

Informationskodierung mittels Taktiler Sitz-Matrix (TSM) – Wie gut erkennen wir vibrotaktile Muster?

Matti SCHWALK, Hangjian CUI, Thomas MAIER

*Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design (IKTD) –
Forschungs- und Lehrgebiet Technisches Design, Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 9, 70569 Stuttgart*

Kurzfassung: In mehreren Teilversuchen werden systematisch entwickelte vibrotaktile Muster über Sitzfläche und Rückenlehne angezeigt und deren Erkennungsraten ermittelt. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass Muster im hinteren Bereich der Sitzfläche generell besser erkannt werden. An der Rückenlehne sind die Erkennungsraten im unteren Bereich höher, ferner gibt es Vorteile für vertikal orientierte Muster gegenüber horizontal orientierten. Allgemein lässt sich festhalten, dass Muster mit weniger gleichzeitig aktivierten Motoren und größeren Abständen zwischen einander die höchsten Erkennungsraten aufweisen.

Schlüsselwörter: Mensch-Maschine-Interaktion, Taktiles Display, Taktile Sitz-Matrix (TSM), vibrotaktile Muster, Mustererkennung

1. Einleitung und Stand der Technik

Taktile dargebotene Informationen können den Menschen insbesondere in visuell geprägten Bediensituationen unterstützen (Schlick 2010; Petrov et al. 2011; Schwalk & Maier 2014). Die vorliegende Arbeit behandelt Grundlagen der taktile Mustererkennung am Beispiel eines Fahrzeugsitzes, die auf eine intuitive, eindeutige und robuste Fahrer-Fahrzeug-Kommunikation abzielen. Zwar existieren diverse Forschungsarbeiten zum Einsatz taktile Displays im Fahrzeug – Van Erp & Van Veen (2001), Van Erp et al. (2003), Stanley (2006), Fitch et al. (2011), Chang et al. (2011) u. a. weisen kürzere Reaktionszeiten und geringere Fehlerraten nach – Jedoch ist bisher nicht geklärt, wie hoch der maximale, taktile übertragbare Informationsgehalt ist bzw. welche konkreten vibrotaktile Muster eindeutig und zuverlässig erkannt und unterschieden werden können. Ein Hauptvorteil der taktile Wahrnehmung ist die Tatsache, dass dieser Wahrnehmungskanal häufig kaum belegt ist. Ferner besteht idealerweise ein ständiger Kontakt zwischen Nutzer und taktilem Display, wodurch die Aufmerksamkeit nicht erst auf einen situativ wichtigen Stimulus gerichtet werden muss. Darüber hinaus kann die Informationsübermittlung diskret erfolgen, ohne (ungewollte) Einbeziehung anderer Personen. Van Erp & Van Veen (2001) formulieren die vier wichtigsten Kategorien für den Einsatz taktile Displays im Fahrzeug als Sicherheit, Unterstützung, Spaß und Effizienz.

Einen exzellenten, umfassenden Überblick diverser haptische Unterstützungssysteme im Fahrzeug liefern Petermeijer et al. (2015a). Dieser enthält Systeme, die haptische Stimuli über das Lenkrad, das Gaspedal, den Sicherheitsgurt oder den Fahrersitz erzeugen. Eine Übersicht zu vibrotaktilem Feedback in Bezug auf das automatisierte Fahren findet sich darüber hinaus in Petermeijer et al. (2015b). Die folgende, kumulierte und ergänzte Auflistung beinhaltet ausschließlich Beiträge bzgl. taktile Displays, die Informationen über den (Fahrer-)Sitz anzeigen.

Vibrationsmotoren in Sitzfläche und Rückenlehne werden behandelt von Fitch (2008), Chang et al. (2010), Navarro et al. (2010), Chang et al. (2011), Fitch et al. (2011), Ji et al. (2011), Thomas (2013) und Schwalk et al. (2015b). Untersuchungen mit Motoren in der Sitzfläche werden beschrieben in Van Erp & Van Veen (2001), Van Erp et al. (2003), Lee et al. (2004), Van Erp & Van Veen (2004), Stanley (2006), Fitch et al. (2007), Rosengreen & Wennerholm (2008), Hogema et al. (2009), De Vries et al. (2009), Morrell & Wasilewski (2010), De Groot et al. (2011), General Motors (2013), Eisert et al. (2013), Eisert & Baldwin (2014), Nukarinen et al. (2014) und Nukarinen et al. (2015). Mit Vibrationsmotoren in der Rückenlehne beschäftigen sich Tan et al. (2003) und Telpaz et al. (2015).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass es diverse Realisierungen für vibrotaktile Informationskodierung mittels eines (Fahrer-)Sitzes gibt, welche auch meist eine messbare Optimierung der Fahrer-Fahrzeug-Interaktion bewirken. Jedoch behandelt keine der genannten Arbeiten die grundlegende Entwicklung vibrotaktiler Muster auf einem abstrakteren Niveau. Der Fokus des vorliegenden Beitrags liegt daher auf der systematischen Generierung von möglichen vibrotaktilen Grundmustern und deren Vergleich bzgl. Erkennbarkeit und Unterscheidbarkeit.

2. Methode

Für die Durchführung der Versuche wurde die Taktile Sitz-Matrix (TSM) auf einem separat stehenden Fahrzeugsitz angebracht. Im Folgenden werden der technische Aufbau, die systematische Generierung von vibrotaktilen Mustern, sowie der allgemeine Versuchsablauf beschrieben.

2.1 Versuchsaufbau und Mustergenerierung

Die TSM wurde als Sitzbezug konzipiert und besteht aus 47 vibrotaktilen Motoren vom Typ PicoVibe 310-113 ($\varnothing 10$ mm / 3,4 mm), die auf einem zugeschnittenen Schaumstoff positioniert und mit einem Stoffbezug geschützt sind (Schwalk et al. 2015b). 25 Motoren sitzen in der Rückenlehne, 16 Motoren in der Sitzfläche und jeweils 3 Motoren in den Seitenwangen. Der Aufbau orientiert sich an den Körpermaßtabellen in DIN 33402-2 (2005), um für alle Nutzergruppen einen ständigen Kontakt zu allen Vibrationsmotoren sicherzustellen. Ferner wurde die simultane Zweipunktschwelle berücksichtigt und auf Basis von Goldstein (2008) und Fitch (2008) ein Minimalabstand zwischen den Motoren von 60 mm gewählt. Die Vibrationsmotoren werden auf Basis von Literaturangaben (u. a. Fitch 2008) und eigenen Voruntersuchungen (Schwalk et al. 2015b) mit einer Vibrationsfrequenz von 140 Hz betrieben. Diese Frequenz gilt als deutlich wahrnehmbar und komfortabel. Angesteuert wird der Prüfstand mithilfe der Software LabVIEW, welche ebenfalls die Probandeneingaben aufzeichnet, die über einen Touchscreen erfolgen. Auf Basis einer Einteilung nach Loomis & Lederman (1986) und der Erkenntnisse aus eigenen Voruntersuchungen (Schwalk et al. 2015b) wurde als Darbietungsart der Muster die gepulste, simultane Präsentation der Stimuli über jeweils gleichzeitig aktivierte Vibrationsmotoren gewählt. Die Aktivierung erfolgte dabei über 3 Impulse mit je 500 ms Dauer, sowie Zwischenintervallen von 250 ms.

Bei der aktuellen Studie wurden alle Muster entweder über die Sitzfläche (Richtungsmuster) oder über die Rückenlehne (richtungsbezogene, symmetrische und komplexe Warnungsmuster) angezeigt. Die Sitzfläche wurde aufgrund der

räumlichen Kompatibilität zu Fahrzeug und Straße als bevorzugte Anzeige von Richtungen gewählt. Für Warnungsmuster empfiehlt u. a. Fitch 2008 die Rückenlehne aufgrund generell kürzerer Antwortzeiten. Des Weiteren sind hier durch die anatomisch bedingte höhere Auflösung der Motoren komplexere Muster möglich. Abb. 1 zeigt die schematische Darstellung von Sitzfläche und Rückenlehne mit Einteilung in Bereiche als Basis für die Generierung der Muster. Die Abbildung zeigt ferner einen Probanden bei der Eingabe.

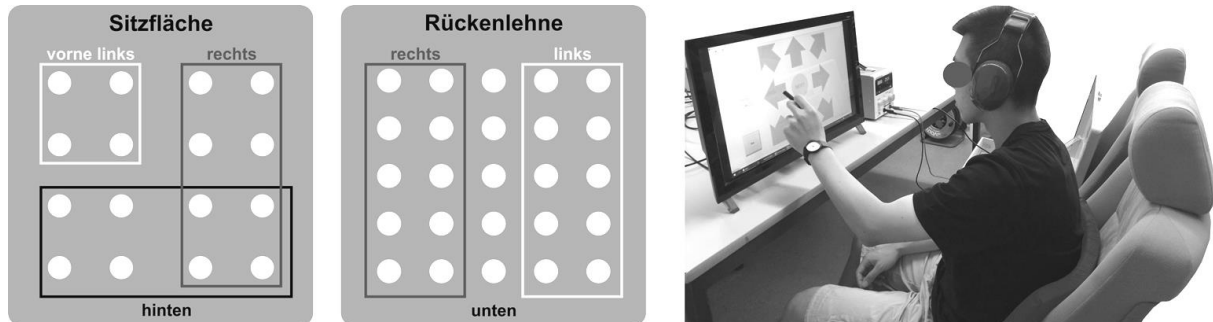


Abbildung 1: Schematische Darstellung von Sitzfläche und Rückenlehne mit Bereichen (links) und Proband bei der Eingabe (rechts).

Als Muster wird eine definierte Anzahl und Anordnung von gleichzeitig aktivierten Vibrationsmotoren bezeichnet. Die Muster werden auf Basis von grundsätzlichen Aufbaugestalten (Maier & Schmid 2014) sowie der oben definierten Bereiche generiert (vgl. Schwalk et al. 2015b). Die 8 Richtungen (vgl. Abb. 1, rechts) werden jeweils durch verschiedene Muster auf der Sitzfläche angezeigt (siehe Abb. 2 für konkrete Musterdarstellung mit Ergebnissen).

2.2 Probandenkollektiv und Versuchsdurchführung

Die erste Versuchsreihe wurde mit 20 Probanden ($N = 20$ / 14 m, 6 w) mit einem Durchschnittsalter von 26,2 Jahren ($s = 1,1$ Jahre) durchgeführt, wobei die mittlere Körpergröße 172,5 cm betrug ($s = 7,2$ cm). Die zweite Versuchsreihe umfasste 10 Probanden ($N = 10$ / 9 m, 1 w) mit einem Durchschnittsalter von 26,3 Jahren ($s = 1,2$ Jahre) und einer mittleren Körpergröße von 172,9 cm ($s = 6,7$ cm).

Den Probanden wurde bei jedem Teilversuch ein definierter Pool an vibrotaktilen Mustern in randomisierter Abfolge jeweils 3-mal angezeigt. Die Eingabe einer Richtung bzw. Auswahl eines konkreten Musters erfolgte über einen Touchscreen. Eingabefehler wurden erfasst und daraus die Erkennungsraten der Muster bestimmt. Es wurde stets ein Gehörschutz getragen, um akustische Störfaktoren zu minimieren. Mit jedem Probanden wurde vorab ein Motortest durchgeführt, indem alle Motoren nacheinander kurz aktiviert wurden. Dabei konnten sich die Probanden auch an das Gefühl der vibrierenden Motoren gewöhnen.

3. Versuchsreihen und Ergebnisse

Insgesamt wurden mehrere Teilversuche durchgeführt, welche in die Versuchsreihen 1 ($N = 20$) und 2 ($N = 10$) gegliedert sind. Innerhalb der beiden Versuchsreihen wurden jeweils zunächst verschiedene Richtungsmuster über die

Sitzfläche angezeigt und anschließend richtungsbezogene, symmetrische und komplexe Warnungsmuster über die Rückenlehne. Für Versuchsreihe 2 wurden die vielversprechendsten Muster aus Versuchsreihe 1 ausgewählt. Abb. 2 zeigt eine Übersicht der Versuchsreihen und Teilversuche mit allen Mustern und Ergebnissen.

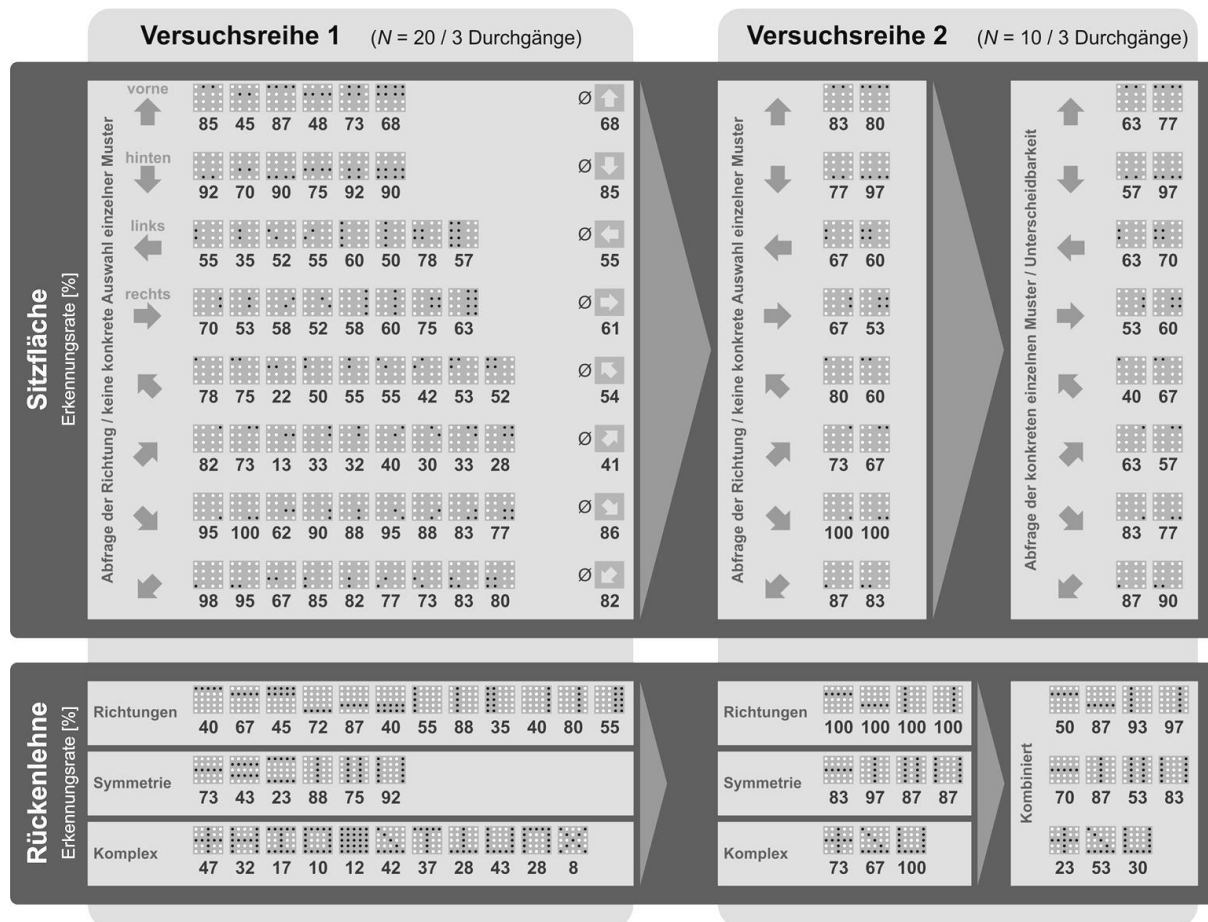


Abbildung 2: Übersicht der Versuchsreihen und Teilversuche mit allen Mustern und Ergebnissen.

In Abb. 2 ist jeder Muster-Pool mit einem hellgrauen Kasten hinterlegt. Es werden jeweils alle Muster mit ihrer Erkennungsrate angegeben. Für die Richtungsmuster in der Sitzfläche in Versuchsreihe 1 wird zudem jeweils die mittlere Erkennungsrate für jede der 8 Richtungen dargestellt. Beim jeweils ersten Teilversuch der beiden Versuchsreihen (Richtungsmuster in der Sitzfläche) musste vom Probanden je eine der 8 Richtungen ausgewählt werden. Bei allen anderen Teilversuchen wurde auch die Unterscheidbarkeit untersucht, d. h. der Proband musste jeweils ein konkretes Muster auf dem Touchscreen auswählen.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Da die Studie darauf abzielt, die generelle Eignung möglichst vieler Muster abzutasten und eine Basis für weitere, differenziertere Untersuchungen zu liefern, wurde auf eine inferenzstatistische Auswertung verzichtet. Die deskriptive Auswertung der Erkennungsraten lässt die Ableitung folgender Tendenzen zu. Auf der Sitzfläche werden Muster im hinteren Bereich besser erkannt als im vorderen

Bereich. Dies deckt sich mit der Druckverteilung beim Sitzen nach Fitch et al. (2007) und Rosengreen & Wennerholm (2008), wonach im hinteren Bereich eine höhere Flächenpressung vorliegt. An der Rückenlehne sind höhere Erkennungsraten im unteren Bereich zu beobachten, was ebenfalls mit der Druckverteilung erklärt werden kann. Ferner werden vertikal orientierte Muster generell besser erkannt, als horizontal orientierte. Auffällig ist dabei, dass bei den richtungsanzeigenden, vertikalen Mustern an der Rückenlehne nicht die beiden äußeren Spalten am besten erkannt wurden, sondern die jeweils zweiten Spalten von außen, was sich wiederum mit der Druckverteilung an der Rückenlehne nach Ji et al. (2011) deckt. Entsprechendes gilt auch für horizontal orientierte Muster bzw. aktivierte Zeilen der Vibrationsmotoren. Im Allgemeinen weisen Muster mit weniger gleichzeitig aktivierten Motoren tendenziell höhere Erkennungsraten auf. Dabei steigt die Erkennungswahrscheinlichkeit mit größer werdenden Abständen zwischen den Vibrationsmotoren. Die taktile Wahrnehmung und Differenzierungsfähigkeit des Menschen stößt bei erhöhter Komplexität schnell an ihre Grenzen. Umso entscheidender ist die optimale Ausnutzung des möglichen Spektrums. Die Grenzen müssen folglich weiter untersucht und herausgearbeitet werden. Da die Erkennbarkeit und insbesondere die Unterscheidbarkeit der Muster stark vom jeweiligen Muster-Pool abhängen, liegt besonderes Potenzial in der optimalen Zusammenstellung von Mustern, die gemeinsam für eine bestimmte Bediensituation verwendet werden. Auch die Einbeziehung unterschiedlicher Altersgruppen ist notwendig, um allgemeingültige Gestaltungsvorgaben formulieren zu können. Durch Anwendung der Taktiken Semantik können dabei geeignete Muster situationsabhängig mit sinnfälligen Bedeutungen verknüpft werden.

5. Literatur

- Chang W, Lee K, Ji Y, Pyun J, Kim S (2010) The study of human haptic perception for vehicle haptic seat development. In: *Advances in Cognitive Ergonomics*, Edited by Kaber D and Boy G, CRC Press, pp. 397-407.
- Chang W, Hwang W, Ji Y G (2011) Haptic Seat Interfaces for Driver Information and Warning Systems. In: *International Journal of Human-Computer Interaction*, 27(12), pp. 1119-1132.
- De Groot S, De Winter J C F, García J M L, Mulder M, Wieringa P A (2011) The effect of concurrent bandwidth feedback on learning the lane-keeping task in a driving simulator. In: *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, vol. 53, no. 1, pp. 50-62.
- De Vries S C, Van Erp J B F, Kiefer R J (2009) Direction coding using a tactile chair. In: *Applied Ergonomics*, vol. 40, issue 3, pp. 477-484.
- DIN 33402-2 (2005) *Ergonomie – Körpermaße des Menschen – Teil 2: Werte DIN 33402-2 2005*.
- Eisert J, Garcia A, Payne J J, Baldwin C L (2013) Tactile Route Guidance Performance and Preference. In: *Proc. of the Human Factors and Erg. Society, 57th Annual Meeting*, pp. 1504-1508.
- Eisert J L, Baldwin C L (2014) Driving by the Seat of Your Pants: A Vibrotactile Navigation Study. In: *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society, 58th Annual Meeting*, pp. 2033-2037.
- Fitch G M, Kiefer R J, Kleiner B M, Hankey J M (2007) Identifying the Pattern of Localization Responses with a Haptic Seat Intended to Alert Drivers to the Direction of a Crash Threat. In: *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society, 51th Annual Meeting*, pp. 1517-1521.
- Fitch G M (2008) *Driver Comprehension of Integrated Collision Avoidance System Alerts Presented through a Haptic Driver Seat*, Dissertation. Blacksburg, Virginia: Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Fitch G M, Hankey J M, Kleiner B M, Dingus T A (2011) Driver comprehension of multiple haptic seat alerts intended for use in an integrated collision avoidance system. In: *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, vol. 14, no. 4, pp. 278-290.
- General Motors (2013) 2014 Sierra Safety Alert Seat Aids Driver Awareness. Internet, URL: <http://media.gm.com/media/us/en/gm/news.detail.html/content/Pages/news/us/en/2013/Apr/0430-sierra.html>, abgerufen am 11.12.2015.

- Goldstein E B (2008), Wahrnehmungspsychologie – Der Grundkurs, 7. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, S. 343.
- Hogema J H, De Vries S C, Van Erp J B F, Kiefer R J (2009) A tactile seat for direction coding in car driving: Field evaluation. In: IEEE Transactions on Haptics, vol. 2, no. 4, pp. 181-188.
- Ji Y G, Lee K, Hwang W (2011) Haptic perceptions in the vehicle seat. In: Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries, vol. 21, no. 3, pp. 305-325.
- Lee J D, Hoffman J D, Hayes E (2004) Collision warning design to mitigate driver distraction. In: CHI '04 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, vol. 6, no. 1, pp. 65-72.
- Loomis J M, Lederman S J (1986) Tactual perception. In: Boff K, Kaufman L, Thomas J (Eds.), Handbook of Perception and Human Performance, Volume II, Chapt. 31.
- Maier T, Schmid M (2014) Skript zur Vorlesung Technisches Design. Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design – Forschungs- und Lehrgebiet Technisches Design, Universität Stuttgart.
- Morrell J, Wasilewski K (2010) Design and evaluation of a vibrotactile seat to improve spatial awareness while driving. In: IEEE Haptics Symposium, pp. 281-288.
- Navarro J, Mars F, Forzy J-F, El-Jaafari M, Hoc J-M (2010) Objective and subjective evaluation of motor priming and warning systems applied to lateral control assistance. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 42, no. 3, pp. 904-912.
- Nukarinen T, Raisamo R, Farooq A, Evreinov G, Surakka V (2014) Effects of directional haptic and non-speech audio cues in a cognitively demanding navigation task. In: NordiCHI '14 Proceedings of the 8th Nordic Conf. on Human-Computer Interaction: Fun, Fast, Foundational, pp. 61-64.
- Nukarinen T, Rantala J, Farooq A, Raisamo R (2015) Delivering directional haptic cues through eyeglasses and a seat. In: IEEE World Haptics Conference, pp. 345-350.
- Petermeijer S M, Abbink D A, Mulder M, De Winter J C F (2015a) The Effect of Haptic Support Systems on Driver Performance: A Literature Survey. In: IEEE Transactions on Haptics.
- Petermeijer S M, De Winter J C F, Bengler K J (2015b) Vibrotactile Displays: a Survey With a View on Highly Automated Driving. In: IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems.
- Petrov A, Pfeffer S, Maier T (2011) Visuelle Präsentation und taktile Repräsentation – redundante, substitutive oder komplementäre Informationsdarbietung? In: 9. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme. Berlin.
- Rosengren P, Wennerholm K (2008) Design of a vibro-tactile warning system in an automobile application, Student Paper. Sweden: Linköpings University, Division of Industrial Ergonomics.
- Schlick C (2010) Arbeitswissenschaft, 3. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, S. 993.
- Schwalk M, Maier T (2014) Multimodale HMI – Untersuchungen zur Erweiterung der Arbeitsgedächtniskapazität durch visuell-taktile Anzeiger. In: Krzywinski J, Linke M, Wölfel C, Kranke G (Hrsg.) Entwerfen Entwickeln Erleben 2014 – Beiträge zum Technischen Design. Dresden, S. 233-242.
- Schwalk M, Sperl M, Maier T (2015a) Abbildung von Druck- und Vibrationsreizen auf dem menschlichen Körper durch einen variablen taktile Hüftgurt. In: VerANTWORTung für die Arbeit der Zukunft, 61. Frühjahrskongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft. Karlsruhe.
- Schwalk M, Kalogerakis N, Maier T (2015b) Driver support by a vibrotactile seat matrix – Recognition, adequacy and workload of tactile patterns in take-over scenarios during automated driving. In: 6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2015) and the Affiliated Conferences. Las Vegas, pp. 1427-1434.
- Stanley L M (2006) Haptic and auditory cues for lane departure warnings. In: Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, vol. 50, no. 22, pp. 2405-2408.
- Tan H Z, Gray R, Young J J, Traylor R (2003) A Haptic Back Display for Attentional and Directional Cueing. In: Haptics-e, vol. 3, no. 1.
- Telpaz A, Rhindress B, Zelman I, Tsimhoni O (2015) Haptic seat for automated driving: preparing the driver to take control effectively. In: Proc. 7th Int. Conf. Automot. User Interfaces Interact. Veh. Appl. ACM, pp. 23-30.
- Thomas L C (2013) Vibro-tactile seat interface as a cueing device for different types of information. In: Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society, 57th Annual Meeting, pp. 1184-1188.
- Van Erp J B F, Van Veen H (2001) Vibro-Tactile Information Presentation in Automobiles. In: Proceedings of Eurohaptics, pp. 99-104.
- Van Erp J B F, Veltman J A, Van Veen H, Oving A B (2003) Tactile Torso Display as Countermeasure to Reduce Night Vision Goggles Induced Drift. In: Proc. RTO Meeting Spatial Disorientation in Military Vehicles: Causes, Consequences and Cures, vol. 86, pp. 49-1-49-8.
- Van Erp J B F, Van Veen H A (2004) Vibrotactile in-vehicle navigation system. In: Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, vol. 7, no. 4-5, pp. 247-256.