

Sicherheitspotential und Verbrauchsreduzierung durch ein intelligent geregeltes aktives Gaspedal

Autoren:

- Christian Lange (089-289-15428, lange@lfe.mw.tum.de, Dipl.-Ing. Univ.)
- Heiner Bubb (089-289-15388, bubb@lfe.mw.tum.de, Univ.-Prof. Dr. rer.nat.)
(Lehrstuhl für Ergonomie, Fakultät für Maschinenwesen, Boltzmannstraße 15, 85748 Garching)
- Marcus Tönnis (089-289-17083, toennis@in.tum.de, Dipl.-Inf. Univ.)
- Gudrun Klinker (089-289-18215, klinker@in.tum.de, Univ.-Prof., Ph.D.)
(Fachgebiet Augmented Reality, Institut für Informatik, Boltzmannstraße 3 85748 Garching)

Titel in Englisch: Safety enhancement and fuel consumption reduction by an intelligent active accelerator

Themenschwerpunkt:

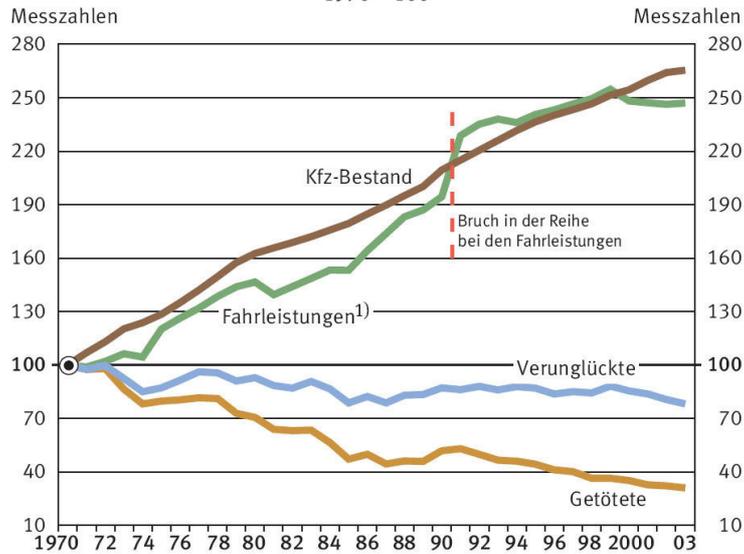
Ergonomie, Fahrerakzeptanz, Ökologie, Fahrsicherheit

1 Motivation

Die Zahl der Getöteten im Straßenverkehr nimmt trotz eines steigenden Bestandes an Fahrzeugen und zunehmenden Kilometerfahrleistungen seit 1970 stetig ab (siehe Abbildung 1-1). Dies ist hauptsächlich auf die Fortschritte in der passiven Sicherheit von Kraftfahrzeugen sowie auf Verkehrsinfrastrukturmaßnahmen zurückzuführen. Trotz der beachtlichen Fortschritte in der passiven Sicherheit, lag die Zahl der Unfalltote auf Deutschlands Straßen im Jahr 2006 aber immer noch bei 5091. Betrachtet man die durch Straßenverkehrsunfälle entstehenden volkswirtschaftlichen Kosten, so zeigt sich im Jahr 2003 ein Betrag von 32,20 Mrd. Euro. Die Kosten der Personenschäden betragen hiervon 16,30 Mrd. Euro, wobei 7,70 Mrd. Euro für Getötete, 7,19 Mrd. Euro für Schwerverletzte und 1,41 Mrd. Euro für Leichtverletzte anfielen (Quelle: BAST, 2003). Im Weißbuch der Europäischen Kommission vom 12. September 2001 wird demnach festgelegt, dass die Zahl der Verkehrstoten in Europa bis zum Jahr 2010 auf die Hälfte des Standes vom Jahre 2001 (50385 Verkehrstote) reduziert werden soll.

Eine Betrachtung der Unfallstatistiken ergibt, dass das Potential von Maßnahmen der passiven Sicherheit jedoch nahezu ausgeschöpft ist und hier nur noch geringe Fortschritte zu erwarten sind. Dies zeigt auch der Verlauf der Zahl an Verunglückten in Abbildung 1-1 sowie die polizeiliche Unfallstatistik. Laut dieser wurden im Jahr 1995 mit 2.238.301 und im Jahr 2006 mit 2.235.318 erfassten Unfällen nahezu gleich viele Unfälle polizeilich aufgenommen. Um die Zahl der Unfälle und damit auch die im Straßenverkehr Verletzten und Getöteten weiter zu reduzieren, müssen somit verstärkt Systeme der aktiven Sicherheit eingesetzt werden.

Verunglückte, Getötete, Kraftfahrzeugbestand
und Fahrleistungen
1970 = 100



1) Bis 1990 früheres Bundesgebiet, ab 1991 Deutschland.

Statistisches Bundesamt 2004 - 15 - 0419

Abbildung 1-1: Entwicklung des Fahrzeugbestandes und Anzahl der im Straßenverkehr Getöteten in Deutschland (Quelle: Statistisches Bundesamt)

Neben der Erhöhung der aktiven Sicherheit sollten zukünftige Fahrerassistenzsysteme aber auch in der Lage sein den Fahrer bei einer kraftstoffsparenden Fahrweise zu unterstützen. Betrachtet man die in Abbildung 1-2 dargestellten Graphen, die den Verlauf der Kraftstoffpreise in den letzten vier Jahren darstellen, wird diese Notwendigkeit sehr deutlich. Allein in den letzten vier Jahren ist der Preis für einen Liter Diesel von 0,82 Euro auf teilweise 1,3 Euro gestiegen, was einer Zunahme von 58% entspricht.



(c) Spritmonitor.de

Abbildung 1-2: Entwicklung der Kraftstoffpreise in den letzten vier Jahren (Quelle: www.spritmonitor.de)

Die vorliegende Arbeit stellt das Konzept des aktiven Gaspedals vor, das den Fahrer bei der Geschwindigkeits- und Abstandshaltung unterstützt und weißt den positiven Einfluss dieser Assistenz auf die Fahrsicherheit und den Kraftstoffverbrauch nach.

2 Experiment

Das vorliegende Kapitel beschäftigt sich mit dem Einfluss von optisch und haptisch mit dem Fahrer interagierenden Assistenzsystemen zur Unterstützung der Längsführung. Im Rahmen des Experimentes soll geklärt werden, wie sich diese Systeme auf die Fahrleistung, das Blickverhalten, den Kraftstoffverbrauch, die empfundene Beanspruchung sowie den Akzeptanz- und Gefallensaspekt auswirken.

Dazu erfahren die Probanden drei Ausprägungen eines Assistenzsystems mit einem einheitlichen Konzept bei der Unterstützung der Geschwindigkeits- und Abstandshaltung im Fahrsimulator, wobei der Einfluss der Assistenz auf die oben genannten Größen gemessen wird. Diese ganzheitliche Assistenz ist so konzipiert, dass sie dem Fahrer über den haptischen Sinneskanal anzeigt, was in der momentanen Fahrsituation zu tun ist. Dabei kann er sich innerhalb der erlaubten Schranken frei bewegen, bekommt aber die Grenzen am Gaspedal rückgemeldet. Der Fahrer ist jedoch jederzeit in der Lage, die Vorschläge des Fahrzeuges willentlich zu überstimmen. Über den optischen Sinneskanal wird ihm mitgeteilt, warum das Fahrzeug in der aktuellen Situation vorschlägt so zu handeln. Im Rahmen des Versuchs wird den Probanden einmal die Maximalversion des Assistenzsystems mit kombinierter optischer und haptischer Unterstützung präsentiert und dann zwei Varianten, bei denen entweder nur der haptische oder nur der optische Anteil aktiv ist. Wie sich die einzelnen Ausprägungen dem Fahrer darstellen wird nachfolgend detailliert erläutert.

Zunächst wird die Methodik vorgestellt, die im vorliegenden Versuch zur Anwendung kommt. Daraufhin werden die im Rahmen des Experiments gefundenen objektiven und subjektiven Ergebnisse aufgezeigt und abschließend zusammengefasst und diskutiert.

2.1 Methodik

In diesem Unterkapitel wird die verwendete Versuchsmethodik näher erläutert, die sich weiter in das Probandenkollektiv, den Versuchsaufbau, die unabhängige und die abhängigen Variablen und die Versuchsdurchführung unterteilt.

2.1.1 Probandenkollektiv

Das Probandenkollektiv setzt sich aus 13 Frauen und 16 Männern zusammen, also aus insgesamt 29 Versuchsteilnehmern. Das Durchschnittsalter liegt, mit einer Standardabweichung von 11,9 Jahren, bei 43,2 Jahren. Das Altersspektrum erstreckt sich dabei von 18 bis 64 Jahren und umfasst Probanden aus allen Berufs- und Interessensgebieten.

2.1.2 Versuchsaufbau

Das Experiment wird am statischen Fahrsimulator des Lehrstuhls für Ergonomie der TUM durchgeführt. Die für den Versuch zur Verfügung stehende Datenbasis ist in Abbildung 2-1 zu sehen. Dieser Abbildung sind neben der Versuchsstrecke auch die für die Strecke gültigen Verkehrsvorschriften zu entnehmen.

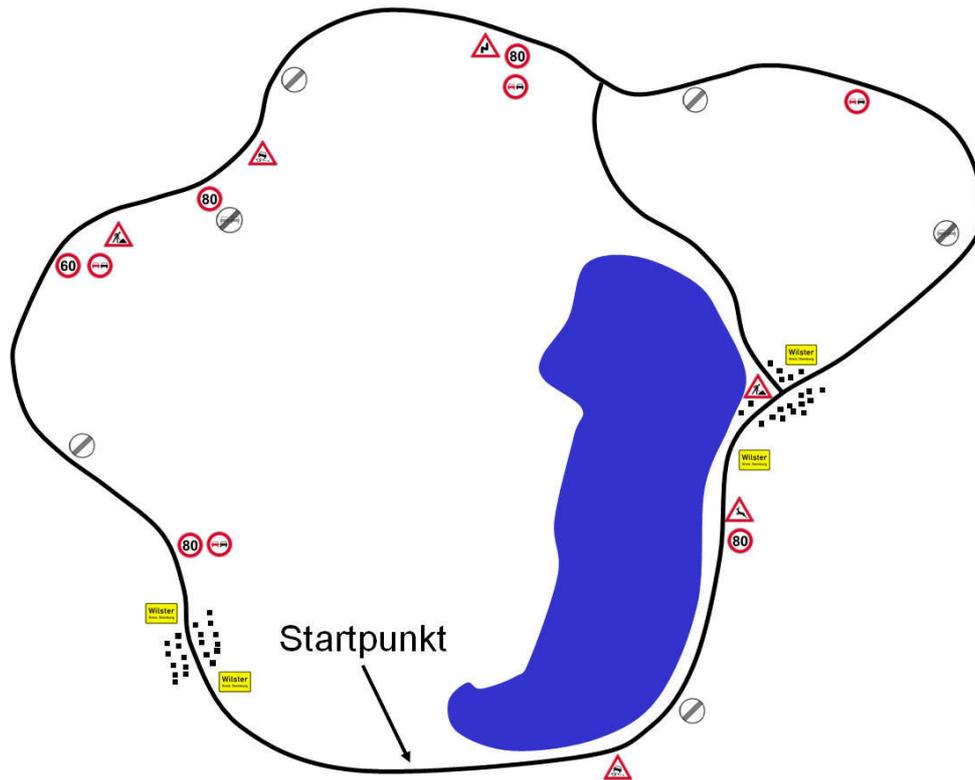


Abbildung 2-1: Birdview Darstellung der Versuchsstrecke mit eingetragenen Startpunkt und in der Datenbasis verbauten Verkehrsschildern

2.1.3 Versuchsdesign

Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit den unabhängigen sowie mit den abhängigen Variablen des vorliegenden Experimentes.

2.1.3.1 Unabhängige Variable

Für die Untersuchung wird ein Versuchsdesign mit abhängigen Stichproben gewählt, was bedeutet, dass jeder Versuchsteilnehmer alle Versuchsbedingungen erfährt. Die unabhängige Variable ist die Art der Fahrerunterstützung. Hierbei gibt es die Fahrt ohne Assistenz sowie drei unterschiedliche Ausprägungen des einheitlichen Systems zur Längs- und Querverfahrensunterstützung. Nachstehend wird verdeutlicht, wie sich die vier Varianten, die als „ohne Assistenz“, „optische Assistenz“, „haptische Assistenz“ und „optische und haptische Assistenz“ bezeichnet werden, den Probanden darstellen.

Ohne Assistenz

Diese Variante stellt die Referenzbedingung dar und repräsentiert das normale Fahren ohne Unterstützung. Dem Fahrer wird dabei lediglich die momentan gefahrene Ist-Geschwindigkeit im HUD angezeigt (siehe Abbildung 2-2 ganz links).

Optische Assistenz

Zur Unterstützung der Geschwindigkeitshaltung wird der Fahrer über eine Anzeige im HUD, mittels einer digitalen Zahl über die Ist-Geschwindigkeit und durch ein Verkehrszeichensymbol über die momentan erlaubte Geschwindigkeit, informiert (siehe Abbildung 2-2 zweite Spalte von links). Ferner wird anhand der aktuellen Geschwindigkeit, der Entfernung zu dem kommenden Verkehrszeichen sowie einer mittleren Verzögerung durch die Fahrwiderstandskräfte berechnet, wann der Fahrer seinen Fuß vom Gaspedal nehmen muss, um nur durch die Fahrwiderstandskräfte auf die kommende

Geschwindigkeitsbeschränkung zu verzögern. Zu diesem Zeitpunkt wird dann die kommende Geschwindigkeitsbeschränkung in Form eines grau eingefärbten Verkehrszeichens eingeblendet. Nimmt der Fahrer dann den Fuß vom Gas, erreicht er mit der richtigen Geschwindigkeit den neuen Geschwindigkeitsbereich. In das Sichtfeld des Fahrers, wird zur Unterstützung der Abstandshaltung ein kontaktanaloger Balken projiziert, der einen Sicherheitsabstand von 1,5s anzeigt.



Abbildung 2-2: Die Versuchsbedingungen „ohne Assistenz“, „optische Assistenz“, „haptische Assistenz“ und „optische und haptische Assistenz“

Haptische Assistenz

Diese Variante informiert den Fahrer bei der Geschwindigkeitshaltung, durch einen Druckpunkt am aktiven Gaspedal, über die momentan erlaubte Höchstgeschwindigkeit. Lehnt er seinen Fuß an diesem Druckpunkt an, hält er automatisch die Sollgeschwindigkeit ein. Ferner kommt ihm der Druckpunkt in der richtigen Entfernung zu einer Geschwindigkeitsherabsetzung entgegen, so dass das Fahrzeug, lediglich aufgrund der Fahrwiderstände, rechtzeitig auf die zulässige Geschwindigkeit verzögert. Die Abstandshaltung wird ebenfalls mittels des aktiven Gaspedals unterstützt. Befindet sich ein anderer Verkehrsteilnehmer vor dem eigenen Fahrzeug, wird über den Druckpunkt ein Sicherheitsabstand von 1,5s angezeigt, der genau eingehalten wird, wenn der Fahrer seinen Fuß an diesen anlehnt. In Abbildung 2-2, in der dritten Spalte von links, ist diese Assistenzvariante visualisiert. Mittels des über dem Gaspedalweg frei regelbaren Druckpunkt (siehe Abbildung 2-3) werden den Probanden die geltenden Grenzen rückgemeldet innerhalb derer sie sich frei bewegen können. Diese kann man jederzeit willentlich überstimmen und somit schneller fahren bzw. einen geringeren Sicherheitsabstand einstellen.

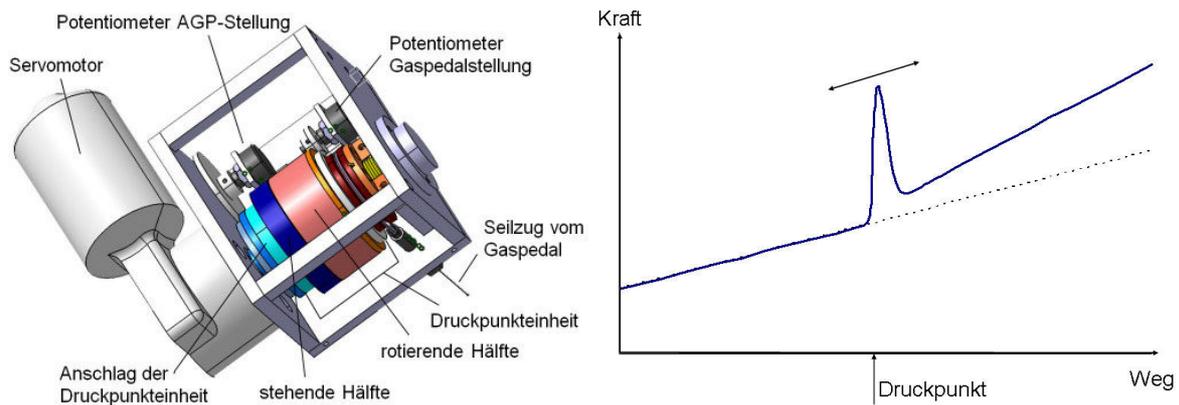


Abbildung 2-3: Links: Aktuatorik des aktiven Gaspedals, über die der Druckpunkt erzeugt wird. Rechts: Verlauf des Druckpunktes, der über dem Gaspedalweg frei geregelt werden kann

Optische und haptische Assistenz

Bei dieser in Abbildung 2-2 in der rechten Spalte dargestellten Variante werden die Funktionen aus der optischen und der haptischen Assistenz miteinander verbunden. Der Fahrer wird also optisch über die erlaubte Geschwindigkeit und den 1,5-sekündigen Sicherheitsabstand informiert. Durch das aktive Gaspedal werden die herrschenden Grenzen haptisch rückgemeldet. Lehnt der Fahrer seinen Fuß an dem Druckpunkt des Gaspedals an, hält er die erlaubte Geschwindigkeit bzw. einen Sicherheitsabstand von 1,5 Sekunden ein.

2.1.3.2 Abhängige Variablen

Zur Klärung der formulierten Fragestellung dienen die abhängigen Variablen, die den Einfluss der vier Versuchsbedingungen auf die Fahrperformance, das Blickverhalten, die Fahrerbeanspruchung und den Gefallens- und Akzeptanzaspekt charakterisieren. Die Fahrperformance in Abhängigkeit der Variante wird dabei über Kennwerte bestimmt, welche den Einfluss der Ausprägungen auf die Geschwindigkeits- und Abstandshaltung kennzeichnen. Bei den Blickkennwerten werden jene verwendet, die es erlauben, Rückschlüsse auf mögliche Veränderungen im Blickverhalten zu ziehen. Anhand der subjektiven Messwerte wird der Effekt der Assistenzsysteme auf die empfundene Fahrperformance, die Beanspruchung und den Gefallens- und Akzeptanzaspekt bestimmt. Nachstehend sind die Kennwerte im Einzelnen aufgeführt:

Kennwerte für die Fahrperformance

Geschwindigkeitshaltung:

- Mittlere Differenz zwischen gefahrener und erlaubter Geschwindigkeit
- Standardabweichung der Geschwindigkeit
- Prozentanteil von Überschreitungen der zulässigen Sollgeschwindigkeit um >10 km/h
- Maximalgeschwindigkeit
- Anfängliche Geschwindigkeitsüberschreitung

Abstandshaltung:

- Mittlerer Sekundenabstand
- Minimaler Zeitabstand
- Mittelwert der TTC
- Minimum der TTC

- Standardabweichung der TTC
- Time Exposed TTC

Kennwerte für das Blickverhalten

- Visuelle Suchaktivität
- Prozentualer Anteil an HUD Blicken

Subjektive Kennwerte

- Fragen zur empfundenen Fahrperformance
- Semantisches Differential zur Erfassung der Akzeptanz und des Gefallens
- NASA TLX zur Bestimmung der subjektiven Beanspruchung

2.1.4 Versuchsablauf

Das Experiment findet im 1-kanaligen statischen Fahrsimulator statt. Die Probanden werden nach ihrer Ankunft begrüßt und füllen zunächst einen Fragebogen zur Erfassung der demografischen Daten aus. Daraufhin erhalten sie ein Informationsblatt, auf dem in Wort und Bild die im kommenden Experiment zu untersuchenden Assistenzsysteme erklärt werden. Wenn alle Fragen bezüglich der Systeme geklärt sind, haben die Probanden im Rahmen einer Eingewöhnungsfahrt ausreichend Zeit, um sich mit dem Fahren im Simulator vertraut zu machen. Nachdem die Versuchsteilnehmer den Umgang mit dem Simulator erlernt haben, werden ihnen nacheinander die verschiedenen Assistenzsysteme zugeschaltet, damit sie sich mit ihnen kurz vertraut machen können. Bevor schließlich das eigentliche Experiment starten kann, wird das Blickerfassungssystem Dikablis eingerichtet und mit der ersten der vier Versuchsfahrten begonnen. Die Varianten „ohne Assistenz“, „optische Assistenz“, „haptische Assistenz“ und „optische und haptische Assistenz“ werden in einer jeweils separaten Fahrt erprobt, wobei die Reihenfolge dieser Varianten unter den Versuchsteilnehmern durchpermutiert wird. Mit jedem der Systeme fahren die Probanden eine komplette Runde auf dem in Abbildung 2-1 gezeigten Simulatorrundkurs. Um den Einfluss der Assistenzsysteme auf das Fahr- und Blickverhalten bestimmen zu können, werden während der Fahrten sowohl die Fahrdynamikwerte durch den Datenrecorder des Fahrsimulators als auch die Blickdaten erfasst. Zusätzlich wird nach jeder der vier Versuchsfahrten die subjektiv empfundene Fahrperformance und Beanspruchung mittels eines Fragebogens erfasst. Nach Beendigung der vier Fahrten füllen die Versuchsteilnehmer noch den sogenannten Abschlussfragebogen aus, in dem sie die Varianten, im Rahmen einer Rangreihenbildung relativ zueinander, hinsichtlich ihres Einflusses auf die Fahrleistung bewerten sowie deren Gefallen und Akzeptanz beurteilen. Abschließend erhalten die Versuchspersonen eine Aufwandsentschädigung und werden verabschiedet.

2.2 Ergebnisdarstellung

Nachfolgend wird auf die Ergebnisse des vorliegenden Experimentes eingegangen. Dabei werden zunächst die Resultate der Fahrperformancemessung vorgestellt, die sich in Kennwerte zur Geschwindigkeits-, Abstands- und Spurhaltung unterteilen. Dem schließen sich die Ergebnisse zum Blickverhalten, zum Spritverbrauch und zur subjektiven Befragung an.

Die Ergebnisse der Versuchsreihen werden im folgenden Kapitel stets in Abbildungsform visualisiert. Um signifikante Unterschiede zwischen Versuchsbedingungen bzw. deren Gleichheit direkt in den Abbildungen zu veranschaulichen, werden in den Balkendiagrammen zusätzliche grafische Elemente verwendet. Zur Darstellung eines signifikanten Unterschiedes zwischen zwei Bedingungen, also wenn der α -Fehler kleiner oder gleich 0,05 ist, wird oberhalb, der den Bedingungen entsprechenden Balken, eine Linie mit zwei

Pfeilenden abgebildet (siehe Abbildung 2-4 beim Vergleich von Variante 1 und Variante 2). Sind die Mittelwerte der beiden Varianten statistisch gleich, der α -Fehler des paarweisen Vergleiches liegt also über 0,25, werden die beiden Balken, mittels einer Linie mit jeweils einem Punkt an jedem Ende, sozusagen verschränkt (siehe Abbildung 2-4 beim Vergleich von Variante 2 mit Variante 3). Falls der α -Fehler zwischen 0,05 und 0,25 liegt und somit die Nullhypothese weder beibehalten noch abgelehnt werden kann, werden die entsprechenden Balken nicht grafisch miteinander in Beziehung gesetzt.

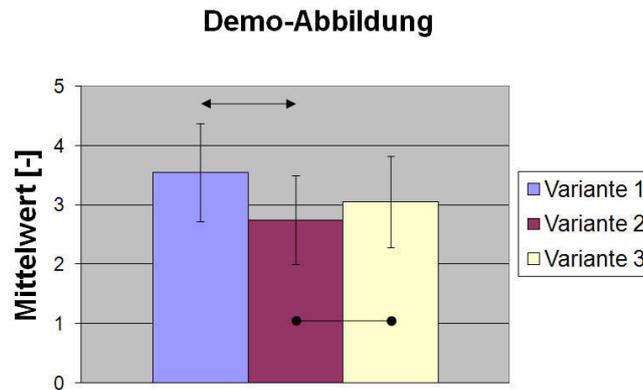


Abbildung 2-4: Beispielhafte Darstellung einer Abbildung

2.2.1 Fahrperformance

Die Fahrperformancebetrachtung umfasst die Geschwindigkeits- und Abstandshaltung.

2.2.1.1 Geschwindigkeitshaltung

In diesem Unterkapitel wird der Einfluss der Assistenzvarianten auf das Geschwindigkeitshaltevermögen bestimmt. Hierzu werden nachstehend die Ergebnisse der Kennwerte mittlere Differenz zwischen gefahrener und erlaubter Geschwindigkeit, Standardabweichung der Geschwindigkeit, Prozentanteil zu dem die erlaubte Geschwindigkeit um mehr als 10 km/h überschritten wird, maximale Überschreitung der zulässigen Geschwindigkeit und die Geschwindigkeitsdifferenz bei Herabsetzung der erlaubten Geschwindigkeit vorgestellt.

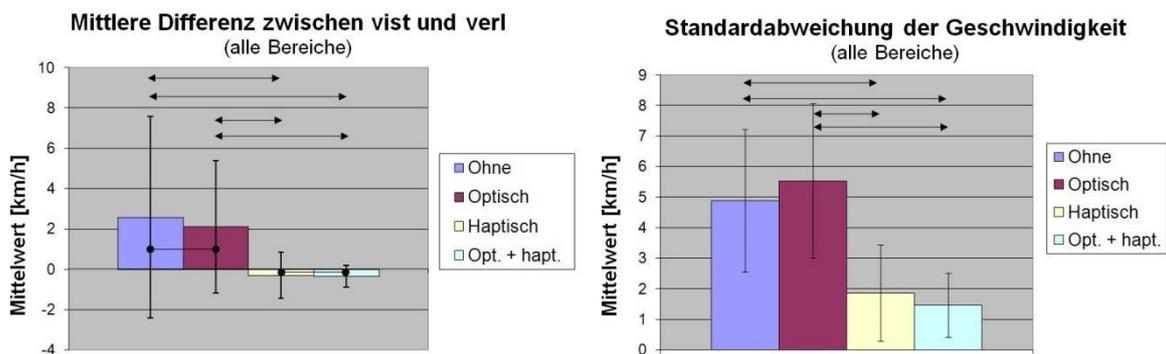


Abbildung 2-5: Mittlere Differenz zwischen gefahrener und erlaubter Geschwindigkeit sowie Standardabweichung der Geschwindigkeit über alle Geschwindigkeitsbereiche

In Abbildung 2-5 links ist der Effekt der Assistenzvarianten auf die mittlere Differenz zwischen erlaubter und gefahrener Geschwindigkeit zu sehen. Demnach hat die optische Anzeige der erlaubten Geschwindigkeit, im Vergleich zur Fahrt ohne Unterstützung, keinerlei Auswirkung. Die Probanden fahren trotz der Anzeige der erlaubten Geschwindigkeit im Mittel

etwa 2 km/h zu schnell. Erst durch die haptische Rückmeldung der erlaubten Geschwindigkeit über das aktive Gaspedal, durch dessen Druckpunkt sich die Versuchspersonen führen lassen können, kann ein signifikanter Einfluss erzielt werden (α -Fehler < 0,01). Dadurch wird nahezu exakt die erlaubte Geschwindigkeit eingehalten. Der gleiche positive Effekt zeigt sich auch für die kombinierte „optische und haptische Assistenz“, wodurch ebenfalls die mittlere Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit, im Vergleich zur Fahrt ohne Unterstützung, signifikant (α -Fehler < 0,01) verringert wird.

Ein ähnliches Resultat zeigt sich für die Standardabweichung der Geschwindigkeit bezogen auf alle Streckenabschnitte mit konstanter Sollgeschwindigkeit (siehe Abbildung 2-5 rechts). Im Vergleich zum Kennwert mittlere Differenz zwischen gefahrener und erlaubter Geschwindigkeit, nimmt die Standardabweichung der Geschwindigkeit beim Fahren mit „optischer Assistenz“ zu sogar tendenziell, was bei einem α -Fehler von 0,074 jedoch nicht signifikant ist. Erst wieder durch die „haptische Assistenz“ über das aktive Gaspedal kann die Standardabweichung der gefahrenen Geschwindigkeit signifikant reduziert werden (α -Fehler < 0,001). Dieser Rückgang der Standardabweichung ergibt sich, im Vergleich zur normalen Fahrt und zur „optischen Assistenz“, auch für die kombinierte „optische und haptische Unterstützung“ (α -Fehler < 0,001). Durch die „kombinierte Assistenz“ kann die Standardabweichung, verglichen mit der „haptischen Unterstützung“, jedoch nicht weiter reduziert werden, was offensichtlich daran liegt, dass der Rückgang hauptsächlich auf den Einfluss des aktiven Gaspedals zurückzuführen ist. Für den prozentualen Anteil, bei dem die erlaubte Geschwindigkeit um mehr als 10 km/h überschritten wird, ergibt sich, wie auch schon für die mittlere Differenz zwischen gefahrener und erlaubter Geschwindigkeit sowie für die Standardabweichung der Geschwindigkeit, kein positiver Einfluss durch die „optische Assistenz“ (siehe Abbildung 2-6 links). Beim Fahren mit dieser Unterstützungsform wird die erlaubte Geschwindigkeit genauso häufig um mehr als 10 km/h übertreten wie beim Fahren ohne jegliche Hilfe (α -Fehler > 0,25). Erst wieder durch die „haptische“ bzw. die kombinierte „optische und haptische Assistenz“ kann diese Kenngröße im Vergleich zur normalen Fahrt bzw. zur „optischen Unterstützung“ signifikant (α -Fehler jeweils < 0,001) verringert werden.

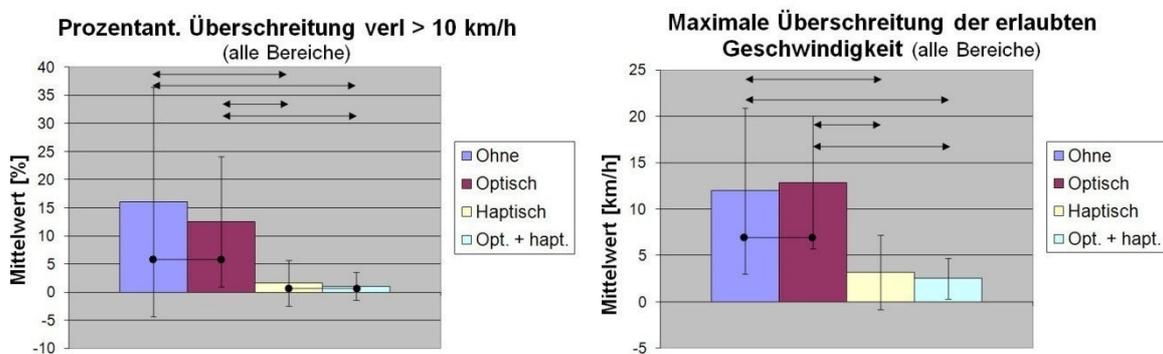


Abbildung 2-6: Prozentanteil zu dem die erlaubte Geschwindigkeit um mehr als 10 km/h überschritten wird und maximale Überschreitung der Geschwindigkeit über alle Geschwindigkeitsbereiche

Wie in Abbildung 2-6 rechts ersichtlich, zeigt sich das gleiche Resultat für die maximale Überschreitung der erlaubten Geschwindigkeit. Diese Kenngröße wird ebenfalls durch die „optische Assistenz“, im Vergleich zur normalen Fahrt, nicht beeinflusst (α -Fehler > 0,25). Werden die Probanden jedoch durch das aktive Gaspedal bei ihrer Geschwindigkeitshaltung assistiert, wird die erlaubte Geschwindigkeit im Mittel nur noch um maximal 3,2 km/h übertreten, was einer signifikanten Reduzierung im Vergleich zur normalen Fahrt und der mit „optischer Assistenz“ entspricht (α -Fehler jeweils < 0,001). Den gleichen positiven Effekt wie die „haptische Assistenz“ hat auch die kombinierte „optische und haptische Unterstützung“. Hier kann ebenfalls die maximale Überschreitung der erlaubten Geschwindigkeit im Vergleich zur Referenzbedingung und zur „optischen Assistenz“ signifikant verringert werden (α -Fehler jeweils < 0,001).

Ein interessantes Ergebnis liefert der in Abbildung 2-7 dargestellte Kennwert „Geschwindigkeitsüberschreitung bei Herabsetzung der erlaubten Geschwindigkeit“, der angibt, um wie viel km/h zu schnell man beispielsweise in eine Ortschaft einfährt.

Obwohl bei der „optischen Assistenz“ bereits in der entsprechenden Entfernung vor einer Herabsetzung der erlaubten Geschwindigkeit eine Voranzeige der kommenden Geschwindigkeitsbeschränkung erfolgt, so dass der Fahrer die Möglichkeit hat auf das neue Geschwindigkeitsniveau nur durch Zurücknehmen des Gaspedals zu verzögern, kann die Geschwindigkeitsüberschreitung bei der Herabsetzung der erlaubten Geschwindigkeit, im Vergleich zur Referenzbedingung, nicht reduziert werden (α -Fehler $> 0,25$). Dagegen wird die Geschwindigkeitsüberschreitung bei Verminderung der erlaubten Geschwindigkeit sowohl durch die „haptische“ als auch durch die kombinierte „optische und haptische Assistenz“, im Vergleich zur normalen Fahrt und zur „optischen Unterstützung“, signifikant reduziert (α -Fehler jeweils $< 0,05$).

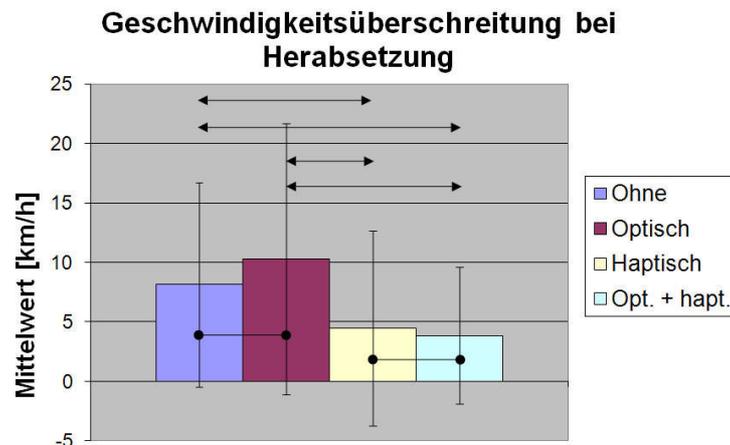


Abbildung 2-7: Geschwindigkeitsdifferenz bei Herabsetzung der erlaubten Geschwindigkeit

Zusammenfassend lässt sich für die Geschwindigkeitshaltung keinerlei positiver Einfluss der „optischen Assistenz“, bei der die erlaubte Geschwindigkeit im HUD in Form eines Symbols angezeigt wird, im Vergleich zur normalen Fahrt erkennen. Tendenziell wird sogar die Standardabweichung der erlaubten Geschwindigkeit erhöht, was bei einem α -Fehler von 0,074 jedoch nicht signifikant ist. Dagegen haben die „haptische Unterstützung“ durch den Druckpunkt des aktiven Gaspedals sowie die kombinierte „optische und haptische Assistenz“ einen äußerst positiven Einfluss auf die Geschwindigkeitshaltung. Im Vergleich zur normalen Fahrt und zur „optischen Assistenz“ können die Kennwerte mittlere Differenz zwischen gefahrener und erlaubter Geschwindigkeit, Standardabweichung der Geschwindigkeit, Prozentanteil zu dem die erlaubte Geschwindigkeit um mehr als 10 km/h überschritten wird, maximale Überschreitung der Geschwindigkeit und die Geschwindigkeitsdifferenz bei Herabsetzung der erlaubten Geschwindigkeit signifikant verbessert werden. Zwischen der „haptischen“ und der kombinierten „optischen und haptischen Assistenz“ besteht jedoch kein signifikanter Unterschied. Dies liegt wahrscheinlich daran, dass die positiven Effekte hauptsächlich auf die Unterstützung durch das aktive Gaspedal zurückzuführen sind.

2.2.1.2 Abstandshaltung

Um den Einfluss der Assistenzvarianten auf die Abstandshaltung bei Folgefahrt zu charakterisieren, werden die Kennwerte mittlerer und minimaler Sekundenabstand, Mittelwert, Minimum und Standardabweichung der TTC und die Time Exposed TTC verwendet.

Abbildung 2-8 links zeigt das Resultat im Hinblick auf den mittleren Sekundenabstand zum vorausfahrenden Fahrzeug bei Folgefahrt. Demnach stellen die Probanden „ohne Assistenz“

im Mittel einen Abstand von 2,57 Sekunden ein. Dieser Sekundenabstand wird im Vergleich zur Referenzbedingung durch alle Assistenzvarianten signifikant reduziert, was auf den ersten Blick einer Verschlechterung der Abstandshaltung entspricht. Betrachtet man jedoch die in Abbildung 2-8 rechts dargestellten Ergebnisse des minimalen Sekundenabstandes, ergibt sich, dass trotz des geringeren mittleren Abstandes diese Kenngröße nicht negativ beeinflusst wird. Das bedeutet, dass die Probanden zwar insgesamt dichter auffahren, es aber dadurch nicht erhöht zu kritischen Situationen kommt.

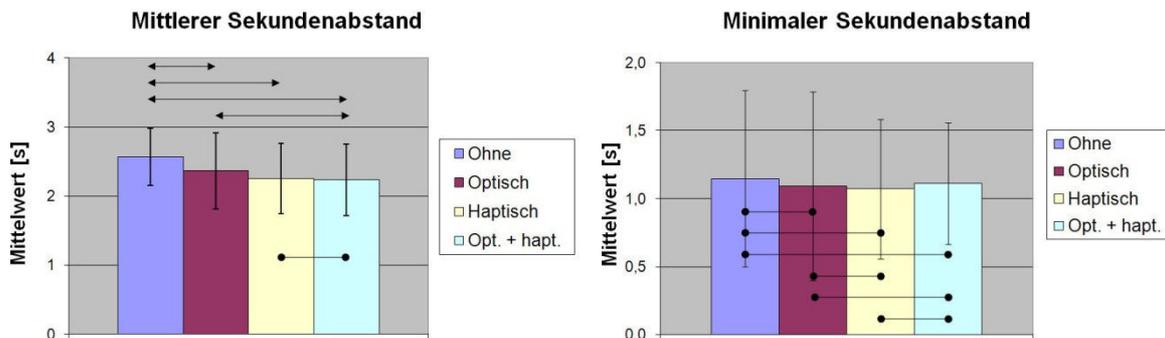


Abbildung 2-8: Mittlerer und minimaler Sekundenabstand für Folgefahrten, bei denen der zeitliche Abstand kleiner als vier Sekunden ist

Dies wird durch den Mittelwert und das Minimum der Time to Collision gestützt, welche von Gibson & Crooks (1938), Gibson (1979) und Lee (1976) als die für den Menschen maßgebliche Größe angesehen wird, um Bewegungen relativ zu anderen Objekten, durchzuführen. Wie man Abbildung 2-9 links entnehmen kann, haben die „haptische“ und die kombinierte „optische und haptische Assistenz“ keinen Einfluss auf den Mittelwert der TTC (α -Fehler jeweils $> 0,25$). Lediglich beim Fahren mit der „optischen Assistenz“, in Form des kontaktanalogen Balkens, kann eine signifikante Abnahme des Mittelwertes der TTC im Vergleich zur Fahrt „ohne Assistenz“ festgestellt werden.

Die Assistenzvarianten, haben wie auch schon beim Minimum des Sekundenabstandes (siehe Abbildung 2-9 rechts), keinerlei Einfluss auf das Minimum der TTC.

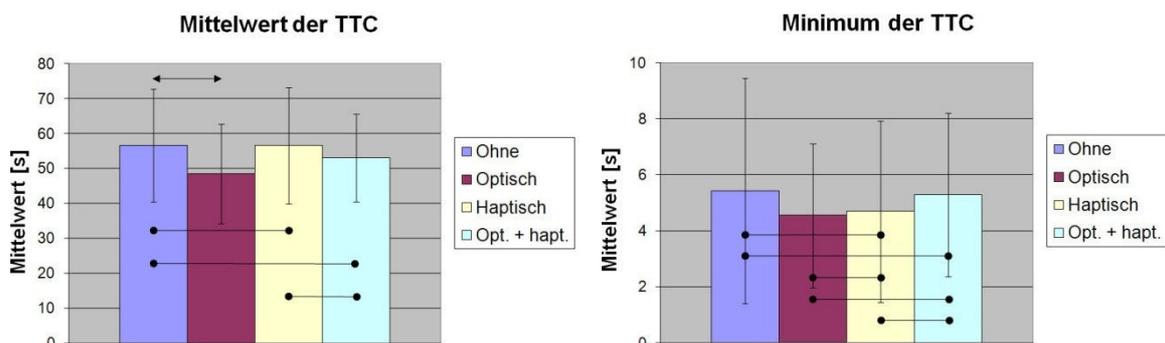


Abbildung 2-9: Mittelwert und Minimum der Time to Collision für Folgefahrten, bei denen der zeitliche Abstand kleiner vier Sekunden ist

Abbildung 2-10 links zeigt, dass die „optische“ und die kombinierte „optische und haptische Assistenz“ jedoch einen positiven Einfluss auf die Standardabweichung der Time to Collision bei Folgefahrt haben. Sie kann durch die beiden Assistenzvarianten, im Vergleich zur Referenzbedingung, signifikant (α -Fehler $< 0,01$ für optisch und α -Fehler $< 0,05$ für optisch und haptisch) verringert werden. Dieser positive Effekt ist augenscheinlich auf den kontaktanalogen Abstandsbalken zurückzuführen, durch den die Probanden offensichtlich Schwankungen im Abstand besser detektieren können und somit in der Lage sind, einen konstanteren Abstand einzuhalten.

Darüber hinaus hat auch der geringere mittlere Sekundenabstand keine negativen Auswirkungen auf die Time Exposed TET (siehe Abbildung 2-10 rechts), die den Anteil der Zeit an der Gesamtzeit angibt, bei dem die TTC bei Folgefahrt kleiner als 4 Sekunden ist. Für diesen Kennwert kann zwischen keiner der Versuchsbedingungen ein signifikanter Unterschied festgestellt werden.

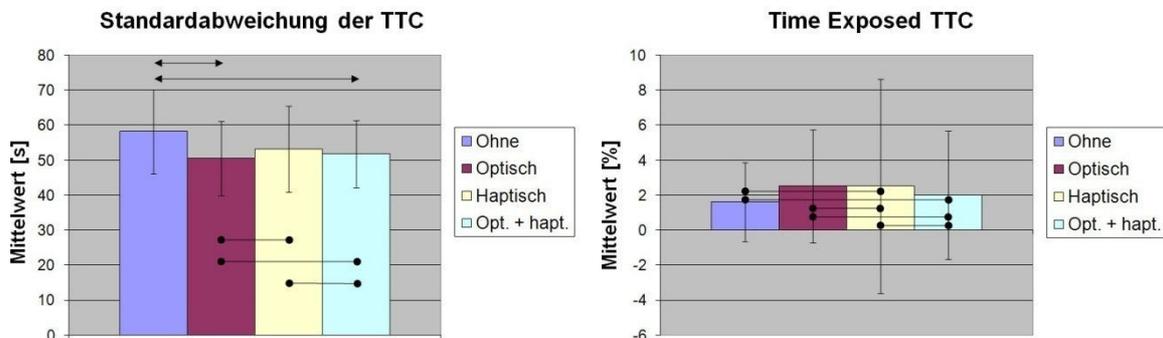


Abbildung 2-10: Standardabweichung der Time to Collision und Time Exposed TTC für Folgefahrten, bei denen der zeitliche Abstand kleiner als vier Sekunden ist

Zusammenfassend lässt sich für die Abstandshaltung feststellen, dass zwar durch die Längsführungsassistenz ein im Mittel geringerer Sekundenabstand gefahren wird, dies jedoch wie das Minimum des Sekundenabstandes, der Mittelwert und das Minimum der TTC und die TET zeigen, keine weiteren negativen Auswirkungen auf die Abstandshaltung hat. Für die beiden Versuchsbedingungen, bei denen die Probanden durch den kontaktanalogen Balken bei der Abstandshaltung unterstützt werden, kann sogar die Standardabweichung der TTC signifikant verringert werden, was sich in einer konstanteren Einhaltung des Abstandes zum Vordermann äußert.

Die geringeren Abstände zum vorausfahrenden Fahrzeug sind mit größter Wahrscheinlichkeit darauf zurückzuführen, dass die Assistenzsysteme in einem statischen Simulator untersucht wurden. Diese Annahme wird gestützt durch Ergebnisse von *van der Hulst et al. (1996)* und *Hoedemaker et al. (1998)*, die in einem statischen Simulator den Einfluss eines ACC-Systems auf die Abstandshaltung untersucht haben. Aus beiden Studien resultiert, dass beim Fahren mit dem ACC der Abstand zum Vorausfahrenden abnimmt. Bei einem weiteren Experiment in einem statischen Simulator zum Einfluss eines ACC auf die Abstandshaltung von *Nilsson & Nabo (1994)* ergibt sich, dass sich der mittlere Abstand bei der Fahrt mit ACC nicht verändert. Dem hingegen haben die Studie von *Peters (1996)* in einem Simulator mit Bewegungssystem und das Realexperiment von *Fancher et al. (1998)* eine Vergrößerung des Abstandes beim Fahren mit ACC als Resultat.

Ursächlich liegt dieser Effekt wahrscheinlich darin begründet, dass die Probanden in der Simulation, aufgrund der fehlenden Bewegungsdynamik und des schlechteren visuellen Eindrucks durch den eingeschränkten Sichtbereich der Sichtsimulation, das dadurch subjektiv höher empfundene Risiko bei Folgefahrt kompensieren, indem sie einen viel größeren Abstand zum Vordermann einstellen als sie dies in der Realität tun. Der Regelalgorithmus eines ACC macht jedoch keinen Unterschied zwischen Realfahrt und Simulatorexperiment und stellt immer den gleichen Sekundenabstand zum Vorderfahrzeug ein. Somit ergeben sich für ein- und dasselbe Assistenzsystem, in Abhängigkeit vom Untersuchungsort, gegensätzliche Ergebnisse. Im vorliegenden Experiment, bei dem der Abstand durch das Assistenzsystem nicht automatisch eingeregelt wird, sondern die Probanden über das System bei der Abstandshaltung unterstützt werden, kommt es wohl zu folgendem Effekt: Aufgrund der Hilfe durch das System wird das subjektiv empfundene Risiko bei Folgefahrt reduziert und die Probanden trauen sich trotz der fehlenden Bewegungsdynamik und des schlechteren visuellen Eindrucks einen geringeren Sekundenabstand zum Vorderfahrzeug einzustellen.

2.2.2 Blickverhalten

Nachstehend wird der Einfluss der Assistenzvarianten auf das Blickverhalten der Probanden untersucht. Hierzu werden die Kennwerte visuelle Suchaktivität und prozentualer Anteil an Tachoblicken betrachtet. Die Erfassung und Auswertung der Blickdaten erfolgt mit dem Blickerfassungssystem Dikablis (siehe hierzu *Lange et al. (2006 a-d)*).

Wie man in Abbildung 2-11 sehen kann, hat keines der Assistenzsysteme einen signifikanten Einfluss auf die visuelle Suchaktivität. Theoretisch müsste sich jedoch die visuelle Suchaktivität durch die kontaktanaloge Anzeige des einzuhaltenden Abstandes bei den Varianten „optische“ sowie „optische und haptische Assistenz“ verringern, da diese Informationsdarstellung den Blick des Fahrers auf sich ziehen sollte.

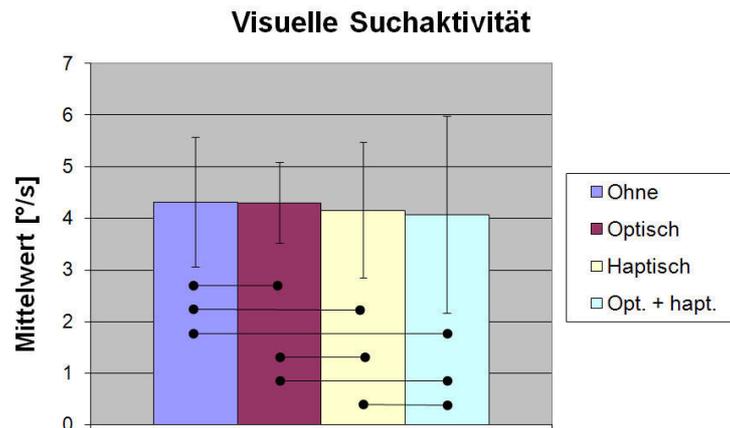


Abbildung 2-11: Visuelle Suchaktivität in Abhängigkeit der Assistenzvariante

Bezieht man jedoch das in Abbildung 2-12 dargestellte Ergebnis zum prozentualen Anteil an HUD Blicken in Abhängigkeit von der Versuchsbedingung in die Betrachtung mit ein, wird das Resultat für die visuelle Suchaktivität plausibel. Es wird deutlich, dass die rein „optische“ und die kombinierte „optische und haptische Assistenz“ im Vergleich zur haptischen Unterstützung eine signifikante Erhöhung des prozentualen Anteils an HUD Blicken zur Folge haben. Dies liegt daran, dass bei der „optischen“ und der kombinierten „optischen und haptischen Assistenz“ die erlaubte Geschwindigkeit im HUD in Form eines Symbols dargestellt wird. Durch die erhöhten Blickabwendungen weg von der Fahrscene auf die Sollgeschwindigkeitsanzeige bei der „optischen“ und der kombinierten „optischen und haptischen Unterstützung“, wird die Verringerung der visuellen Suchaktivität durch die Blickbindungseffekte der kontaktanalogen Voranzeige der Bewegungsrichtung kompensiert.

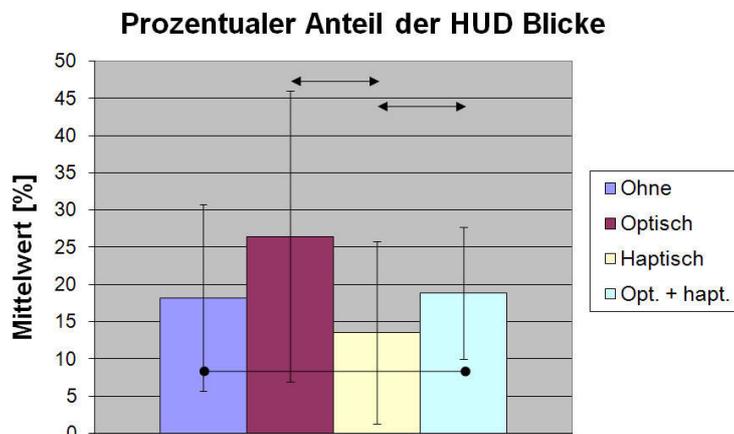


Abbildung 2-12: Prozentualer Anteil an Tachoblicken in Abhängigkeit der Assistenzvariante

Somit lässt sich für das Blickverhalten der Versuchspersonen festhalten, dass durch die Überlagerung mit der optischen Anzeige der erlaubten Geschwindigkeit im HUD kein Einfluss auf die visuelle Suchaktivität feststellbar ist. Positiv ist, dass offensichtlich die alleinige haptische Rückmeldung von fahrrelevanten Informationen ohne zusätzliche optische Anzeige über ein gewisses Potential zur Verringerung der Blickabwendungen weg von der Fahrszene zu verfügen scheint.

2.2.3 Kraftstoffverbrauch

Dieses Unterkapitel behandelt den Einfluss der Versuchsbedingungen auf den Kraftstoffverbrauch. Um diesen zu berechnen wird das Programm DRIVOR (Klauke, 2005) verwendet. Dieses bestimmt den aus einem gefahrenen Geschwindigkeits- und Beschleunigungsprofil resultierenden Kraftstoffverbrauch. Dafür benötigt die Software neben den Werten des Fahrzyklus noch die exakte Fahrzeugbedatung. Diese umfasst unter anderem das Drehmoment- und Verbrauchskennfeld des Motors sowie die Übersetzungsverhältnisse und Schaltzeitpunkte des Automatikgetriebes und die Übersetzung des Hinterachsdifferentials. Ferner werden charakteristische Kenndaten des Fahrzeuges wie z.B. die Masse, der Luftwiderstandsbeiwert und die Stirnfläche benötigt. Bezüglich der Fahrzeugbereifung sind der dynamische Radhalbmesser und der Reifentyp anzugeben. Weiterhin müssen die Trägheiten sämtlicher Komponenten des Antriebsstranges definiert werden.

Die Ergebnisse der mit dem Programm DRIVOR durchgeführten Verbrauchsberechnung sind in Abbildung 2-13 dargestellt. Wie man in Abbildung 2-13 links sehen kann, wird der Kraftstoffverbrauch durch die haptische“ und die kombinierte „optische und haptische Assistenz“ im Vergleich zur nicht-assistierten Fahrt und zum Fahren mit „optischer Assistenz“ signifikant von ca. 7 l/100km bzw. 7,4 l/100km auf etwa 6,4 l/100km reduziert. Dagegen hat die „optische Unterstützung“, verglichen mit der Fahrt „ohne Assistenz“, keinen nachweisbaren Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch. Ebenso besteht zwischen der „haptischen“ und der kombinierten „optischen und haptischen“ Unterstützung kein Unterschied.

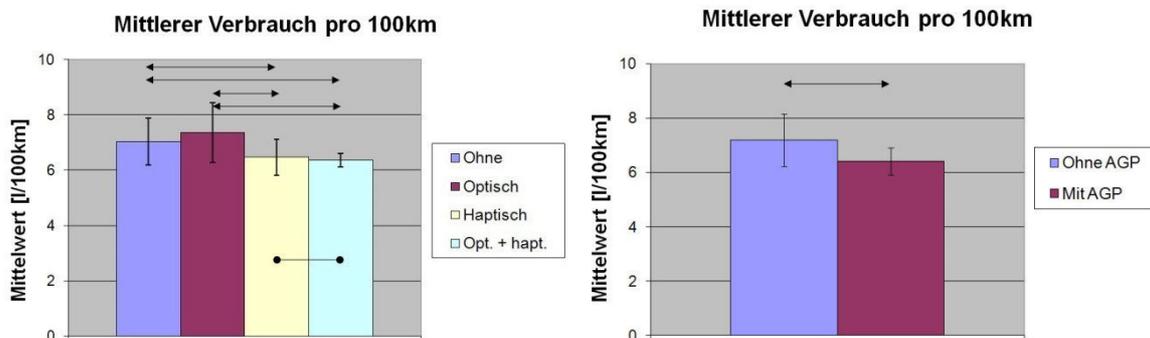


Abbildung 2-13: Mittlerer Kraftstoffverbrauch in Abhängigkeit der Assistenzvariante (links) und in Abhängigkeit davon, ob mit der ohne der Unterstützung durch das aktive Gaspedal gefahren wurde (rechts)

Fasst man den Kraftstoffverbrauch beim nicht-assistierten Fahren und bei der Fahrt mit „optischer Unterstützung“ zusammen, was beides dem Fahren „ohne AGP“ entspricht, ergibt sich ein mittlerer Verbrauch von 7,2 l/100km. Gruppiert man die beiden Varianten, bei denen „mit AGP“ gefahren wird, ist der Verbrauchsdurchschnitt 6,4 l/100km (siehe Abbildung 2-13 rechts). Der signifikante Rückgang des Verbrauchs von 7,2 l/100km auf 6,4 l/100km entspricht einer Reduzierung von immerhin 10,9%. Bei einer jährlichen Fahrleistung von 25000 Kilometer und einem Ausgangskraftstoffverbrauch von 8,0 l/100km bedeutet dies eine Ersparnis von über 250 Euro/Jahr.

2.2.4 Subjektive Kennwerte

Neben den objektiven Messwerten sind auch die subjektiven Eindrücke der Probanden ein wichtiges Erfolgskriterium für Fahrerassistenzsysteme.

Um die Wirkung der verschiedenen Varianten charakterisieren zu können, wird nachfolgend auf die Ergebnisse der mit den Versuchsbedingungen empfundenen Fahrperformance und Beanspruchung eingegangen. Abschließend wird der mittels des semantischen Differentials erfasste Gefallens- und Akzeptanzaspekt diskutiert.

2.2.4.1 Empfundene Fahrperformance

Die von den Probanden empfundene Fahrperformance wird bezüglich der Geschwindigkeits-, Abstands- und Spurlage sowie für die sich aus diesen drei Aspekten zusammensetzende Gesamtfahrleistung abgefragt. Ferner werden die Versuchsteilnehmer nach ihrem Sicherheitsgefühl und der Konzentrationsfähigkeit auf die Fahraufgabe befragt. Diese Fragen werden auf einer Schulnotenskala von „1“ für „sehr gut“ bis „6“ für „sehr schlecht“ bewertet.

Aus der Abbildung 2-14 links ist ersichtlich, dass die „optische Unterstützung“ in Form einer Sollgeschwindigkeitsanzeige in Übereinstimmung mit den objektiven Messergebnissen keinerlei Einfluss auf die empfundene Geschwindigkeitshaltegüte hat. Beim Fahren mit der „haptischen“ und der kombinierten „optischen und haptischen Assistenz“ wird das empfundene Geschwindigkeitshaltevermögen im Vergleich zur nicht-assistierten Fahrt und der „optischen Assistenz“ signifikant verbessert. Zwischen der „haptischen“ und der kombinierten „optischen und haptischen“ Variante besteht diesbezüglich kein Unterschied.

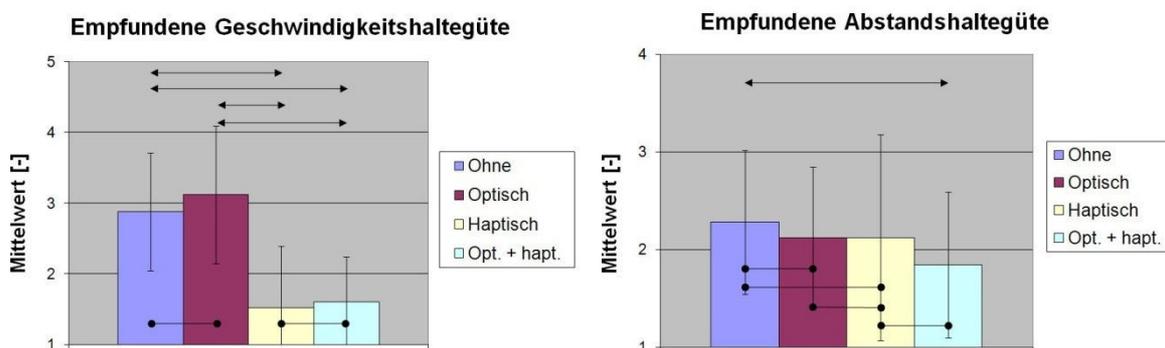


Abbildung 2-14: Empfundene Geschwindigkeits- und Abstandshaltegüte für das Fahren ohne Assistenz sowie mit „optischer“, „haptischer“ und „optischer und haptischer“ Unterstützung

Die empfundene Abstandshaltegüte (siehe Abbildung 2-14 rechts) kann im Vergleich zur Fahrt „ohne Assistenz“ lediglich von der kombinierten „optischen und haptischen Assistenz“ signifikant gesteigert werden. In Übereinstimmung mit den objektiven Kenngrößen wird das Abstandshaltevermögen mit der „optischen“ und der „haptischen Unterstützung“, verglichen mit der Referenzbedingung, nicht besser bewertet. Ebenso gibt es bei der Probandenbewertung keinerlei Unterschiede innerhalb der drei Assistenzvarianten.

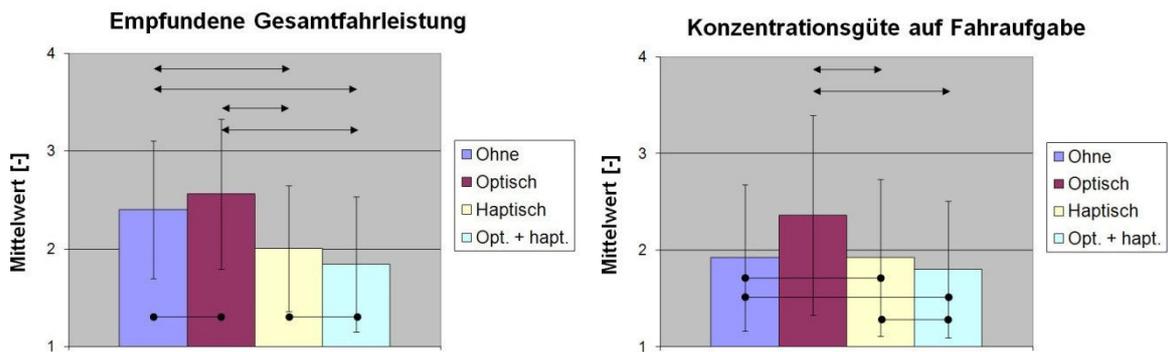


Abbildung 2-15: Empfundene Gesamtfahrleistung und Konzentrationsgüte auf die Fahraufgabe in Abhängigkeit von der Art der Unterstützung

Die empfundene Gesamtfahrleistung kann, im Vergleich zur nicht-assistierten Fahrt und zur „optischen Unterstützung“, sowohl mit der „haptischen“ als auch mit der kombinierten „optischen und haptischen Assistenz“ signifikant verbessert werden (siehe Abbildung 2-15 links). Für den paarweisen Vergleich zwischen der Referenzbedingung und der „optischen Unterstützung“ sowie zwischen der „haptischen“ und der kombinierten „optischen und haptischen Assistenz“ gibt es, bzgl. der empfundenen Gesamtfahrleistung, keinen Unterschied.

Die in Abbildung 2-15 rechts dargestellte Konzentrationsgüte auf die Fahraufgabe kann, im Vergleich zur Referenzbedingung, durch keines der Assistenzsysteme signifikant verbessert werden. Allerdings haben die Probanden das Gefühl, dass sie sich bei der Fahrt mit der „optischen Unterstützung“ signifikant schlechter auf die Fahraufgabe konzentrieren können als mit der „haptischen“ oder der kombinierten „optischen und haptischen Assistenz“.

Die kombinierte „optische und haptische Assistenz“ hat, im Vergleich zur Referenzbedingung, eine positive Auswirkung auf das empfundene Sicherheitsgefühl (siehe Abbildung 2-16). Werden die Probanden nur „optisch“ oder nur „haptisch“ unterstützt, hat dies, im Vergleich zur nicht-assistierten Fahrt, keinen Einfluss auf die wahrgenommene Sicherheit. Im paarweisen Vergleich wird die „optische Assistenz“, bezüglich der empfundenen Sicherheit, signifikant schlechter bewertet als die „haptische“ oder die kombinierte „optische und haptische“. Zudem werden bei der kombinierten „optischen und haptischen Assistenz“ im Vergleich zur rein „haptischen Assistenz“ die empfundene Sicherheit und die wahrgenommene Abstandshaltgüte offensichtlich durch die zusätzlichen erklärenden optischen Rückmeldungen gesteigert.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die subjektiven Probandenurteile gut mit den objektiven Messwerten übereinstimmen.

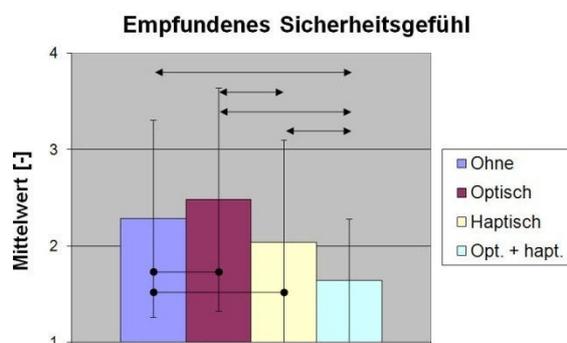


Abbildung 2-16: Empfundenes Sicherheitsgefühl für das Fahren ohne Assistenz sowie mit „optischer“, „haptischer“ und „optischer und haptischer“ Assistenz

2.2.4.2 Empfundene Beanspruchung

Die empfundene Beanspruchung wird mittels des NASA TLX Fragebogens gemessen. Das Ergebnis der Befragung ist der so genannte Overall Workload Index OWI, der auf einer Skala von „0“ bis „100“ die subjektive Beanspruchung angibt. Dabei bedeuten hohe OWI-Werte eine hohe und niedrige OWI-Werte eine geringe Beanspruchung.

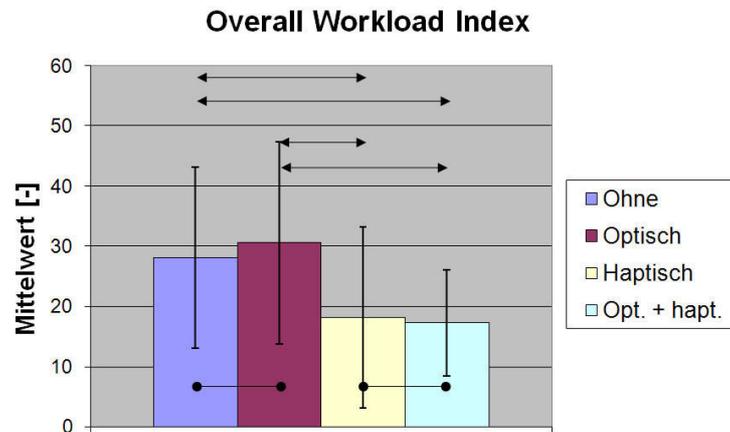


Abbildung 2-17: Mittels des NASA TLX Fragebogens ermittelter Overall Workload Index OWI in Abhängigkeit von der Unterstützungsart

Abbildung 2-17 stellt die empfundene Beanspruchung in Abhängigkeit von der Versuchsbedingung dar. Die alleinige „optische Unterstützung“ hat demzufolge keinerlei Einfluss auf den Workload Index und kann somit den Fahrer nicht entlasten. Dagegen ergibt sich jedoch für die „haptische“ und die kombinierte „optische und haptische Assistenz“ ein sehr positives Ergebnis. Beide Unterstützungsvarianten sind in der Lage, die empfundene Beanspruchung, im Vergleich zur nicht-assistierten Fahrt und zur „optischen Assistenz“, signifikant zu verringern (α -Fehler jeweils $< 0,01$). Kein Unterschied besteht zwischen der „haptischen“ und der kombinierten „optischen und haptischen Unterstützung“.

2.2.4.3 Gefallen/Akzeptanz

Zur Erfassung des Gefallens- und Akzeptanzaspektes wird das semantische Differential verwendet. Bei diesem beurteilen die Testpersonen die Versuchsbedingungen anhand von sieben gegensätzlichen Adjektivpaaren. Das Ergebnis dieser Befragung ist in Abbildung 2-18 zu sehen.

Demnach liegt in allen Bewertungspunkten, eine Ausnahme bildet das Adjektivpaar sportlich – unsportlich, die „optische Assistenz“ nahezu gleichauf mit der nicht-assistierten Fahrt. All diese paarweisen Vergleiche ergeben ansonsten keine signifikanten Unterschiede. Lediglich der Vergleich bezüglich der empfundenen Sportlichkeit ergibt, dass das Fahren mit der „optischen Assistenz“ als signifikant unsportlicher empfunden wird als das Fahren ohne Unterstützung.

Das Ergebnis der Gefallensbewertung durch das semantische Differential ist somit, dass die alleinige „optische Assistenz“ in keinem der Punkte besser bewertet wird als die Referenzbedingung und zudem als deutlich unsportlicher empfunden wird. Anders stellt sich dies für die „haptische“ und die kombinierte „optische und haptische Unterstützung“ dar. Diese beiden Varianten werden zwar als weniger sportlich als die nicht-assistierte Fahrt, aber als deutlich einfacher, praktischer und komfortabler empfunden.

Betrachtet man die Verläufe der „haptischen“ und der kombinierten „optischen und haptischen Assistenz“ zeigt sich ebenfalls, dass diese in allen Bewertungspunkten nahezu gleiche Werte aufweisen. Der paarweise Vergleich der beiden Assistenzvarianten zeigt für kein weiteres der Adjektivpaare einen signifikanten Unterschied.

Semantisches Differential für Gefallen/Akzeptanz

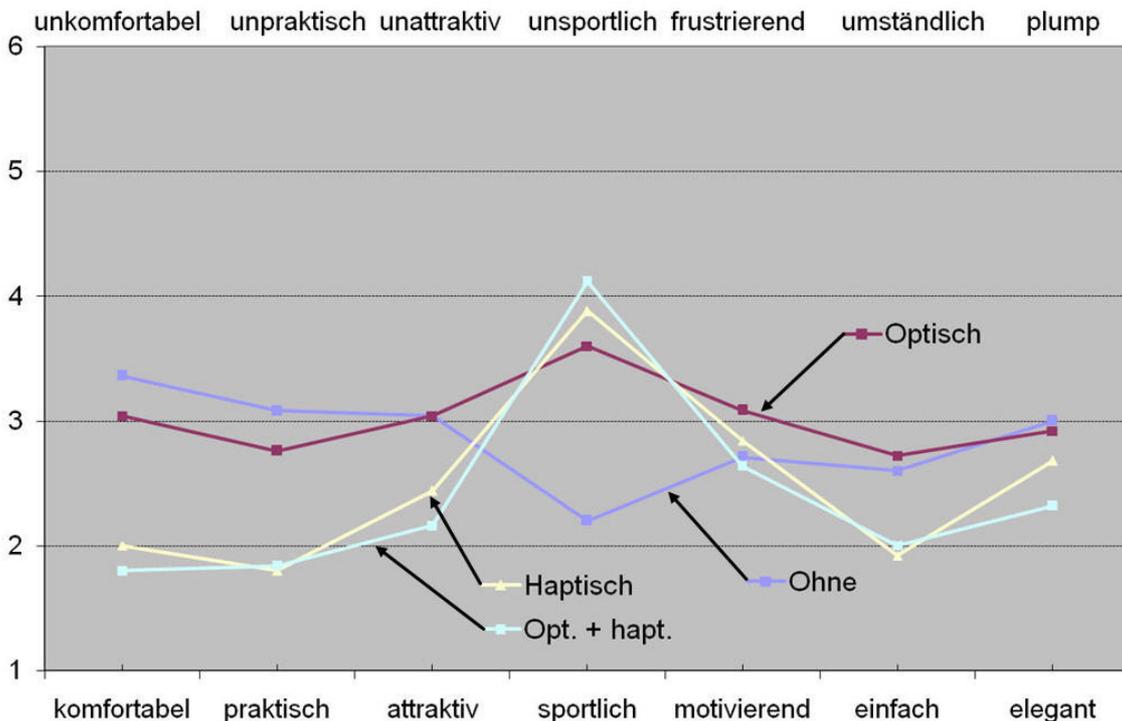


Abbildung 2-18: Resultat der Gefallensbefragung durch das semantische Differential

Anders stellt sich dies für die „haptische“ und die kombinierte „optische und haptische Assistenz“ im Vergleich zur Referenzbedingung dar. Beide Assistenzvarianten werden als signifikant komfortabler, praktischer und einfacher, aber unsportlicher empfunden. Bezüglich der Adjektivpaare attraktiv – unattraktiv, motivierend – frustrierend und elegant – plump lassen sich statistisch keine überzufälligen Unterschiede nachweisen.

2.3 Ergebniszusammenfassung

Die hier vorgestellte Studie zeigt deutlich, welche Effekte eine unterstützende Fahrerassistenz, in Abhängigkeit von der Darstellungsart, auf die Kriterien Fahrperformance, Blickverhalten, Kraftstoffverbrauch, Beanspruchung und den Gefallens- und Akzeptanzaspekt hat. Die Längsführung und die empfundene Beanspruchung können, im Vergleich zur nicht-assistierten Fahrt, nicht allein durch eine „optische Unterstützung“ verbessert werden. Bei den Probanden trifft diese Art der Unterstützung auch nur auf geringe Akzeptanz.

Im Gegensatz dazu haben jedoch die „haptische“ und die kombinierte „optische und haptische Unterstützung“ sehr großes Potential. Durch diese Art der Fahrerunterstützung werden sowohl die Geschwindigkeitshaltung als auch der Kraftstoffverbrauch und die Beanspruchung äußerst positiv beeinflusst. Die von den Fahrern empfundene Fahrleistung und der Gefallens- und Akzeptanzaspekt können auch deutlich gesteigert werden. Diese beiden Varianten liegen in allen Bewertungskriterien nahezu gleich auf, wobei sich für die kombinierte „optische und haptische Assistenz“ ein Vorteil bei der subjektiven Bewertung zur empfundenen Sicherheit und zur wahrgenommenen Abstandshaltegüte zeigt.

Somit bleibt festzuhalten, dass diese beiden Assistenzvarianten ein enormes Potential zur Erhöhung der aktiven Sicherheit und zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauches, bei gleichzeitiger Akzeptanz durch den Fahrer, haben.

3 Literatur

- FANCHER, P., ERVIN, R., SAYER, J., HAGAN, M., BOGARD, S., BAREKET, Z., MEFFORD, M., HAUGEN, J. (1998) - *Intelligent Cruise Control Field Operational Test (Final Report)* (UMTRI-98-17). University of Michigan: Transportation Research Institute.
- GIBSON, J.J. & CROOKS, L. (1938) - A theoretical field-analysis of automobile driving. *American Journal of Psychology*, 51, 453-471.
- GIBSON, J.J. (1979) - *The ecological approach to visual perception*. Boston: Houghton Mifflin;1973; Deutsch: "Wahrnehmung und Umwelt. Der ökologische Ansatz in der visuellen Wahrnehmung"; München: Urban und Schwarzenberg.
- HOEDEMAEKER, M., ANDRIESEN, J. H. T. H., WIETHOFF, M., BROOKHUIS, K. A. (1998) - *Effects of Driving Style on Headway Preference and Acceptance of an Adaptive Cruise Control (ACC)*. *IATSS Research*, 22(2), 29-36.
- KLAUKE, D. (2005) – *DRIVOR 2005 – Fahrzeugverbrauchsrechnungen mit Excel für Windows*; Dortmund.
- LANGE C., YOO J.-W., WOHLFARTER M., BUBB H. (2006a) - *Dikablis - Operation mode and evaluation of the human-machine interaction*. Spring Conference of Ergonomics Society of Korea, Seoul.
- LANGE C., WOHLFARTER M. (2006b) – *Blickerfassung*. In: *Linux Magazin* 07/06, S. 110.
- LANGE C., WOHLFARTER M., BUBB H. (2006c) - *Dikablis - engineering and application area*. In: *Proceedings IEA 2006 16th World Congress on Ergonomics*, Maastricht the Netherlands.
- LANGE C., WOHLFARTER M. (2006d) - *Schau mir in die Augen, Dikablis - Blickerfassungssysteme in der Ergonomie*. In: *TUM - Mitteilungen der Technischen Universität München*.
- LEE, D.N. (1976) - A theory of visual control of braking based on information about time-to-collision. *Perception*, 5, 437-459.
- NILSSON, L. & NABO, A. (1994) - *Evaluation of Application 3: Intelligent Cruise Control Simulator Experiment. Effects of Different Levels of Automation on Driver Behaviour, Workload and Attitudes* (Deliverable No. 10, Project V2006 (EMMIS), Drive II).
- PETERS, B. (1996) - *Evaluation of an Adaptive Cruise Control (ACC) System used by Drivers with Lower Limb Impairments*. Paper presented at the Third World Congress on Intelligent Transport Systems, Orlando, USA.
- VAN DER HULST, M., ROTHENGATTER, T., HEINO, A. (1996) - *Effectiveness of Distance-Deeping Support Systems*, 179-184.