

Haptisches Feedback im Spektrum von Fahrerassistenz und Automation

Dipl.-Psych. Anna Schieben*, Dipl.-Ing. Daniel Damböck[†], Dipl.-Ing. Johann Kelsch*,
Dr.-Ing. Herbert Rausch[†], Dr.-Ing. Frank Flemisch*

* Institut für Verkehrssystemtechnik
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Lilienthalplatz 7, 38118 Braunschweig
[†] Lehrstuhl für Ergonomie
Technische Universität München, Boltzmannstraße 15, 85747 Garching
Kontakt: anna.schieben@dlr.de

1. Einleitung

Im Automobilbereich wird immer zuverlässigere maschinelle Sensorik für den Einsatz in Fahrzeugen verfügbar. Dies ermöglicht es, dass immer vielfältigere Fahrerassistenzsysteme entwickelt und verwendet werden, die vor Gefahren warnen (z.B. Spurverlassenswarner), im Notfall aktiv eingreifen (z.B. Notbremsassistent) und/oder Anteile der Fahrzeugführung aktiv übernehmen (z.B. Adaptive Cruise Control ACC, Lane Keeping Assistant System LKAS). Besonders bei den aktiv eingreifenden Systemen wird die Entwicklungstendenz deutlich, einzelne Funktionen der Fahrzeugführung vollständig zu automatisieren. Vereinzelt wird zu Demonstrationszwecken der Mensch bereits ganz aus der Fahrzeugführung genommen, wie zum Beispiel bei den Fahrzeugen der DARPA Urban Challenge 2007. Insgesamt birgt diese Entwicklung Chancen, aber auch Risiken und Fragen. So hat in der Luftfahrt, in der hochautomatisierte Systeme durch die geringere Umgebungskomplexität schon früher möglich waren, die Automatisierung einerseits zu einem hohen Sicherheitsniveau, andererseits zu Problemen in der Bedien- und Verstehbarkeit geführt. Für den Piloten ist es mitunter schwierig, das Situationsbewusstsein aufrecht zu erhalten und die Aktionen der Automation zu verstehen und vorherzusagen. Zudem kann es zur Verwechslung der Automationszustände kommen (*mode confusion*), so dass die Handlungen des Piloten nicht mit den Anforderungen der Automation übereinstimmen (Endsley & Kiris, 1995; Sarter & Woods, 1995; Wiener, 1989). Weiterhin wurde durch die Automatisierung in der Luftfahrt zwar die Beanspruchung (*workload*) reduziert, dies ging jedoch soweit, dass Operateure von "99% Langeweile, 1 % Panik" sprachen (Kraiss, 1994). Eine Reihe von Problemen wurde durch Automatisierung gelöst, einige Probleme vor allem bei der Interaktion zwischen Mensch und Automation wurden dagegen neu geschaffen.

Der folgende Beitrag zeigt konkrete Lösungsmöglichkeiten für die Interaktion zwischen Fahrer und intelligentem Fahrzeug auf, die die oben beschriebenen Probleme aus der Luftfahrt möglicherweise reduzieren oder verhindern. Die Kommunikation über den haptischen Wahrnehmungskanal des Menschen ist dabei für alle Ausprägungen der Automation ein zentraler Bestandteil. In Kapitel 2 wird zunächst auf die unterschiedlichen Ausprägungsgrade der Fahrzeugautomation eingegangen, um in Kapitel 3 zu beschreiben, wie haptische Interaktion in all diesen Bereichen der Automation sinnvoll eingesetzt werden kann. Kapitel 4 beschäftigt sich mit der Definition von aktiven Stellteilen, die verwendet werden, um haptische Kommunikation zwischen Fahrer und Fahrzeug zu ermöglichen. Im zweiten Teil des Beitrags (Kapitel 5) wird dann eine Forschungskooperation des Lehrstuhls für Ergonomie der TU München (TUM-LfE) mit dem Institut für Verkehrssystemtechnik des DLR e.V. (DLR-ITS) im Rahmen des DFG Projekts H-Mode II vorgestellt, welche die Entwicklung einer haptisch-multimodalen Interaktionssprache für hochautomatisierte Fahrzeuge zum Ziel hat. Zwei Beispiele beschreiben die praktische Umsetzung der zuvor theoretisch erläuterten Konzepte.

2. Aktuelle Entwicklungen im Spektrum von Assistenz und Automation

Betrachtet man die aktuellen Entwicklungen im Bereich der Fahrerassistenz, so wird deutlich, dass die Assistenzsysteme inzwischen nicht mehr ausschließlich beim Fahren assistieren, sondern bereits weiterreichende Funktionen der Fahrzeugsteuerung übernehmen. Einige Spurhalteassistenten sowie automatische Einparkhilfen übernehmen beispielsweise autonom die Lenkung des Fahrzeuges in definierten Situationen. Damit wird bereits eine Entwicklung hin zur Automatisierung im Fahrzeug deutlich, die momentan noch unter der Bezeichnung Assistenzsystem geführt wird. Während die Automatisierungstendenzen heute vor allem Einzelfunktionen betreffen, ist es im Zuge der weiteren technischen Entwicklung vorstellbar, dass ein und dasselbe Fahrzeug zukünftig in der gesamten Fahrzeugführung sowohl in manuellen, assistierten als auch in höher automatisierten Zuständen gefahren werden kann.

Diese Überlegung spannt ein Automationsspektrum auf, welches von manuellem über assistiertes, teil- und hochautomatisiertes Fahren bis hin zur Vollautomation reicht (Abb. 1). Erkennbar wird bereits hier, dass für Fahrzeuge, die in unterschiedlichen Automationszuständen gefahren werden können, Transitionen zwischen all diesen Zuständen definiert werden müssen. Dabei kann die Kontrolle über das Fahrzeug sowohl vom Fahrer hin zur Automation verschoben werden, als auch von der Automation hin zum Fahrer. Wichtig ist es, bei der Gestaltung dieser Transitionen zu berücksichtigen, dass die Verschiebung der Kontrolle sowohl von dem Fahrer als auch von der Automation initiiert werden kann. In heutigen Fahrzeugen lässt sich dies beispielhaft zeigen: Schaltet der Fahrer das Adaptive Cruise Control System ein, initiiert der Fahrer die Transition und verschiebt die Kontrolle in Richtung Automation. Kann das Adaptive Cruise Control System auf eine bestimmte Situation nicht reagieren, gibt das System eine Warnung aus und verschiebt die Kontrolle in Richtung des Fahrers. Diese Transition ist dann durch die Automation initiiert. Anders läge der Fall, wenn der Fahrer das Adaptive Cruise Control System ausschaltet. Auch hier wird die Kontrolle in Richtung des Fahrers verschoben, allerdings ist diese Transition durch den Fahrer ausgelöst. Die Transitionen können grundsätzlich im Normalbetrieb, als auch bedingt durch Systemgrenzen oder Systemausfälle auftreten.

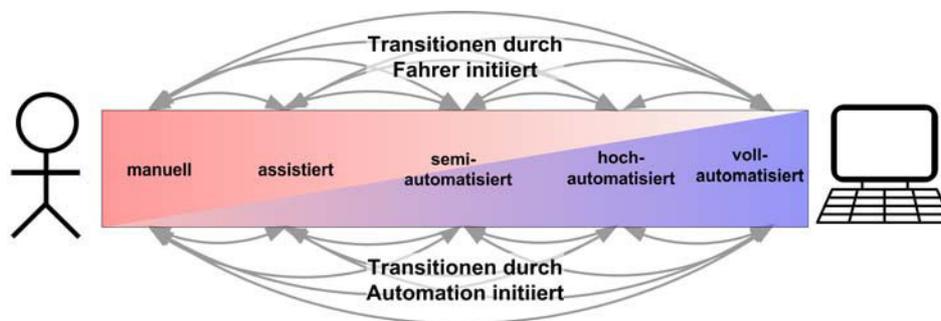


Abb. 1: Schematische Darstellung des Automationsspektrums sowie der Transitionen zwischen den Automationszuständen

Das aufgezeigte Automationsspektrum ermöglicht es grundsätzlich, nicht nur von manuellem oder vollautomatisiertem Fahren zu sprechen, sondern auch die Zwischenbereiche explizit zu benennen. Die Automatisierungsgrade werden durch die unterschiedliche Kombination von Assistenz und Automationsfunktionen definiert. So kann z.B. das Fahren mit einem akustischen Spurverlassenswarner und/oder einer Geschwindigkeitswarnung dem assistierten Fahren zugeordnet werden. Beim semiautomatisierten Fahren greift dagegen ein System in einem definierten Bereich aktiv in die Fahrzeugführung ein; dies ist z.B. der Fall, wenn das ACC aktiviert ist, das LKAS-System dagegen nicht. Das Fahren mit einem ACC und zusätzlich eingeschaltetem LKAS-System fällt dagegen in den Bereich des hochautomatisierten Fahrens. Wichtig für die Definition des hochautomatisierten Fahrens ist es, dass der Fahrer weiterhin in die Kontrolle des Fahrzeuges involviert bleibt. Dies kann z.B. durch die Auslegung des Systems als Hands-on System, so dass der Fahrer weiterhin seine Hand am Lenkrad hält, gewährleistet sein.

Das vollautomatisierte Fahren würde dagegen den Fahrer vollständig von seiner Fahraufgabe befreien und ihn damit als Passagier definieren. Solch vollautomatisierte Fahrzeuge finden sich zum Beispiel unter der Bezeichnung „CyberCars“ in verschiedenen EU-Projekten in der Entwicklung. Diese Fahrzeuge bieten jedoch nicht die Möglichkeit, mit geringerer Automation, also zum Beispiel einem Spurverlassenswarner zu fahren, sondern sind im Spektrum der Automation ausschließlich der Vollautomation zuzuordnen.

3. Informationsvermittlung mittels haptischem Feedback

Für Fahrzeuge, die sowohl in assistierten als auch hochautomatisierte Zuständen gefahren werden können, stellt sich die Frage, wie die Interaktion mit dem Fahrer für alle Automationsbereiche einheitlich gestaltet werden kann. In heutigen Fahrzeugen werden vor allem die akustische und die visuelle Wahrnehmungsmodalität des Menschen genutzt, um über Warntöne, Icons oder Textanzeigen auf aktuelle Systemzustände oder Gefahrensituationen hinzuweisen. Einige neuere Fahrzeuge nutzen zusätzlich zur auditiven und visuellen Modalität auch haptische Rückmeldungen in Form von eingespielten Vibrationen, Kräften oder diskreten Signalen. Im Bereich der Fahrerassistenzsysteme werden haptische Signale von den Automobilherstellern dazu eingesetzt, Warnungen an den Fahrer auszugeben und seine Aufmerksamkeit zu erhöhen. So nutzen zum Beispiel einige Hersteller eine Vibration des Sitzes oder des Lenkrads, um auf ein Spurverlassen aufmerksam zu machen. Aktuelle Entwicklungen gehen noch einen Schritt weiter und nutzen die Haptik auch als Displayfunktion für hochautomatisierte Funktionen des Fahrzeuges. Bei einigen Spurhalteassistenten/Lane Keeping Assistant Systems (LKAS) dreht sich zum Beispiel das Lenkrad entsprechend den Lenkeingaben der Automation mit. Die Systeme sind als Hands-on Systeme ausgelegt, so dass der Fahrer diese Lenkradbewegungen mit vollzieht und so die Einwirkungen der Automation mit Hilfe der haptischen Rückmeldung überwacht.

Verschiedene Studien untersuchen die Wirksamkeit von haptischem Feedback in der Fahrzeugführung. In den Studien von Griffith und Gillespie (2005) sowie Steele und Gillespie (2002) wurde haptisches Feedback direkt auf dem Lenkrad des Fahrzeuges eingespielt, um den Fahrer in der Querverführung des Fahrzeugs zu unterstützen. Die Ergebnisse zeigen, dass sich durch das haptische Feedback die Fahrleistung erhöhen lässt und gleichzeitig die visuellen Anforderungen der Fahraufgabe verringert werden. Weiterhin zeigte sich die Tendenz, dass Zweitaufgaben bei haptischer Unterstützung der Fahraufgabe besser bearbeitet werden können.

Bolte (1991) konnte experimentell und theoretisch nachweisen, dass für eine Spurführungsaufgabe ein Stellteil mit aktiver haptischer Wegrückmeldung einen signifikant stabileren Regelkreis darstellt, im Vergleich mit einer konventionellen Lenkradsteuerung, die überwiegend auf visueller Rückmeldung basiert. Die Hauptursache dafür liegt in den deutlich kürzeren Wahrnehmungs- und Reaktionszeiten des Menschen auf haptische Reize, was sich regelungstechnisch in nur halb so langen Totzeiten ausdrückt.

Penka (2001) und Eckstein (2001) erprobten aktive Stellteile in Fahrzeugen und zeigten, dass die haptische Rückmeldung die Beanspruchung der Probanden senkt, oft die Fahrleistung verbessert und in Verbindung mit Fahrerassistenz die Akzeptanz erhöht.

Lange (2008) untersuchte u.a. die Wirkung eines aktiven Gaspedals und stellte fest, dass die „haptische Assistenz“ an Gaspedal und Lenkrad einen sehr positiven Effekt auf die Geschwindigkeits- und Spurhaltung hat und darüber hinaus zu einer deutlichen Reduzierung der empfundenen Beanspruchung führt.

Im Spektrum von Fahrerassistenz und Automation bietet die Nutzung des haptischen Informationskanals im Vergleich zu visuellen oder akustischen Signalen verschiedene Vorteile:

Direkter Bezug zum Stellteil

Haptisches Feedback bietet den Vorteil, dass direkt auf dem Stellteil gewarnt werden kann, auf dem eine Reaktion des Fahrers erforderlich ist. Dies trifft zum Beispiel bei einer Vibration des Lenkrads im Falle einer Spurverlassenswarnung zu. Mit visuellen und akustischen Rückmeldungen lassen sich dagegen nur schwer direkte Bezüge zum Stellteil herstellen.

Kopplung von Anzeige und Handlung

Durch haptisches Feedback kann direkt auf dem entsprechenden Stellteil im Fahrzeug angezeigt werden, welche Handlung durchgeführt werden sollte. Die haptische Rückmeldung kann somit direkt in die Bewegungssteuerung integriert werden. Anzeige und Stellteil können auf diese Weise auch vollkommen kompatibel gestaltet werden. Für Assistenz und Automationssysteme kann dies beispielsweise genutzt werden, um eine Lenkvorgabe in entsprechender Richtung anzuzeigen. Je nach abgedecktem Bereich des Automationsspektrums kann die Vorgabe der Assistenz oder Automation unterschiedlich stark sein.

Bidirektionalität der Interaktion

Haptik stellt nicht nur Informations-, sondern ähnlich wie Sprache, einen bidirektionalen Kommunikationskanal dar. Dies bedeutet, dass Informationen nicht nur vom Assistenz- oder Automationssystem zum Fahrer sondern ebenfalls vom Fahrer zum Assistenz- oder Automationssystem gegeben werden können. Dies trifft vor allem für die Eingabe von Kräften zu. Ein Fahrer kann zum Beispiel eine Kraftschwelle auf dem Gaspedal, welche ihn auf das Übertreten der Geschwindigkeit hinweisen soll, übersteuern und somit zum Beispiel die Abschaltung dieser Funktion kommunizieren. Diese Funktion ist vor allem für höherautomatisierte Zustände relevant, bei welchen es zu Konflikten zwischen Vorgaben des Assistenz- oder Automationssystems und denen des Fahrers kommen kann. In solchen Konfliktfällen ist die Aushandlung einer gemeinsamen Vorgabe innerhalb kürzester Zeit notwendig, um die Sicherheit des Gesamtsystems Fahrer-Fahrzeug zu gewährleisten. Unter dem Schlagwort „Arbitrierung“ wird am DLR-ITS erforscht, welche Möglichkeiten haptische Kommunikation bietet, um diese Aushandlung zu unterstützen.

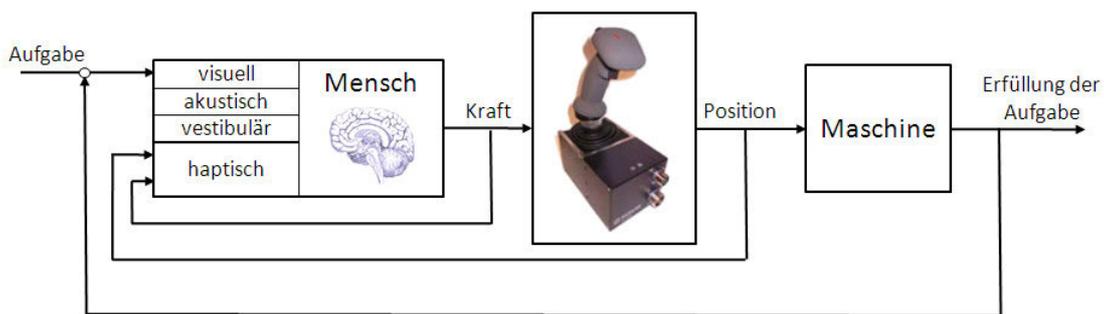
4. Nutzung von aktiven Stellteilen für haptisches Feedback

Um alle Vorteile der haptischen Rückmeldungen im Fahrzeug nutzen zu können, bietet sich der Einsatz von aktiven Stellteilen an. Allgemein zeichnen sich aktive Stellteile durch die Eigenschaft aus, selbst Kräfte generieren zu können. Dazu enthalten sie aktive Elemente, wie z.B. Elektromotoren. Die damit erzeugten Kräfte spürt der Mensch am Stellteil. Durch eine gezielte Ansteuerung des aktiven Stellteils kann man dem Fahrer somit Informationen über den haptischen Wahrnehmungskanal übermitteln.

Der Einsatz dieser Stellteile wird in heutigen Fahrzeugen durch die fortgeschrittene Entwicklung der Technik ermöglicht. In der Vergangenheit waren die Anzahl und die Gestaltung von Bedienelementen, mit denen der Fahrer auf die Fahrzeuggeschwindigkeit und -richtung einwirkt, stark durch technische Randbedingungen geprägt. Die Form des Lenkrads im Automobil ergab sich z.B. aus der Notwendigkeit, den Lenkwinkel der Vorderräder über ein Moment am Lenkgetriebe zu variieren. Die Entstehung des Gaspedals ist auf die direkte Steuerung der Drosselklappe über ein Seilzugsystem zurückzuführen, während mit dem Bremspedal durch Aufbringen einer Kraft Bremsdruck erzeugt wird, um das Fahrzeug zu verzögern. Für den Fall eines manuellen Schaltgetriebes erweitert sich die Anzahl der Stellteile noch um ein Kupplungspedal und einen Ganghebel. Für die zweidimensionale Bewegungsaufgabe, die in einem Kraftfahrzeug bewältigt werden muss, sind also aufgrund technischer Gegebenheiten zahlreiche Stellteile notwendig, was dazu führt, dass Autofahren keinen intuitiv beherrschbaren Prozess darstellt, sondern erst erlernt werden muss. Aber nicht nur beim Automobil, sondern auch in der Luftfahrt waren die Bedienelemente lange Zeit durch die Beschränkungen der technischen Lösungen bestimmt.

Inzwischen halten jedoch immer mehr By-wire-Lösungen Einzug in die Systeme. Insbesondere im Luftfahrtsektor zählen sie teilweise bereits jetzt zum Stand der Technik. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass die mechanische Kopplung von Stellteil und dem zu steuernden Objekt durch eine elektronische Verbindung ersetzt wird. Auch im Automobilbau werden Bestrebungen unternommen, verstärkt diese Technik zu nutzen. Auf der einen Seite bietet eine Entkopplung des Stellteils von den mechanischen Rahmenbedingungen eine Reihe von Vorteilen: Sie ermöglicht eine völlige Neugestaltung der Schnittstelle zwischen Fahrer und Fahrzeug, nicht mehr auf Grundlage technischer Restriktionen, sondern vielmehr auf Basis ergonomischer Gestaltungsmaximen. Anzahl, Geometrie und Anordnung der Bedienelemente wie auch deren Parametrisierung können hinsichtlich Anthropometrie und Systemergonomie optimiert werden. Es können gezielt die für die Erfüllung der Aufgabe relevanten Informationen rückgemeldet werden. Beim Beschleunigen wäre dann etwa die aktuelle Geschwindigkeit und nicht die Stellung der Drosselklappe als Rückmeldung denkbar.

Auf der anderen Seite jedoch führt der Wegfall der mechanischen Kopplung auch zu einer Reduktion des Informationsflusses. Informationen werden nicht mehr bidirektional sondern nur noch unidirektional vom Menschen an die Maschine übertragen, während eine Rückmeldung des Systemzustands nicht mehr erfolgt. Aussagen über die Dynamik des von ihm beeinflussten Systems sind allerdings nicht möglich (Abb. 2). Spürt z. B. der erfahrene Fahrer am mechanisch gekoppelten Lenkrad noch an der „Leichtgängigkeit“ die Reibverhältnisse auf der Strasse, so liefert ein „by-wire“ System zunächst keine derartigen Informationen mehr.



**Abb. 2: Konventionelles, passives Bedienelement, ohne aktive Rückführung des Systemzustandes
Haptische Rückmeldung beschränkt sich auf die Stellteilcharakteristik**

Dies hat sich in der Vergangenheit als problematisch erwiesen, da es dem Menschen dadurch erschwert wird, das Verhalten des Systems einzuschätzen. Durch den Einsatz aktiver Bedienelemente können dem Menschen über den haptischen Kanal gezielt Informationen über das dynamische Verhalten des Systems vermittelt werden.

Grundsätzlich müssen bei aktiven Bedienelementen aus technischer Sicht zwei Konzepte unterschieden werden: kraft- und positionsreflektierende Bedienelemente (Eckstein, 2001; Penka, 2001). Bei kraftreflektierenden Bedienelementen stellt der vom Nutzer vorgegebene Weg bzw. Stellteilwinkel die Sollwertvorgabe für das zu regelnde System dar. Als Rückmeldegröße dient eine dem Systemzustand entsprechende Kraft. Beispielsweise kann durch das Aufschalten einer auslenkungsproportionalen Kraft eine Federkennlinie mit Massen- und Dämpfungskräften simuliert werden. Der Vorteil dieses Prinzips liegt in der variablen Gestaltung der Charakteristik dieses Masse-Feder-Dämpfer-Systems. Damit kann dem Bediener in Abhängigkeit vom Regelstreckenverhalten eine Rückmeldung über den Systemzustand bzw. die Systemdynamik gegeben werden (Abb. 3).

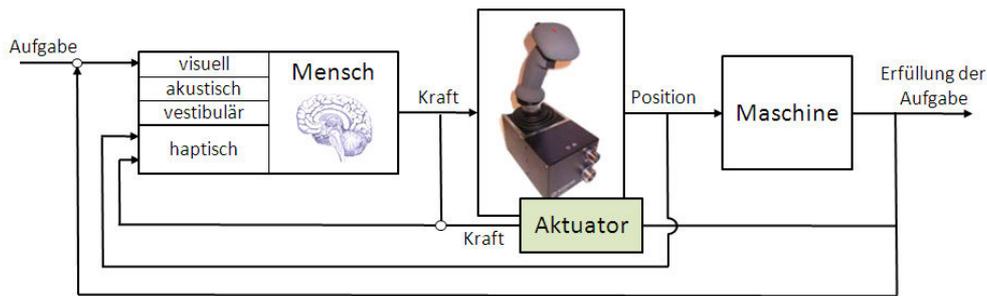


Abb. 3: Aktives Stellteil mit Krafterückmeldung des Systemzustandes

Dem Stellteil mit Krafterückmeldung gegenüber steht das positionsreflektierende Bedienelement. Als Sollwertvorgabe für die Regelstrecke dient hier die Kraft, die vom Nutzer auf das Stellteil ausgeübt wird. Der Systemausgang bzw. die Systemdynamik wird über den Weg bzw. den Winkel des Stellteils rückgemeldet (Abb. 4).

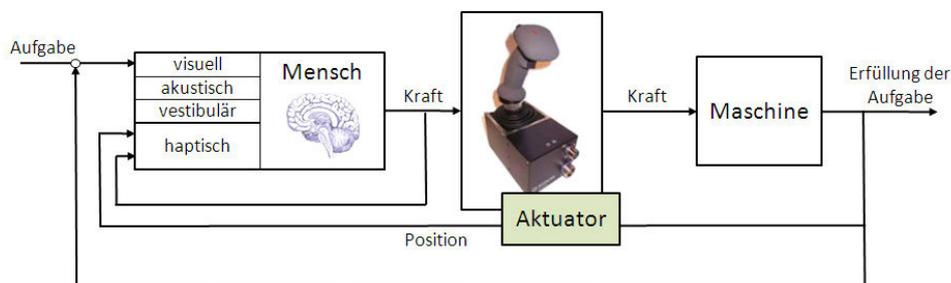


Abb. 4: Aktives Stellteil mit Positionsrückmeldung des Systemzustandes

Dies hat den Vorteil, dass der Mensch hochgeübte Handlungsmuster anwenden kann, da auch bei der direkten Handhabung von Objekten die vom Menschen ausgeübte Kraft die Ursache und die Positionsänderung das Ergebnis einer Bewegung darstellt.

Sowohl die kraft-, wie auch die positionsreflektierende Variante von aktiven Bedienelementen eignen sich also nicht nur dazu, die Reduktion des Informationsflusses aufgrund der mechanischen Entkopplung zu kompensieren. Vor allem ermöglichen sie eine gezielte Rückmeldung der Größen, die der Bediener braucht, um seine Aufgabe zu erfüllen. Weiterhin bieten aktive Stellteile die Möglichkeit, Signale unterschiedlicher Art zu übermitteln. Beispielsweise können über kontinuierliche Kraft-Weg-Verläufe Steuerempfehlungen gegeben werden oder der Fahrer kann durch kurze Kraftimpulse auf besondere Ereignisse hingewiesen oder durch eine Vibration vor einer Systemgrenze oder einer Gefahr aus der Umwelt gewarnt werden.

5. Entwicklung einer haptisch-multimodalen Interaktionssprache für hochautomatisierte Fahrzeuge

Im Rahmen des DFG-Projekts H-Mode II nutzen wir die oben beschriebenen aktiven Stellteile, um ein haptisch-multimodales Interaktionskonzept für Fahrer und hochautomatisierte Fahrzeuge zu entwickeln. Sowohl das TUM-LfE als auch das DLR-ITS wirken an der Erforschung und Gestaltung dieses Konzeptes mit. Kernstück der Arbeit sind aktive Stellteile, wie Sidesticks, Lenkräder und Pedale, die eine haptische Kommunikation zwischen Fahrer und Fahrzeug ermöglichen. Diese haptische Kommunikation wird mit visuellen und akustischen Signalen angereichert.

Vorbild für die Gestaltung des Interaktionskonzeptes im Sinne einer Designmetapher, ist das Pferd, beziehungsweise die Interaktion zwischen Pferd und Reiter oder Pferd und Kutscher (Flemisch et al., 2003). Diese Metapher wird „H-Metapher“ genannt, wobei H sowohl für „Horse“ (dtsch.: Pferd) als auch für „Haptik“ steht. Die Umsetzung dieser Metapher in ein konkretes

Interaktionsdesign bezeichnen wir als H-Mode. Die H-Metapher ermöglicht es, über verschiedene Submetaphern oder Teilaspekte, Richtungen für das Design der Interaktion vorzugeben.

Ein Teilaspekt der H-Metapher ist das Konzept „Tight Rein/Loose Rein“ (dtsch: kurze/lange Zügel). Dieses Konzept beschreibt, wie stark das Fahrzeug bzw. der Fahrer in die Fahrzeugführung eingreift. Ausgehend von dem in Kapitel 2 dargestellten Automationsspektrum kann eine Automation nicht nur ein- oder ausgeschaltet sein, sondern es können mit Tight Rein und Loose Rein zwei Bereiche des Automationsspektrums beschrieben werden (Abb. 5). Tight Rein ist dabei eher auf der linken Seite des Spektrums angesiedelt. Es deckt den Bereich des assistierten bzw. niedrig automatisierten Fahrens ab. Im Bereich Tight Rein hat der Fahrer, analog zu einem Kutscher oder Reiter, der die Zügel fest in der Hand hält, mehr Einfluss auf die Fahrzeugführung als die Automation. Loose Rein ist dagegen eher dem rechten hochautomatisierten Teil des Spektrums zugeordnet. Die Automation übernimmt hier wesentlich stärker als in Tight Rein die Kontrolle über das Fahrzeug.

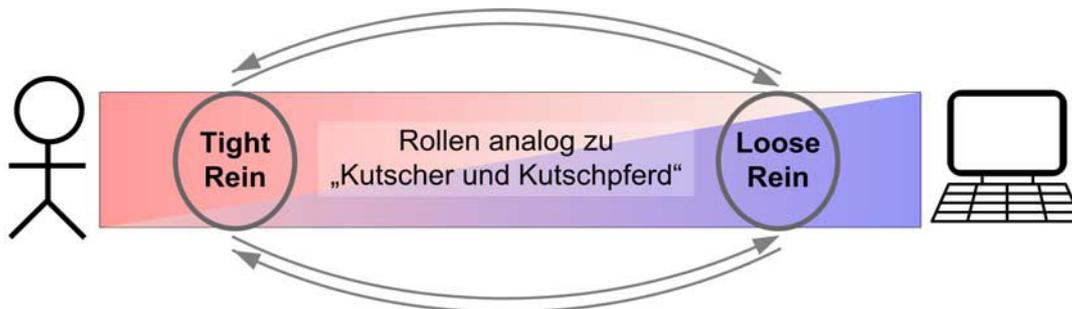


Abb. 5: Schematische Darstellung des Konzeptes Tight Rein/Loose Rein der H-Metapher sowie Zuordnung des Konzeptes zum Automationsspektrum

Im Folgenden sollen nun zwei Teilaspekte des Projekts H-Mode II des TUM-LfE und des DLR-ITS näher vorgestellt werden, die sich mit der Auslegung der beiden Automationsfunktionen Tight Rein und Loose Rein beschäftigen. Sowohl das TUM-LfE als auch das DLR-ITS arbeiten mit einer explorativen Vorgehensweise, die gezielt die Theatersystemtechnik einsetzt, um Erwartungen von potentiellen Nutzern zu erfassen und die Automationsfunktionen zu entwickeln. Die Theatersystemtechnik im Sinne dieses Beitrages ist eine Weiterentwicklung der Wizard-of-Oz-Technik. Kern des Theatersystems sind zwei gekoppelte aktive Eingabemedien, die es erlauben, a) das Interaktionsdesign im Dialog explorativ zu entwickeln und b) das Design frühzeitig mit potentiellen Nutzern zu testen, in dem die Interaktion zunächst von einem Mitglied des Designteams (*Confederate*) über eines der Eingabemedien eingespielt wird (Schomerus, Flemisch, Kelsch, Schieben, & Schmunzsch, 2006).

Schwerpunkt der vorgestellten Arbeiten ist die Entwicklung einer haptischen Kommunikation zwischen Fahrer und Automation, die über aktive Stellteile vermittelt wird. Als aktives Stellteil wurde in den hier vorgestellten Forschungsarbeiten jeweils ein aktiver Sidestick für die Fahrzeugführung gewählt. Dargestellt werden zum einen die Entwicklung einer Geschwindigkeitsregelung, zum anderen die Entwicklung einer kombinierten Quer- und Längsführungsautomation. Beide Automationsfunktionen werden in der Auslegung sowohl für Tight Rein als auch für Loose Rein konzeptionell und softwareprototypisch beschrieben. Erste Ergebnisse einer Studie zur Überprüfung des Prototyps am DLR-ITS werden vorgestellt.

5. a Entwicklung eines Interaktionskonzepts für die Geschwindigkeitsregelung am TUM-LfE

Vorgehensweise bei der Exploration

Vorangegangene Explorationen des DLR-ITS in Braunschweig und NASA Langley beschäftigten sich mit der Auslegung unterschiedlicher Automationsfunktionen, ausgehend von eindimensionalen Längsführungsaufgaben hin zu einer gekoppelten Längs- und Querführung. Im Fall der zweidimensionalen Fahraufgabe lag das Hauptaugenmerk des DLR-ITS auf der Gestaltung der Interaktion für die Querführung. Speziell die Teilaspekte Spurhaltung und Spurverlassen im Regelfall und unter Konfliktsituationen waren dort von Interesse (Kelsch, Flemisch, Löper, Schieben, & Schindler, 2006).

Die aktuelle Exploration am TUM-LfE ergänzt das vorhandene Konzept um einen Interaktionsprototypen, der die Längsführung in unterschiedlichen Automatisierungsgraden detailliert beschreibt. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf der Geschwindigkeitsregelung bei unterschiedlichen Zielgeschwindigkeiten von Fahrer und Automation. Basierend auf der Idee der H-Metapher werden explorativ verschiedene haptische Interaktionsformen als Teil einer zukünftigen haptisch-multimodalen Interaktionssprache „H-Mode“ entworfen und getestet.

Die Exploration erfolgt, wie bereits erwähnt, im Theatersystem mit aktiven Sidesticks als Eingabemedien. In einer Vorversuchsphase wird zunächst die Erwartungshaltung von Mitarbeitern und Studenten abgefragt wie ein hochautomatisiertes Fahrzeug bei der Aufgabe Geschwindigkeitsregelung nach der H-Metapher zu bedienen sein sollte („Was würden Sie in dieser Situation erwarten, wenn Ihr Fahrzeug sich wie ein gutmütiges, trainiertes Pferd verhält?“). Dazu werden Konfliktsituationen gezielt provoziert und untersucht. Auf Basis dieser Befragung wird ein vorläufiges Interaktionsdesign entwickelt und in einen Software-Prototyp umgesetzt.

Dieser Interaktions-Prototyp wird anschließend in einem Usability Assessment mit 12 Versuchspersonen untersucht. Die grundlegende Fragestellung hierbei lautet, ob das in der Vorversuchsphase entwickelte Interaktionskonzept für die Geschwindigkeitsregelung eine intuitive Kommunikation zwischen Mensch und Automation ermöglicht. Dafür wird auch bei den Probanden zunächst explorativ abgefragt, welche Rückmeldungen sie von einem hochautomatisierten Fahrzeug gemäß der H-Metapher erwarten. Anschließend wird experimentell ermittelt, wie die Versuchspersonen mit dem in der Vorversuchsphase entwickelten Interaktionsprototypen zu Recht kommen, und wie sie die Interaktionen bewerten und akzeptieren. Die Beurteilung erfolgt anhand von Fragebögen und Fahrdynamikdaten, die aus der Simulation gewonnen werden können. Aufbauend auf den Ergebnissen des Usability Assessments kann der Prototyp angepasst und weiterentwickelt werden.

Entwicklung des Interaktionsdesigns

Die Grundlage für die Entwicklung eines Interaktionsdesigns bildet die Überlegung, welche Zielzustände, ausgehend von einem bestehenden Ist-Zustand, angestrebt werden können. Bei der betrachteten Aufgabe „Geschwindigkeitsregelung“ entspricht der Ist-Zustand der aktuell gefahrenen Geschwindigkeit. Ihm stehen die drei möglichen Zielzustände gegenüber: höhere, niedrigere aber auch konstante Geschwindigkeit. Aus den Zielzuständen lässt sich der Wunsch des Fahrers, bzw. der Automation ableiten, das Fahrzeug zu beschleunigen, zu verzögern oder bei konstanter Geschwindigkeit zu halten (Abb. 6). Über die haptische Schnittstelle werden diese Wünsche dem jeweiligen Partner (Fahrer, Automation) mitgeteilt.

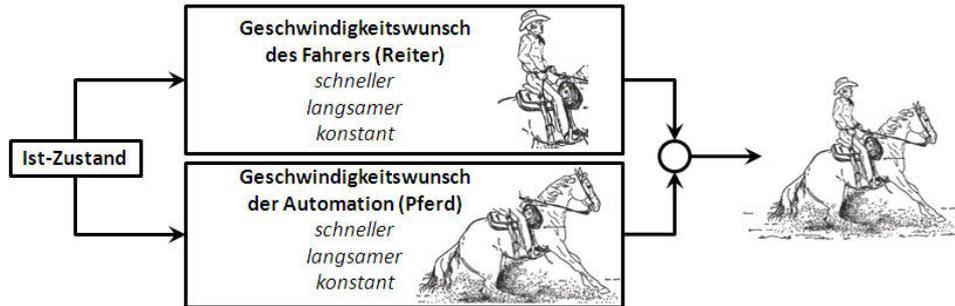


Abb. 6: Entwicklung der resultierenden Geschwindigkeit aus den Wünschen des Fahrers und der Automation

Treten aufgrund unterschiedlicher Situationsinterpretationen sich widersprechende Zielvorstellungen des Fahrers und der Automation auf, müssen diese Konflikte schnell aufgelöst werden. Ziel eines haptisch-multimodalen Interaktionsdesigns muss es demnach sein, eine schnelle Arbitrierung (Verhandlung zwischen dem Menschen und der Automation mit dem Ziel der gemeinsamen Willensbildung siehe auch Kelsch et al., 2006; Löper, Kelsch, & Flemisch, 2008) zu ermöglichen. Als Grundlage dafür ist eine hohe Transparenz bezüglich der Absichten des jeweiligen Partners im Mensch-Maschine-System erforderlich. Die haptische Kommunikation muss also derart ausgelegt werden, dass sowohl der Mensch, als auch eine Kognition besitzende Automation die Handlungen des jeweiligen Partners schnell verstehen, bzw. richtig interpretieren kann.

Am TUM-LfE werden daher für die Aufgabe „Geschwindigkeitsregelung“ Interaktionskonzepte entwickelt, die die beschriebenen Vorgaben erfüllen sollen. Hierbei muss grundsätzlich unterschieden werden, ob das Fahrzeug im assistierten Zustand mit weitgehend manueller Steuerung (Tight Rein) oder im hochautomatisierter Zustand (Loose Rein) gefahren wird. Erste Befragungen zeigen, dass bei reiner Assistenzfunktion (Tight Rein) erwartet wird, dass der Fahrer zu jedem Zeitpunkt die volle Kontrolle über das Fahrzeug hat. Die Automation beschränkt sich darauf, über eine Reihe von Interaktionen (kontinuierliche oder diskrete haptische Signale) Hinweise zu liefern, wie weit die vom Fahrer gewünschte Geschwindigkeit von der von der Automation als zulässig bzw. sicher erachteten Geschwindigkeit abweicht. Vorstellbar ist hier ein geschwindigkeitsabhängiger Kraftverlauf der Interaktion, wie er in Abb. 7 qualitativ dargestellt ist.

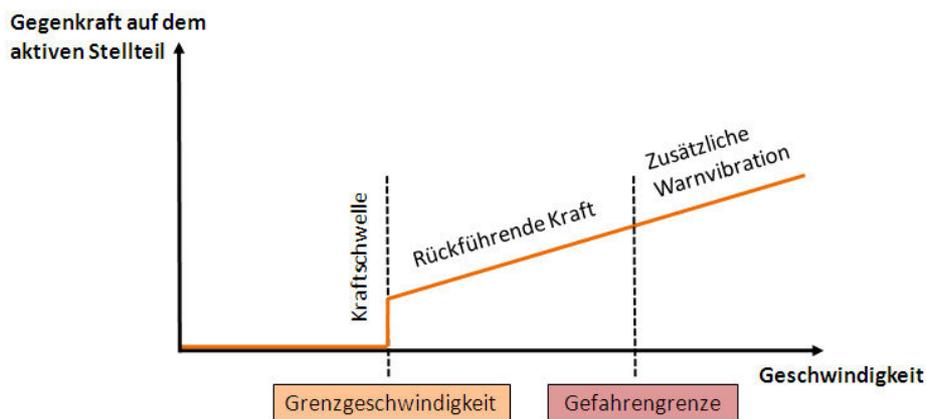


Abb. 7: Qualitativer Kraftverlauf der Interaktion bei einer Geschwindigkeitsregelung in Tight Rein

Liegt die Wunschgeschwindigkeit des Fahrers unter einer von der Automation festgelegten Grenzgeschwindigkeit (z.B. gesetzliche Höchstgeschwindigkeit modifiziert durch Sichtweite, Straßenverhältnisse, usw.), findet nur eine Rückmeldung der Systemdynamik statt. Es wird also nur die grundlegende Masse-Feder-Dämpfer-Charakteristik des Systems auf dem Stellteil

übermittelt, überlagerte Interaktionssignale fehlen hingegen. Diese treten erst ab Erreichen der Geschwindigkeitsbeschränkung auf, die dem Fahrer über eine haptisch erfühlbare Kraftschwelle mitgeteilt wird. Will der Fahrer weiter beschleunigen als die Rahmenbedingungen vorgeben, so kann er das in Tight Rein tun, wobei er jedoch mehr Kraft aufbringen muss, je weiter die Wunschgeschwindigkeit von der zulässigen Geschwindigkeit abweicht. Beschleunigt der Fahrer in einen Geschwindigkeitsbereich, der von der Automation als gefährlich eingestuft wird, wird er zusätzlich zur rückführenden Kraft durch eine Vibration gewarnt.

In angepasster Form kann dieses Interaktionskonzept auch für den Fall hochautomatisierten Fahrens (Loose Rein) angewendet werden (Abb. 8). Der Fahrer kann hier über Stellteilbewegungen die zu fahrende Geschwindigkeit innerhalb eines bestimmten Geschwindigkeitsbereichs variieren. Dieser Verstellbereich wird je nach Situation von der Automation festgelegt und ist durch eine Minimalgeschwindigkeit und eine Maximalgeschwindigkeit gekennzeichnet. Ausgehend von der eingestellten Geschwindigkeit regelt die Automation die Fahrzeuglängsführung selbständig, wobei der Fahrer weiterhin einen Spielraum für Korrekturen hat. Fällt die gefahrene Sollgeschwindigkeit aufgrund einer geänderten Risikoeinschätzung der Automation aus dem empfohlenen Bereich, wird sie von der Automation selbständig nachgeführt, bis sie sich wieder innerhalb der Grenzen befindet.

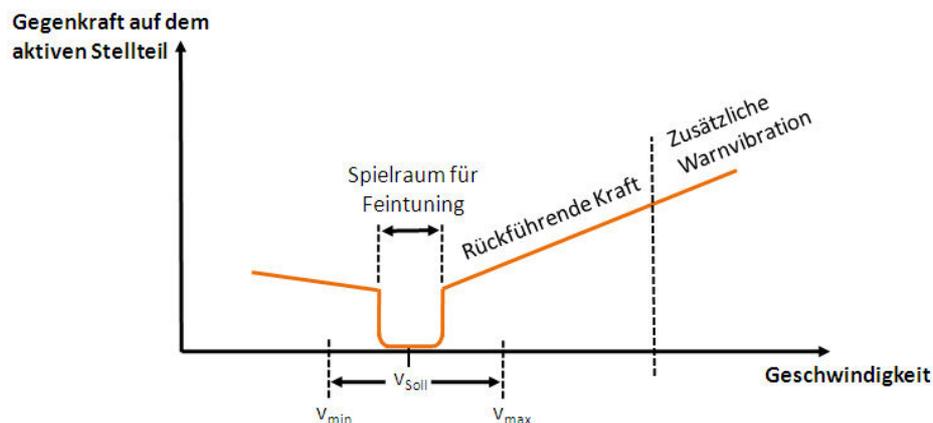


Abb. 8: Qualitativer Kraftverlauf der Interaktion bei einer Geschwindigkeitsregelung in Loose Rein

Aus der in der Vorversuchsphase durchgeführten Exploration, haben sich zwei unterschiedliche Interaktionskonzepte für die Festlegung der Sollgeschwindigkeit ergeben, die bisher noch unter den Arbeitsbezeichnungen „kontinuierliche Nullpunktverschiebung“ und „Tickdialog“ geführt werden.

Bei der kontinuierlichen Nullpunktverschiebung führt der Fahrer das Fahrzeug manuell auf die von ihm gewünschte Geschwindigkeit. Diese wird anschließend von der Automation als Sollgeschwindigkeit übernommen und autonom gehalten. Es wird sozusagen der gesamte, die Sollgeschwindigkeit (Nullpunkt) umgebende Kraftverlauf verschoben. Diese Verschiebung kann nur im Bereich zulässiger Geschwindigkeiten erfolgen. Werden die Grenzen erreicht oder überschritten, so erfährt der Fahrer einen Interaktionsablauf mit Kraftschwelle, ansteigender Kraft und Vibration, analog zu Tight Rein. Der Vorteil dieses Konzeptes ist die große Ähnlichkeit der haptischen Signale bei Tight und Loose Rein. Dadurch wird ein über beide Automatisierungsgrade durchgängiges Interaktionsdesign begünstigt.

Aus der Bedienung aktueller ACC-Systeme, die schon heute die Längsregelung weitgehend autonom übernehmen können, hat sich das zweite Konzept haptischer Kommunikation, der Tickdialog, entwickelt. Wie bei den angesprochenen Systemen liegen ihm diskrete Geschwindigkeitsstufen zugrunde, die durch den Fahrer über diskrete haptische Signale („Ticks“) am Stick ausgewählt werden können. Diese Ticks können bidirektional übermittelt werden, d.h. der Fahrer kann die Automation durch einen Tick ebenso über den gewünschten Zielzustand (schneller, langsamer, konstant) informieren, wie umgekehrt. Im Gegensatz zur Nullpunktverschiebung, bei der der Fahrer das Fahrzeug manuell auf die gewünschte

Geschwindigkeit führt, werden in diesem Konzept zwischen Fahrer und Automation zunächst nur Wünsche kommuniziert. Anschließend wird der während dieser haptischen Kommunikation ausgehandelte Zielzustand von der Automation eingeregelt. Zusätzlich zur Einstellung der Geschwindigkeitsstufe über diskrete Signale hat der Fahrer weiterhin die Möglichkeit der Feinjustierung über kontinuierliche Stickbewegungen.

Die hier vorgestellten Interaktionskonzepte werden zurzeit in Software Prototypen umgesetzt, um anschließend in einem Usability Assessment mit potentiellen Nutzern getestet zu werden.

5. b Weiterentwicklung und Untersuchung einer gekoppelten Längs- und Querführungsassistenz am DLR-ITS

Im vorangegangenen Projekt H-Mode I wurde am ITSein Software-Prototyp für die gekoppelte Längs- und Querführung entwickelt, der jedoch das vorgestellte Konzept der Automationsbereiche „Tight Rein/Loose Rein“ noch nicht berücksichtigte. Ausgehend von den Arbeiten zur gekoppelten Längs- und Querführung wurde der Prototyp daher um dieses Konzept erweitert.

Interaktionsdesign für Tight Rein und Loose Rein

Vom Grundkonzept her bietet der Prototyp zur gekoppelten Längs- und Querführung eine kontinuierliche Spurführung, die durch Funktionen zur Geschwindigkeitshaltung und Geschwindigkeitsanpassung vervollständigt wird. In Abhängigkeit von Situation und Konflikt werden weitere diskrete und kontinuierliche haptische Signale auf das Interaktionsmedium eingespielt. So wurde für das Verlassen der Spur eine Abfolge von Interaktionen erarbeitet, die als „virtuelles Kiesbett“ beschrieben werden kann (Abb. 9.). Sie startet mit einer zusätzlichen, informierenden Kraftschwelle und steigert sich mit einer warnenden Vibration hin zu einem fühlbaren Eingriff am Sidestick in Richtung Spurmitte und Richtung Geschwindigkeitsverminderung/Bremsen, wie dies auch von unvoreingenommenen Nutzern als Erwartung an ein H-Mode Fahrzeug formuliert wird (Kelsch et al., 2006).

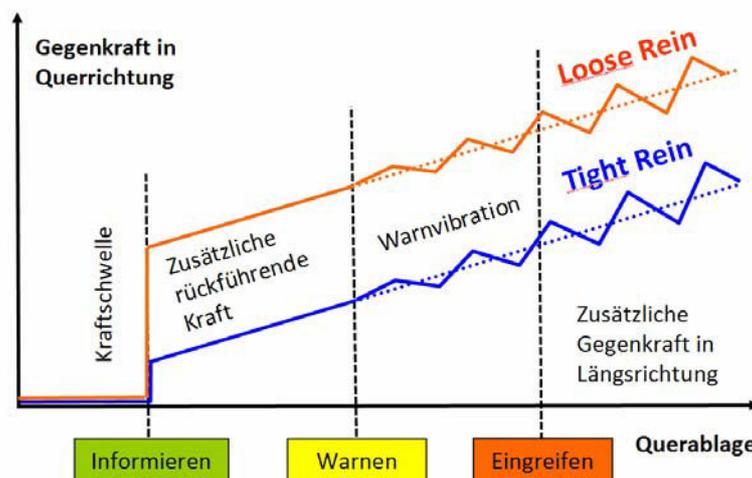


Abb. 9: Schematische Darstellung des „virtuellen Kiesbetts“ beim Spurverlassen in Abhängigkeit vom gewählten Automationsgrad Tight Rein/ Loose Rein

Durch das Konzept Tight Rein/Loose Rein wurde der oben beschriebene Prototyp nun erweitert. Tight Rein und Loose Rein unterscheiden sich vor allem in der Stärke der eingespielten Kräfte, die die Aktionen des Fahrers unterstützen bzw. korrigieren. In Tight Rein sind die Kräfte insgesamt geringer, so dass der Fahrer eine stärkere Kontrolle über das Fahrzeug und die Fahrzeugführung hat. In Loose Rein werden die Kräfte zur Spurführung sowie zur Geschwindigkeitshaltung und -korrektur dagegen wesentlich stärker eingesetzt als in Tight Rein. Dadurch wird der Fahrer stärker von der Fahrzeugführungsaufgabe entbunden und kann andere

Aufgaben parallel ausführen. Außerdem wurde damit die implizite Arbitrierung auf ein angenehmeres und für den jeweiligen Automatisierungsgrad erwartungskonformes Niveau gebracht. Vibrationen wurde innerhalb des Interaktionsdesigns als ein Feedback über vorhandene Gefahren verwendet. Da vor Gefahren unabhängig von Tight Rein oder Loose Rein gewarnt werden sollte, unterscheiden sich die Amplitude und die Frequenz der Vibration im Interaktionsdesign für die beiden Automatisierungsgrade nicht voneinander (Abb. 9).

Dagegen ist der Einsatz von diskreten Kommunikationssignalen (z.B. Double Ticks) für Tight Rein und Loose Rein im Interaktionsdesign unterschiedlich. Diese diskreten Signale dienen in Loose Rein z.B. als Teile der expliziten Arbitrierung für die Richtungswahl vor einer Weggabelung oder Geschwindigkeitshinweise in Streckenabschnitten mit vorgeschriebener Mindestgeschwindigkeit. Um den aktiveren Fahrer in Tight Rein mit Zusatzinformationen auf dem haptischen Kanal nicht zu überlasten, wurde im Interaktionsdesign des Tight Rein auf diskrete Kommunikationselemente vorerst verzichtet.

Explorative und experimentelle Überprüfung

Zur Überprüfung des oben beschriebenen Interaktionsdesigns für das Konzept Tight Rein/ Loose Rein wurde eine Studie mit externen Teilnehmern durchgeführt. Diese bestand aus einem explorativen Teil in unserem generischen Labor, dem SMPLab, sowie aus einem stärker experimentell orientierten Teil im dynamischen Fahrsimulator des Instituts. Die grundlegende Fragestellung bestand darin, herauszufinden, was die Teilnehmer unter dem Konzept Tight Rein/Loose Rein erwarten und wie sie das daraus entwickelte Interaktionsdesign bewerten und akzeptieren. Zudem wurden Fahrdaten aufgezeichnet, um objektivierbare Leistungsdaten für die Bewertung des Interaktionsdesigns heranziehen zu können.

Teilnehmer

An der Erhebung haben bisher 8 Personen teilgenommen, darunter 4 Frauen und 4 Männer. Die Probanden waren externe Probanden und stammten aus dem Probanden-Pool des DLR-ITS. Sie waren für das Fahren im dynamischen Fahrsimulator bereits trainiert. Die Personen waren zwischen 19 und 59 Jahre alt (im Mittel: 33 Jahre).

Teststrecke

Die Teststrecke war als eine Landstraße angelegt und enthielt sowohl Geraden als auch Kurven unterschiedlicher Krümmung. Auf Geraden sollte eine Geschwindigkeit von 50 km/h eingehalten werden, Kurven mussten entsprechend der Krümmung langsamer durchfahren werden. Die Probanden waren angewiesen, ausschließlich auf der rechten Spur zu fahren. Auf der Strecke gab es keinen Fremdverkehr, so dass die Fahrer nicht in Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern standen.

Ablauf der Studie

Die Studie fand an zwei Tagen statt. Der Schwerpunkt des ersten Tages lag darin, die Probanden im Fahren mit dem Sidestick, zunächst im SMPLab, danach im dynamischen Fahrsimulator zu trainieren.

Am zweiten Tag fand die Studie zunächst im SMPLab statt. Hier wurde das Konzept Tight Rein/Loose Rein als Teil der H-Metapher eingeführt und das Verständnis und die Erwartung der Teilnehmer hinsichtlich des Konzeptes explorativ im Theatersystem erfasst. Anschließend wurde das vom Designteam entwickelte und prototypisch umgesetzte Interaktionsdesign sowohl für das Fahren in Tight Rein als auch in Loose Rein naiv getestet, danach ausführlich vorgestellt und die Interaktion in den unterschiedlichen Automatisierungsgraden trainiert. Nach dieser Phase im SMPLab wurden die Teilnehmer zu Akzeptanz und Usability der beiden Automatisierungsgrade des Prototyps befragt.

Anschließend testeten die Teilnehmer den Prototyp in beiden Automatisierungsgraden im dynamischen Fahrsimulator des Instituts. Hier wurde auf einen stärker experimentell angelegten Ablauf der Studie geachtet, so dass Reihenfolgeeffekte kontrolliert werden können. Weiterhin wurde bei den Fahrten im dynamischen Fahrsimulator eine Nebenaufgabe eingeführt, um die Vorteile der unterschiedlichen Automationsbereiche auf die Bearbeitung von Nebenaufgaben zu untersuchen. Die Nebenaufgabe war als visuelle Suchaufgabe angelegt. Die Probanden wurden gebeten, einen eingblendeten Ortsnamen in einer Landkarte mit 19 anderen Ortsnamen zu suchen

und die dahinterstehende Ziffer laut zu nennen. Die Aufgaben wurden kontinuierlich dargeboten und die Teilnehmer wurden aufgefordert, immer dann die Aufgaben zu bearbeiten, wenn ihnen die primäre Fahraufgabe dazu Möglichkeit ließ. Die Teilnehmer fuhren im Fahrsimulator sowohl in Tight Rein, in Loose Rein, als auch ohne jegliche Assistenz sowie mit Vollautomation. Zusätzlich wurden alle Durchläufe je einmal mit und einmal ohne Nebenaufgabe durchfahren.

Erste Ergebnisse

Im Folgenden werden erste Ergebnisse der Befragungen zu Erwartungen und Akzeptanz, die im Rahmen der Studie durchgeführt wurden, vorgestellt. Hinsichtlich des Konzeptes Tight Rein/Loose Rein zeigte sich, dass alle Teilnehmer ein gutes Verständnis für das zugrunde liegende Konzept aufbringen konnten. Sie erwarteten ähnlich wie auch von dem Designteam konzipiert, dass die Automation in Loose Rein wesentlich stärker in die Fahrzeugführung eingreift als in Tight Rein. Es zeigte sich, dass Personen für das Fahren im Bereich Tight Rein erwarten, dass sie sich, ähnlich wie beim heutigen Fahren auch, nur kurz mit Nebenaufgaben beschäftigen können. Dagegen gehen sie davon aus, dass sie beim Fahren in Loose Rein durchaus Nebenaufgaben erledigt werden dürfen, die eher über das heute mögliche Maß hinausgehen. Dabei reichten die Vorstellungen vom Telefonieren, über die Bedienung des Navigationsgerätes bis hin zum Arbeiten mit einem Laptop.

Hinsichtlich der Akzeptanz und Usability wurde unter anderem eine Befragung nach Fahrten in Tight Rein und Loose Rein im SMPLab durchgeführt. Es wurde eine siebenstufige Skala („stimmt überhaupt nicht“ – „stimmt vollständig“) genutzt. Dargestellt werden im Folgenden die Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) für das Fahren in Loose Rein (LR) und Tight Rein (TR). Insgesamt wurden beide Automatisierungsgrade positiv bewertet. Durch die stärkere Unterstützung in der Fahraufgabe beim Automatisierungsgrad Loose Rein wurde die Automation dort als etwas nützlicher ($M_{LR} = 5,50$, $SD_{LR} = 0,93$; $M_{TR} = 4,50$, $SD_{TR} = 1,93$), das Fahren als etwas sicherer ($M_{LR} = 5,63$, $SD_{LR} = 0,92$; $M_{TR} = 4,88$, $SD_{TR} = 0,67$) und angenehmer ($M_{LR} = 5,38$; $SD_{LR} = 0,71$; $M_{TR} = 4,88$, $SD_{TR} = 1,81$) beurteilt als dies für das Fahren in Tight Rein der Fall war. Die Ergebnisse zeigen hinsichtlich der Usability des Interaktionsdesigns in beiden Automationsbereichen gute Ergebnisse. Sowohl das Fahren in Loose Rein als auch in Tight Rein wurde als leicht erlernbar ($M_{LR} = 5,75$, $SD_{LR} = 0,74$; $M_{TR} = 5,50$, $SD_{TR} = 1,20$) und ohne Nachdenken, also intuitiv, zu verstehen beurteilt ($M_{LR} = 5,63$, $SD_{LR} = 0,71$; $M_{TR} = 5,50$, $SD_{TR} = 1,51$).

Auch nach den Fahrten im dynamischen Fahrsimulator wurde eine Befragung zur Akzeptanz und Usability sowie zur Beanspruchung der Probanden über den NASA TLX durchgeführt. Im Folgenden exemplarisch einige Ergebnisse aus dieser Befragung: Die Probanden sollten einschätzen, wie sie auf einer 10-stufigen Skala die Verteilung der Kontrolle in der Fahrzeugführung zwischen ihnen und dem Fahrzeug beurteilten. Es zeigte sich, dass die Personen die Kontrolle beim Fahren in Loose Rein eher beim Fahrzeug, für das Fahren in Tight Rein eher bei sich als Fahrer sahen ($M_{LR} = 6,63$, $SD_{LR} = 0,53$; $M_{TR} = 4,13$, $SD_{TR} = 0,70$). Dies zeigt, dass die bei der Automations- und Interaktionsgestaltung angestrebte Verteilung der Kontrolle von den Personen auch tatsächlich wie intendiert wahrgenommen wurde.

Die Erhebung zur Beanspruchung mit dem NASA-TLX zeigte Unterschiede je nach Automatisierungsgrad, wenn die Personen zusätzlich aufgefordert waren, Zweitaufgaben zu bearbeiten. Fuhren die Personen in Loose Rein, gaben sie eine geringere allgemeine Anstrengung ($M_{LR} = 9,67$, $SD_{LR} = 4,37$) durch die Gesamtaufgabe (Fahren und Lösen der Zweitaufgaben) an als beim Fahren in Tight Rein ($M_{TR} = 12,19$, $SD_{TR} = 3,17$) oder beim rein manuellen Fahren ohne Unterstützung ($M_{man.} = 13,69$, $SD_{man.} = 3,70$). Ihre geistige Beanspruchung in der Gesamtaufgabe beurteilten sie beim Fahren in Loose Rein geringer ($M_{LR} = 9,25$, $SD_{LR} = 2,51$) als beim Fahren in Tight Rein ($M_{TR} = 14,31$, $SD_{TR} = 3,26$) oder bei manuellem Fahren ($M_{man.} = 14,44$, $SD_{man.} = 3,27$). Das Fahren in Loose Rein und Tight Rein hilft somit, die allgemeine Anstrengung des Fahrers zu reduzieren, wenn er zusätzlich Zweitaufgaben bearbeitet. Das Fahren in Loose Rein verringert zusätzlich die kognitive Beanspruchung des Fahrers, da er weniger in die Fahraufgabe eingebunden ist und sich stärker auf die Bearbeitung der Zweitaufgaben konzentrieren kann, als dies in Tight Rein oder beim manuellen Fahren der Fall ist.

Weitere Auswertung

Die vorgestellten Ergebnisse bieten nur einen ersten Einblick in die Daten der Studie. Im weiteren Verlauf werden sowohl die erhobenen Fahr- und Interaktionsdaten als auch die Befragungsdaten analysiert. Dabei streben wir sowohl eine querschnittliche, mittelnde Betrachtung über alle Teilnehmer hinweg als auch eine längsschnittliche Analyse der Daten hinsichtlich von Lerneffekten an. Zusätzlich beschäftigen wir uns mit Einzelfallanalysen, um besondere Effekte in der Interaktion mit dem Prototyp aufdecken zu können.

6. Diskussion und Ausblick

Die vorgestellten Arbeiten des TUM-LfE und des DLR-ITS im Projekt H-Mode II zeigen, dass eine haptische Interaktion für unterschiedliche Automatisierungsgrade der Fahrzeugführung vielversprechend ist. Sowohl für die Geschwindigkeitsregelung als auch für die gekoppelte Längs- und Querführung konnte das Konzept Tight Rein/Loose Rein in Interaktionsdesign umgesetzt und eine Gestaltung und Interaktionssprache für unterschiedliche Automatisierungsgrade entwickelt werden, die vom Prinzip her einheitlich ist. Am DLR-ITS wurde das entwickelte Interaktionsdesign bereits in einer Simulatorstudie überprüft. Erste Ergebnisse zeigen, dass sowohl das Fahren in Tight Rein als auch in Loose Rein von den Teilnehmern der Studie als positiv bewertet wurde und bei der Bearbeitung von Zweitaufgaben spezifische Entlastung bringt.

Im weiteren Verlauf der Arbeiten wird zum einen ein Usability-Assessment des vom TUM-LfE entwickelten Interaktionsdesigns durchgeführt, zum anderen wird die Auswertung der hier beschriebenen Studie des DLR-ITS fortgeführt. Um die Annäherung der Prototypen an ein Realfahrzeug voranzubringen, werden die Prototypen zudem in das Versuchsfahrzeug FASCar des DLR. implementiert. Dies ermöglicht es, Studien im Realfahrzeug auf einer Teststrecke durchzuführen und die Prototypen auch in dieser Umgebung zu testen. Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeiten liegt zudem in der Ausarbeitung von Konzepten von Transitionsprinzipien zwischen den Automatisierungsgraden Tight Rein und Loose Rein sowie in der Entwicklung von Konzepten für die Arbitrierung bei Konflikten wegen unterschiedlicher Vorgaben durch den Fahrer und die Automation.

Die vorgestellten Arbeiten werden gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen des Projekts H-Mode II.

Literatur

- Bolte, U. (1991): Das aktive Stellteil – ein ergonomisches Bedienkonzept. Fortschrittsberichte VDI-Reihe 17 Nr. 75. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Eckstein, L. (2001): Entwicklung und Überprüfung eines Bedienkonzepts und von Algorithmen zum Fahren eines Kraftfahrzeugs mit aktiven Sidesticks. Fortschrittsberichte VDI-Reihe 12, Nr. 471, VDI-Verlag, Düsseldorf.
- Endsley, M. R., & Kiris, E. O. (1995). The out-of-the-loop performance problem and level of control in automation. *Human Factors*, 37, 381-394.
- Flemisch, F. O., Adams, C. A., Conway, S. R., Goodrich, K. H., Palmer, M. T., & Schutte, P. C. (2003). *The H-Metaphor as a Guideline for Vehicle Automation and Interaction* (No. NASA/TM—2003-212672). Hampton: NASA, Langley Research Center.
- Griffiths, P., & Gillespie, R. B. (2005). Sharing Control Between Human and Automation Using Haptic Interface: Primary and Secondary Task Performance Benefits. *Human Factors*, 47(3), 574-590.

- Kelsch, J., Flemisch, F., Löper, C., Schieben, A., & Schindler, J. (2006). *Links oder rechts, schneller oder langsamer? Grundlegende Fragestellungen beim Cognitive Systems Engineering von hochautomatisierter Fahrzeugführung*. Vortrag auf der DGLR Fachauschusssitzung Anthropotechnik, Karlsruhe.
- Kraiss, K.-F. (1994). 99% Langeweile und 1% panische Angst“ –über die Schwierigkeiten beim Umgang mit hochautomatisierten Systemen. In M. Kerner (Ed.), *Technik und Angst. Zur Zukunft der industriellen Zivilisation*. Aachen: Verlag der Augustinus Bhg.
- Lange, C. (2008). Wirkung von Fahrerassistenz auf der Führungsebene in Abhängigkeit der Modalität und des Automatisierungsgrades. Dissertation. Technische Universität München. Garching.
- Löper, C., Kelsch, J., & Flemisch, F. O. (2008, 13./14.02.2008). *Kooperative, manöverbasierte Automation und Arbitrierung als Bausteine für hochautomatisiertes Fahren*. Vortrag auf der AAET 2008, Braunschweig.
- Penka, A. (2001): Vergleichende Untersuchung zu Fahrerassistenzsystemen mit unterschiedlichen aktiven Bedienelementen. Dissertation. Technische Universität München. Garching.
- Sarter, N. B., & Woods, D. D. (1995). "How in the world did we ever get into that mode?" Mode Error and Awareness in Supervisory Control. *Human Factors*, 37(1), 5-19.
- Schomerus, J., Flemisch, F. O., Kelsch, J., Schieben, A., & Schmuntzsch, U. (2006). *Erwartungsbasierte Gestaltung mit der Theatersystem- / Wizard-Of-Oz-Technik am Beispiel eines haptischen Assistenzsystems*. Vortrag auf der AAET 2006, Braunschweig.
- Steele, M., & Gillespie, R. B. (2002). *Shared Control Between Human and Machine: Using a Haptic Steering Wheel to Aid in Land Vehicle Guidance*. Paper presented at the Human Factors and Ergonomics Society 45th Annual Meeting, Minneapolis.
- Wiener, E. L. (1989). *Human Factors of Advanced Technology "Glass Flightdeck" Transport Aircraft* (No. NASA-CR-117528). Moffett Field: NASA Ames Research Center.

Summary

Haptic feedback for driver assistance and automation

Dipl.-Psych. Anna Schieben*, Dipl.-Ing. Daniel Damböck[†], Dipl.-Ing. Johann Kelsch*,
Dr.-Ing. Herbert Rausch[†], Dr.-Ing. Frank Flemisch*

* Institut für Verkehrssystemtechnik (Institute of Transportation Systems)
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Lilienthalplatz 7, 38118 Braunschweig
[†] Lehrstuhl für Ergonomie (Institute of Ergonomics)
Technische Universität München, Boltzmannstraße 15, 85747 Garching
Kontakt: anna.schieben@dlr.de

Introduction

In the car industry more and more reliable sensors are available which allow a variety of assistant and automation systems in cars. Some of these systems warn the driver (e.g., lane departure warning), some of them actively intervene in vehicle handling in emergency situations (e.g., emergency braking systems) and others fully take over the longitudinal or lateral vehicle guidance (e.g., Adaptive Cruise Control ACC, Lane Keeping Assistant System LKAS). The tendency to automate more and more functions of vehicle guidance brings along a lot of chances but also risks and challenges. As we know from the aviation domain, automation can lead on the one hand to higher safety, but on the other hand to difficulties in the human-machine interaction, e.g., loss of situation awareness, difficulties with mode awareness and problems with underload and overload situations.

The work, presented at this conference, deals with solutions for the design of the driver-vehicle interaction that helps to avoid problems with automation described above. It gives a short overview of the advantages of haptic feedback for driver-vehicle interaction and the development of active control technology. Thereafter, the current research work in the DFG (German Research Foundation) project H-Mode II, a joint project of the Institute of Ergonomics of the Technical University Munich (TUM-LfE) and the Institute of Transportation Systems of the German Aerospace Center (DLR-ITS) is presented. The main objective of this project is to design and evaluate a haptic-multimodal human-machine interaction for highly automated vehicles.

Different levels of automation

For a future car it is imaginable that it is not only driven in manual or assisted modes but that one and the same car offers different levels of automation reaching from manual over assisted up to automated driving. The article describes this automation spectrum and the levels of automation and raises two important research questions: If a car is driven in different levels of automation, it has to be explored how control over the vehicle can be transferred from the driver to the automation and vice versa. In addition, a well designed and consistent driver-vehicle interaction is needed that supports the driver in interacting with the vehicle and the automation in all levels of automation.

Haptic feedback for driver-vehicle interaction

Haptic feedback can help to design such a consistent interaction for different automation levels. In today's cars haptic feedback is underutilized. Most of the communication and warning signals are presented visually or acoustically. Nevertheless, haptic feedback enters modern vehicles in form of some lane departure warnings using vibrations as warnings or lane keeping assistant systems using forces as display function of the automation actions. Several research studies which have shown the advantages of haptic feedback in the car domain are reviewed. In summary, haptic feedback can lead to a better driving performance, reduced driver workload and high acceptance. Especially for designing a consistent driver-vehicle interaction for different automation levels some advantages of haptic interaction are described in the article: a) Haptic feedback can be

directly linked to the actuator on which a reaction of the driver is required. For example, a lane departure warning can signal the lane departure of the vehicle by a vibration of the steering wheel. b) In addition, the feedback can not only be linked to the actuator but can also be used to show the kind of reaction that is needed, e.g., the steering wheel can be turned by the automation in the correct direction to trigger a steering reaction of the driver. c) Like spoken language haptic interaction is bidirectional. That means that some kind of communication between the driver and the vehicle can be established which is especially important for higher automated driving. For example, the driver can oversteer a specific force threshold on the steering wheel to signalize that he intentionally leaves the lane.

Haptically active controls

A comfortable way to provide haptic feedback to the driver is the use of haptically active controls in the vehicle. Active controls are characterized by their capacity to generate forces and discrete haptic signals. This makes it possible to establish a haptic driver-vehicle interaction. From a technological point of view, the development of drive-by-wire technology in the car domain makes the use of active controls and with it a haptic feedback easy. Drive-by-wire means that all mechanical links between control devices and the vehicle, e.g., wheels, are replaced by electronic links. This allows different kind of haptic feedback, e.g. vibrations for warnings, steering advices for lane keeping or discrete signals for direct communication with the driver. For displaying dynamic system behaviour two concepts of feedback can be distinguished in general: force feedback and position feedback. In the article the advantages and disadvantages of drive-by-wire as well as the different feedback types are further described.

DFG project H-Mode II: Development and evaluation of a haptic-multimodal interaction for highly automated vehicles

The second part of the article deals with the current work of the project “H-Mode II”, in which a haptic-multimodal interaction for highly automated vehicles is developed and evaluated. The project is based on the H-Metaphor and builds on the results of the H-Mode I project at DLR and on the work done at NASA Langley for the aviation domain. The H-Mode II project is a joint project of the Institute of Ergonomics at the Technical University of Munich (TUM-LfE) and the Institute of Transportation Systems (DLR-ITS) at DLR. The work described in the article covers the development of an interaction strategy for different levels of automation (assisted and highly automated driving). The focus of TUM-LfE is on the development of a haptic-multimodal interaction for longitudinal vehicle guidance, especially on speed regulation. DLR-ITS explores a combined lateral and longitudinal assistance/automation for vehicle guidance.

The article sketches the H-Metaphor as well as the sub-metaphor “Tight Rein/Loose Rein” (for assisted driving and highly automated driving) and briefly describes the explorative and user centred design process at both institutes. One common ground is the use of the so-called Theatre-System technique which is based on the Wizard-of-Oz technique.

Thereafter, the specific design and evaluation process and first design options resulting from the work at TUM-LfE are summarized. DLR-ITS gives an overview of the interaction design and prototype for the combined lateral and longitudinal assistance/automation. In addition, an evaluation study of ITS which is currently conducted in a generic and in the motion-based driving simulator of DLR is described. First positive results of the usability and acceptance surveys are presented.

The article ends with an outlook on the further research work in the H-Mode II project. One of the next steps will be the implementation of both prototypes from TUM-LfE and DLR-ITS in DLR’s research car FASCar to evaluate the interaction designs in a real vehicle on a test track.

Acknowledgement: The H-Mode II project presented here is funded by the Deutsche Forschungsgemeinschaft (German Research Foundation).