

Taktil oder akustisch? Der Einfluss der Akustik auf die Wahrnehmung der taktilen Rückmeldung bei taktilen Touchscreens¹

Michaela Kauer, Michael Schreiber, Stephan Hakuli und Ralph Bruder

Schlüsselwörter: Conduct-by-Wire, Schnittstellengestaltung, taktile Rückmeldung, Interferenz taktil und akustisch.

Zusammenfassung

Im Rahmen des DFG Förderprojekt „Conduct by Wire“ wird versucht bestehende Fahrerassistenzsysteme in eine globale Benutzerschnittstelle zu integrieren. Dies geschieht nicht ausschließlich durch die Gestaltung eines optimierten Interfaces, sondern auch über eine Veränderung des Fahrzeugführungsparadigmas. Angestrebt wird eine Interaktion zwischen Fahrer und Fahrzeug auf der Bahnführungsebene. Hierzu sollen Manöver an das Fahrzeug übergeben werden, die das Fahrzeug selbstständig ausführt. Durch das Konzept der manöverbasierten Fahrzeugführung bedingt, ist bei Conduct by Wire die Übergabe diskreter Signale zwischen den Interaktionspartnern notwendig. Bisherige Fahrer-Fahrzeug-Schnittstellen (Lenkrad/Pedale, Sidestick) sind jedoch nur bedingt für diskrete Signale geeignet. Im Rahmen des Projekts wurde eine Systematisierung bestehender Bedienkonzepte durchgeführt. Als eine vielversprechende Alternative wurden Touchdisplays mit taktiler Rückmeldung identifiziert. Eine erste Untersuchung für die Eignung der Displays bringt zeigt unterschiedliche Ergebnisse. Die eindeutige Unterscheidung der Rückmeldungsstärke ist nur in Kombination mit akustischem Feedback fehlerfrei möglich.

Abstract

In the context of the DFG funded research project “Conduct by Wire” an integration of existing advanced driver assistance systems into a single user-interface is intended. This integration is accompanied by a change of the traditional driving task. The objective is to change the level of driver-vehicle interaction from stabilization level to guidance level. Therefore, drivers delegate maneuvers to the Conduct by Wire system. The system performs these maneuvers autonomously. Due to the maneuver-based vehicle guidance paradigm, a communication between driver and system through discrete signals (the maneuvers) is necessary. The suitability of previous and current driver-vehicle-interfaces (steering wheel/pedals, sidestick) for discrete signals is limited. In the context of the Conduct by Wire project a systematization of interaction concepts was done. A promising alternative are touch displays with tactile feedback. A first study was conducted to clarify the suitability of tactile touch displays for driving context. A definite differentiation between intensities of tactile feedback is solely possible in combination with auditory feedback. These results implicate a need for further clarification.

Einleitung

Die Anzahl der Fahrerassistenz- und Fahrerinformationssysteme in Fahrzeugen hat in den letzten Jahren stark zugenommen. Mit Hilfe immer neuer Assistenzsysteme wird versucht, den Fahrer zu entlasten und die Fahrleistung zu verbessern (Wiethoff, 2002). In aktuellen Mittel- und Oberklasse Fahrzeugen hat der Fahrer einen Arbeitsplatz, bei dem mehrere Assistenzsysteme parallel bedient werden müssen. Eine Integration aller Assistenzfunktionen in eine Benutzerschnittstelle stellt eine Möglichkeit dar, den Fahrer vor Überlastung durch zu viele Informationen und der Verwechslung von Bedienelementen zu schützen. Neben dem Umfang der Un-

¹ Dieser Beitrag entsteht im Rahmen des DFG-Förderpaketes PAK 278 im Projekt Conduct-by-Wire.

terstützung hat sich auch die Art der Unterstützung durch Assistenzsysteme in den letzten Jahren verändert. In den Anfangsphasen der Fahrerassistenz beschränkte sich die Unterstützung des Fahrers vor allem auf die Ausführung von Fahraktionen (z.B. Servolenkung). Inzwischen wird der Fahrer auf deutlich früheren Stufen – Informationsverarbeitung, Wahrnehmung, Entscheidung - durch aktuelle Systeme (z.B. Spurverlassenswarnung/LDW) unterstützt (Schreiber, 2009). Fahrerassistenzsysteme, die sowohl bei Informationsverarbeitung, als auch bei Wahrnehmung, Handlungsauswahl und Ausführung unterstützen, verändern den Aufgabenbereich des Fahrers nachhaltig. Ein weiteres Assistenzsystem, der Abstandsregeltempomat, überträgt die Längsführung des Fahrzeugs (für eine begrenzte Anzahl an Nutzungskontexten) komplett auf das Fahrzeug. Es ist fraglich, ob die Integration aller Fahrerassistenz- und Fahrerinformationssysteme in eine neue und zusammenhängende Schnittstelle der Veränderung der Fahrzeugführung gerecht wird. Im DFG-Forschungsprojekt Conduct by Wire (Winner, 2006) wird aus diesem Grund nicht nur die Entwicklung einer neuen Schnittstelle angestrebt, sondern zusätzlich das aktuelle Fahrzeugführungsparadigma überdacht.

Das Ziel des Forschungsantrags ist die Entwicklung und Überprüfung eines Fahrzeugführungsansatzes auf Bahnführungsebene. Die Bahnführungsebene beinhaltet alle Entscheidungen über die Sollspur und die Sollgeschwindigkeit eines Fahrzeugs (Donges, 1982). Hierin fallen Entscheidungen über die Wahl des Fahrstreifens auf mehrstreifigen Straßen und das Abbiegen an einer Kreuzung, nicht jedoch Entscheidungen über das Fahrtziel und eventuelle Zwischenstationen. Bahnführungsentscheidungen sind meistens abgeschlossene Handlungsabschnitte. Im Projekt Conduct by Wire werden deshalb Manöver modelliert, die Bahnführungsentscheidungen aus menschlicher Sicht beschreiben und delegierbar machen (vergleiche Schreiber, 2009).

Für die Umsetzung einer Manöverschnittstelle ist die Übergabe diskreter Elemente zwischen Fahrer und Fahrzeug notwendig. Aktuelle Bedienkonzepte aus der Fahrzeugführung sind jedoch durch kontinuierliche Interaktion auf der Stabilisierungsebene gekennzeichnet (Lenkrad/Pedale, Sidesticks). Eine Systematisierung zur Auswahl geeigneter Bedienelemente musste deshalb um alternative Bedienkonzepte aus verwandten und angrenzenden Bereichen (z.B. Robotik, Luftfahrt, Schifffahrt, Consumer electronics) erweitert werden. Als vielversprechendes Konzept wurden dabei taktile Touchdisplays identifiziert. Sie kombinieren die Möglichkeit adaptiver Anzeigengestaltung mit der Eindeutigkeit der Bedienung analoger Stellteile (Hoggan, 2008). Abbildung 1 zeigt die Funktionsweise des taktilen Touchdisplays der Firma Immersion.

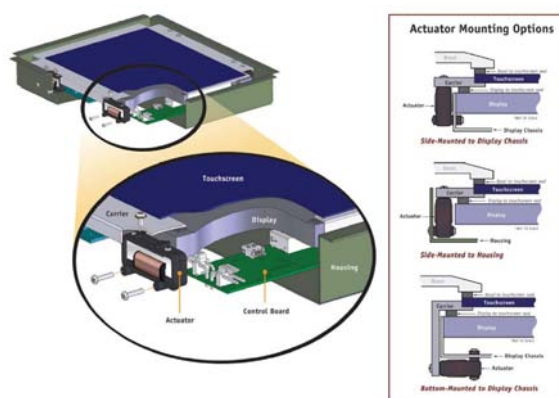


Abb. 1: Funktionsweise eines taktilen Touchdisplays (Immersion, 2009)

Neben der taktilen Rückmeldung, die die Betätigung einer Schaltfläche o.ä. auf dem Touchscreen bestätigen soll, besteht die Möglichkeit, die künstliche Haptik des Displays als Ersatz für fehlende natürliche Haptik zu verwenden. Bei einer Conduct by Wire Manöverschnittstelle fallen alle Informationen über die Fahrbahnbeschaffenheit weg, da diese normalerweise über die mechanische Kopplung der Bedienelemente (Lenkrad) als Lenkeigenschaften transportiert

werden (Amberkar, 2004). Bei Conduct by Wire kann auf eine direkte mechanische Kopplung verzichtet werden. Um die Eingriffsmöglichkeiten und die Einbindung des Fahrers nicht zu verschlechtern, wurde nach Möglichkeiten gesucht, den Fahrer im Falle eines Durchgriffs auf die Stabilisierungsebene adäquat über den Fahrzustand zu informieren. Eine der Ideen war die haptische Codierung des Fahrbahnzustands über ein taktiler Touchdisplay. Da bisher keine ähnlichen Untersuchungen vorliegen, wurde in einem ersten Schritt die Eignung eines taktilen Touchdisplays zur Übergabe eines differenzierten Feedbacks an den Fahrer überprüft.

Methode

In einem Versuch mit 45 Teilnehmern, davon 28 männlich, wurde die Unterscheidbarkeit verschiedener Rückmeldungsstärken des taktilen Touchdisplays untersucht. Die Teilnehmer waren im Schnitt 30,40 Jahre alt ($SD = 10,15$). Für die Versuche wurde der taktile Touchdisplaydemonstrator (8.4“) der Firma Immersion verwendet. Die taktilen Effekte sind hardwareseitig im Demonstrator hinterlegt, mit der Programmierung der grafischen Benutzeroberfläche im .net framework werden die gewünschten Effekte in der Software ausgewählt. Dabei wurden aus der verfügbaren Effektbibliothek des Displays vier geeignet erscheinende Rückmeldungen für die Studie ausgewählt. Es standen 47 taktile Rückmeldungen zur Auswahl, die in verschiedene Effektkategorien fallen (z.B. Einzelklick, Doppelklick, Rampe) und sich innerhalb der Kategorien durch die Rückmeldungsstärke, -dauer und Wiederholungsrate unterscheiden. Für den hier beschriebenen Versuch wurde die Kategorie „Einzelklick“ gewählt, da es sich bei dem Anwendungsszenario um einen Bestätigungsklick bei Druck einer Schaltfläche handelt. Es wurden die Effekte 0, 2, 4 und 5 der Effektliste ausgewählt. Alle vier Effekte gehören in die gleiche Effektgruppe (Einzelklick), haben eine Wiederholungsrate (Zeit bis zur erneuten Effektauslösung nach Betätigung) von 90ms und unterscheiden sich nur in ihrer relativen Effektstärke zueinander, wobei Effekt 0 der stärkste und Effekt 5 der schwächste Effekt war.

Jeder Teilnehmer erhielt zu Beginn des Versuchs einen Fragebogen der die persönlichen Daten und die Vorerfahrung im Umgang mit (taktilen) Touchdisplays erfasste. Zusätzlich wurde die Bereitschaft, mit einem solchen Display zu arbeiten, erfasst. Anschließend wurde den Teilnehmer das Display präsentiert und der Versuch erklärt. Auf dem ersten Screen des Versuchs bekam jeder Teilnehmer die Möglichkeit, die vier für den Versuch verwendeten Knöpfe solange auszuprobieren, bis er der Meinung war die Knöpfe ausreichend zu kennen. Für den eigentlichen Versuch bekam jeder Teilnehmer auf dem Display vier Seiten mit je 18 Knöpfen gezeigt. Die Knöpfe waren in Dreierreihen angeordnet (Abb. 2). In jeder Dreierreihe waren zwei Knöpfe mit gleicher taktiler Rückmeldung, die Rückmeldung des dritten Knopfs unterschied sich von den anderen beiden. Die Aufgabe der Teilnehmer bestand darin, den unterschiedlichen Knopf zu identifizieren. Zusätzlich wurden die Teilnehmer um eine Einschätzung der Rückmeldungsstärke im Verhältnis zu den beiden Vergleichsknöpfen gebeten. Hierzu stand den Teilnehmern eine visuelle Analogskala zur Verfügung. Die Ergebnisse wurden in einem separaten Beurteilungsbogen eingetragen.

Von den vier Testseiten untersuchten zwei Seiten (1 und 4) die Unterscheidbarkeit schwacher taktiler Unterschiede (z.B. Effekt 0 und Effekt 2) und zwei Seiten (2 und 3) die Unterscheidbarkeit starker taktiler Unterschiede (z.B. Effekt 0 und Effekt 4). Auf der letzten Seite des Testprogramms wurden die Teilnehmer aufgefordert, jeden Knopf nach persönlichem Gefallen zu bewerten. Zusätzlich wurde die Zeit erfasst, die jeder Teilnehmer für die Durchführung des Versuchs benötigte.

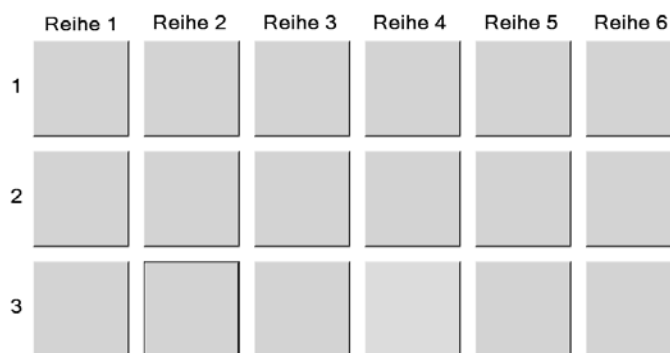


Abbildung 2: Graphische Benutzeroberfläche des taktilem Touchdisplays bei der Versuchsreihe.

Es gab drei unabhängige Versuchsbedingungen:

- 15. Gruppe 1 führte den Test ohne weitere Einschränkungen durch,
- 16. Gruppe 2 bekam Lärmschutzkopfhörer für die Versuchsdurchführung, um die akustische Rückmeldung des Displays (mechanisch bedingt, durch die Aktuatoren) zu reduzieren und
- 17. Gruppe 3 führte den Versuch durch, während laute Musik gehört wurde (keine akustische Rückmeldung mehr durch Display).

Die Teilnehmer wurden zufällig den Versuchsbedingungen zugewiesen. Es gab keine Unterschiede bezüglich Alter, Geschlecht und Vorerfahrung der Teilnehmer zwischen den Gruppen. Um Reihenfolgeeffekte auszuschließen wurde bei der Hälfte der Versuchspersonen die Reihenfolge umgekehrt.

Ergebnisse

Untersucht wurde, ob die Anzahl der Fehlerkennung zwischen den drei Versuchsbedingungen variiert. Als Fehlerkennung (FE) des Knopfes wurde die Klassifizierung eines der beiden gleichen Knöpfe als unterschiedlich gewertet. Eine Fehlerkennung der Stärke lag dann vor, wenn der unterschiedliche Knopf als stärker eingeordnet wurde als die Vergleichsknöpfe, obwohl er tatsächlich schwächer war und vice versa.

Tab.1: Anzahl Fehlklassifizierungen des Knopfes und der Rückmeldungsstärke (N = 15)

		Mittelwert	SD
G1 = ohne Einschränkung	FE Knopf	1,000	1,254
	FE Stärke	2,333	1,500
G2 = Gehörschutz	FE Knopf	1,867	2,973
	FE Stärke	3,667	3,792
G3 = Musik	FE Knopf	4,667	2,743
	FE Stärke	5,400	2,995

Zur Auswertung wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse durchgeführt. Es zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den Versuchsbedingungen ($F = 9,216$; $df = 2$; $p < .001$). Am wenigsten Fehler werden von Gruppe 1 gemacht, am meisten Fehler von Gruppe 3, die nur auf die taktile Rückmeldung angewiesen war. Gruppe 2, die eine reduzierte akustische Rückmeldung bekam, lag tendenziell zwischen den beiden anderen Versuchsgruppen bezüglich der Anzahl der Fehler. Eine Übersicht gibt Tabelle 1. Prozentual sind bei Gruppe 1 ca. 4 % Fehlerkennungen des Knopfes, in Gruppe 3 liegt die Quote bei ca. 19,5 %.

Bezüglich der Präferenz für bestimmte Knöpfe gab es keine Unterschiede zwischen den Versuchsbedingungen. Die Effekte 0, 2 und 4 wurden tendenziell positiv wahrgenommen, Effekt 5 schneidet deutlich schlechter in der Bewertung ab. Auch für die Dauer der Versuchsdurchführung ergaben sich keine Unterschiede zwischen den Gruppen ($F = 0,269$; $df = 2$; $p > .05$).

Diskussion

Mit den hier verwendeten Ausprägungen der taktilen Rückmeldung allein scheint eine eindeutige Identifizierung der taktilen Rückmeldungsstärke nicht möglich zu sein. In Kombination mit akustischer Rückmeldung ist jedoch eine fast 100%ige Erkennungsrate möglich. Es ist nicht davon auszugehen, dass die erhöhte Fehlerquote bei Gruppe 3 durch die Verwendung von Musik und der damit verbundenen Ablenkung in Zusammenhang steht. Dies ist belegt durch die gleiche benötigte Zeit in allen Versuchsgruppen. Bei starker Ablenkung wäre hier mit einer Steigerung der benötigten Zeit zu rechnen gewesen.

Das taktile Touchdisplay scheint geeignet, verschiedene taktile Rückmeldungen zu geben und zu unterscheiden. Die ähnliche Beurteilung aller Knöpfe spricht dafür, dass die Teilnehmer unabhängig von ihrer Versuchsbedingung die taktile Rückmeldung wahrgenommen haben. Die Deutlichkeit der Rückmeldung scheint entscheidend für die Bewertung zu sein, umso schwächer der taktile Effekt des Knopfes war, umso schlechter fiel die Beurteilung aus.

Einschränkend ist zu bemerken, dass bei der hier vorgestellten Untersuchung nur eine relative Unterscheidung verschiedener Rückmeldungsstärken untersucht wurde. Fraglich bleibt, ob beim Einsatz im Fahrzeug der Fahrer in der Lage ist absolute Rückmeldungsstärken zu unterscheiden. In zukünftigen Studien muss untersucht werden, ob der Einsatz des Displays auch unter Realbedingungen (Eigenvibration, Umgebungslautstärke) funktioniert. Weiterhin kann untersucht werden, ob es möglich ist akustische Rückmeldung zu verwenden, um gezielt die empfundene taktile Rückmeldung zu verstärken oder sogar zu verändern. Es könnte möglich sein, allein durch Verwendung unterschiedlicher akustischer Signale verschiedene taktile Rückmeldungen zu simulieren.

Literatur

- Amberkar, S., Bolourchi, F., Demerly, J. & Millsap, S. (2004). A Control System Methodology for Steer by Wire Systems. Tagungsband SAE World Congress, 8. – 11. März 2004, Detroit, Michigan.
- Donges, E. (1982). Aspekte der Aktiven Sicherheit bei der Führung von Personenkraftwagen. Automobil-Industrie, S. 183-190.
- Hoggan, E., Brewster, S. A. & Johnston, J. (2008). Investigating the Effectiveness of Tactile Feedback for mobile Touchscreens. Tagungsband der Konferenz für Computer Human Interaction 2008, 5 – 10 April 2008, Florenz, Italien.
- Immersion (2009). TouchSense® Tactile Feedback Design Kits for Touchscreens. http://www.immersion.com/docs/TS-Design-Kits_may09-v1.pdf [10. Juni 2009]
- Schreiber, M., Kauer, M. & Bruder, R. (2009). Maneuver Catalog for Semi-Autonomous Vehicle Guidance. Tagungsband des IEEE Intelligent Vehicle Symposiums 2009, 31. Mai bis 5. Juni 2009, Xi'an, China.
- Wiethoff, M.; Oei, H. L.; Pentinnen, M.; Anttila, V. & Marchau, V. W. A. J. (2002). Advanced Driver Assistance System: an Overview and Actor Position. Tagungsband des 15th Triennial World Congress, Barcelona, Spain.
- Winner, H.; Hakuli, S.; Bruder, R.; Konigorski, U. & Schiele, B. (2006). Conduct-by-Wire - ein neues Paradigma für die Weiterentwicklung der Fahrerassistenz. 4. Workshop Fahrerassistenzsysteme, Löwenstein/Höbllinsülz, 4.-6. Oktober 2006, p. 112-124.