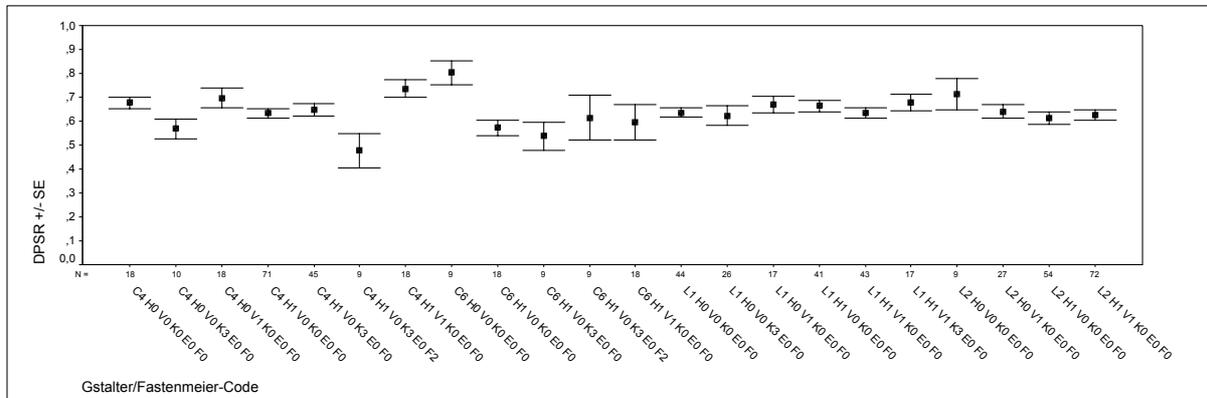


Abbildung 1: Blickzuwendungsfrequenzen zur Sekundäraufgabe in 22 Verkehrssituationen

Signifikante Unterschiede fanden sich aber in einem Sekundäraufgabenmaß. Die Fahrer bearbeiteten während der Fahrt eine visuelle Suchaufgabe in einem Lauftext-Display. Aus einer Videoaufzeichnung wurden die Blickzuwendungen zum Display ausgezählt. Nach Rockwell (1988) und Wierwille (1993) stellt die Anzahl der Blickzuwendungen pro Zeiteinheit ein sensibles Maß der visuellen Beanspruchung dar. Der Logik des Sekundäraufgabenparadigmas (Wickens, 1984) entsprechend wird vermehrte Blickzuwendung zur Sekundäraufgabe als Indikator für verminderte Beanspruchung durch die Primäraufgabe (Fahren) interpretiert. Dementsprechend wurde die Größe 1 minus arithmetisches Mittel der Anzahl Blickzuwendungen pro Sekunde als Workload-Index für die statisch definierten Situationen verwendet. Landstraßensituationen erweisen sich auch nach diesem Maß als gleichförmig beanspruchend, während eine Kontrastanalyse signifikante Unterschiede zu den Innerorts-Situationen ergibt. Abbildung 1 zeigt die Blickzuwendungsfrequenzen für die 22 verschiedenen Situationen, die nach der Fastenmeier-Taxonomie auf der verwendeten Strecke vorkommen.

Die Nachgewichtung der statischen Workload-Schätzung mit Sensorinformationen über dynamische Aspekte der Verkehrssituation wurde aus Literaturanalyse, formellen Versuchen und auch völlig informellen Nachjustierungen der Gewichtungsfaktoren gewonnen. Letzteres ist ein iteratives Vorgehen mit den Schritten Ausprobieren, als nicht angemessen empfinden, Ändern und wieder Ausprobieren. Dieses pragmatische Vorgehen ist nötig, weil wissenschaftliche Erkenntnisse über die Fahrerbelastungswirkung der messbaren Situationsvariablen leider noch dünn gesät sind (vgl. Uchiyama, Kojima, Hongo, Terashima & Wakita, 2004). Abbildung 2 zeigt die entstandene Nachgewichtungslogik. Fahren im ungebundenen Verkehr (linker Zweig) wird als etwas weniger beanspruchend bewertet als Fahren im gebundenen Verkehr (rechter Zweig). Beim freien Fahren erhöhen Kreuzungsannäherungen, scharfes Bremsen und Überholvorgänge die geschätzte Beanspruchung. Bei einer ACC-Übernahmeaufforderung wird sie auf einen festen Wert gesetzt. Diese Aufforderung ist ein Signal des Abstandsregeltempomaten (ACC), das dem Fahrer anzeigt, dass das System allein eine erforderliche Bremsung nicht durchführen kann und er daher selber das Bremspedal betätigen muss. Im gebundenen Verkehr kommt die schnelle Annäherung an einen Vorfahrenden als Ereignis hinzu, das vom System ebenfalls als beanspruchungserhöhend gewertet wird. Eine detaillierte Erklärung der Nachgewichtungslogik findet sich in Piechulla et al. (2003).

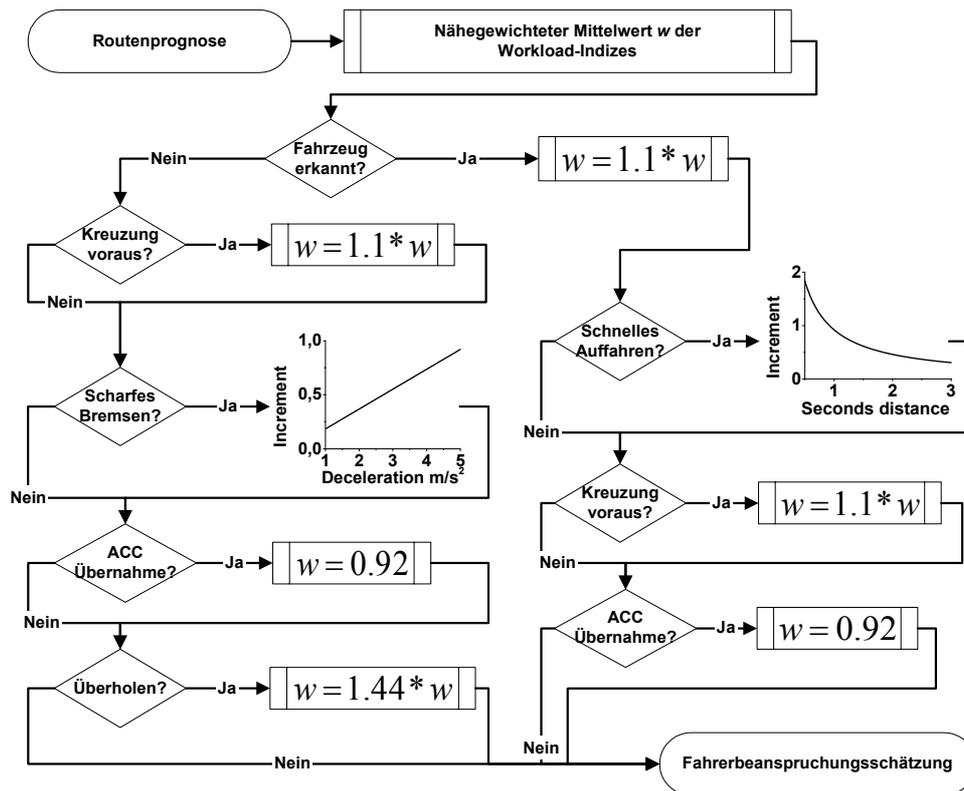


Abbildung 2: Nachgewichtung der Workload-Schätzung (Details siehe Text).

Am Evaluationsexperiment nahmen zwölf Vpn teil, sechs Fahrerfahrene junge Männer (M: 24,28 Jahre, SD: 3,60 Jahre) und sechs männliche Führerscheineulinge (M: 18,26 Jahre, SD: 0,33 Jahre). Die Erfahrenen hatten mehrjährige Fahrpraxis (M: 6.80 Jahre, SD: 3,29 Jahre), die Anfänger hatten im Durchschnitt ihren Führerschein erst 50 Tage vor dem Versuch erworben (M: 0,14 Jahre, SD: 0.08 Jahre).

Jede Vp musste die 27 km lange Teststrecke im normalen Straßenverkehr drei mal befahren: Erstens als Baseline-Bedingung ohne Assistenzsysteme, zweitens mit den Assistenzsystemen ACC (Abstandsregeltempomat) und Heading Control (HC) und drittens mit ACC, HC, und adaptivem Telefonverhalten (ATV). ATV heißt, eingehende Telefonanrufe werden vom Workload-Manager kontrolliert, der Anruf nur in gering belastenden Situationen an den Fahrer durchgestellt. HC ist ein videogestütztes Spurhalte-Unterstützungssystem, das mit Bildverarbeitungsmethoden den Straßenverlauf erkennt, den dazu passenden Lenkradwinkel berechnet und bei Abweichungen davon dem Fahrer durch kleine Zusatzkräfte am Lenkrad Lenkvorschläge macht. Jede Vp hatte pro Fahrt 10 Telefonanrufe entgegenzunehmen, bei denen ihr am Telefon eine Kopfrechenaufgabe präsentiert wurde. In der Workload-Manager-Bedingung (ATV) wiederholte der Anrufer seine Anrufversuche so lange, bis er vom System an den Fahrer durchgestellt wurde. So erhielt der Fahrer immer etwa alle zwei Minuten einen Anruf. Die Aufgabe lautete „wie viel ist $12 + X$ “, wobei X eine zweistellige pseudo-zufällige Zahl war. Die Reihenfolge der drei Bedingungen war vollständig permutiert.

Die psychophysiologische Datenerhebung bestand aus einem mit einer Abtastrate von 256 Hz gespeicherten Brustwand-EKG und einem mit 4 Hz gespeicherten integrierten lateralen Frontalis-EMG. Für das EKG wurden Herzrate (HR) und die 0,1-Hz-Komponente der Herzratenvariabilität (HRV) berechnet. Als Maß für die Gesichtsmuskelaktivität wurde das arithmetische Mittel der aufgezeichneten EMG-Werte verwendet. Abbildung 3 zeigt die Ergebnisse.

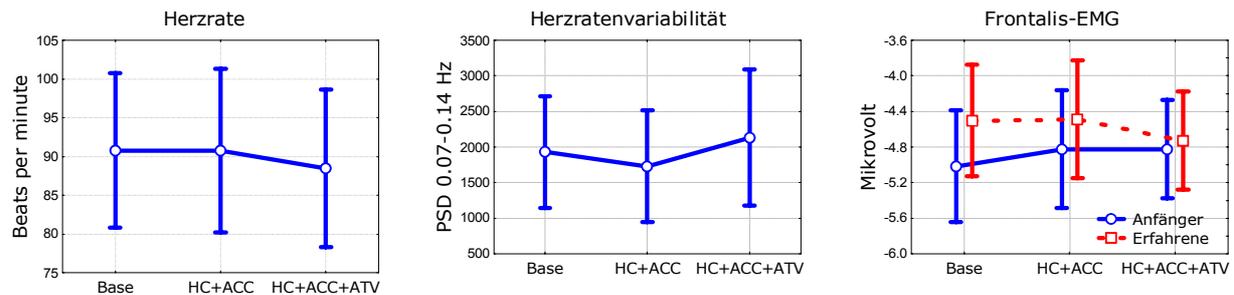


Abbildung 3: Psychophysiologische Indikatoren (95% Konfidenzintervalle) für die Versuchsbedingungen Baseline-Fahrt (Base), Systeme Heading Control und Adaptive Cruise Control (HC+ACC), sowie Systeme HC und ACC und zusätzlich adaptives Telefonverhalten (HC+ACC+ATV).

Ausgewertet wurde mit einer 2×3 Meßwiederholungs-ANOVA (Erfahrung \times Versuchsbedingung). Leider gibt es weder signifikante Haupteffekte, noch signifikante Interaktionen. Die sichtbaren Tendenzen sind trotzdem beachtenswert, weil sie ein widerspruchsfreies, stimmiges Gesamtbild ergeben. Beim adaptiven Telefonverhalten (ATV) scheint für alle Fahrer die Herzrate erniedrigt und die Herzratenvariabilität erhöht. Das sind beides Hinweise auf verminderte mentale Beanspruchung. Das Frontalis-EMG zeigt diesen Hinweis nur für die Gruppe der Fahrerfahrenen, nicht aber für die Führerscheinneulinge, daher sind die Ergebnisse der beiden Gruppen in Abbildung 3 (rechts) getrennt aufgetragen.

Den Fahrern wurden nach jeder absolvierten Fahrt auch die NASA-TLX-Skalen in der von Fairclough (1991) für das Autofahren modifizierten Form zum Ankreuzen vorgelegt. Ausgewertet wurde der ungewichtete Summenwert „Raw-TLX“. Hier zeigt sich nur ein marginal signifikanter Unterschied der Gruppenzugehörigkeit: Führerscheinneulinge stufen ihre subjektiv empfundene Beanspruchung generell etwas höher ein als die erfahrenen Fahrer, und zwar in *jeder* Versuchsbedingung. Für den Raw-TLX-Wert ist keinerlei Einfluss der Versuchsbedingung erkennbar, ebenso wenig für irgendeine der sechs Sub-Skalen (auf eine Abbildung wird daher verzichtet).

Die psychophysiologischen Beanspruchungsmaße liefern deutliche Anzeichen für eine Reduktion der Fahrerbeanspruchung durch den Einsatz des Workload-Managers. Eine zufallskritische Absicherung des Effektes gelingt jedoch nicht. Dies mag einerseits enttäuschen, aber andererseits ist auch klar, dass zwölf Versuchspersonen im Kontext psychophysiologischer Methoden eine sehr kleine Stichprobe darstellen. In der Studie von Hering (1999) wurden z.B. die EKG-Daten von 100 Fahrern ausgewertet, um einen Einfluss der Verkehrssituation auf die Herzrate nachzuweisen.

Die Ergebnisse eines Papier-und-Bleistift-Verfahrens zur subjektiven Selbstauskunft (modifizierter NASA TLX) erwiesen sich als völlig enttäuschend, sie konnten bei der Workload-Manager-Evaluation überhaupt nicht zwischen den Versuchsbedingungen differenzieren.

Eyetracking im Fahrsimulator und im Realfahrzeug

Der visuelle Sinneskanal ist für die Informationsaufnahme zur Erfüllung der Fahraufgabe dominierend, gerade was die Spurführung und das vorausschauende Abschätzen des Verhaltens anderer Verkehrsteilnehmer anbelangt. Hills (1980) spricht von einem Informationsanteil von bis zu 90%, der visuell aufgenommen wird. Wierda & Aasman (1992) prägen sogar die Parole „Fahren ist Sehen“ (*driving is seeing*).

Blickachsenmessungen mit kopfbasierten Systemen oder mit den sehr viel weniger intrusiven Remote-Tracking-Systemen, die zunehmend ausreichende Genauigkeit liefern, erlauben

Rückschlüsse auf Sehprozesse der gemessenen Probanden. Dabei sind zwei von Just & Carpenter (1980) ursprünglich für die Leseforschung aufgestellte Annahmen essenziell, die den meisten Eyetracking-Studien explizit oder implizit zugrunde liegen. Erstens die *eye-mind assumption*, die besagt, dass die visuelle Achse durch dasjenige Objekt der unmittelbar erfahrenen visuellen Welt verläuft, das momentan Gegenstand der zentralen Verarbeitung ist. Zweitens die *immediacy assumption*, nämlich dass die Fixationsdauer der Dauer der zentralen Verarbeitung entspricht. Für das Steuern eines KFZ sind beide Annahmen hoch plausibel, weil dabei die Beobachtung sich ständig ändernder externer Stimuli wichtig ist, während ein gedankenverlorenes „ins-Leere-Starren“ eher nicht vorkommen sollte.

Abbildung 4 zeigt den Fahr Simulator am Interdisziplinären Zentrum für Verkehrswissenschaften an der Universität Würzburg (IZVW), der mit einem „Smart Eye“ Remote-Tracking-System ausgestattet ist. Das System wird derzeit in den Simulator integriert, wobei der automatische Abgleich der Blickrichtungsmessungen mit den Objekten der dargebotenen virtuellen Umgebung eine der größten Herausforderungen darstellt.



Abbildung 4: Würzburger Fahr Simulator mit elektrischem Bewegungssystem (6 Freiheitsgrade), 3-Kanal Frontprojektion (180 Grad) und 3-Kanal Rückraumprojektion (Spiegel).

Der Simulator bzw. das zugrunde liegende (am IZVW entwickelte) Softwaresystem zum Bau von Fahr Simulatoren (SILAB) weist einige Besonderheiten auf, die den Anforderungen der Blickrichtungsmessung besonders entgegenkommen. Der Simulator besteht aus einem Netz aus verteilten Software-Modulen, so genannten *data processing units* (DPUs). Aus Programmierersicht sind dies im Wesentlichen dynamische Linkbibliotheken mit vordefinierten Arbeitsfunktionen, die vom System zyklisch aufgerufen werden und einen Mechanismus besitzen, der die Definition von Eingängen und Ausgängen erlaubt. Eine DPU kapselt immer eine bestimmte Teilfunktionalität (z.B. das Fahrzeugmodell oder das Rendering eines Projektionskanals) und ist einem bestimmten Rechenknoten zugeordnet. Diese Rechenknoten sind in kostengünstiger „PC“-Technologie ausgeführt, die unter den Betriebssystemen Windows oder Linux laufen. Im Gegensatz zu vielen anderen Simulationssystemen werden also keine kostspieligen Hochleistungsrechner verwendet. Ein sehr einfacher Simulator kann aus einem einzigen Rechner bestehen, beim in Abbildung 4 dargestellte Simulator dagegen sind die Einzelaufgaben der Simulation auf über ein Dutzend Rechner verteilt.

Der Experimentator programmiert in einer objektorientierten Simulationssprache seine virtuelle Umgebung, indem er von einem simulatorspezifischen „DPU-Pool“ seinen eigenen, versuchsspezifischen DPU-Pool ableitet und die damit geerbte Grundfunktionalität durch Hinzufügen weiterer, stärker spezialisierter DPUs erweitert, die er in geeigneter Weise miteinander verschaltet. Das Verschalten von DPUs funktioniert „transparent“ von der tatsächlich zugrundeliegenden Verteilung der DPUs im Netzwerk der Rechenknoten, d.h. es ist für den Experimentator egal, ob zwei DPUs die Daten austauschen müssen auf dem selben oder aber verschiedenen Rechnern laufen.

Sollen Eyetracking-Daten aufgezeichnet werden, so wird im Versuchsprogramm eine Instanz einer DPU angelegt, die dafür geschrieben wurde, diese Daten für den Simulator zugänglich zu machen. Diese DPU implementiert einen TCP-Client, der beim Versuchsstart mit dem Host-Computer des Eyetracking-Systems Kontakt aufnimmt und von diesem über das Netzwerk mit den Eyetracking-Daten versorgt wird. An den Ausgängen dieser DPU stehen dann die Eyetracking-Daten zur Verfügung und können auf die selbe Art und Weise verwendet werden wie alle anderen DPU-Ausgänge. Im einfachsten Fall werden diese Rohdaten in eine gemeinsame Protokolldatei geschrieben, die alle während eines Versuchsdurchgangs anfallenden Daten enthält. Ein Eyetracking-Datensatz (eine Messung) ist in Abbildung 5 oben zusammen mit seiner Visualisierung dargestellt.



Abbildung 5: Blickmessung in der Fahrsimulation und im Feld (Details siehe Text).

Das mit der restlichen Datenaufzeichnung synchronisierte Schreiben der Eyetracking-Rohdaten für spätere „Offline“-Auswertungen ist aber nicht immer ausreichend. Für einige Fragestellungen ist es notwendig, die Eyetrackingdaten in Echtzeit „online“ zu verarbeiten. Deswegen wurde auch ein Verfahren realisiert, das es ermöglicht, einen virtuellen Sensor auf das Datenmodell der dargestellten Fahrszene zu richten. Abbildung 5 (mitte rechts) zeigt eine Visualisierung eines auf die gemessene Blickachse des Fahrers aufgesetzten virtuellen Sensors, dessen Öffnungswinkel in etwa dem fovealen Sehen entspricht. Die Informationen über das vom Sensor „angeblickte“ Objekt können natürlich ebenfalls für Offline-Auswertungen aufgezeichnet werden. Die Abbildung zeigt eine Konfiguration der Visualisierung, bei der zusätzliche Informationen ins Bild eingestanzt werden, hier der Typ „Vehicle“ des erkannten Objekts. Abbildung 5 (mitte links) enthält auch eine vom Fahrersitz aus fotografierte Ansicht der Szenerie, allerdings kann keine Kamera die 180-Grad-Projektion der Simulatorkuppel wiedergeben. Das ist auch der Grund, warum für die Aufzeichnung von „Szenerievideos“ eine virtuelle Kamera verwendet wird, deren Blickrichtung mit dem Fahrerblick geschwenkt wird. Abbildung 5 (unten links) zeigt eine Momentaufnahme eines solchen Szenerievideos. Der eingestanzte Blickcursor (Auge) dient zur „manuellen“ Sichtauswertung dieser Videos bei Fragestellungen, die für automatische Auswertungen zu kompliziert sind, oder auch zur Validierung automatischer Auswertungen. Einen anderen Validierungsaspekt zeigt Abbildung 5 (unten rechts). Hier handelt es sich um eine Momentaufnahme aus einer Blickrichtungsmessung im Realfahrzeug, die auf der echten Straße stattfindet. Alle anderen Teilabbildungen zeigen nämlich die Simulator-Nachbildung einer tatsächlich existierenden Strecke, auf der ebenfalls Blickrichtungsmessungen vorgenommen werden. Im Simulator nachgebildet werden Lageplan, Höhenplan und – innerhalb gewisser Grenzen der Detailtreue – die Bepflanzung und Bebauung links und rechts der Straße. In einem zusammen mit dem Lehrstuhl für die Gestaltung von Straßenverkehrsanlagen der TU Dresden bearbeiteten Projekt wird unter anderem versucht zu klären, inwieweit Blickverhalten in der Fahrsimulation mit Blickverhalten in der Realsituation übereinstimmt.

Fahrsimulationen werden die Realität des Straßenverkehrs nie perfekt nachbilden können. Allein schon deshalb nicht, weil den Probanden das „existenzielle Engagement“ der Realfahrt fehlt, wo Fehler ganz reale Gefahren für Leib und Leben bedeuten können. Das Ausmaß, in dem eine Vp trotzdem die Illusion von Realität erlebt, wird als *presence* bezeichnet. Probanden unterscheiden sich beträchtlich in ihrer *immersive tendency*, also der Tendenz, eine virtuelle Umgebung als tatsächlich existent und sich als dort präsent zu empfinden, sowie sich dementsprechend zu verhalten. Presence und immersive tendency werden meist mit Fragebogenverfahren gemessen (z.B. Wittmer & Singer, 1998; Krauss, Scheuchenpflug, Piechulla & Zimmer, 2001). Technische Beschränkungen in der Nachbildung der Fahrphysik tragen ebenfalls dazu bei, dass Simulationen immer nur als mehr oder weniger „echt“ empfunden werden. Insgesamt ist daher eine absolute Übereinstimmung von Simulatordaten und Echtfahrdaten eher nicht zu erwarten. Nach dem Konzept der relativen Validität von Fahrsimulatoren (Blaauw, 1982) werden Simulatoren daher schon dann als valide betrachtet, wenn gezeigt werden kann, dass in der Realität vorfindbare Effekte im Simulator ebenfalls auftreten, in die selbe Richtung weisen und etwa die selbe Größenordnung haben. Blaauw zeigte z.B., dass charakteristische Unterschiede zwischen Fahranfängern und Erfahrenen in einer Fahrsimulation ebenso wie auf der Straße zu beobachten waren.

Der virtuelle Blicksensor eröffnet die Möglichkeit, Modelle der visuellen Informationsverarbeitung zu entwerfen, die nur Sensorinformationen nutzen, in Echtzeit parallel zum Fahrer arbeiten und deren Erklärungswert daran zu messen ist, ob sie das tatsächliche Verhalten des Fahrers aus seinem Blickverhalten vorhersagen können. Salvucci (2004) nennt dieses Paradigma *mind tracking*. Fragestellungen, die von diesem Vorgehen profitieren können sind zum z.B. Aspekte des Situationsbewusstseins (*situation awareness*), also

schlagwortartig ausgedrückt „Was sieht der Fahrer, was hat er übersehen?“. Außerdem können Modelle der Blickpfadvorhersage (*scan path theory*) geprüft werden. Das ambitionierteste Ziel ist schließlich die Planerkennung, also die Vorhersage von beabsichtigten Fahrmanövern aus der Blickpfadanalyse. Diese Fragestellungen sind der Grundlagenforschung zuzuordnen. Das Eyetracking wird am IZVW aber auch für angewandte Forschung genutzt.

Einige aktuell bearbeitete Fragestellungen

Beispielhaft soll ein Themenkomplex herausgegriffen werden, der in Kooperation mit der TU Dresden im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen bearbeitet wird: Human Factors im Straßenbau.

Ein Projekt untersucht den Einfluss der Straßenbepflanzung und Straßenraumgestaltung auf das Verhalten der Verkehrsteilnehmer und auf die Sicherheit im Straßenverkehr an Außerortsstraßen. Bisher eher pragmatisch entstandene Richtlinien werden hier einer empirischen Überprüfung unterzogen. In den bereits erhobenen Eyetracking-Daten zeichnet sich ab, dass die Straßenbepflanzung eine spezifische Leitfunktion für das Blickverhalten des Fahrers ausübt. Ziel ist die „faire und selbsterklärende Straße“, Bepflanzung kann dazu beitragen, dass sich beim Fahrer die richtigen Erwartungen über den Straßenverlauf einstellen und gefährliche Irrtümer unterbleiben.

Im Projekt Orientierungssichtweite – Definition und Beurteilung wird eine neue Entwurfsgröße für die Richtlinien zur Anlage von Straßenverkehrsanlagen entwickelt. Die Orientierungssichtweite ist der vorausliegende, einsehbare Streckenabschnitt, den der Fahrer eines frei fahrenden Fahrzeugs benötigt, um die im Straßenraum dargebotenen fahrrelevanten Informationen wahrzunehmen, zu erfassen und sein Fahrverhalten darauf auszurichten, ohne dass dafür abrupte Reaktionen erforderlich sind. Bekannt ist hier, dass unübersichtliche Stellen das Blickverhalten auf *vielfältige* Art und Weise verändern können. Eine der Aufgaben dieses Projektes besteht deswegen darin, zunächst einmal ein tragfähiges Messkonzept für die visuelle Belastung durch verminderte Sichtweiten zu entwickeln.

Methoden für die Verkehrspsychologie

Neben der Sensitivität und Diagnostizität eines Verfahrens ist in der Verkehrspsychologie die Nicht-Intrusivität eines Messverfahrens bedeutsam: die Fahraufgabe soll möglichst wenig gestört werden. Der für ein Verfahren zu betreibende Aufwand ist ebenfalls zu beachten. Die folgenden Betrachtungen beschränken sich auf die in diesem Text erwähnten Maße.

Für die Herzrate (HR) wurde die Sensitivität bei der Messung der Fahrerbeanspruchung wiederholt gezeigt (z.B. de Waard, 1996; Hering, 1999). Sie besitzt aber keine Diagnostizität zur Unterscheidung von physischer und mentaler Beanspruchung (Manzey, 1998). Die 0,1-Hz-Komponente der Herzratenvariabilität (HRV) scheint geeignet, die mentale Beanspruchung abzubilden. EKG-Messungen sind nicht aufwändiger oder schwieriger in der Anwendung als Fragebogenverfahren (Mulder, 1992), was als Grund für ihre Beliebtheit angesehen wird (de Waard, 1996). Vom Frontalis-EMG wird vermutet, dass es diagnostisch für mentale Beanspruchung ist (de Waard, 1996), während Maße der elektrodermalen Aktivität (EDA) eher die emotionale Beanspruchung abbilden (Boucsein & Backs, 2000). Bei EDA zu beachten ist eine Abhängigkeit von der peripheren Durchblutung, weshalb weibliche Versuchspersonen und ältere Probanden messtechnische Probleme bereiten können, sie müssen bei winterlichen Temperaturen evtl. erst „aufgewärmt“ werden (W. Boucsein, persönliche Kommunikation). Fahrenberg (1983) empfiehlt hier eine Labortemperatur von $25 \pm 1^\circ$ Celsius und eine Luftfeuchtigkeit von $55 \pm 5\%$. Im Feldversuch sind derart kontrollierte Bedingungen kaum herstellbar.

Beim Eyetracking sind zwei Gruppen von Messverfahren zu unterscheiden. Kopfbasierte Systeme einerseits und Remote-Tracking-Systeme andererseits. Erstere versprechen prinzipbedingt höhere Genauigkeit, da die Messvorrichtung direkt vor einem oder beiden Augen platziert wird. Fortschreitende Miniaturisierungsmöglichkeiten bei den Kameras haben in den letzten Jahren dazu geführt, dass die Helmkonstruktionen immer leichter geworden sind und ohne unangenehme Nachwirkungen (wie z.B. Kopfschmerzen) bis zu etwa einer Stunde getragen werden können. Trotzdem wird die höhere Genauigkeit durch größere Intrusivität des Messverfahrens erkauft: die Vpn empfinden das Tragen des Messhelms i.d.R. immer noch als unnatürlich und unangenehm. Außerdem kann die Kalibrierung durch plötzliche Bewegungen der Vp leicht verloren gehen, da der Helm verrutscht. Dem muss entweder durch häufiges Neukalibrieren oder durch das Erkennen und Berücksichtigen offensichtlicher konstanter Offsets – also erkennbarer Abweichungen von der plausiblen Blickrichtung – während der Datenauswertung begegnet werden. Ein magnetischer Headtracker hat sich im Test im Würzburger Simulator (Abbildung 4) als kaum geeignet erwiesen, das magnetische Messprinzip wird zu sehr durch das Metall der (Stahlblech-) Karosserie des Fahrzeug-Mockups gestört. Viele heutige KFZ haben auch wenig Reserven beim Raum zwischen Fahrerkopf und Dachhimmel, so dass groß gewachsene Vpn sich mit dem Messhelm beengt fühlen. Seit kurzem sind mehrere videobasierte Remote-Tracking-Systeme auf dem Markt, die für viele Fragestellungen ausreichende Genauigkeit liefern und dabei sehr wenig intrusiv sind. Alle für kopfbasierte Systeme genannten Probleme entfallen hier. Da auch bei diesen Systemen die Entwicklung rasch fortschreitet, ist zu erwarten, dass sie sich für verkehrspsychologische und fahrzeugergonomische Fragestellungen in den nächsten Jahren immer mehr durchsetzen.

Literatur

Blaauw, G.J. (1982). Driving experience and task demands in simulator and instrumented car: A validation study. *Human Factors*, 24, 473-486

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* (S. 3-30). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.

De Waard, D. (1996). *The measurement of drivers' mental workload*. Haren: The Traffic Research Center VSC, University of Groningen.

Fahrenberg, J. (1983). Psychophysiologische Methodik. In K.J. Groffmann & L. Michel (Hrsg.), *Verhaltensdiagnostik. Enzyklopädie der Psychologie. Bd. 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.

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 (Hrsg.), *Autofahrer und Verkehrssituation: neue Wege zur Bewertung von*

Sicherheit und Zuverlässigkeit moderner Straßenverkehrssysteme (S. 27-78). Köln: Verl. TÜV Rheinland.

Hering, K. (1999). *Situationsabhängiges Verfahren zur standardisierten Messung der kognitiven Beanspruchung im Straßenverkehr*. Aachen: Shaker.

Hills, B.L. (1980). Vision, mobility and perception in driving. *Perception*, 9, 183-216

Just, M.A. & Carpenter, P.A. (1980). A theory of reading: From eye fixations to comprehension. *Psychological Review*, 87, 329-354

Kirchner, A., Vogel, K., Törnros, J., Bolling, A., Nilsson, L., Patten, C., Malström, T & Ceci, R. (2004). *Mobile telephone simulator study*. Swedish National Road and Transport Research Institute. Online: <http://www.vti.se/pdf/reports/M969A.pdf>

Krauss, M., Scheuchenpflug, R., Piechulla, W. & Zimmer, A. (2001). Measurement of presence in virtual environments. In A.C. Zimmer, K. Lange et al. (Hrsg.). *Experimentelle Psychologie im Spannungsfeld von Grundlagenforschung und Anwendung*. Proceedings 43. Tagung experimentell arbeitender Psychologen (CD-ROM). Regensburg: Universitätsbibliothek. ISBN: 3-88246-225-6 Online: http://www.walterpiechulla.de/onlinePapers/teapp2001_KraussScheuchenpflugPiechullaZimmer.pdf

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, Bd. C/1/5* (S. 799-864). Göttingen: Hogrefe.

Mulder, L.J.M. (1992). Measurement and analysis methods of heart rate and respiration for use in applied environments. *Biological Psychology*, 34, 205-236

Piechulla, W., Mayser, C., Gehrke, H. & König, W. (2003). Reducing drivers' mental workload by means of an adaptive man-machine interface. *Transportation Research Part F*, 6, 233-248

Rockwell, T. H. (1988). Spare visual capacity in driving—revisited: new empirical results for an old idea. In A.G. Gale et al. (Hrsg.), *Vision in vehicles II* (S. 317-324) Amsterdam: Elsevier.

Salvucci, D.D. (2004). Inferring driver intent: A case study in lane-change detection. To appear in *Proceedings of the Human Factors Ergonomics Society 48th Annual Meeting*. Online: <http://hcil.cs.drexel.edu/papers/HFES04.pdf>

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.

- Uchiyama, Y., Kojima, S., Hongo, T., Terashima, R. & Wakita, T. (2004). Voice information system that adapts to driver's mental workload. *Research and Development Review of Toyota Central Research and Development Laboratories*, 39(1), 16-22 Online: <http://www.tytlabs.co.jp/office/elibrary/ereview/erevindex.html>
- 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.
- Wickens, C.D. (1984). *Engineering psychology and human performance*. Columbus, OH: Merrill.
- Wierda, M. & Aasman, J. (1992). *Seeing and driving: computation, algorithms and implementation*. Traffic Research Centre, University of Groningen, The Netherlands.
- Wierwille, W.W. (1993). An initial model of visual sampling of in-car displays and controls. In A.G. Gale et al. (Hrsg.), *Vision in vehicles IV* (S. 271-280). Amsterdam: Elsevier.
- Witmer, B.G. & Singer, M.J. (1998). Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 7, 225-240