

## **Möglichkeiten der Nutzung unterschiedlicher Ressourcen für die Fahrer-Fahrzeug-Interaktion**

### **Using Multiple Resources for the Driver-Vehicle-Interaction**

PD Dr. Mark Vollrath\* und Ingo Totzke#

\*Institut für Verkehrsführung und Fahrzeugsteuerung (IFS), DLR

Lilienthalplatz 7, 38108 Braunschweig, Tel.: 0531-295-3455, Fax: 0531-295-3402

E-Mail: [mark.vollrath@dlr.de](mailto:mark.vollrath@dlr.de)

#Interdisziplinäres Zentrum für Verkehrswissenschaften an der Universität Würzburg

Röntgenring 11, 97070 Würzburg, Tel.: 0931-312175, Fax: 0931-312616

E-Mail: [totzke@psychologie.uni-wuerzburg.de](mailto:totzke@psychologie.uni-wuerzburg.de)

### **Zusammenfassung**

Informationssysteme im Fahrzeug und zusätzliche Fahrzeugfunktionen führen dazu, dass der Fahrer vermehrt in eine Interaktion mit dem Fahrzeug eingebunden wird, die vom Fahren ablenken kann. Entsprechend einem Ressourcenmodell der menschlichen Aufmerksamkeit (z.B. [9]) ist diese Ablenkung dann besonders stark, wenn bei der Informationsaufnahme der visuelle Kanal genutzt wird und die Handlungsausführung motorisch geschieht. Deshalb wird gefordert, die Fahrer-Fahrzeug-Interaktion über Sprachausgabe und Spracherkennung zu gestalten. Da dies nach wie vor technisch im Fahrzeug (Umgebungsbedingungen, Wortschatz) schwierig ist, sollen alternativ Fahrerassistenzsysteme die negativen Effekte kompensieren. Im vorliegenden Beitrag werden diese beiden Ansätze geprüft. Zwar zeigen sich für beide Ansätze Teilerfolge, aber eine unkritische Anwendung kann auch negative Effekte nach sich ziehen.

### **Summary**

New information systems and additional vehicle functions require the driver to engage in an interaction with the car which may distract him from driving. Following the model of multiple resources (e.g., [9]) this distraction will be strong if the visual channel is used for the information input and if a motor reaction is necessary. To avoid this interference, a driver-vehicle-interaction could use the acoustic channel and verbal reactions. As speech recognition and speech output is still problematic in the car, driver assistance systems can be introduced to assist the driver and free resources which can be used for the interaction. The paper presented here tests these two approaches in a driving simulation. Although both approaches show avoid interference to some extent, negative effects can also be demonstrated. Thus, these strategies should be well designed and tested.

## 1. Multiple Ressourcen bei der Fahrzeugführung und der Fahrer-Fahrzeug-Interaktion

Informationssysteme im Fahrzeug und zusätzliche Fahrzeugfunktionen führen dazu, dass der Fahrer vermehrt in eine Interaktion mit dem Fahrzeug eingebunden wird, wobei diese Interaktion nur zum Teil mit der Fahraufgabe zusammenhängt, so dass diese Interaktion von der Fahrzeugführung ablenken kann. Psychologisch ist dieses Problem einzuordnen in den Bereich der Aufmerksamkeit bzw. geteilten Aufmerksamkeit, in dem auf der einen Seite eine Fülle von Ergebnissen existiert, auf der anderen Seite zentrale Begriffe so kontrovers diskutiert werden, dass führende Experten vorschlagen, den allgemeinen Begriff „Aufmerksamkeit“ nicht mehr zu verwenden (für einen Überblick, s. [2,3]). So formuliert z.B. Neumann: „Aufmerksamkeit in dem Sinne, in dem der Begriff in derartigen Modellen benutzt wird, existiert nicht“ ([3], S. 83). Alternativ zu einer breiten, alles erklärenden Aufmerksamkeits-theorie wird vorgeschlagen, für begrenzte Forschungsfelder bzw. Forschungsfragen lokale, enge Konzepte zu entwickeln. In diesem Sinn soll im Folgenden die Fahrer-Fahrzeug-Interaktion zum einen für die Funktion der Informationsaufnahme untersucht werden, inwieweit verschiedene Informationsquellen zeitgleich beachtet werden können und für die Reaktion, wie verschiedene Tätigkeiten koordiniert werden können.

In diesen Bereich wird das Modell multipler Ressourcen von Wickens [8,9] nach wie vor häufig verwendet, obwohl dessen Nützlichkeit aus verschiedenen Gründen stark kritisiert wird (z.B. geringer Erklärungswert, empirische Gegenbelege für zentrale Vorhersagen des Modells, s. [2]). Andererseits ist es zumindest zur Strukturierung angewandter Probleme hilfreich, so dass es im Folgenden verwendet wird, um die Frage der Gestaltung und Bewertung der Fahrer-Fahrzeug-Interaktion inhaltlich genauer zu fassen. Im Vorgriff auf die Ergebnisse wird sich zeigen, dass die empirischen Befunde den Modellannahmen zum Teil widersprechen. In der Diskussion am Ende dieses Beitrags werden deshalb mögliche Erweiterungen des Modells kurz dargestellt.

Das Modell unterscheidet zunächst zwischen verschiedenen Verarbeitungsstufen bei der menschlichen Handlung (s. Abbildung 1). Am Beispiel des Fahrens: Der Fahrer nimmt Informationen aus der Umwelt darüber aus, an welcher Stelle er sich mit seinem Fahrzeug befindet (Enkodierung). Wenn er feststellt, dass er zu nahe an den Fahrbahnrand gerät, entscheidet er sich, gegenzulenken (zentrale Verarbeitung). Er lenkt dann so, dass das Fahrzeug wieder in der Mitte der Fahrbahn fährt (Reaktion).

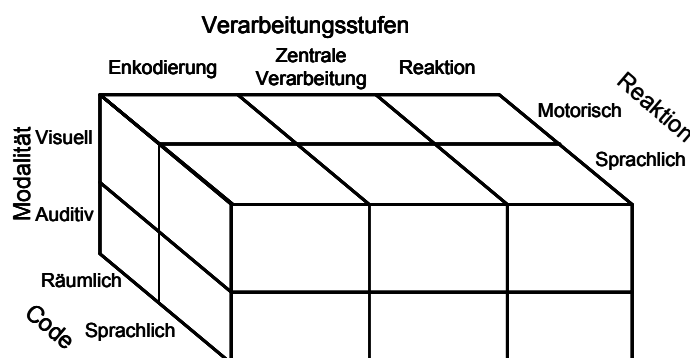


Abbildung 1: Das Modell multipler Ressourcen [nach 9].

Die Informationen, die der Fahrer aufnimmt, können aus unterschiedlichen Modalitäten stammen. Beim Fahren ist zunächst der visuelle Kanal zentral, aber auch kinästhetische Informationen (z.B. über die Lage im Raum oder Beschleunigungen) sind wichtig, die im Modell nicht dargestellt sind. Aus den Modalitäten resultieren unterschiedliche Codes, d.h. Arten von Inhalten, bei der Vorverarbeitung wichtig sein. Beim Fahren sind es vor allem räumliche Informationen, in wenigen Fällen auch sprachliche Informationen (z.B. Staumeldungen über das Radio). Schließlich unterscheidet man zwischen motorischen und sprachlichen Reaktionen, wobei für die Fahrzeugführung vor allem motorische Reaktionen wichtig sind.

In diesem Modell werden nun zwei Annahmen gemacht:

- Für die einzelnen Zellen dieses Würfels (s. Abbildung 1) existieren unterschiedliche Ressourcen, auf die unabhängig voneinander zugegriffen werden kann.
- Jede dieser Ressourcen ist begrenzt.

Aus diesen Annahmen ist direkt abzuleiten, dass sich zwei Aufgaben umso mehr stören, je mehr gemeinsame Ressourcen sie benötigen. Umgekehrt sollten dann zwei Aufgaben problemlos gleichzeitig bearbeitet werden, wenn sie unterschiedliche Ressourcen beanspruchen. Überträgt man dies auf die Fahrer-Fahrzeug-Interaktion, so sind für die Fahrzeugführung vor allem visuelle Informationen zentral, um das Fahrzeug unfallfrei durch den Verkehr zu manövrieren. Dadurch werden räumliche Codes vermittelt und müssen zentral verarbeitet werden, d.h. die Position des Fahrzeugs auf der Fahrbahn, die relative Position bezogen auf andere Fahrzeuge, der Straßenverlauf usw. Schließlich erfolgt die Reaktion motorisch über Lenkrad, Schaltung und Pedalerie. Kommen nun durch eine Fahrer-Fahrzeug-Interaktion zusätzliche Handlungen hinzu, die gleichzeitig ausgeführt werden sollen, dann werden diese die Fahrhandlung stören, wenn sie dieselben Ressourcen beanspruchen. Eine visuelle Anzeige eines Navigationsgeräts, die räumliche Informationen vermittelt und über einen Dreh-Drückknopf bedient werden muss, sollte damit sehr stark mit dem Fahren interferieren, da bei Enkodierung, zentraler Informationsaufnahme und Reaktion dieselben Ressourcen benötigt werden. Ein Gespräch mit dem Beifahrer über die aktuelle politische Lage sollte wenig stören, da der akustische Kanal mit sprachlichen Codes genutzt und sprachlich reagiert wird. Aus diesen Überlegungen wird die Forderung abgeleitet, den Fahrer visuell nicht zusätzlich zu beanspruchen und vermehrt den akustischen Kanal zu nutzen. Gesetzgeberisch wurde dies z.B. bei dem Verbot des Telefonierens ohne Freisprechanlage umgesetzt, da auf diese Weise Störungen bei der motorischen Reaktion vermieden werden. Ein alternativer Ansatz ist, den Fahrer durch Assistenzsysteme so zu unterstützen, dass Ressourcen frei werden, die dann für andere Aufgaben verfügbar sind. Ein ACC-System zur automatischen Abstands- und Geschwindigkeitshaltung entlastet vor allem die zentrale Verarbeitung und die motorische Reaktion, da das Fahrzeug selbsttätig entscheidet, ob der Abstand ausreichend ist und entsprechend die Geschwindigkeit regelt. Auch der visuelle Kanal wird entlastet. Allerdings sollte der Fahrer nach wie vor das System überwachen.

Auf der einen Seite erscheinen diese Überlegungen hoch plausibel. Auf der anderen Seite existiert eine Reihe von experimentellen Befunden, die den Annahmen des multiplen Res-

sourcenmodells widersprechen (z.B. fehlende Interferenzen trotz Nutzung gemeinsamer Ressourcen oder Interferenzen bei Nutzung unterschiedlicher Ressourcen, s. [3]). Schwierig ist vor allem die genaue Definition der Ressourcen: Werden für das Lenken und das Gasgeben dieselben Ressourcen benötigt (motorische Ressourcen)? Die Schwierigkeiten beim Erlernen des Schlagzeugspielens könnten darauf hinzuweisen, dass Hand und Fuß auf dieselben Ressourcen zurückgreifen. Andererseits lernen es Fahrer sehr schnell, Geschwindigkeit und Fahrzeugposition gleichzeitig zu regeln. Vor diesem Hintergrund wurden in einer Untersuchung im Rahmen des Projekts S.A.N.T.O.S, das im nächsten Abschnitt kurz dargestellt wird, zwei unterschiedliche Arten von Fahrer-Fahrzeug-Interaktionen zusätzlich zur Fahraufgabe eingeführt, die in unterschiedlichem Maße die Ressourcen benötigen, die auch beim Fahren verwendet werden. Über eine Analyse des Fahrverhaltens, der Güte der Fahrer-Fahrzeug-Interaktion und der subjektiven Beanspruchung wurden die Interferenzen untersucht. Zusätzlich wurde ein Fahrerassistenzsystem eingeführt, das als Unterstützung bestimmte Ressourcen beim Fahren entlasten sollte und so die Interferenz verringern sollte. Für die praktische Anwendung wurden damit zwei Möglichkeiten untersucht, die Fahrer-Fahrzeug-Interaktion für das Fahren zu optimieren:

- Vermeidung von Interferenzen durch Nutzung unterschiedlicher kognitiver Ressourcen
- Verringerung von Interferenzen durch Entlastung des Fahrers durch Assistenzsysteme

## **2. Die Untersuchung: Ansätze zur Vermeidung von Interferenzen zwischen Fahrer-Fahrzeug-Interaktion und der Fahraufgabe**

### **2.1. Das Projekt S.A.N.T.O.S**

Das Projekt S.A.N.T.O.S wurde vom BmBF gefördert (# 19 S 9826 A/B) und von der BMW Group und der Robert Bosch GmbH zwischen 1999 und 2002 durchgeführt, wobei Institute der Universitäten Darmstadt, Dresden, München, Regensburg und Würzburg beteiligt waren (für einen Überblick, s. [1], und die Website [www.santosweb.de](http://www.santosweb.de)). In dem Projekt ging es darum, Fahrerassistenzsysteme situationsangepasst und nutzertypzentriert zu gestalten. Der Projektteil des Würzburger Instituts für Verkehrswissenschaften (WIVW) untersuchte die Anpassung von Assistenzsystemen an Kommunikation, d.h. wenn gleichzeitig bestimmte Formen der Fahrer-Fahrzeug-Interaktion durchgeführt werden [7].

### **2.2. Methodik**

Um die Fahrer-Fahrzeug-Interaktion kontrolliert zu gestalten, wurden zwei Arten dieser Interaktion als Nebenaufgabe umgesetzt. Bei der „manuellen Bedienung“ bekamen die Probanden auf einem Bildschirm in der oberen Mittelkonsole einen Namen dargeboten, den sie dann in einer Bedienoberfläche mit Hilfe von Cursortasten in dem Adressbuch suchen sollten. Um diese Aufgabe zu erschweren, wurde jeweils an unterschiedlichen Stellen der Bedienoberfläche aufgesetzt. Bei dieser Aufgabe sind über den visuellen Kanal sprachliche und räumliche Inhalte aufzunehmen und es ist motorisch zu reagieren. Bei dieser Art der Interaktion sind damit auf allen drei Verarbeitungsstufen dieselben Ressourcen beteiligt wie bei der

Fahraufgabe, so dass hier nach dem Modell der multiplen Ressourcen starke Interferenzen zu erwarten sind.

Bei dem „Farbtest“ wird der Fahrer gebeten, sich drei farbige Kreise in einer Reihe vorzustellen, wobei die Farben verbal vorgegeben werden (z.B. „rot, gelb, blau“). Dann wird die Anweisung gegeben, einen Farbkreis zu verschieben (z.B. „rot nach gelb“). Der Fahrer muss diese Verschiebung mental durchführen und das Ergebnis, d.h. die resultierende Reihenfolge der Farbkreise, laut sagen (z.B. „gelb, rot, blau“). Bei dieser Aufgabe werden sprachliche und räumliche Informationen akustisch aufgenommen und es wird sprachlich reagiert. Hier können Interferenzen mit der Fahraufgabe höchstens bei der zentralen Verarbeitung räumlicher Informationen auftreten. Sowohl bei der Informationsaufnahme als auch bei der Reaktion werden dagegen Ressourcen verwendet, die für die Fahraufgabe weitgehend irrelevant sind. Nach dem Modell der multiplen Ressourcen sind bei dieser Aufgabe nur geringe Interferenzen mit der Fahrzeugführung zu erwarten.

Als Assistenzfunktion, mit der der Fahrer bei einem Teil der Fahraufgabe unterstützt wird, wurde u.a. das Spurhalteassistenzsystem Heading Control System (HC) verwendet, basiert auf einer Entwicklung der BMW Group. Mit Hilfe einer videobasierten Spurerkennung wird ausgehend von der Position des Fahrzeugs relativ zur Idealspur dann ein Lenkmoment gegeben, wenn die Abweichung von der Idealspur ein bestimmtes Kriterium überschreitet. Damit erhält der Fahrer eine haptische Zusatzinformation über seine Spurhaltung in sicherheitsrelevanten Situationen. Durch dieses Assistenzsystem wird das Lenken unterstützt, d.h. wenn dieses System den Fahrer entlastet, sollten Ressourcen der visuellen Modalität, der räumlichen Codes und der motorischen Reaktion frei werden.

Die Auswirkungen der verschiedenen Formen der Fahrer-Fahrzeug-Interaktion und des Assistenzsystems HC wurden im Fahrsimulator des WIVW untersucht. Dieser ermöglicht eine Bewegungssimulation mit 6 Freiheitsgraden und enthält eine 180°-Sicht der Umwelt. Die Strecken können flexibel gestaltet werden. Für die Untersuchung des HC-Systems wurde eine 5.5 km lange Landstraße mit leichten Kurven (400 bis 700 m Radius, Länge 250 bis 500 m) realisiert. Durch häufigen Gegenverkehr wurde sichergestellt, dass die Fahrer ihre Aufmerksamkeit auf die Spurhaltung richteten. Diese Landstraße wurde einmal mit einem Führungsfahrzeug gefahren, dessen Geschwindigkeit leicht variierte (zwischen 95 und 105 km/h) und einmal bei freier Fahrt. 5 hoch geübte Versuchsfahrer (2 Männer, 3 Frauen, Mittelwert des Alters 26.2 Jahre) führten Fahrten mit und ohne HC-System jeweils mit und ohne Nebenaufgabe durch, so dass sowohl die Auswirkungen des HC-Systems als auch der Nebenaufgabe zu bewerten sind. Diese vier Untersuchungsbedingungen (mit und ohne HC jeweils mit und ohne Nebenaufgabe) wurden von denselben Fahrern sowohl mit dem Farbtest als auch mit der manuellen Bedienung durchgeführt.

Zur Beschreibung der Leistung in der Fahraufgabe wurde die Standardabweichung der Querabweichung von der Idealspur als Maß für die Präzision der Querführung berechnet. Im Bereich der Längsführung wurde der minimale Abstand zum Führungsfahrzeug als Maß für den Reaktionsspielraum berechnet, den sich der Fahrer für Reaktionen auf Aktionen des Führungsfahrzeugs vorbehält. Als Maß für die Konzentration auf die Nebenaufgabe wurde die mittlere Dauer berechnet, die der Fahrer dazu benötigte, eine Telefonnummer aus dem

Adressbuch herauszusuchen, bzw. die mittlere Dauer, die für die Lösung einer Umordnungsaufgabe des Farbtests notwendig war. Schließlich wurden die Fahrer nach jeder Fahrt befragt, wie anstrengend die Fahrt gewesen sei (0: nicht anstrengend, 15: extrem anstrengend).

### 2.3. Ergebnisse

Betrachtet man zunächst die Veränderungen ohne Assistenzsystem, so ergibt sich im Bereich der Querführung eine deutliche Beeinträchtigung der Spurführung bei manueller Bedienung, aber nicht beim Farbtest<sup>1</sup> (s. Abbildung 2). Bei der Längsführung finden sich keine signifikanten Unterschiede, weder zwischen den beiden Arten von Zusatzaufgaben noch in Abhängigkeit von der Aufgabendurchführung<sup>2</sup>.

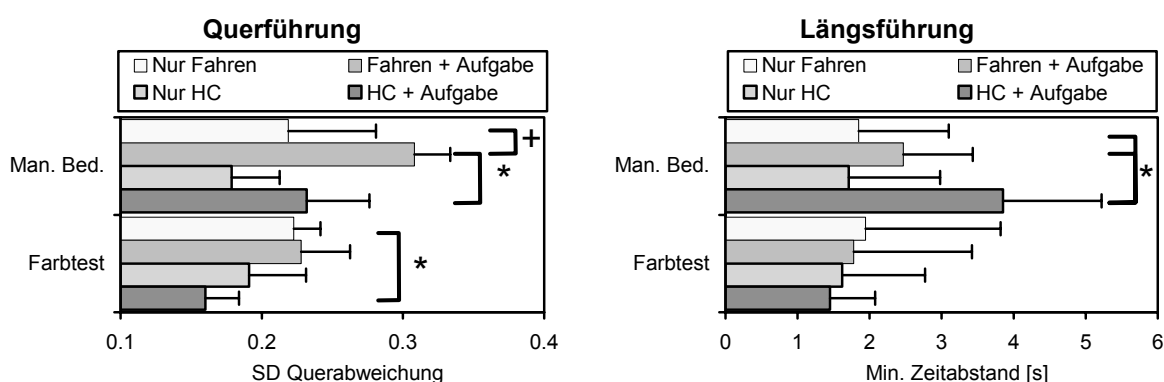


Abbildung 2: Veränderungen der Quer- und Längsführung bei Fahrten mit und ohne Zusatzaufgabe mit und ohne HC-System. Die oberen vier Balken zeigen jeweils die Ergebnisse für die manuelle Bedienung, die unteren Balken für den Farbtest. Signifikante Unterschiede (*t*-Test für abhängige Gruppen) sind entsprechend gekennzeichnet („+“:  $p < 0.1$ , „\*“  $p < 0.05$ ). Dargestellt sind Mittelwerte und Standardabweichungen (Linien).

Führt man zusätzlich das Assistenzsystem HC ein, so kompensiert dieses die Veränderungen bei der manuellen Bedienung, d.h. die Standardabweichung der Querabweichung mit manueller Bedienung und HC-System ist vergleichbar wie bei Fahrten ohne HC und ohne Zusatzaufgabe. Allerdings ist auch hier die Querführung mit HC ohne Zusatzaufgabe besser als mit Zusatzaufgabe. Beim Farbtest ergibt sich ein genau entgegengesetzter Effekt. Die Standardabweichung der Querabweichung mit HC und Zusatzaufgabe ist deutlich geringer als bei Fahrten ohne HC und ohne Zusatzaufgabe und von der Richtung her auch bei Fahrten mit HC ohne Zusatzaufgabe. Bei der Längsführung wird mit manueller Bedienung und HC ein signifikant größerer minimaler Abstand zu Führungsfahrzeugen eingehalten, d.h. die

<sup>1</sup> In der zweifaktoriellen Varianzanalyse ohne HC ergibt sich für die Hauptwirkung „Art der Zusatzaufgabe“  $p = 0.031$ , für die Hauptwirkung „Zusatzaufgabe vorhanden“  $p = 0.132$  und für die Wechselwirkung  $p = 0.078$ . Bei der Prüfung mit HC ergibt sich für die Hauptwirkung „Art der Zusatzaufgabe“  $p = 0.007$ , für die Hauptwirkung „Zusatzaufgabe vorhanden“  $p = 0.326$  und für die Wechselwirkung  $p = 0.018$ .

<sup>2</sup> Ohne HC sind alle  $p > 0.10$ . Mit HC ergibt sich für die Hauptwirkung „Art der Zusatzaufgabe“  $p = 0.010$ , für die Hauptwirkung „Zusatzaufgabe vorhanden“  $p = 0.011$  und für die Wechselwirkung  $p = 0.002$ .

Fahrer verschaffen sich unter dieser Bedingung einen deutlich größeren Handlungsspielraum für notwendig werdende Reaktionen. Von der Richtung her ist dies auch ohne HC zu beobachten, wird dort aber nicht signifikant. Beim Farbttest ist dies nicht zu finden. Von der Richtung her ist mit HC und Farbttestbearbeitung der minimale Abstand sogar am geringsten.

Damit sind diese Ergebnisse beim Fahrverhalten zusammenfassend zu beschreiben:

- Die manuelle Bedienung führt zu deutlichen Einbußen bei der Querführung. Diese können durch das Assistenzsystem HC kompensiert werden. Bei der Längsführung zeigen sich ohne HC keine deutlichen Veränderungen. Wenn HC aktiv ist und die Zusatzaufgabe bearbeitet wird, vergrößert der Fahrer allerdings den Handlungsspielraum.
- Der Farbttest verändert das Fahrverhalten weder im Bereich der Quer- noch der Längsführung. Wird zusätzlich das HC-System eingeführt, verbessert sich die Spurführung, wobei dies besonders deutlich bei Aufgabenbearbeitung ist. In der Längsführung zeigen sich keine deutlichen Veränderungen.

Besonders interessant ist die Verbesserung der Leistung in der Querführung mit HC und Farbttest. Um diesen Effekt besser zu verstehen, wurden Parameter untersucht, die die Aktivität des HC-Systems beschreiben (s. Abbildung 3).

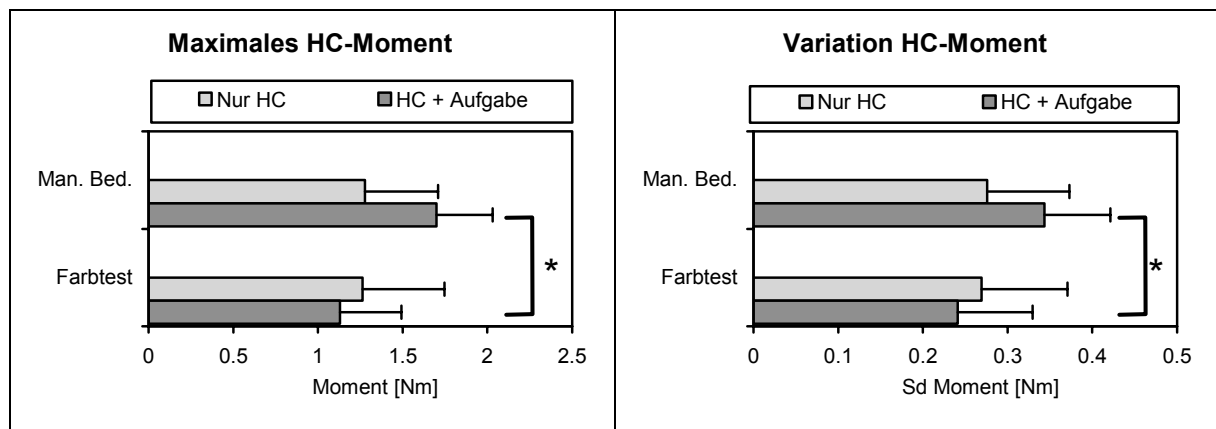


Abbildung 3: Veränderungen des Umgangs mit dem HC-System bei Fahrten mit und ohne Zusatzaufgabe mit und ohne Zusatzaufgabe. Die oberen zwei Balken zeigen jeweils die Ergebnisse für die manuelle Bedienung, die unteren Balken für den Farbttest. Signifikante Unterschiede (t-Test für abhängige Gruppen) sind entsprechend gekennzeichnet („+“:  $p < 0.1$ , „\*“  $p < 0.05$ ). Dargestellt sind Mittelwerte und Standardabweichungen (Linien).

Für das maximale Lenkmoment, das von dem HC-System ausgegeben wird, und die Standardabweichung des HC-Lenkmoments ergeben sich signifikante Effekte<sup>3</sup>. Während bei manueller Bedienung durch die Zusatzaufgabe höhere maximale Momente entstehen und die Variation größer wird, finden sich mit dem Farbttest geringere maximale Momente und eine

<sup>3</sup> In der zweifaktoriellen Varianzanalyse für das maximale HC-Moment ergibt sich für die Hauptwirkung „Art der Zusatzaufgabe“  $p = 0.003$ , für die Hauptwirkung „Zusatzaufgabe vorhanden“  $p = 0.334$  und für die Wechselwirkung  $p = 0.012$ . Für die Standardabweichung des HC-Moments ergibt sich für die Hauptwirkung „Art der Zusatzaufgabe“  $p = 0.044$ , für die Hauptwirkung „Zusatzaufgabe vorhanden“  $p = 0.410$  und für die Wechselwirkung  $p = 0.021$ .

geringere Variation des HC-Moments. Damit wird die Kompensation der negativen Effekte der manuellen Bedienung auf die Spurführung durch das HC-System durch eine stärkere Aktivität des Systems vor allem im Sinne sehr starker Eingriffe erreicht. Beim Farbttest wird die Verbesserung der Spurführung mit Farbttest und HC dagegen erreicht bei einer geringeren Aktivität des HC-Systems im Sinne von geringeren maximalen Momenten und einer kleineren Variation. Oder: Bei der manuellen Bedienung bringt das System den Fahrer durch starke Eingriffe „auf den richtigen Weg“ zurück. Beim Farbttest reagiert der Fahrer bereits auf geringe Eingriffe des HC-Systems, was zu einer besseren Spurführung mit geringerer Aktivität des Systems führt. Interpretiert man diese Verhaltensweisen als Interaktion, so „streitet“ das HC-System mit dem Fahrer bei der manuellen Bedienung, während eine „harmonische“ Interaktion beim Farbttest stattfindet.

Diese Interpretation wird noch gestützt, wenn man untersucht, wie gut der Fahrer die Zusatzaufgaben bearbeiten kann (s. Abbildung 4). Bei der manuellen Bedienung dauert es signifikant länger, eine Aufgabe zu bearbeiten, wenn das HC-System aktiv ist. Beim Farbttest zeigt sich keine Veränderung durch das HC-System<sup>4</sup>. Subjektiv werden jeweils die Fahrten mit Zusatzaufgabe als anstrengender beurteilt<sup>5</sup>. Dabei finden sich weder Unterschiede zwischen Fahrten mit und ohne Zusatzaufgabe noch zwischen den beiden Arten von Zusatzaufgaben.

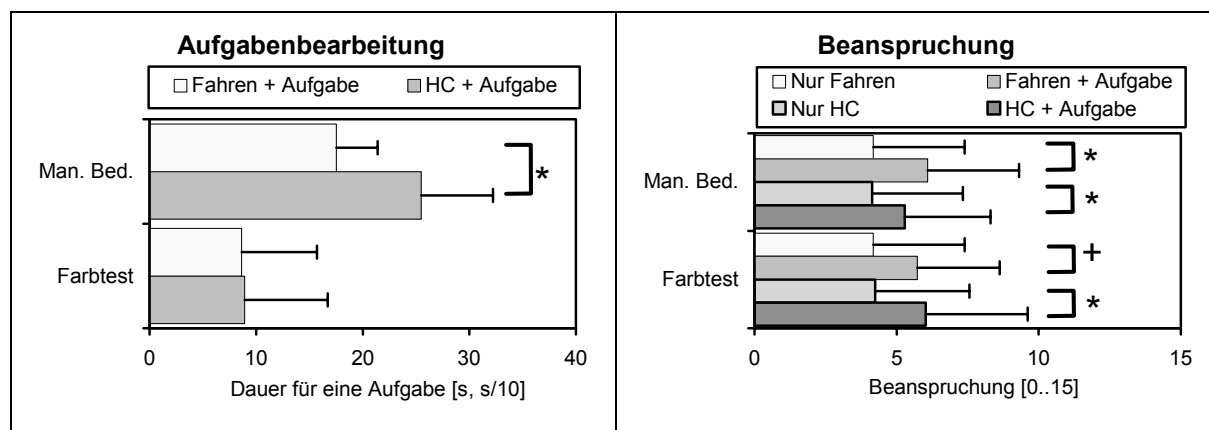


Abbildung 4: Veränderungen der Leistung bei der Aufgabenbearbeitung und der subjektiven Beanspruchung bei Fahrten mit und ohne Zusatzaufgabe (nur für die Beanspruchung) mit und ohne HC-System. Die oberen zwei bzw. vier Balken zeigen jeweils die Ergebnisse für die manuelle Bedienung, die unteren Balken für den Farbttest. Signifikante Unterschiede (t-Test für abhängige Gruppen) sind entsprechend gekennzeichnet („+“:  $p < 0.1$ , „\*“  $p < 0.05$ ). Dargestellt sind Mittelwerte und Standardabweichungen (Linien).

<sup>4</sup> In den t-Test ergab sich für den Vergleich ohne und mit HC für die die manuelle Bedienung  $p = 0.012$ , für den Farbttest  $p = 0.878$ .

<sup>5</sup> In der zweifaktoriellen Varianzanalyse ohne HC ergibt sich für die Hauptwirkung „Art der Zusatzaufgabe“  $p = 0.311$ , für die Hauptwirkung „Zusatzaufgabe vorhanden“  $p = 0.000$  und für die Wechselwirkung  $p = 0.311$ . Mit HC ergibt sich für die Hauptwirkung „Art der Zusatzaufgabe“  $p = 0.118$ , für die Hauptwirkung „Zusatzaufgabe vorhanden“  $p = 0.004$  und für die Wechselwirkung  $p = 0.194$ .



### **3. Auswirkungen verschiedener Fahrer-Fahrzeug-Interaktionen und Konsequenzen für die Entwicklung**

In der dargestellten Untersuchung wurden zwei Möglichkeiten untersucht, die Fahrer-Fahrzeug-Interaktion für das Fahren zu optimieren:

- 1) Vermeidung von Interferenzen durch Nutzung unterschiedlicher kognitiver Ressourcen
- 2) Verringerung von Interferenzen durch Entlastung des Fahrers durch Assistenzsysteme

Die erste Möglichkeit wurde realisiert, indem eine akustisch-sprachliche Interaktion als Zusatzaufgabe eingeführt wurde (Farbtest), für die andere Ressourcen (akustische Modalität, sprachliche Reaktion) benötigt werden als für die Fahraufgabe (visuelle Modalität, motorische Reaktion). Zum Vergleich wurde eine visuell-motorische Interaktion als Zusatzaufgabe verwendet (manuelle Bedienung), die vergleichbare Ressourcen verwendet (visuelle Modalität, motorische Reaktion). Erwartungsgemäß lassen sich deutliche Interferenzen durch die manuelle Bedienung zeigen, die sich bei dem Farbtest nicht ergeben. Damit stimmen die Ergebnisse überein mit den Vorhersagen, die sich aus dem oben beschriebenen Modell multipler Ressourcen ableiten lassen:

- Eine Fahrer-Fahrzeug-Interaktion, die andere Ressourcen verwendet als für die Fahraufgabe benötigt, beeinträchtigt die Leistung in der Fahraufgabe weniger als wenn dieselben Ressourcen benötigt werden.

Die subjektiven Angaben der Versuchsfahrer zeigen allerdings, dass die zusätzliche Aufgabenbearbeitung nicht ohne Kosten ist. Bei beiden Arten der Fahrer-Fahrzeug-Interaktion nimmt die subjektive Beanspruchung deutlich zu. Das heißt:

- Auch eine Optimierung der Fahrer-Fahrzeug-Interaktion in dem Sinne, dass Fahraufgabe und Interaktion gut gleichzeitig bewältigt werden können, führt zu einer erhöhten Beanspruchung des Fahrers, die durch die zusätzliche Tätigkeit zu erklären ist.

Diese erhöhte Beanspruchung könnte sich längerfristig (frühere Ermüdung) oder in komplexen Situationen, die hier nicht untersucht wurden, negativ auswirken. D.h., wenn die Fahraufgabe für sich sehr schwierig ist, wird auch eine in dem beschriebenen Sinn optimierte Fahrer-Fahrzeug-Interaktion möglicherweise zu einer Beeinträchtigung bei der Fahraufgabe führen. Damit ist für die erste Strategie festzuhalten:

- Eine Vermeidung von Interferenzen ist möglich durch Nutzung unterschiedlicher Ressourcen. Allerdings wird damit nicht die zusätzliche Beanspruchung des Fahrers vermieden, die durch eine zusätzliche Fahrer-Fahrzeug-Interaktion entsteht.

Damit bleibt die zweite Strategie interessant, die Interferenzen durch die Einführung von Assistenz zu minimieren. Die Einführung des HC-Systems scheint auf den ersten Blick dieses Ziel zu erreichen, da die Verschlechterung der Spurführung bei manueller Bedienung durch das Spurhaltesystem HC kompensiert wird. Allerdings wird dies nicht dadurch erreicht, dass durch das Assistenzsystem Ressourcen frei werden. Die Fahrer wählen einen größeren minimalen Abstand bei der Längsregulation und brauchen deutlich länger, um eine Aufgabe der

Fahrer-Fahrzeug-Interaktion zu erledigen. Dieses Ergebnis ist so zu interpretieren, dass der Fahrer durch das HC-System veranlasst wird, seine Ressourcen auf die Querführung zu konzentrieren, was dann dazu führt, dass für die Längsregulation und für die Fahrer-Fahrzeug-Interaktion weniger Ressourcen zur Verfügung stehen, so dass diese Handlungen weniger effektiv erledigt werden. Entsprechend lässt sich auch in den subjektiven Angaben kein Hinweis auf eine Entlastung finden. Das heißt für die zweite Strategie:

- Eine Verringerung von Interferenzen mittels einer Entlastung des Fahrers durch Assistenzsysteme war nicht nachzuweisen.
- Durch Assistenzsysteme kann erreicht werden, dass der Fahrer seine Ressourcen für bestimmte Teile der Fahraufgabe vermehrt nutzt.

Dadurch kann ein Sicherheitsgewinn erreicht werden, da der Fahrer sich mehr auf das Fahren und weniger auf die Fahrer-Fahrzeug-Interaktion konzentriert. Andererseits kann dies auch dazu führen, dass andere Teile der Fahraufgabe (hier: die Längsführung) vernachlässigt werden. Damit verlagert sich aber nur der Ort der Gefahrenquelle von der Querführung (die durch visuell-motorische Aufgaben vor allem betroffen ist, s. [7]) zur Längsführung. Eine Entlastung für den Fahrer entsteht dadurch ebenfalls nicht. Das heißt, das HC-System befreit nicht Ressourcen des Fahrers, sondern verlagert die Aufmerksamkeit auf einen bestimmten Teil der Fahraufgabe.

Zu bedenken ist allerdings, dass hier nur eine spezifische Form der Assistenz untersucht wurde, die den Fahrer informiert und Hinweise auf Handlungen gibt, die aber nicht die Handlungsausführung vollständig übernimmt (für die Unterscheidung verschiedener Formen der Assistenz, s. zum Beispiel [5]). Unter Umständen würde ein System, das die Querführung selbständig übernimmt, hier angemessener, da damit tatsächlich Ressourcen des Fahrers frei werden, die für die visuell-motorische Aufgabe genutzt werden können.

Von der theoretischen Seite her sind schließlich die Ergebnisse zur Veränderung des Fahrverhaltens bei der akustisch-sprachlichen Aufgabe (Farbtest) und dem HC-System interessant. Obwohl im Vergleich zur Kontrollfahrt zusätzliche Ressourcen für die Fahrer-Fahrzeug-Interaktion benötigt wurden und durch das HC-System zusätzliche Anforderungen für den Fahrer entstehen, wird die Querführung deutlich besser. Gleichzeitig bleibt die Leistung in der Längsführung und Zusatzaufgabe vergleichbar gut. Damit verbessert sich die Leistung, obwohl zusätzliche Ressourcen benötigt werden. Dies ist mit dem Modell multipler Ressourcen nicht ohne weiteres zu vereinbaren. Wenn die Leistung gleich bliebe, ließe sich das Ergebnis dadurch erklären, dass die Ressourcen teilbar sind und die verschiedenen Aufgaben nur geringe Ressourcen benötigen, d.h. mit dem verfügbaren Teil der Ressourcen sind die Aufgaben sehr gut zu bewältigen (sog. datenlimitierte Prozesse, s. [4]). Nicht zu erklären ist damit die Verbesserung der Leistung in der einen Aufgabe bei gleichbleibender Leistung in der anderen Aufgabe. Dieses Ergebnis war oben damit erklärt worden, dass sich die Art der Aufgabenbearbeitung geändert hat: Bei der akustisch-sprachlichen Aufgabe (Farbtest) wird „harmonischer“ mit dem HC-System umgegangen, d.h. es wird bereits bei kleineren HC-Momenten reagiert, so dass die Spurhaltung besser wird.

Aus diesen Ergebnissen wird deutlich, worin die größten Schwierigkeiten des Modells multiplexer Ressourcen besteht: Die Vorhersagekraft ist relativ gering, da die Güte der Aufgabenbearbeitung neben den Ressourcen von einer Reihe weiterer Faktoren abhängt (hier: eine Veränderung der Aufgabenbearbeitung beim Farbtest). Selbst wenn entsprechend den Vorhersagen des Modells Interferenzen vermindert werden, steigt dennoch die empfundene Beanspruchung des Fahrers, d.h. das Modell erlaubt Aussagen über direkte Interferenzen, nicht aber über die indirekten Folgen im Sinne einer erhöhten Beanspruchung. Andererseits liefert die durch dieses Modell angeregte Untersuchung verschiedener Formen der Fahrer-Fahrzeug-Interaktion interessante Ergebnisse, die für die Gestaltung und Bewertung dieser Interaktion zu nutzen sind.

Insgesamt weist die Untersuchung darauf hin, dass die unkritisch angewandten Strategien „Nutzung alternativer Ressourcen“ und „Entlastung durch Assistenzsysteme“ leider nicht den uneingeschränkten Erfolg haben, eine Fahrer-Fahrzeug-Interaktion zu ermöglichen, die dem Fahrer eine optimale Bewältigung der Fahraufgabe erlaubt. Andererseits ergeben sich für beide Strategien durchaus Teilerfolge, so dass eine theoretisch fundierte und empirisch überprüfte Modifikation bzw. Gestaltung der Fahrer-Fahrzeug-Interaktion zumindest möglich erscheint. Besonders interessant erscheint auch die Idee, bei der Gestaltung der Fahrer-Fahrzeug-Interaktion auf das Wissen über menschliche Interaktionen zurückzugreifen, wie es hier bei der Interpretation des Umgangs mit dem HC-System nahegelegt wurde [6]. Hier liegt eine Vielzahl von sozialpsychologischen Befunden vor, die vermehrt genutzt werden sollten.

#### 4. Literatur

- [1] C. Mayser, An advanced concept for integrated driver assistance systems, in: 9th World Congress on Intelligent Transport Systems, October 14-17, 2002 (Chicago, Illinois, 2002).
- [2] O. Neumann, Theorien der Aufmerksamkeit, in: O.N.A. Sanders (Ed.), Enzyklopädie der Psychologie, Vol. Kognition 2 (Hogrefe, Göttingen, 1996) 559-643.
- [3] O. Neumann, Theorien der Aufmerksamkeit: Von Metaphern zu Mechanismen, Psychologische Rundschau 43 (1992) 83-102.
- [4] D.A.B. Norman, D., On Data-Limited and Resource-Limited Processing, Journal of Cognitive Psychology 7 (1975) 44-64.
- [5] M. Vollrath, K. Lemmer, Wahrnehmung von Assistenzsystemen, in: Z.f.V.d.T.U. Braunschweig (Ed.), Automatisierungs- und Assistenzsysteme für Transportmittel. Möglichkeiten, Grenzen, Risiken. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 12, Nr. 525 (VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 2003) 81-94.
- [6] M. Vollrath, I. Totzke, Die Humanisierung multimodaler MMI im Fahrzeug - die Übertragung wichtiger Prinzipien der menschlichen Kommunikation auf die Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle., in: 2. IIR Fachkongress E-Car: Infotainmentplattform und Telematikdienste für das Multimedia Auto am 12. und 13. Dezember 2001 in Stuttgart. (2001).
- [7] M. Vollrath, I. Totzke, In-vehicle communication and driving: an attempt to overcome their interference, in: (Driver Distraction Internet Forum sponsored by the United

States Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), 2000).

- [8] C.D. Wickens, Processing resources in attention, in: R. Parasuraman (Ed.), *Varieties of Attention* (Academic Press, Inc., 1984) 63-102.
- [9] C.D. Wickens, The structure of attentional resources, in: R. Nickerson (Ed.), *Attention and Performance*, Vol. VIII (Englewood Cliffs, NJ: Erlbaum, 1980) 239-257.