

# Kompetenzentwicklung - Gestaltungsziel für Fahrerassistenzsysteme und Fahrerinformationssysteme der Zukunft.

K. Bengler<sup>\*</sup>, A. Zimmer<sup>†</sup>

<sup>\*</sup> BMW Group, Fahrzeugforschung, 80788 München  
Phone: (+49) 89 382 44999, Fax: (+49) 89 382 7044999, klaus.bengler@bmw.de

<sup>†</sup> Lehrstuhl für Angewandte Psychologie, Universität Regensburg  
Phone: (+49) 9491 943, Fax: (+49) 9491 943 1995,  
alf.zimmer@psychologie.uni-regensburg.de

## Abstract

Ergonomisch orientierte Verkehrspsychologie ist traditionell auf die Behebung von Defiziten der menschlichen Leistungsfähigkeit durch Automatisierung und Servos ausgerichtet. Mit der Entwicklung von Telematik und 'intelligenter' Assistenz verschiebt sich der Schwerpunkt in Richtung auf die Optimierung der Arbeitsteilung zwischen Mensch und Maschine, wobei bislang die Forschung auf den 'menschlichen Fehler' fokussiert bleibt. Es werden Befunde vorgelegt, die dafür sprechen, dass bei einer simultanen Optimierung von Fahrer-Fahrzeug-Umwelt-Systemen der Schwerpunkt darin liegen sollte, den Fahrer zu befähigen bzw. dabei zu unterstützen, aktiv Sicherheit herzustellen.

## Einführung

Ein Großteil der Veröffentlichungen im Bereich der Verkehrspsychologie beklagt die zunehmende Informations- und Funktionsfülle im Fahrzeug und setzt sie in engen Bezug mit einem erhöhten Unfallrisiko für Fahrer und andere Verkehrsteilnehmer. Bei dieser Argumentation wird häufig ausser acht gelassen, dass sich das Unfallrisiko seit der Einführung des Automobils deutlich verringert hat. Noch deutlicher fällt diese Aussage aus, wenn auch die Exposition vor dem Hintergrund steigender Mobilität in Betracht gezogen wird. Auch die gezielte Gestaltung und Einbringung von Information hat hier einen nennenswerten Beitrag geliefert. Als Beispiel seien Navigationssysteme genannt, die durch entsprechende Zielführungshinweise das sogenannte "Fremdenrisiko" – die erhöhte Gefährdung ortsunkundiger Autofahrer – deutlich reduzieren (Engels & Dellen 1989). Schon an diesem Beispiel wird deutlich, daß die Frage nicht in einem „Zuviel an Informationen und Systemen“ festzumachen ist. Somit auch die naheliegende Antwort, Systeme abzuschalten oder Informationen wegzunehmen in vielen Fällen also auch nicht die angemessene Lösung darstellen kann.

Der nachfolgende Beitrag wird anhand eines Entwicklungsbeispiels die Wirkungsweise von Fahrerassistenzsystemen verdeutlichen und das System Fahrer-Fahrzeug als ein joint cognitive system diskutieren.

Zur Diskussion verkehrspsychologischer Fragestellungen ist es allerdings erforderlich das System bestehend aus Fahrer, Fahrzeug und Umwelt heranzuziehen. In diesem System wird dem Fahrer die aktive Rolle zugeschrieben, wodurch viele Unfallanalysen aber auch dem Fahrer die Rolle des Unfallverursachers aufgrund von Unterlassung bzw. Überlastung zuschreiben. Schon die Arbeit von Drösler () und in neuerer Zeit die Analysen von Reichart (2000) zeigen aber deutlich, daß der Unfall als ein poissonverteiltes und vor allem multikausales Ereignis zu sehen ist. Von Interesse ist hier vor allem, daß eine nennenswerte Klasse von Ereignissen außer acht gelassen wird, wenn die vom Fahrer erfolgreich bewältigten kritischen Verkehrssituationen nicht betrachtet werden; also Fahrsituationen, in denen durch aktive Beteiligung des Fahrers ein Unfall vermieden wird. Der Ansatz der Fahrerassistenzsysteme greift diesen Gedanken auf indem er den Fahrer in den Regelkreis der Fahrzeugführung einbindet. Hierin besteht auch eine der wichtigsten Aufgabenstellungen für die zukünftige Gestaltung der Mensch Maschine Interaktion. Auch unter variierenden Außenbedingungen eine sinnvolle Rollenverteilung zwischen Fahrer und Fahrzeug zu erhalten, die sich in einer angemessenen Anforderung des Fahrers ausdrückt. In den meisten Fällen ist daher Ansätzen, die Entscheidungsunterstützung und Assistenz forcieren vor der reinen Automatisierung der Vorzug zu geben (Zimmer 2001).

Diese Grundsätze sind mindestens aus der Gestaltung von Warten, Cockpits bekannt und auch von Hollnagel (2000) wird eine sinnvolle Arbeitsverteilung zwischen Menschen und technischen Systemen als 'joint cognitive system' beschrieben.

Offen bleibt jedoch die Frage nach der Umsetzung und der konkreten Lösung. Ebenso von Interesse ist die Tatsache in welcher Weise und mit welchen Meßgrößen ein optimiertes Zusammenwirken von Mensch und Maschine im Sinne eines Mensch-Technik Systems empirisch bewertet werden kann. Im Sinn von Hollnagel soll das Fahrer Fahrzeug System als ein joint cognitive system betrachtet werden: „Composite operational systems can be seen as single cognitive system“. Dem Fahrer werden hier analog zu den MABA-MABA Listen (Fitts 1951) vor allem hervorragende Fähigkeiten bezüglich der Toleranz gegenüber schwankenden Umweltbedingungen, der Situationsinterpretation und der parallelen Verarbeitung von Informationen zugeschrieben. Als oberstes Handlungsziel des Nutzers wird die adäquate Nutzung des Systems in verschiedenen Nutzungssituationen angesetzt. Der Fahrer versucht dazu in verschiedenen Situationen aktiv Sicherheit herzustellen, indem er unter geänderten Witterungsbedingungen die Geschwindigkeit Verringert bzw. während der Bearbeitung von Zusatzfähigkeiten der Abstand zum Vorderfahrzeug vergrößert wird. Ebenfalls sind unter geänderten Außenbedingungen veränderte Strategien bei der Bearbeitung von Zusatzfähigkeiten und verlängerte Reaktionszeiten auf Signale von Zusatzaufgaben zu beobachten (Bengler, Neuss, Noszko 2002). Allerdings ist auch festzustellen, dass in diesen Verhaltensweisen und -tendenzen zwar die Motivation des Fahrers erkennbar wird, häufig aber die Geschwindigkeitsänderung dann zu gering ausfällt (Reichart 2000). Durch geeignete Fahrzeugsensorik und Fahrerassistenzstrategien kann diesem Effekt begegnet und die Verhaltenstendenz des Fahrers fahrzeugeitig unterstützt werden.

## **Die Verkehrssituation „Folgefahren“ als Beispiel eines joint cognitive system**

Am Beispiel der Bremsstärkenanzeige wird eine Lösung vorgestellt, in der zwei Fahrzeuge in Folgefahrt als joint cognitive system begriffen werden. Die empirischen Daten entstammen einer Untersuchung von Fenk, J., Praxenthaler, M., Zimmer, A. (1997).

In diesem Szenario interpretiert der Fahrer des Folgefahrzeugs als gelernter Beobachter permanent die Fahrsituation und deckt mit seinem Verhaltensrepertoire eine hohe Variabilität an Folge- und Bremskonstellationen ab. Er erhält vom Vorderfahrzeug verzögerungsfreie Information durch das Bremsignal und kann eine über das Bremspedal induzierte Fahrzeugverzögerung sicher erkennen. Die Stärke der Fahrzeugverzögerung ist am Bremsignal nicht, wohl aber an der Winkeländerung des Vorderfahrzeugs erkennbar. Wie schlecht diese Information verwertet werden kann, ist jedem erfahrenen Verkehrsteilnehmer bekannt, der schon einmal einem Fahrzeug mit defekten Bremslichtern gefolgt ist. Nach dem Abgleich mit von Eigengeschwindigkeit und -beschleunigung mit Fremdgeschwindigkeit, -beschleunigung des Vorderfahrzeugs entscheidet der Fahrer über einen aktiven Bremsengriff oder eine Verzögerung durch Schleppmoment. Die Entscheidung aktiv zu bremsen oder nur Gas wegzunehmen ist gerade bei Kolonnenfahrten von erheblicher Bedeutung, da sich gerade leichte Bremsungen bei geringen Abständen sehr schnell zu dramatischen Ereignissen hochschaukeln können.

Als mögliche Fehler ist also das Nichterkennen des Signals, seine Fehlinterpretation und eine Über- bzw. Unterreaktion zu zählen. Das entsprechende joint cognitive system besteht aus dem vorausfahrenden Fahrzeug mit Fahrer, dem nachfolgenden Fahrzeug mit Fahrer und den Folgefahrzeugen. Das Ziel dieses Systems besteht in einer schnellen, angemessenen und differenzierten Bremsreaktion. Das resultiert in einer Verringerung nicht notwendiger Bremsungen und einer Beschleunigung notwendiger Bremsungen.

Um dieses Ziel zu erreichen benötigt der Fahrer des Folgefahrzeugs differenziertere Information über die aktuelle Brems-/Verzögerungssituation des Vorderfahrzeugs - "Control requires that information matches expectations" (Hollnagel)

Der Ansatz der BMW Bremsstärkenanzeige besteht darin, dass nicht nur der Beginn einer Bremsung, sondern auch deren Stärke angezeigt wird. Die Fläche der Bremsstärkenanzeige wächst mit zunehmender Bremsstärke.

Würde als Bewertungsgröße im Sinne einer reinen stimulus-response oder input-output Betrachtung für die Qualität einer Nachfolgebremung nur die Reaktionszeit herangezogen, dann würden wichtige Merkmale außer acht gelassen. Es werden daher zusätzlich der Bremspedalwinkel, die Umkehrpunkte während der Pedalbetätigung und auch unterlassene Bremsungen betrachtet.

## **Experimentelle Untersuchung**

## Versuchsplan und Versuchsanordnung

Für den vorliegenden Versuch wurde eine dreistufige Anzeige gewählt, bei der leichte Bremsungen  $-1.3 \text{ m/sec}^2$  von mittleren Bremsungen  $-2.5 \text{ m/sec}^2$  und schweren Bremsungen bis  $-6.0 \text{ m/sec}^2$  unterschieden wurden. Während im Fall der mittleren und schweren Bremsungen beim instruierten Abstand in jedem Fall eine deutliche Reaktion erfolgen sollte, kann im Fall der leichten Bremsungen eine kurze Bremsung oder Verringerung der Beschleunigung ausreichen. Die Abfolge der Bremsungen und die Zeitpunkte der Bremsungen wurden randomisiert.

## Versuchspersonen

Die Versuche wurden in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Allgemeine und Angewandte Psychologie der Universität Regensburg am BMW Fahrsimulator durchgeführt. An den Fahrten nahmen 20 Versuchspersonen (Durchschnittsalter 28.6 Jahre) teil.

## Versuchsablauf

Im Verlauf einer Autobahnnacholgefahrt mussten die Versuchspersonen auf neun computergesteuerte Bremsungen (leicht - mittel - stark) pro Fahrt zu reagieren (Faktor Bremsstärke). Zusätzlich wurde in einem within subjects design der Faktor „Anzeigentyp“ variiert: konventionell, 3-fach gestuft und keine Bremsanzeige. Die insgesamt 6 Experimentalfahrten pro Versuchsperson wurden im Verlauf von zwei ca. 90 minütigen Sitzungen absolviert.

Die Durchführung des eigentlichen Versuchs begann nach einem Training, wodurch sichergestellt wurde, dass die VPen mit der Fahrsimulation problemlos umgehen konnte.

<b>Eingewöhnung</b>	Gewöhnung an die Simulation Üben der Folgefahrt (konstanter Abstand 35 - 50 m)	25 min
<b>Experimentalfahrten</b>	konventionelle Anzeige	14 min
	Keine Anzeige	14 min
	3-stufige Anzeige	14 min
<b>Abschließende Befragung</b>	Paarvergleich der Varianten, Akzeptanz	10 min

## Abhängige Variablen

Als **abhängige Variablen** werden als Messungen am Simulatorfahrzeug bzw. aus der Simulation maschinell erhoben:

- Experimentalzeit in [msec]
- Abstand zum Vordermann in [m]
- Abstand zum Vordermann [sec]/30
- Eigengeschwindigkeit
- Fremdgeschwindigkeit
- Eigenbeschleunigung
- Fremdbeschleunigung
- Randabstand des Fahrzeugs
- Fahrzeug auf Fahrbahn
- Gaspedalstellung (Drosselklappenwinkel)
- Bremspedalstellung

## Ergebnisse

### Bremspedalwinkel

Die Betrachtung des von den VPen eingestellten Bremswinkels zeigt einen deutlichen Unterschied zwischen den verschiedenen Anzeigevarianten und eine Interaktion mit dem Faktor Bremsstärke. Im Fall leichter Bremsungen wird mit der dreistufigen Anzeige ein vergleichbarer Winkel zur Bedingung „ohne Anzeige“ eingestellt. Im Fall schwerer Bremsungen wird ein wesentlich höherer Winkel hergestellt als verglichen mit der Standardanzeige.

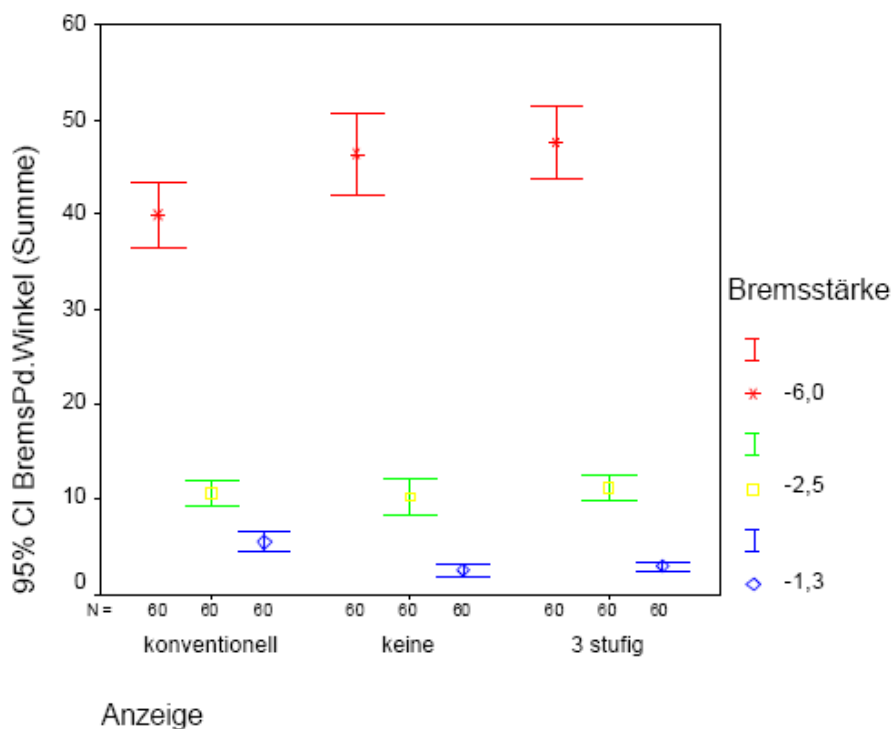
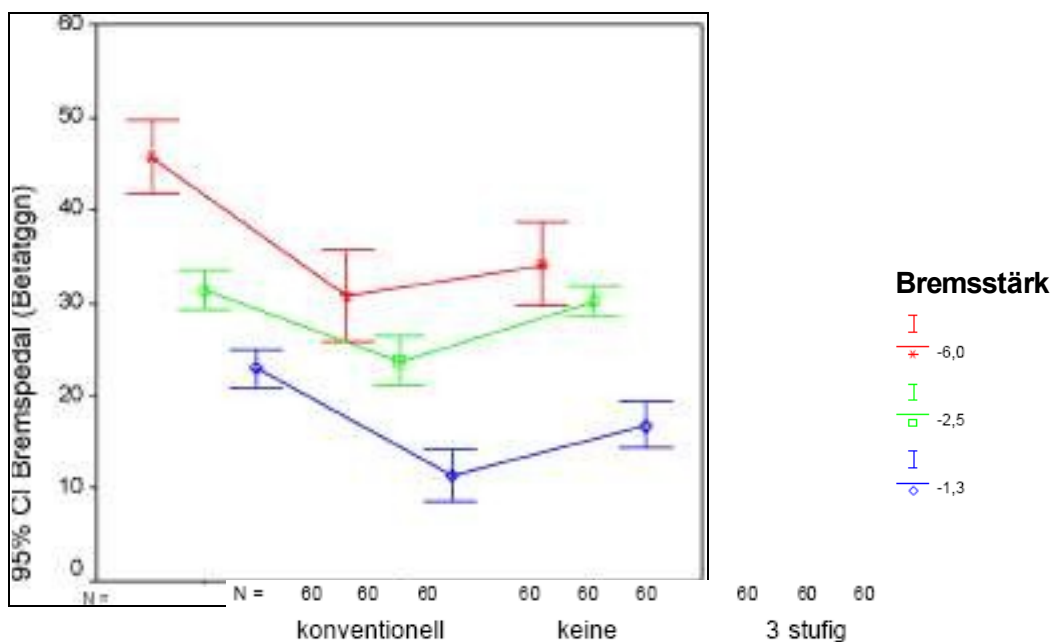


Abbildung 1. Bremspedalwinkel in Abhängigkeit der angezeigten Bremsstärke und Anzeigevariante

## Bremspedalreaktionen

Die Auswertung der am Bremspedal ausgeführten Betätigungen in Form von Umkehrpunkten zeigt ebenfalls einen deutlichen Unterschied zwischen den verschiedenen Anzeigevarianten und wiederum eine Interaktion mit dem Faktor Bremsstärke.

Sowohl im Fall leichter Bremsungen als auch schwerer Bremsungen werden mit der dreistufigen Anzeige die Betätigungen des Bremspedals deutlich reduziert. Im Fall mittlerer Bremsungen hat die Differenzierung des Bremssignals keine Auswirkung.



### Anzeige

Abbildung 2. Anzahl der Bremspedalbetätigungen in Abhängigkeit der angezeigten Bremsstärke und Anzeigevariante

## Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass durch ein differenziertes Bremssignal des Vorderfahrzeuges eine differenziertere Bremsreaktion des Fahrers im nachfolgenden Fahrzeug erreicht werden kann. Dies zeigt sich in der deutlichen Interaktion zwischen den Faktoren Bremsstärke und Bremsstärkenanzeige bezüglich der Betätigung des Bremspedals. Die Verringerung der Umkehrpunkte zeigt, dass wesentlich durch eine differenzierte Anzeige wesentlich schneller Sicherheit bei der Versuchsperson bezüglich des notwendigen Bremsengriffes besteht und nicht mehr nachjustiert wird. Die eingestellten Bremspedalwinkel im Fall schwerer und leichter Bremsungen zeigen ebenfalls, dass die Information der dreistufigen Anzeige für eine angemessene Bremsung verwendet wird. Eine differenzierte Auswertung der Reaktionen der Versuchspersonen ergibt zudem, dass im Fall leichter Bremsungen auch gegebenenfalls auf eine nicht erforderliche Bremsung verzichtet wird und eine ausreichende Verzögerung durch das Schleppmoment des Fahrzeugs erzeugt wird.

Welche Auswirkungen haben diese Effekte auf die Qualität des Gesamtsystems? Durch die Vermeidung unnötiger Bremsungen erreichen Fahrzeugkolonnen höhere Stabilität, zudem kann vermieden werden, dass unnötige Bremsungen sich im Verlauf der Kolonne wellenartig eine Vollbremsung aufschaukeln.

Darüber hinaus zeigt sich, dass die alleinige Betrachtung von Reaktionszeiten im Fall dieses Versuchs keine differenzierende Information geliefert hätte. Eine Verlängerung von Reaktionszeiten oder ein Ausbleiben von Reaktionen wäre zudem als negativer Effekt zu werten, sobald der Fahrer darauf reduziert würde möglichst schnell stimulus und response zu verknüpfen. Die Betrachtung in Form eines joint cognitive system ist im vorliegenden Fall besonders reizvoll, da sie über mindestens zwei

Fahrzeuge und Fahrer hin geschieht. Sie zeigt, dass gerade auch das Ausbleiben einer Reaktion oder

auch deren Verzögerung eine richtige Verhaltensweise im Sinne des Gesamtsystems und damit auch verwertbare Information darstellen kann. Joint Cognitive Systems eignen sich daher gerade bei der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen als Modell nutzerorientierter Gestaltung. Im Zusammenhang mit der Frage der Kompetenzentwicklung erweist sich der Nutzer als aktives Element eines joint cognitive system, der durch geeignete -gegebenfalls auch zusätzliche Informationen - zu angemessenem Verhalten befähigt werden kann. Die Herausforderung für die Gestaltung zukünftiger Mensch Maschine Interaktion im Fahrzeug kann daher nicht in jedem Fall in der Reduktion bestehen, die dann unter Umständen in die Automatisierung notwendiger Funktionen münden würde. Vielmehr ist einer sinnvollen und gezielten Informationsgestaltung mit dem Ziel der Entscheidungsunterstützung des Fahrers der Vorzug zu geben.

## Literatur

- Bengler, K., Neuss, R., Noszko, T. (2002). Usability of Multimodal Human-Machine-Interaction while Driving. Vortrag zum ITS Chicago 2002.
- Drösler, J. O- . In Hoyos, C.G. Psychologie des Straßenverkehrs
- Engels, K. & Dellen, R.G. (1989). Der Einfluß von Suchfahrten auf das Unfallverursachungsrisiko. Zeitschrift für Verkehrssicherheit, 5(3), 93-100.
- Fenk, J., Praxenthaler, M., Zimmer, A. (1997) Optimierung der Bremsanzeige. Vortrag bei der TeaP 1997 in Berlin.
- Fitts, P.M. (1951) Human engineering for an effective air navigation and traffic control system. Washington, DC: National Research Council
- Hollnagel (2000)
- Reichart, G. (2001). Menschliche Zuverlässigkeit beim Führen von Kraftfahrzeugen. Düsseldorf: VDI Verlag, Fortschritt-Berichte VDI Reihe 22, Mensch-Maschine-Systeme, Nr.7.
- Zimmer, A. (2001). Wie intelligent darf/muss ein Auto sein? Anmerkungen aus ingenieurpsychologischer Sicht. In Th. Jürgensohn & K.-P. Timpe (Hrsg.) *Kraftfahrzeugführung*. (S. 39-55). Berlin, Heidelberg, New York: Springer.