

## **Emissive Projection Display im Fahrzeug – Auswirkungen auf die Aufmerksamkeit des Fahrers**

Verena KNOTT, Stefan DEMMELMAIR, Klaus BENGLER

*Lehrstuhl für Ergonomie, Fakultät für Maschinenwesen,  
Technische Universität München  
Boltzmannstraße 15, D-85747 Garching b. München*

**Kurzfassung:** In einer Probandenstudie im statischen Fahrsimulator wird untersucht, ob die Nutzung eines Emissive Projection Display (EPD) nennenswerte Auswirkungen auf die Aufmerksamkeit sowie die kognitive Beanspruchung zusätzlich zur Fahraufgabe verursacht. Zudem wird ein Vergleich zu einem herkömmlichen Head-Up Display (HUD) gezogen. Rückschlüsse auf die Fahrerbeanspruchung ergeben sich über objektiv ermittelte Reaktionszeiten bei der Bearbeitung einer visuellen Nebenaufgabe parallel zur Fahraufgabe. Die Ergebnisse zeigen signifikante Verlängerungen in den Reaktionszeiten für die Bearbeitung der Nebenaufgabe für das EPD im Vergleich zum HUD.

**Schlüsselwörter:** Fahrerassistenz, Emissive Projection Display (EPD), Head-Up Display (HUD), Reaktionszeit, Ablenkung, Beanspruchung

### **1. Motivation**

Informierende Assistenzsysteme sind seit geraumer Zeit in Fahrzeugen der oberen Mittel- bis Luxusklasse verbaut. Zu derartigen Unterstützungssystemen zählen Head-Up-Displays (HUDs), die es ermöglichen während der Fahrt Informationen direkt in das Sichtfeld des Fahrers einzublenden. Neben konventionellen HUDs, existieren auch kontaktanaloge HUDs, wobei die Informationen ortskorrekt dargestellt werden (Israel et al., 2010). Diese Anzeigen haben den Vorteil einer Reduktion der Blickabwendung von der Straße (Schneid, 2008). Allerdings ist diese Anzeige nicht durchwegs einsetzbar. Aufgrund dessen beschäftigt sich ein neuer Ansatz mit einer ähnlichen Darstellung von Zusatzinformationen. Der Unterschied liegt darin, dass die Information direkt in der Ebene der Windschutzscheibe eingeblendet wird. Diese Anzeigeart wird in der Literatur als „Emissive Projection Display“ (EPD) bezeichnet. Eine Möglichkeit eine derartige Anzeige zu realisieren, wurde bereits von Sun (2007) vorgestellt: Das System im Labor des Lehrstuhls für Ergonomie der Technischen Universität München (TUM) besitzt zwei Komponenten: Einen Ultraviolett-Laser (Spectrum eLite 1,6 W, KVANT, customized) und eine auf einem Plexiglas beschichtete fluoreszierende Folie (MediaGlass TM, Superimaging TM), die durch den auftreffenden Laserstrahl bei einer Wellenlänge von 405 nm zum Leuchten angeregt wird.

Es stellt sich die Frage, welche Auswirkungen eine derartige Anzeige auf die Aufmerksamkeit des Fahrzeugführers sowie auf dessen subjektive Einschätzung der Beanspruchung haben.

Zur Klärung dieser Fragestellung wurde im Rahmen einer Probandenstudie im statischen Fahrsimulator am Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität

München (TUM) untersucht, inwieweit ein solches Anzeigesystem im Vergleich zu einem herkömmlichen HUD die Aufmerksamkeit des Fahrers im Straßenverkehr beeinflusst und welchen Einfluss dieses System auf die Fahrzeugführung nimmt.

## 2. Methodik

Die im Rahmen der Studie verwendete Versuchsanordnung eines statischen Fahrsimulators mit einer Probandin mit Laserschutzbrille ist in Abbildung 1 dargestellt. Neben dem bereits in Kapitel 1 beschriebenen Aufbau zur EPD-Technologie aus einer beschichteten Windschutzscheibe (1) sowie dem Spectrum eLite 1,6 W Laserprojektor der Firma KVANT (2) besitzt der Versuchsaufbau eine Sitzkiste mit einem PKW-Fahrersitz, eine Projektionsleinwand, Videoprojektor (Beamer), 7" TFT Touchscreen Monitor zur Tachodarstellung (3) und einen PC. Am PC wird die virtuelle Fahrumgebung mit SILAB (Version 3.0) berechnet sowie angezeigt. Des Weiteren sind das Lenkrad Logitech G 27 (4) sowie die dazugehörigen Pedale (5) angeschlossen. Die Ansteuerung des Laserprojektors erfolgt über das Netzwerk mithilfe ein eigens für diesen Anwendungsfall erstelltes User Data Protocol (UDP, deutsch: Benutzerdatensegmentprotokoll).

Um neben der Darstellung von Symbolen über die EPD-Technologie die Anzeige eines herkömmlichen Head-Up Displays zu simulieren, werden die Objekte hierbei direkt in die Fahrsimulation als Texturen eingebunden und auf der vom Fahrersitz 3,65 m entfernten Leinwand angezeigt.



**Abbildung 1:** Versuchsaufbau mit Sitzkiste, Versuchskomponenten sowie Probandin mit Laserschutzbrille (6)

### 2.1 Lane-Change-Task (LCT)

Der Lane Change Task (LCT) ist eine von der ISO standardisierte Evaluierungsmethode für automobile Systeme. Er stellt die kognitive, motorische sowie visuelle Ablenkung des Fahrers von der Fahraufgabe fest (ISO 26022, 2007).

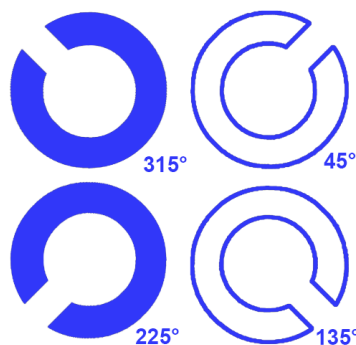
Der Lane Change Task ist die in dieser Studie die primäre Fahraufgabe und wird im Fahrsimulator auf einer dreispurigen Straße gefahren. Die Fahrtstrecke des LCTs

ist etwa 3000 m lang und wird von den Probanden mit einer konstanten sowie von der Simulationssoftware gesteuerten Geschwindigkeit von 60 km/h abgefahren. Die Aufgabe des Fahrers besteht darin, entsprechend der Anzeige von Verkehrszeichen, die am Fahrspurrand 40 m vor Passieren des Schildes für den Fahrer sichtbar werden, in regelmäßigen Abständen einen Fahrspurwechsel möglichst schnell und präzise durchzuführen.

## 2.2 Visuelle Nebenaufgabe

Neben der Hauptaufgabe wurde eine visuelle Aufgabe benutzt, um über deren Aufgabenbearbeitungsdauer objektiv die Reaktionszeit ermitteln zu können. Für die visuelle Aufgabe werden so genannte Landoltringe verwendet. Bei einem Landoltring handelt es sich um einen Kreisring mit einer Öffnung (DIN EN ISO 8596, 2012). Die Position der Öffnung variiert.

Da die vorhandene Laser-Technologie es lediglich ermöglicht Vektorgraphiken abzufahren, werden im simulierten HUD sowie auf der Windschutzscheibe (WSS) nur die Konturen der Landoltringe dargestellt. Die Landoltringe erscheinen auf der fluoreszierenden Folie in einem Blauton (Farbcode: #0000CD) und werden abweichend von der Norm ebenso im simulierten HUD als Textur ähnlich diesem Blauton dargestellt. In Abbildung 2 sind die Landoltringe mit den vier möglichen Richtungsöffnungen sowie der normgerechten und verwendeten Darstellung veranschaulicht.



**Abbildung 2:** links: Normgerechte Darstellung der Landoltringe; rechts: Verwendete Darstellung der Landoltringe im Versuch aufgrund der vorliegenden EPD-Technologie

Die Landoltringe werden mittels des Lasers an die Windschutzscheibe projiziert sowie bei einer weiteren Versuchsfahrt im simulierten HUD dargestellt. Sowohl die Positionsanzeige der Ringe als auch die Intervalle zwischen zwei eingeblendeten Landoltringen variieren bei den Versuchsfahrten. Sobald ein Landoltring während der Versuchsfahrt erscheint, muss der Proband möglichst schnell die korrekte Position der Landoltring-Öffnung mithilfe der entsprechenden Taste, die kompatibel zur Öffnung am Lenkrad angebracht wurde, detektieren. Die Zeitdauer von Beginn der Anzeige der visuellen Aufgabe bis zur Detektion wurde aufgezeichnet. Entsprechend der Signalentdeckungstheorie wurden nicht detektierte Öffnungen oder Reaktionszeiten (RT) > 3000 ms als Miss gewertet (Cheat bei RT < 300 ms; Hit bei 300 ms < RT < 3000 ms).

### 2.3 Versuchsdurchführung

Zu Beginn ist jede Versuchsperson über die Studie aufgeklärt worden und die Probanden erklärten daraufhin ihre Zustimmung zur Studienteilnahme. Nach Erfassung der persönlichen Daten mit Hilfe eines demografischen Fragebogens erfolgte eine Eingewöhnungsfahrt, um sich mit der Versuchsumgebung und der Simulatorfahrt vertraut zu machen. Die Studie gliedert sich in 3 Versuchsteile.

Im Rahmen einer Vorstudie bearbeitete die Versuchsperson nur die in Kapitel 2.2 beschriebene visuelle Nebenaufgabe in Form eines Standversuchs, d.h. ein Bild der Fahrszene wurde eingeblendet, veränderte sich jedoch nicht. Ziel war es, den Kontrast vergleichbar zur späteren Fahraufgabe zu halten. Diese Aufgabe wurde einerseits im simulierten HUD (VS HUD) als auch an der Windschutzscheibe (VS WSS) randomisiert durchgeführt. Die aufgezeichneten und aufbereiteten Messdaten dienten als Vergleich zu den folgenden Versuchsfahrten.

Die Reihenfolge der Versuchsfahrten im darauffolgenden zweiten Versuchsteil wurde für jeden Teilnehmer ebenso zufällig gewählt, um Lernkurveneffekte auszuschließen. Der Proband hatte darin die Aufgabe die unter 2.1 beschriebene Strecke dreimal verbunden mit verschiedenen Bedingungen zu durchfahren. Bei der „Baseline-Fahrt“ (BL (LCT)) war lediglich die Fahraufgabe zu erfüllen. Dabei fuhr der Proband die LCT-Strecke im Simulator ohne visuelle Nebenaufgabe ab. Zudem folgten ebenso zwei Baseline-Fahrten mit der zusätzlichen Nebenaufgabe, das heißt die Anzeige der Landoltringe mit der entsprechenden Detektion der Öffnungsrichtung. Die Landoltringe wurden sowohl bei einer Fahrt an der Windschutzscheibe (BL(LCT) + WSS) als auch im simulierten HUD (BL(LCT) + HUD) angezeigt. So kann im Folgenden verglichen werden, inwieweit die unterschiedlichen Akkommodationsebenen (Leinwandabstand vs. Windschutzscheibenabstand) sich auf die Fahrleistung bzw. Ablenkung auswirken.

Abschließend erfolgte eine Nachstudie (NS), die entsprechend zur Vorstudie durchgeführt wurde.

Neben der Erfassung der objektiven Messdaten, wie Fahrverhalten – abgeleitet aus der mittleren Spurabweichung – sowie der Reaktionsgeschwindigkeit bei Bearbeitung einer visuellen Aufgabe, wurde auch die subjektive Beanspruchungshöhe in den einzelnen Simulationsfahrten mithilfe des NASA-TLX-Fragebogens (Hart, 1986) erfasst. In Abbildung 4 ist zudem eine Probandin während einer Versuchsfahrt mit projizierten Landoltring an der Windschutzscheibe dargestellt.



**Abbildung 4:** Probandin während einer Versuchsfahrt mit projizierten Landoltring an der Windschutzscheibe.

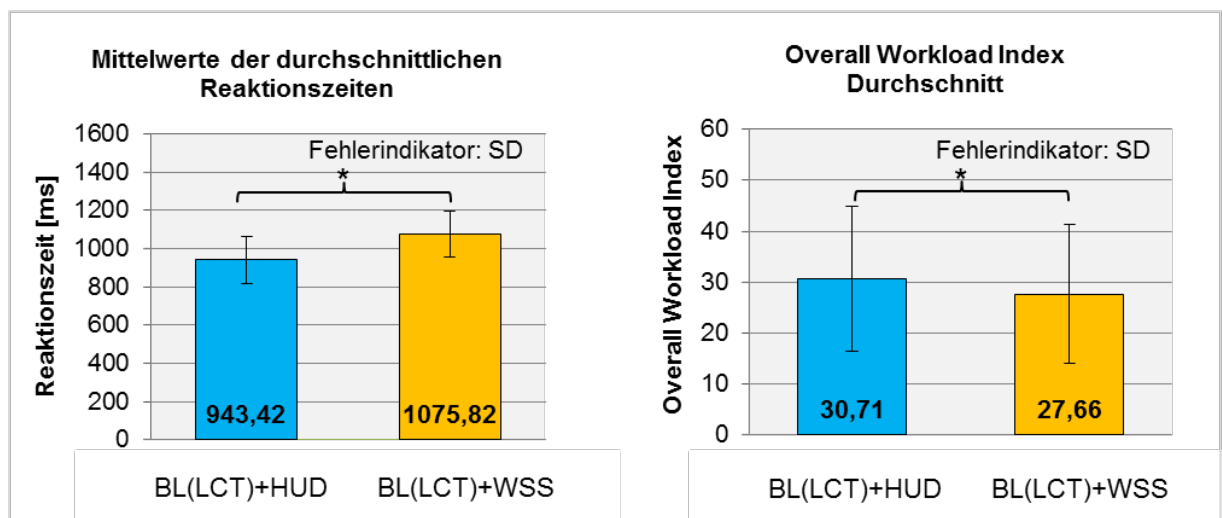


### 3. Probandenkollektiv

Das Probandenkollektiv setzt sich aus 21 Teilnehmern zusammen, wobei mehr als drei Viertel aller Probanden männlich (76 %) waren. Ebenso mehr als drei Viertel aller Teilnehmer war zwischen 26 und 35 Jahre (76 %) alt. Der jüngste Teilnehmer war 24 Jahre alt, der älteste 70 Jahre alt ( $M = 31,95$ ,  $SD = 10,85$ ). Mehr als 90 % aller Teilnehmer hatten bereits Erfahrung mit einem herkömmlichen Head-Up Display, einem kontaktanalogen Head-Up Display oder sogar mit beiden Informationsdarstellungen gesammelt. Ferner benötigten 57 % Prozent der Teilnehmer eine Sehhilfe und ein Proband besaß eine Rot-Grün-Sehchwäche. Keiner der Probanden hatte eine relevante Augenerkrankung.

### 4. Ergebnisse zur Aufmerksamkeit sowie zum mentalen Workload

Ziel dieser Studie ist es, zu ermitteln, wie die Aufmerksamkeit sowie die subjektive Einschätzung der Beanspruchung des Fahrers bei Verwendung einer Windschutzscheibenprojektion im Vergleich zu einem gewöhnlichen Head-Up Display beeinflusst werden. Dabei ist die objektive durchschnittliche Reaktionszeit für die Bearbeitung der visuellen Nebenaufgabe sowie der Overall Workload Index (OWI), die subjektiv eingeschätzte Beanspruchung, herangezogen worden. In Abbildung 5 sind die Messdaten dargestellt.



**Abbildung 5:** links: Mittelwerte der durchschnittlichen Reaktionszeit während der Hauptstudie  
rechts: Durchschnittlicher Overall Workload Index für die Fahrten BL(LCT)+HUD sowie BL(LCT)+WSS mit Standardabweichung (\*:  $\alpha = 5\%$ )

Durchschnittlich benötigten die Teilnehmer  $M_{RT, HUD} = 943,42$  ms ( $SD = 123,16$  ms) für die Detektion der Landoltring-Öffnungsrichtung und den Tastendruck im simulierten HUD. Bei Anzeige der Ringe auf der Windschutzscheibe betrug die durchschnittliche Reaktionszeit der Probanden  $M_{RT, EPD} = 1075,82$  ms ( $SD = 117,55$  ms). Zur Überprüfung der Signifikanz bezüglich der Reaktionszeit und des Overall Workload Index ist auf den Zweistichproben t-Test für Beobachtungspaare bei einem Signifikanzniveau von  $\alpha = 5\%$  zurückgegriffen worden. Es kann dadurch die Aussage getroffen werden, dass es einen signifikanten Unterschied hinsichtlich der Reaktionszeiten für die zwei unterschiedlichen Konzepte gibt („BL(LCT)+HUD –

BL(LCT)+WSS“:  $t[20] = -5,4851$ ,  $p = 0,000023 < 0,05$ ). Die Reaktionszeit für die Bearbeitung der visuellen Nebenaufgabe ist bei Anzeige der Landoltringe auf der Windschutzscheibe mit Hilfe der EPD-Technologie signifikant größer.

Der OWI hat bei der Simulationsfahrt mit der Informationspräsentation im HUD einen durchschnittlichen Wert von  $M_{OWI, HUD} = 30,71$  ( $SD = 14,18$ ) sowie bei Verwendung der EPD-Technologie von  $M_{OWI, EPD} = 27,66$  ( $SD = 13,55$ ). Mit der Durchführung des t-Tests („BL(LCT)+HUD – BL(LCT)+WSS“:  $t[20] = 2,10$ ,  $p = 0,049 < 0,05$ ) konnte festgestellt werden, dass die subjektiv empfundene Beanspruchung während der Simulationsfahrt mit der Informationsdarstellung im simulierten HUD signifikant höher ist als während der Fahrt mit Anzeige auf der Windschutzscheibe.

## 5. Schlussfolgerung und Ausblick

Aus den signifikant längeren Reaktionszeiten für die visuelle Aufgabe auf der Windschutzscheibe im Vergleich zum simulierten HUD lässt sich folgern, dass die Informationsdarstellung auf der Windschutzscheibe längere Zeit für die Aufnahme und Bearbeitung benötigt als eine Informationsdarstellung im HUD. Dies lässt sich auf die Akkommodationsfähigkeit des Auges zurückführen. Während sich im simulierten HUD die Fahrszenerie und die Ringe auf gleicher Ebene befinden, muss der Fahrer bei Benutzung der EPD-Technologie zunächst auf die Windschutzscheibe fokussieren. Diese dynamische Anpassung der Brechkraft des Auges benötigt Zeit. Zu erwähnen ist zudem, dass das durchschnittliche Alter des Probandenkollektivs relativ gering ist und laut Hahn (2012) mit zunehmendem Alter die Fähigkeit hinsichtlich der Nahakkommodation abnimmt. Im nächsten Schritt soll der Unterschied zwischen dargestellten Symbolen und textuellen Informationen sowie deren Auswirkungen auf den Fahrer geklärt werden.

## 6. Literatur

- DIN EN ISO 8596 (2012). Augenoptik – Sehschärfeprüfung – Das Normsehzeichen und seine Darbietung. Berlin: Beuth.
- Ecker, R. (2013). Der verteilte Fahrerinteraktionsraum (Dissertation). Ludwig-Maximilians-Universität München, München.
- Hahn, G.-A. (2012). Kurzlehrbuch Augenheilkunde. Kurzlehrbuch. Stuttgart: Thieme.
- Hart, S. G. (1986). NASA Task Load Index (TLX) Volume 1.0. Paper and Pencil Package, NASA Ames Research Center. Human Performance Research Group. Verfügbar unter <http://humansystems.arc.nasa.gov/groups/TLX/downloads/TLX.pdf>.
- ISO 26022 (2007). Road vehicles - Ergonomic aspects of transport information and control system - Simulated lane change test to assess in-vehicle secondary task demand.
- Israel, B., Seitz, M., Senner, B., & Bubb, H. (2010). Kontaktanaloge Anzeigen für ACC - im Zielkonflikt zwischen Simulation und Ablenkung (Paper zur Tagung aktive Sicherheit 2010). Technische Universität München, Garching.
- Schneid, M. (2008). Entwicklung und Erprobung eines kontaktanalogen Head-up-Displays im Fahrzeug (Dissertation). Technische Universität München, München.
- Sun, T. (2007). Introduction of Emissive Projection Display and Fluorescent film. Verfügbar unter [http://www.sidchapters.org/ba/Archives/2011/Emissive%20projection%20display%20introduction%20\(3\).pdf](http://www.sidchapters.org/ba/Archives/2011/Emissive%20projection%20display%20introduction%20(3).pdf).

**Danksagung:** Die Autoren danken Herrn Ilja Feldstein (LfE, TUM) für die Mithilfe beim Versuchsaufbau sowie Herrn Matthias vom Stein und Herrn Michael Förster (beide Lehrstuhl fml, TUM) für die technische Umsetzung der Laseranzeige.