

Kontaktanaloge Anzeigen für ACC – im Zielkonflikt zwischen Stimulation und Ablenkung

Dipl.-Ing. Boris Israel, Lehrstuhl für Ergonomie, Technische Universität München, Boltzmannstraße 15, 85747 Garching, israel@lfe.mw.tum.de

Dipl.-Ing. Maria Seitz, Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik, Technische Universität München, Boltzmannstraße 15, 85747 Garching, seitz@ftm.mw.tu-muenchen.de

Dipl.-Ing. Bernhard Senner, AUDI AG, Ingolstadt, bernhard.senner@audi.de

Univ.-Prof. i.R. Dr. rer.nat. habil. Heiner Bubb, Lehrstuhl für Ergonomie, Technische Universität München, Boltzmannstraße 15, 85747 Garching, bubb@tum.de

ABSTRACT

Moderne Fahrzeuge bieten eine Fülle von Fahrerassistenzsystemen, die den Fahrer von Routineaufgaben entlasten und ihm so mehr Komfort und Sicherheit bieten. Die Aufgabe des Fahrers wandelt sich während der Fahrt mit Assistenzsystemen vom eigentlichen Fahren hin zum Überwachen der Systeme. Um den Fahrer hierbei von Blickabwendungen in das Kombiinstrument zu entlasten haben sich einige Hersteller für den Einsatz von Head-up Displays entschieden. Ein weiterer Schritt zu Entlastung des Fahrers sind kontaktanaloge Head-up Displays, die Augmented Reality Anzeigen ermöglichen. Diese bieten das Potenzial das Systemverständnis und das Situationsbewusstsein zu erhöhen. Andererseits können bewegte Anzeigen im primären Sichtbereich des Fahrers ablenkend wirken. Das hier vorgestellte Experiment, zeigt dass diese Anzeigen sich nicht auf die Fahrperformance auswirken und gleichzeitig den Workload des Fahrers senken. Somit ebnet sich der Weg für weitere Versuche, die Auswirkungen auf das Situationsbewusstsein und die Vigilanz untersuchen.

EINFÜHRUNG

Die steigende Komplexität des Straßenverkehrs erfordert eine immer höhere Aufmerksamkeit des Fahrers. Durch diese Anforderung ist in den letzten Jahren eine Fülle von Assistenzsystemen entstanden, die den Fahrer von Routineaufgaben entlasten. Dadurch soll die Konzentration auf die Verkehrssituation gesteigert werden, sowie dem Fahrer ein höherer Komfort geboten werden. Hiermit ist auch eine Änderung der Aufgabe des Fahrers, vom eigentlichen Fahrzeugführen hin zum Überwachen des Verkehrs und der Assistenzfunktionen, zu beobachten. Um Assistenzsysteme bedienen und überwachen zu können wird die Aufmerksamkeit des Fahrers häufig von der Straße auf die Informationsdarstellung im Cockpit gelenkt.

Für eine Informationspräsentation ohne Blickabwendung werden zunehmend Head-up Displays (HUD) in Fahrzeugen eingesetzt. Durch ein Head-up Display können Informationen von einem Display über die Windschutzscheibe in das Sichtfeld des Fahrers projiziert werden. Die Informationen können somit durch eine minimale Blickabwendung und Akkommodation abgelesen werden. Die Möglichkeiten dieser Technik sind hierdurch aber noch nicht vollständig umgesetzt, da bisher wie im Kombiinstrument nur statische Informationen angezeigt werden.

Infolgedessen wurde ein kontaktanaloges Head-up Display entwickelt (Schneid 2008, Bubb 1986), in dem das virtuelle Bild auf der Fahrbahn abgebildet wird. Somit können Informationen virtuell an ihrem tatsächlichen Ort angezeigt werden (Augmented Reality). Dadurch wird die Blickabwendung minimiert und die erforderliche kognitive Leistung zur Deutung der Informationen reduziert.

Diese Anzeigetechnologie eröffnet neue Möglichkeiten, Informationen der Fahrerassistenzsysteme darzustellen. Es können Informationen graphisch dargestellt werden, die mit herkömmlichen statischen Anzeigen so nicht möglich sind (Entfernungsanzeigen, Objektmarkierung). Dies bietet die Möglichkeit, dem Fahrer die Funktion, gegebenenfalls die Fehlfunktion, der Fahrerassistenzsysteme

zu erklären und ein valides inneres Modell der Fahrerassistenzsysteme aufzubauen. Diese Validierung des Inneren Modells kann zu einer höheren Identifikation mit dem Fahrerassistenzsystem führen und zu dessen Attraktivität beitragen. Dieser Effekt kann, zusammen mit einer Stimulation des Fahrers durch eine interessante Anzeige, genutzt werden, um ihn in der Überwachungsschleife des Fahrerassistenzsystems zu halten.

Um diese vielen Verbesserungsmöglichkeiten produktiv einsetzen zu können, muss nach der technischen Realisierung des kontaktanalogen Head-up Display (Schneid 2008) untersucht werden, mit welchen Anzeigen der Fahrer hier konfrontiert werden kann. Da Anzeigen im primären Blickfeld ablenkend wirken können, stellt sich die Frage, wo der Kompromiss aus Ablenkung und Informationsmenge/Stimulation ist. Diese Frage soll der hier beschriebene Versuch klären. Es können daraus neue Anzeigekonzepte entwickelt werden, mit denen dann untersucht werden kann, inwiefern sich das Situationsbewusstsein, Systemvertrauen und die Vigilanz des Fahrers verbessern lassen.

KONTAKTANALOGES HEAD-UP DISPLAY

Ein konventionelles HUD stellt durch Spiegelung ein virtuelles Bild vor dem Fahrzeug dar. Dieses Bild schwebt in einer Entfernung von ca. 2m vor dem Fahrer dicht über der Motorhaube. Die Anzeigehalte sind statisch und häufig auch redundant zu jenen im Kombiinstrument. Von den meisten Herstellern werden Geschwindigkeit, Navigation, Fahrerassistenzsysteme, Drehzahl, Radio/CD Titel und Warnungen angezeigt.

Das kontaktanaloge Head-up Display hingegen zeigt Informationen ortskorrekt an. Hierfür wird die Anzeige im virtuellen Bild so dargestellt, dass sie aus Sicht des Fahrers der Umwelt überlagert ist. Zu dieser Ortskorrektheit gehört aber nicht nur die parallaxenfreie Überlagerung des Bildes, sondern auch die möglichst richtigen Tiefeninformationen. Das Auge soll also mit monokularen und binokularen Tiefenkriterien die Realität und das virtuelle Bild als identisch wahrnehmen. Hierfür gibt es verschiedene Ansätze: Bubb 1986, Schneid 2008, Bergmeier 2009, Nakamura et al. 2004.

Der in diesem Experiment verwendete Versuchsträger ermöglicht die graphische Informationsdarstellung auf der Fahrbahn vor dem Fahrzeug nach dem Design von Schneid. Hierfür wird die Bildquelle eines Head-up Displays zur optischen Achse gekippt und so das virtuelle Bild vor dem Fahrzeug auf die Straße gelegt. Durch Verschieben der Bildquelle kann das virtuelle Bild auf der Fahrbahn positioniert werden. Schneid legt das virtuelle Bild als nach oben gebogene Fläche aus, um die Anzeigeweite zu erhöhen (Abbildung 1). Das virtuelle Bild ist in diesem Bereich nur noch der Umwelt überlagert, wird aber trotzdem in der richtigen Entfernung wahrgenommen, da das menschliche Auge in dieser Entfernung auf unendlich akkommodiert ist.

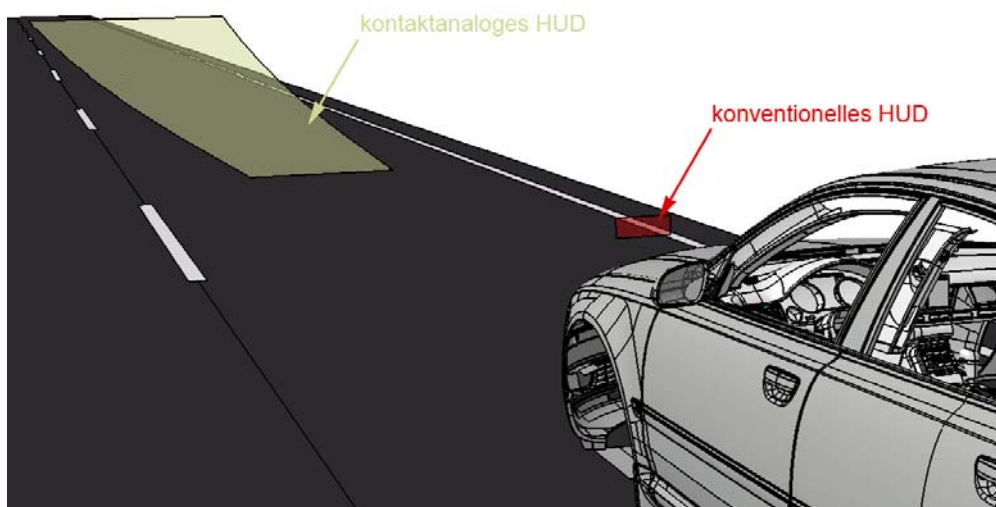


Abbildung 1: Virtuelle Bildebene von einem konventionellem Head-up Display und dem kontaktanalogen Head-up Display (Israel 2010)

Dieses Design bietet insbesondere die Möglichkeit, die Funktionen aktueller und zukünftiger Assistenzsysteme zur Längs- und Querführung darzustellen, da diese alle im Kontext zur Fahrbahn oder mit Objekten knapp über der Fahrbahn in Verbindung stehen. Die folgende Aufzählung stellt mögliche Anzeigen für Fahrerassistenzsysteme da:

- ACC: Erkanntes Fahrzeug markieren, Anzeige des Regelbereich
- LDW: Erkannte Spuren markieren und Warnungen vor dem Überfahren der Spur
- Heading Control: Erkannte Spuren markieren und der Regelbereich der Spurlage anzeigen
- Navigation (Bubb 1986)
- Sicherheitsabstand (Bubb 1976)
- Collision Warning: Richtung Ausweichempfehlung (Schneid 2008)
- Anhalteweg: für optimale Rekuperation bei Elektro-/Hybridfahrzeugen

ANZEIGEKONZEPTE

Kontaktanaloge Anzeigen im primären Sichtfeld können ablenkend wirken und zu Tunnelblick und Aufmerksamkeitsbindung führen. Andererseits können sie bei monotonen Überwachungsaufgaben durch interessante Anzeigeeinhalte stimulieren und so einem Nachlassen der Wachsamkeit entgegenwirken.

Auf Grund dieses Zielkonfliktes wurde ein Versuch durchgeführt, um einen Kompromiss zwischen Ablenkung und Stimulation in der Anzeige zu finden. Hierfür wurden zwei verschiedene ACC Anzeigekonzepte für das kontaktanaloge Head-up Display entworfen und umgesetzt. Die ACC Anzeige steht hier stellvertretend für alle Fahrerassistenzsysteme die über ein kontaktanaloges Head-up Display visualisiert werden können. ACC hat bereits eine gute Marktdurchdringung, wodurch genügend ACC erfahrene Probanden für den Versuch zu Verfügung stehen.

Ziel des ersten Konzeptes (ACC-low) ist es, den Fahrer durch dezente, schlichte Anzeigen möglichst wenig von der Fahraufgabe abzulenken. Das zweite Konzept (ACC-high) dagegen soll den Fahrer durch interessante Anzeigen stimulieren und so dessen Aufmerksamkeit für die Überwachung des ACC Systems erhalten.

Um die minimalen Anzeigeeinhalte für das ACC-low Konzept festzulegen, wurde eine Voruntersuchung zur Nutzung der bestehenden ACC-Anzeigen im Kombiinstrument durchgeführt. Hierfür wurden erfahrene ACC Nutzer gefragt, wie häufig sie die einzelnen Anzeigen nutzen und für wie wichtig sie diese erachten. Die wichtigsten Anzeigen sind demnach:

- Wünschgeschwindigkeit
- Vorderfahrzeug erkannt
- System im Standby
- Übernahmeaufforderung

Als weniger wichtig wurden

- Wunschabstand
- Regelkritikalität (rot-grün Teppich)

erachtet.

Das ACC-low Anzeigekonzept sollte daher das erkannte Vorderfahrzeug und die Übernahmeaufforderung kontaktanalog anzeigen sowie die Wünschgeschwindigkeit und Standby als statische Digitalanzeige darstellen. Das erkannte Vorderfahrzeug wird mit einer grünen Klammer markiert (Abbildung 2). Im Falle einer Übernahmeaufforderung ändert sich die Klammer in ein rotes Rechteck. Die Wünschgeschwindigkeit wird als Digitalanzeige dargestellt und mit einem Klammersymbol versehen, um eine Verwechslung mit dem Digitaltacho auszuschließen. Die grüne Klammer ist in diesem Konzept die einzige bewegte Anzeige und sollte somit wenig ablenken.



Abbildung 2: Das Anzeigekonzept ACC-low (links) und ACC-high (rechts)

Das ACC-high Konzept soll dem Fahrer möglichst viele Informationen bieten und durch Animationen stimulierend wirken. Die Anzeigen sollen dem Fahrer rückmelden, wie sich sein Fahrzeug in der jetzigen oder bevorstehenden Situation verhält und erklärend wirken. Hierzu wurde vor der Klammer der rot-grün Teppich der Regelkritikalität angezeigt, um dem Fahrer zu verdeutlichen, dass sein Fahrzeug automatisch bremsst, wenn sich der Abstand verringert und es in den roten Bereich kommt (Abbildung 2). Die Wunschgeschwindigkeit wird zu einem größeren Font animiert, wenn das ACC aus dem follow mode in den free mode wechselt. Der Use Case ist hier eine längere Fahrt im follow mode mit einer wesentlich geringeren Geschwindigkeit als der Wunschgeschwindigkeit. Denn beim Wechsel in den free mode beschleunigt das Fahrzeug dann zügig. Mit der Animation der Wunschgeschwindigkeit wird der Fahrer an die gesetzte Geschwindigkeit erinnert und das bevorstehende Verhalten des Fahrzeugs verdeutlicht.

VERSUCH

Die beiden Anzeigekonzepte, und das Kombiinstrument als Referenz, wurden in einer Feldstudie miteinander verglichen. Es fuhren 32 Probanden (23-57 Jahre alt; Mittelwert 37; ♀4, ♂28), die alle ACC Erfahrung hatten, d.h. ACC in ihrem Privat- oder Dienstfahrzeug benutzen. Von den Probanden hatten auch 44% Head-up Display Erfahrung, was hier bedeutet, dass sie schon mindestens einmal zuvor mit Head-up Display gefahren waren. Der Versuch wurde im Straßenverkehr gefahren und dauerte insgesamt ca. zwei Stunden. Vor dem Versuch fuhren die Probanden eine 10 minütige Eingewöhnungsstrecke. Der Versuch wurde auf einer Autobahnstrecke und einer wenig befahrenen Landstraße durchgeführt. Diese Strecke fuhren die Probanden mit jeder der drei Anzeigen. Als erstes wurde stets das Kombiinstrument als Referenz gefahren, nachfolgend die kontaktanalogen Konzepte permutierend.

Das Versuchsfahrzeug war ein Audi A8 (D3) mit dem beschriebenen kontaktanalogen Head-up Display. Keine der Einbauten im Fahrzeug beeinträchtigten die Probanden bei ihrer Fahraufgabe. Um im Versuchszeitraum möglichst viele Ausnahmesituationen, Fehlerkennungen und Übernahmeaufforderungen zu erzeugen wurde, der ACC-Sensor dejustiert. Diese Ausnahmesituationen sollten das Verhalten der Probanden in den kritischen Situationen zeigen, also dann, wenn sie durch die Anzeigekonzepte abgelenkt oder stimuliert würden. In der Eingewöhnungsstrecke konnten die Probanden sich an diesen Umstand anpassen. Desweiteren fuhren die Probanden einem zweiten Fahrzeug nach. Auf diese Weise wurde während des Versuchs immer ein Vorderfahrzeug garantiert. Dieses Fahrzeug wurde auch eingesetzt, um durch unvorhergesehene Bremsungen gezielt Übernahmeaufforderungen zu erzeugen. Den Probanden wurde vor dem Versuch dieses ebenfalls erläutert. Zudem hatte der Versuchsleiter auf der Beifahrerseite ein zweites Bremspedal um gegebenenfalls einzugreifen.

Die Probanden bewerteten die Anzeigen subjektiv durch Fragebögen und zusätzlich wurden objektive Daten erfasst. Nach jeder Fahrt mit einem der beschriebenen Anzeigekonzepte bewerteten die

Probanden das Konzept mit dem NASA TLX Fragebogen, der den Workload der Aufgabe misst. Der AttrakDiff Fragebogen (Hassenzahl 2003) misst die pragmatische Qualität, die Gebrauchstauglichkeit, und die hedonistische Qualität, die sich aus Stimulation und Identität zusammensetzt. Nach dem gesamten Versuch bildeten die Probaten Rangreihen der Anzeigeconzepte hinsichtlich Ablenkung, Sicherheitsgefühl und Verfügbarkeit von Informationen. Zu den gemessenen objektiven Daten zählt der Lenkwinkel als Fahrperformancewert, den die Probanden erzeugten. Um eine Verhaltensänderung der Probanden in den kritischen Situationen feststellen zu können, wurden bei den durch das Vorderfahrzeug erzeugten Übernahmeaufforderungen verschiedene Messwerte aufgenommen: Ob der Proband bereits vor der Übernahmeaufforderung selbst übernimmt oder erst nach der Aufforderung. Dies sollte zeigen, ob sich die Probanden mit in Abhängigkeit der verfügbaren Informationen anders verhalten oder ob sie durch die Anzeigen von der eigentlichen Fahrsituation abgelenkt wurden. Bei Übernahme der Probanden vor der Übernahmeaufforderung wurden auch die Kritikalität des ACC und der max. Bremsdruck gemessen. Die Kritikalität ist hier eine Systemgröße des ACC die den rot-grün Bereich im Kombi bestimmt und sich aus Abstand, Geschwindigkeit und Beschleunigung errechnet. So kann gemessen werden, ob die Probanden in diesen Situationen bei einer anderen Kritikalität eingreifen, oder ob sie stärker Bremsen wenn sie von der Situation überrascht wurden.

ERGEBNISSE

Für die statistische Analyse wurde ein Signifikanzniveau von $\alpha=0,05$ festgelegt. In den Darstellungen ist ein signifikanter Unterschied mit Pfeilen gekennzeichnet. Kugelbalken bedeuten, dass die Werte sich nicht signifikant unterscheiden. Wird kein Balken gezeigt, so bedeutet dies, dass keine statistische Aussage getroffen werden kann.

Zuerst soll gezeigt werden, dass das die gewünschten Effekte der Anzeigeconzepte zutreffend sind – also ACC-high mehr stimuliert als ACC-low. Hierzu zeigt die Auswertung des AttrakDiff-Fragebogen bei der Stimulation von ACC-high einen signifikant höheren Wert als ACC-low und beide kontaktanalogen Anzeigeconzepte sind auch signifikant stimulierender als das Kombiinstrument (Abbildung 3).

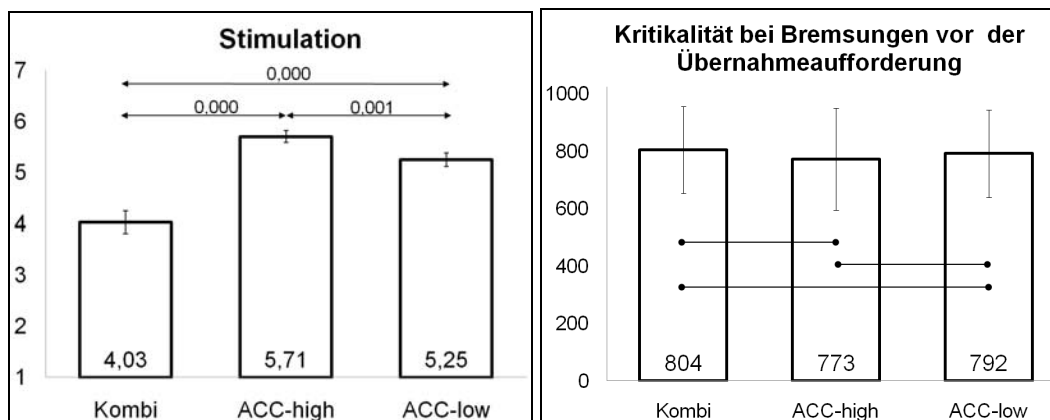


Abbildung 3: Stimulation der Anzeigeconzepte aus dem AttrakDiff Fragebogen und Kritikalität bei der Bremsung vor der Übernahmeaufforderung

Die Rangreihe bezüglich der subjektiven Ablenkung lautet: ACC-low < ACC-high < Kombi. Hier unterscheidet sich ACC-low vom Kombi signifikant, während zwischen ACC-low und ACC-high kein signifikanter Unterschied festzustellen ist (Abbildung 4). Gestützt wird dies auch durch das subjektive Sicherheitsgefühl der Probanden während des Versuchs mit den jeweiligen Anzeigen. Hier ist die Reihenfolge: ACC-high > ACC-low > Kombi. Die kontaktanalogen Anzeigen werden, genau wie bei der Ablenkung, besser bewertet als das Kombiinstrument, wobei hier ACC-high vor ACC-low ist (Abbildung 4). Dieser Effekt lässt darauf schließen, dass mehr Informationen zu einem besseren Sicherheitsgefühl führen.

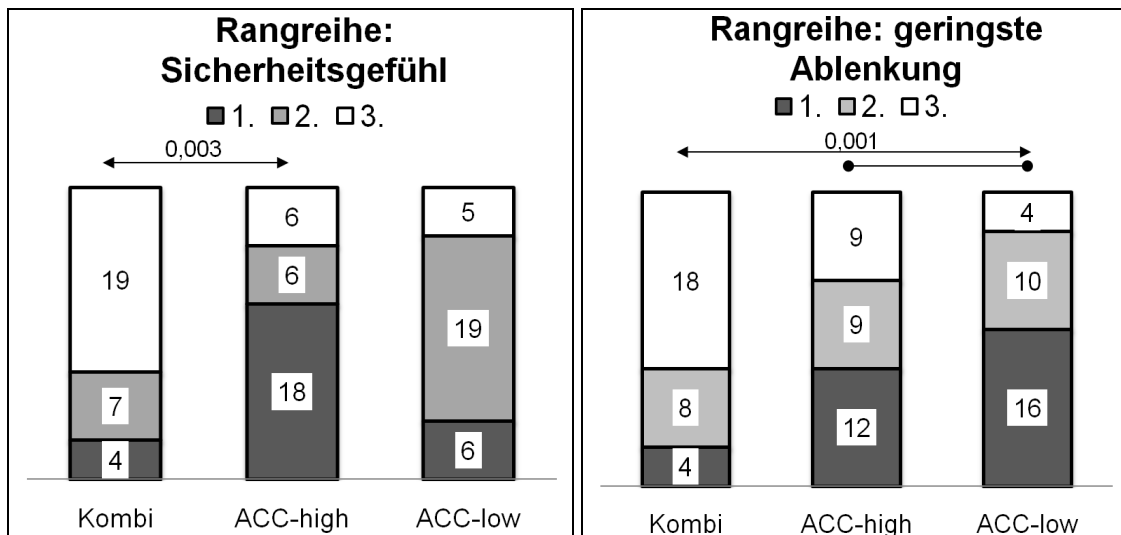


Abbildung 4: Rangreihen der Probanden nach Sicherheitsgefühl und geringster Ablenkung

Eine Auswirkung der Anzeigen auf die Fahrperformance ist nicht festzustellen. Die Standardabweichung des Lenkwinkels (Abbildung 5) zeigt, dass die einzelnen Konzepte sich nicht signifikant unterscheiden. Auch das Eingreifen der Probanden vor der eigentlichen Übernahmeaufforderung geschieht bei einer sich nicht signifikant unterscheidenden Kritikalität. Dies lässt schließen, dass die Probanden eine individuelle Risikobereitschaft haben, bei der sie das Bremsen selbst übernehmen. Dies wird auch nicht von mehr oder weniger Informationen zur Fahrsituation beeinflusst.

Der NASA TLX Workloadindex zeigt bei jeder Frage den gleichen Effekt: Die beiden kontaktanalogen Anzeigen sind jeweils signifikant besser als das Kombiinstrument und zwischen ACC-high und ACC-low ist kein signifikanter Unterschied festzustellen (Abbildung 5). Generell ist ein großer Unterschied im Overall Workload festzustellen – Kombiinstrument 39, ACC-high 21, ACC-low 20. Ob dieser große Unterschied durch die kontaktanaloge Darstellung oder generell durch die Darstellung im Head-up Display entsteht, kann aber nicht ausgesagt werden. Dies könnte auch von der kürzeren Blickabwendung durch das Head-up Display kommen und müsste durch einen weiteren Versuch geklärt werden.

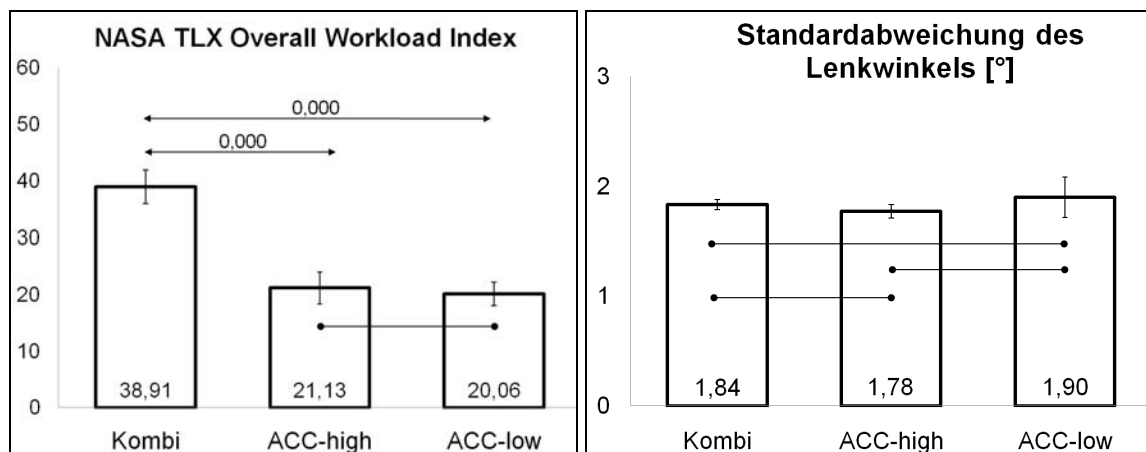


Abbildung 5: Der NASA TLX Overall Workload Index und die Standardabweichung des Lenkwinkels

Der AttrakDiff Fragebogen zeigt bei der pragmatischen Qualität und der Attraktivität einen signifikanten Unterschied der beiden kontaktanalogen Anzeigen zum Kombiinstrument. Die beiden kontaktanalogen Anzeigekonzepte weisen keinen signifikanten Unterschied auf. Bei der hedonistischen Qualität zeigt sich jedoch ein signifikanter Unterschied zwischen allen Anzeigekonzepten.

Die Rangreihe des Gesamteindrucks lautet: ACC-high > ACC-low > Kombiinstrument. Betrachtet man diese Präferenzen nach weiteren Merkmalen, zeigt sich, dass die älteren Probanden der Stichprobe und die Probanden ohne Head-up Display Erfahrung das ACC-high Konzept bevorzugen. Dies lässt sich durch das bessere Sicherheitsgefühl erklären. Dagegen bevorzugen Probanden mit mehr ACC Erfahrung das ACC-low Konzept, aus den Gründen der geringeren subjektiven Ablenkung und der besseren subjektiven Fahrperformance. Die unterschiedliche Präferenz der beiden Benutzergruppen weist somit darauf hin, dass ein kontaktanaloges Anzeigeinstrument konfigurierbar gestaltet werden müsste.

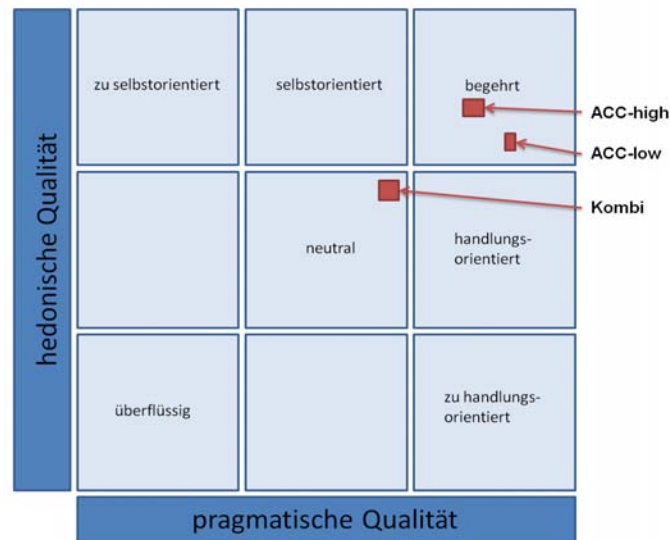


Abbildung 6: AttrakDiff Matrix mit Mittelwerten und Konfidenz-Rechteck (Israel 2010)

Abschließend kann gesagt werden, dass sich eine kontaktanaloge ACC Anzeige im Head-up Display, stimulierend, wenig ablenkend und nicht negativ auf die Fahrperformance auswirkt, aber im Vergleich zum Kombiinstrument den Workload signifikant verringert. Diese Ergebnisse ebnen den Weg, um den Fahrer mit Anzeigen im kontaktanalogen Head-up Display zu stimulieren. Mit diesen Augmented Reality Anzeigen kann der Fahrer „in the loop“ gehalten werden, während gleichzeitig der Workload der Überwachungsaufgabe verringert werden kann. Auch können diese Anzeigen das Systemvertrauen und das Situationsbewusstsein des Fahrers verbessern. Die Funktion neuer Fahrerassistenzsysteme kann dem Fahrer schneller verdeutlicht werden und die Attraktivität der Fahrerassistenz steigt. So ermöglichen die Anzeigen im kontaktanalogen Head-up Display dem Fahrer die steigende Assistenz auf dem Weg zum autonomen Fahren optimal überwachen zu können.

QUELLEN:

- Bergmeier, 2009: Kontaktanalog markierendes Nachtsichtsystem - Entwicklung und experimentelle Absicherung, Dissertation Lehrstuhl für Ergonomie, Technische Universität München.
- Bubb, 1976: Untersuchung über die Anzeige des Bremswegs im Kraftfahrzeug, Forschungsbericht aus der Wehrtechnik BMVg – FBWT 76-7.
- Bubb, Bolte, 1986: Head-up Display im Kraftfahrzeug, Professur für Arbeitswissenschaften, Katholische Universität Eichstätt.
- Hassenzahl, Burmester, & Koller, 2003: AttrakDiff: Ein Fragebogen zur Messung wahrgenommener hedonischer und pragmatischer Qualität, in: J. Ziegler & G. Szwillus (Hrsg.), Mensch & Computer 2003. Interaktion in Bewegung, 187-196, Stuttgart, Leipzig: B.G. Teubner.
- Israel, 2010: Contact analog Information in the Head-up Display – How much information supports the driver?, AHFE 2010 Conference book, Taylor & Francis, Ltd. London.
- Nakamura, et al. 2004: „Windshield Display for Intelligent Transport System“, Proceedings of the 11th World Congress on Intelligent Transportation Systems, Nagoya, Japan.
- Schneid, 2008: Entwicklung und Erprobung eines kontaktanalogen Head-up-Displays im Fahrzeug, Dissertation Lehrstuhl für Ergonomie, Technische Universität München.