

## **Nutzerzentrierte Gestaltung adaptiver Tachometer zur Unterstützung der Fahrer-Fahrzeug-Interaktion**

Patrick ROßNER, Daniel SCHUBERT, Frank DITTRICH

*Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement, TU Chemnitz,  
Erfenschlagerstr. 73, D-09125 Chemnitz*

**Kurzfassung:** Adaptive Anzeigen im Fahrzeug sind in der Lage, automatisierte Anpassungen der Informationsdarstellung in Abhängigkeit der Fahrsituation vorzunehmen und entsprechend dem Fahrzeugführer bereitzustellen. Im Rahmen einer Untersuchung wurden für ausgewählte Verkehrssituationen adaptive Tachometer gestaltet und mit 21 Probanden in einer Fahrsimulatorstudie überprüft. Die Ergebnisse zeigen, dass aus dem Einsatz der adaptiven Tachometer positive Effekte auf die mentale Beanspruchung und auf die Ausführung der Fahraufgabe resultieren.

**Schlüsselwörter:** Adaptivität, Fahrer-Fahrzeug-Interaktion, Usability

### **1. Einleitung**

Durch die Weiterentwicklung von Anzeigen im Fahrzeug ergeben sich veränderte Anforderungen an die menschliche Informationsaufnahme und -verarbeitung während der Fahraufgabe, die zu einer steigenden Belastung und einer erhöhten Beanspruchung des Fahrers führen können (Dettmann et al. 2014). Um den Anforderungen und Bedürfnissen einer heterogenen Nutzergruppe (Alter, Geschlecht, jährliche Fahrleistung, usw.) gerecht zu werden (Roßner et al. 2013), müssen Anzeigen bedarfsorientiert entwickelt sowie individualisierbar gestaltet werden (Simon et al. 2014).

Eine mögliche Lösung hierfür stellt die Adaption, also die Anpassung, von Anzeigen im Fahrzeug dar (König et al. 2000). Hierbei kann zwischen adaptierbaren Systemen, die Möglichkeiten zur manuellen Modifizierung von Anzeigen bereitstellen (Oppermann & Simm 1994) und adaptiven Systemen, die sich automatisch an ändernde Umweltbedingungen anpassen (Krogsæter & Thomas 1994), unterschieden werden. Adaptive Systeme führen trotz wenig Nutzeraufwand und ohne spezielles Vorwissen (Fischer 2001) zu erweiterten Möglichkeiten der Nutzung (Oppermann 1994), indem bspw. Hilfestellung bei komplexen Aufgaben bereitgestellt und dadurch eine Überlastung des kognitiven Systems vermieden wird (Lavie & Meyer 2010).

Jentsch, Roßner, Mißbach & Bullinger zeigten 2015 bei welchen Funktionen und Anzeigen, welche Art der Adaption ausgewählt werden sollte. Das sogenannte Kombiinstrument stellt als Standardanzeige im Fahrzeug viele notwendige Informationen zum Führen eines Fahrzeugs dar (Abendroth & Bruder 2015). Die adaptive Gestaltung der Geschwindigkeitsanzeige als Teil des Kombiinstrumentes besitzt dabei großes Potential zur Verbesserung der Ausführung der Fahraufgabe.

Um die Eignung adaptiver Tachometer im Fahrzeug zu untersuchen, wurde eine Fahrsimulatorstudie durchgeführt. Untersucht wurde hierbei der Einfluss der adaptiven Tachometer auf die mentale Beanspruchung, die Ausführung der Fahraufgabe sowie die User Experience.

## 2. Methode

### 2.1 Stichprobe

An der Studie nahmen insgesamt 21 Personen, davon 10 Frauen und 11 Männer im Alter von 24 bis 60 Jahren ( $M=30.7$ ;  $SD=9.3$ ), teil. Keiner der Probanden musste den Test vorzeitig beenden. Alle Versuchspersonen waren im Besitz einer gültigen Fahrerlaubnis der Klasse B seit durchschnittlich 11,8 Jahren ( $SD=8.5$ ). Die Versuchsteilnehmer fuhren im vergangenen Jahr durchschnittlich 10.886 km ( $SD=7.019$  km). Der Totalscore des Simulator Sickness Questionnaire lag im Durchschnitt vor der Fahrt bei 7,7 von maximal 235. Der Wert nach Beenden der Testfahrt lag durchschnittlich bei 30,5 (Männer  $\bar{\varnothing}$  15,6; Frauen  $\bar{\varnothing}$  46,8).

### 2.2 Adaptive Tachometer

Für die vorliegende Untersuchung wurden verschiedene Tachometeranzeigen für unterschiedliche Fahrsituationen gestaltet. Auf Basis eines Standardtachometers wurden insgesamt acht Tachometervarianten umgesetzt. Die Varianten wurden auf Grundlage des Straßentyps (Stadt, Land, Autobahn – unterschiedliche Höchstgeschwindigkeiten), der Tageszeit (Tag, Nacht), der Witterung (Nässe – Vorsicht bei hohen Geschwindigkeiten) und des Landes (Deutschland, Österreich – unterschiedliche Höchstgeschwindigkeiten) erstellt. Die Gestaltung erfolgte unter Berücksichtigung von Expertenwissen aus den Bereichen Usability und Fahrer-Fahrzeug-Interaktion. Die Abbildung 1 zeigt beispielhaft den verwendeten Standardtachometer (links) sowie den an die Anforderungen im urbanen Raum (Mitte - grüne Markierung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h) und an Nässe (rechts – gelbe Markierung und Beschriftung bei aufkommender Nässe, welche dem Fahrer Vorsicht signalisiert) angepassten Geschwindigkeitsanzeigen.



**Abbildung 1:** Beispieltachometer aus der durchgeführten Fahrsimulatorstudie

### 2.3 Simulierte Strecke

Für die Betrachtung des adaptiven Tachometers mit seinen acht Anpassungen werden vier Übergänge bzw. Änderungen der Situation benötigt. Um eine aussagekräftige Untersuchung zu gewährleisten, wird jeder dieser Übergänge mindestens zehnmal analysiert. Aus diesem Grund wurden sechs unterschiedliche Streckenvarianten erstellt.

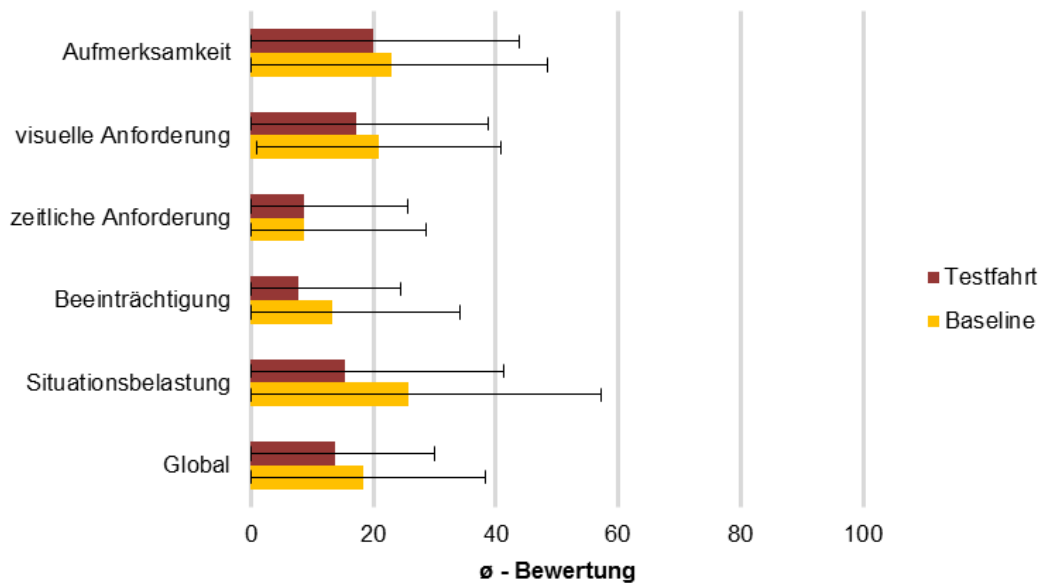
## 2.4 Eingesetzte Fragebögen

Zur Messung der mentalen Beanspruchung wurde der von Hackenberg (2013) modifizierte DALI-Fragebogen verwendet. Der AttrakDiff2 von Diefenbach & Hassenzahl (2010) kam zur Untersuchung der User Experience zum Einsatz. Um den Einfluss der Studie im Fahrsimulator auf die Versuchsergebnisse zu quantifizieren, wurde der Simulator Sickness Questionnaire von Kennedy, Lane, Berbaum & Lilienthal (1993) eingesetzt.

## 3. Ergebnisse

### 3.1 Mentale Beanspruchung

Der Vergleich der durchschnittlichen Werte des DALI über alle untersuchten Tachometer hinweg (Testfahrt) ist in Abbildung 2 aufgeführt und den Fahrten mit dem Standardtachometer (Baseline) gegenübergestellt. Alle Bewertungsdimensionen zeigen beim adaptiven Tachometer eine geringere Beanspruchung. Vor allem die Dimensionen *Beeinträchtigung der Fahraufgabe* ( $13.3 = M_{\text{Baseline}} > M_{\text{Testfahrt}} = 7.6$ ) und die *Situationsbelastung* ( $25.7 = M_{\text{Baseline}} > M_{\text{Testfahrt}} = 15.2$ ) sind deutlich niedriger. Der *Globalwert*, also die allgemeine Beanspruchung des Fahrers, verringert sich im Durchschnitt gegenüber der Baseline ( $18.3 = M_{\text{Baseline}} > M_{\text{Testfahrt}} = 13.7$ ) deutlich.

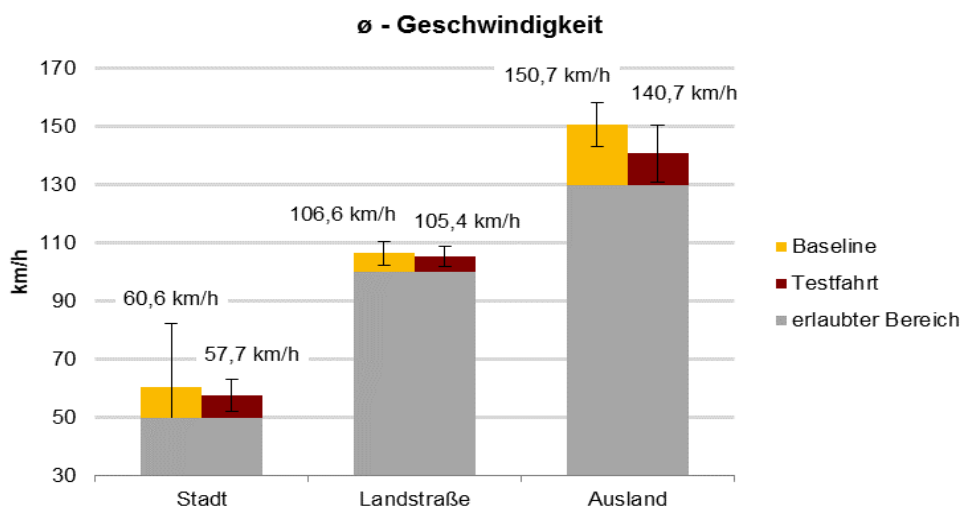


**Abbildung 2:** Vergleich DALI-Bewertung Baseline vs. Testfahrt

Auf Basis der erhobenen Werte wurde für den Vergleich der Dimensionen des DALI ein t-Test durchgeführt. Dieser zeigt für die gemittelten Bewertungen der Dimensionen *Situationsbelastung* ( $t(20)=2.82, p<.01$ ) und *Beeinträchtigung der Fahraufgabe* ( $t(20)=1.87, p<.05$ ), dass zwischen Baseline- und Testfahrt eine signifikante Verringerung der Beanspruchung besteht. Die Bewertung der globalen Dimension weist allerdings keinen signifikanten Unterschied auf.

### 3.2 Erfüllung der primären Fahraufgabe

Die Kennwerte zur Bestimmung der Auswirkungen auf die Erfüllung der primären Fahraufgabe setzen sich aus der *Güte der Längs-, Querregelung* und der *Wahrnehmung der Straßenszenerie* zusammen. Zur Bewertung der *Güte der Längsregelung* wurde die Durchschnittsgeschwindigkeit 200 m vor und nach der Tachometeranpassung miteinander verglichen und die prozentuale Änderung errechnet. Dieser Vergleich ist nur sinnvoll für Situationen, in denen keine Zielgeschwindigkeit durch den Tachometer vorgegeben bzw. empfohlen wird. Aus diesem Grund konnten für diesen Kennwert nur die Datensätze des Übergangs der Tageszeit verwendet werden. Der Vergleich der Durchschnittsgeschwindigkeit zwischen Baseline- und Testfahrt ergab keine Unterschiede. Die *Güte der Fahrzeugquerregelung* wurde mit Hilfe der Standard Deviation of Lateral Position (SDLP) bestimmt. Dies geschah in den Abschnitten „Ausland“, „Tageszeit“, „Witterung“ und „Witterung aus“. Auch hier wurde der Bereich 200 m vor und nach dem Tachowechsel betrachtet. Allerdings konnten auch an dieser Stelle keine Unterschiede zwischen den verschiedenen Ausprägungen gefunden werden. Als *Wahrnehmung der Straßenszenerie* wird hier verstanden, ob der Proband die gegebenen Geschwindigkeitsbeschränkungen wahrnimmt und diese befolgt. Dazu wurden die Geschwindigkeiten der Abschnitte „Stadt“, „Landstraße“ und „Autobahn Ausland“ analysiert. Auf Basis der objektiven Kenngrößen konnten für die Baseline- und die Testfahrt Abweichungen von der Höchstgeschwindigkeit ermittelt werden (Abbildung 3). So wurden die Höchst- und Durchschnittsgeschwindigkeiten in der Testfahrt verringert. Allerdings sind diese Effekte ebenfalls als nicht signifikant anzusehen.

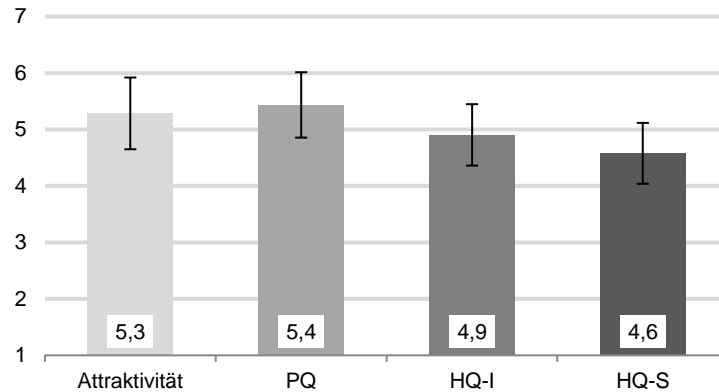


**Abbildung 3:** Vergleich der Durchschnittsgeschwindigkeiten

### 3.3 User Experience

Die *Attraktivität* der adaptiven Tachometeranzeige wurde durchweg mit gut bewertet ( $M=5.3$ ;  $SD=0.64$ ) (Abbildung 4). Gleiches gilt ebenfalls für die *pragmatische Qualität* (PQ) ( $M=5.4$ ;  $SD=0.58$ ). Für die *hedonische Qualität – Identität* (HQ–I) fiel die Bewertung mit  $M=4.9$  ( $SD=0.54$ ) eher gut aus. Die Elemente der Dimension der *hedonischen Qualität – Stimulation* (HQ–S) wurden

durchschnittlich am schlechtesten bewertet, liegen aber mit  $M=4.6$  ( $SD=0.54$ ) dennoch oberhalb des Mittelpunkts der Skala. Alle durchschnittlichen Bewertungen der vier Kategorien liegen im oberen Teil der Skala. Die Bewertung der allgemeinen *hedonischen Qualität*, welche die HQ-I und HQ-S zusammenfasst, ergibt im Mittel  $M=4.7$  ( $SD=0.49$ ).



**Abbildung 4:** Bewertung der User Experience mittels AttrakDiff2

#### 4. Diskussion

Der Vergleich der mentalen Beanspruchung zwischen Baseline- und Testfahrt verdeutlicht, dass der adaptive Tachometer keine zusätzlichen mentalen Ressourcen für die Interaktion erfordert, sondern zu einer Abnahme der Beanspruchung des Fahrers führt. Allerdings konnten nur für zwei von sechs Dimensionen des DALI, der *Situationsbelastung* und der *Beeinträchtigung der Fahraufgabe*, signifikante Verbesserungen im Vergleich zur Baseline-Fahrt ermittelt werden.

Aus der Betrachtung des Vergleichs der Längsführung der Baseline- und Testfahrt lässt sich schließen, dass der adaptive Tachometer keinen signifikanten Einfluss auf die *Güte der Fahrzeiglängsregelung* hat. Auf die Kennwerte der Querregelung hat der adaptive Tachometer ebenfalls keinen Einfluss und beeinträchtigt somit nicht signifikant die *Güte der Fahrzeugquerregelung*. Der Vergleich der Geschwindigkeitsüberschreitungen zeigt ebenfalls keine signifikante Senkung der durchschnittlichen Geschwindigkeit, allerdings ist bei der Anwendung des adaptiven Tachometers eine tendenziell geringere Abweichung von der Höchstgeschwindigkeit festzustellen und somit als positiv auf die *Wahrnehmung der Straßenszenerie* zu bewerten. Es wird zwar noch schneller als erlaubt gefahren, aber dies nicht mehr so deutlich als wie bei der Baseline-Fahrt. Auch bei Betrachtung des Vergleichs der allgemeinen Durchschnittsgeschwindigkeit zwischen Baseline- und Testfahrt erscheint der adaptive Tachometer für eine Senkung der Geschwindigkeit verantwortlich. Dies kann damit zusammenhängen, dass der Fahrer im Prinzip die Straßenschilder nicht mehr übersehen kann, da er diese auf dem Tachometer angezeigt bekommt. Positive Effekte aus dieser Senkung der Geschwindigkeit sind zum einen die Erhöhung der Sicherheit und zum anderen auch eine mögliche Verminderung von Verkehrsverstößen. Aber auch der geringere Spritverbrauch kann als positiver Nebeneffekt angesehen werden. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass der adaptive Tachometer das Verhalten der Fahrer positiv beeinflusst. Für keine der vorgestellten Kategorien der Wahrnehmung der Straßenszenerie zeigte der adaptive Tachometer im Vergleich zur Baseline-Fahrt, also zum Standardtachometer, eine negative Wirkung.

Bei der Bewertung der User Experience zeigt der adaptive Tachometer, dass dieser insgesamt positiv bewertet wird und auf pragmatischer Ebene eine hohe Usability besitzt.

Unter Betrachtung der Ergebnisse der vorliegenden Simulatorstudie ist das Prinzip der Adaptivität bei Anpassungen der Benutzeroberfläche von Tachometeranzeigen als geeignet zu bewerten.

## 5. Literatur

- Abendroth, B., Bruder, R. (2015). Die Leistungsfähigkeit des Menschen für die Fahrzeugführung. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz, C. Singer (Hrsg.), Handbuch Fahrerassistenzsysteme (S. 3 - 15). Wiesbaden: Springer-Verlag.
- Dettmann, A., Jentsch, M., Thieme, C., Lindner, P., Wanielik, G., Bullinger, A. C. (2014). Wirksamkeit räumlich gerichteter Warnungen unter Anwendung eines LED Head-Up-Displays. In: VDI-Berichte 2223. S. 9 - 22. Düsseldorf: VDI Verlag.
- Diefenbach, S., Hassenzahl, M. (2010). Handbuch zur Fun-ni Toolbox - User Experience Evaluation auf drei Ebenen. Fink, J., Kobsa, A., Nill, A. (1998). Adaptable and adaptive information provision for all users, including disabled and elderly people. *New Review of Hypermedia and Multimedia*, 4, S. 163-188.
- Fischer, G. (2001). User Modeling in Human-Computer Interaction. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 11(1-2), S. 65-86.
- Hackenberg, L. (2013). Maschinen als kollaborative Gesprächspartner. Nutzer- und situationsorientierte Gestaltung automotiver Sprachdialogsysteme. Braunschweig: Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig.
- Jentsch, M., Rossner, P., Missbach, A., Bullinger, A. (2015). Adaptivität oder Adaptierbarkeit im Fahrzeug - Leitfaden und Konzepte zur optimalen Fahrerunterstützung. In GfA (Hrsg.), Tagungsband 61. Frühjahrskongress der GfA. 25. Februar 2015 - 27. Februar 2015. Karlsruhe.
- Kennedy, R., Lane, N., Berbaum, K., Lilienthal, M. (1993). Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness. *The International Journal of Aviation Psychology*, S. 203 - 220.
- König, W., Weiß, K. E., Gehrke, H., Haller, R. (2000). S.A.N.T.O.S Situationsangepasste und Nutzer-Typ-zentrierte Optimierung von Systemen zur Fahrerunterstützung. In H. Bubb (Hrsg.). Dokumentation der Herbstkonferenz der GfA, 12-13.10.2000. S. 107–113. München: Utz.
- Krogsæter, M., Thomas, C. (1994). Adaptivity: System-Initiated Individualization. In R. Oppermann, Adaptive user support : Ergonomic design of manually and automatically adaptable software (S. 67-96). Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- Lavie, T., Meyer, J. (2010). Benefits an costs of adaptive user interfaces. *International Journal of Human-Computer Studies*, 508-524.
- Oppermann, R., Simm, H. (1994). Adaptability: User-Initiated Individualization. In R. Oppermann, Adaptive user support: Ergonomic design of manually and automatically adaptable software. Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- Oppermann, R. (1994). Introduction Into Adaptive User Support. In R. Oppermann, Adaptive user support : Ergonomic design of manually and automatically adaptable software (S. 3-13). Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- Roßner, P., Dettmann, A., Jentsch, M., Bullinger, A. C. (2013). Visuelle Fahrerassistenz im Head-up-Display - Ein besonderer Sicherheitsgewinn für ältere Fahrzeugführer?. In: VDI-Berichte 2205. S. 175 - 188. Düsseldorf: VDI Verlag
- Simon, K., Spanner-Ulmer, B., Bullinger, A.C. (2014). Erfassung subjektiven Fahrerlebens zur Ableitung von Unterstützungsbedürfnissen jüngerer und älterer Autofahrer. In: VDI-Berichte 2223. S. 31 - 44. Düsseldorf: VDI Verlag.

**Danksagung:** Dieser Beitrag entstand teilweise auf Basis der Masterarbeit von Alexander Mißbach und wäre weiterhin ohne die Unterstützung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung nicht möglich gewesen (Projekt: MeGest-3D, FKZ 03ZZ0426B).