

## **Vibrotaktile Kodierung von Geschwindigkeitsinformationen mittels Taktiler Sitz-Matrix (TSM) – statische vs. dynamische Muster**

Matti SCHWALK, Mathis HELBECK, Thomas MAIER

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

**Kurzfassung:** Es werden Erkennungsraten und Antwortzeiten vibrotaktiler Muster (statisch und dynamisch) in Sitzfläche und Rückenlehne zur Übermittlung von Geschwindigkeitsinformationen erfasst. Muster mit dynamischem Verlauf werden in diesem semantischen Kontext eindeutiger und schneller erkannt als statische Muster. Die Einbeziehung der gesamten TSM weist Vorteile gegenüber der separaten Verwendung von Rückenlehne oder Sitzfläche auf. Des Weiteren werden schneller durchlaufende dynamische Muster zuverlässiger und mit geringeren Antwortzeiten erkannt, als langsamer durchlaufende.

**Schlüsselwörter:** Taktile Sitz-Matrix (TSM), vibrotaktile Muster

### **1. Einleitung**

Durch die Einbeziehung des haptischen Wahrnehmungskanals kann der Mensch in komplexen Bediensituationen (z. B. Flugzeugcockpit) unterstützt werden (Schlick 2010; Petrov et al. 2011; Schwalk & Maier 2014). Einige Beiträge zum Einsatz taktiler Displays im Fahrzeugbereich bestätigen kürzere Antwortzeiten und geringere Fehlerraten (Van Erp & Van Veen 2001, Van Erp et al. 2003, Stanley 2006, Fitch et al. 2011, Chang et al. 2011). Eine umfassende Übersicht findet sich in Petermeijer et al. (2015). Relevante Arbeiten zu taktilen Displays im Sitz werden in Schwalk et al. (2016) aufgeführt. Im Bereich der taktilen Musterentwicklung (u. a. Anordnung und Anzahl von Einzelreizen, Verläufe) besteht noch immer hoher Forschungsbedarf (Petermann-Stock et al. 2015, Othersen 2016, Jones 2008). Für vibrotaktile Gürtel weisen Barber et al. (2015) nach, dass verschiedene statische und dynamische Muster im Sinne einer „taktilen Syntax“ in relativ kurzer Zeit gelernt und abgerufen werden können. Die vorliegende Arbeit behandelt die vibrotaktile Kodierung von Geschwindigkeitsinformationen durch statische und dynamische Muster mittels Taktiler Sitz-Matrix (TSM, vgl. Schwalk et al. 2016) im Anwendungsszenario eines simulierten Fluges in einem Segelflieger bzw. Motorsegler.

### **2. Methode**

Für die Versuche wird die TSM (25 Aktuatoren in der Rückenlehne, 16 Aktuatoren in der Sitzfläche) im Cockpit eines stehenden Motorseglers (Piloten-Gruppe) bzw. auf einem separaten Fahrzeugsitz im Labor (Nicht-Piloten-Gruppe) implementiert. Die TSM ist unter Berücksichtigung der Zweipunktschwelle (Goldstein 2008, Fitch 2008) nach DIN 33402-2 (2005) für verschiedene Körpergrößen ausgelegt. Die Motoren werden mit einer Frequenz von ca. 170 Hz betrieben (mittlere bis starke, komfortable

Intensitätsempfindung, vgl. Kalogerakis 2014, Fitch 2008). Die Geschwindigkeitsinformationen werden als Handlungsaufforderung umgesetzt, wie die Geschwindigkeit vom Piloten manipuliert werden soll. Dabei müssen die Probanden jedes angezeigte Muster jeweils der Information „Geschwindigkeit erhöhen“ (Joystickeingabe: Drücken) oder der Information „Geschwindigkeit reduzieren“ (Joystickeingabe: Ziehen) zuordnen. Die Muster werden über die Rückenlehne, Sitzfläche oder eine Kombination aus beiden Bereichen angezeigt. Dabei wird einerseits auf statische Muster mit hohen Erkennungsraten (Schwalk et al. 2015) zurückgegriffen, die durch ihre räumliche Positionierung eine Orientierung aufweisen (Aktivierungsdauer 3 s). Zusätzlich werden dynamische Muster, sog. Scan-Displays (vgl. Loomis & Lederman 1986), entwickelt, die „zeilenweise“ bzw. „wellenförmig“ über die TSM verlaufen. Dabei sind immer 1-3 Zeilen der Matrix gleichzeitig aktiviert. Unterschieden wird zudem zwischen langsamen und schnellen Scan-Verläufen (Aktivierungsdauer der Zeilen 250 ms bzw. 100 ms). Abbildung 1 zeigt die systematische Übersicht aller 32 Muster (20 statische, 12 dynamische) inkl. Ausblick auf die Ergebnisse (siehe blau-grau-gelbe Balken).



**Abbildung 1:** Übersicht und Benennung der statischen und dynamischen Reizmuster.

Ziel der Untersuchungen ist es, die beiden Darbietungsformen statisch und dynamisch in Bezug auf deren Eignung zur Anzeige der längs zum Nutzer orientierten Geschwindigkeitsinformationen zu untersuchen und zu vergleichen. Folgenden Hypothesen werden dabei überprüft:

- Dynamisch verlaufende Muster sind für die Darbietung von Geschwindigkeitsinformationen aufgrund der Bedeutungskompatibilität (Schmid & Maier 2016) mit der Flugzeugbewegung besser geeignet.
- Schneller durchlaufende dynamische Muster werden (aufgrund der kürzeren Gesamtanzeigedauer) schneller und eindeutiger erkannt bzw. zugeordnet als langsamer durchlaufende Muster.
- Die Sitzfläche eignet sich aufgrund der Bewegungskompatibilität (Schmid & Maier 2016) der Ebenen von Display und Flugzeug besser zur Präsentation von Geschwindigkeitsinformationen, als die Rückenlehne.

Es wurden zwei Versuchsreihen, jeweils mit Piloten (Segler-/Motorsegler-Piloten) und Nicht-Piloten (Studierenden), durchgeführt (siehe Tab. 1). Anzumerken ist, dass 7 Piloten und 2 Nicht-Piloten an beiden Versuchsreihen teilnahmen.

**Tabelle 1:** Übersicht zum Probandenkollektiv für beide Versuchsreihen.

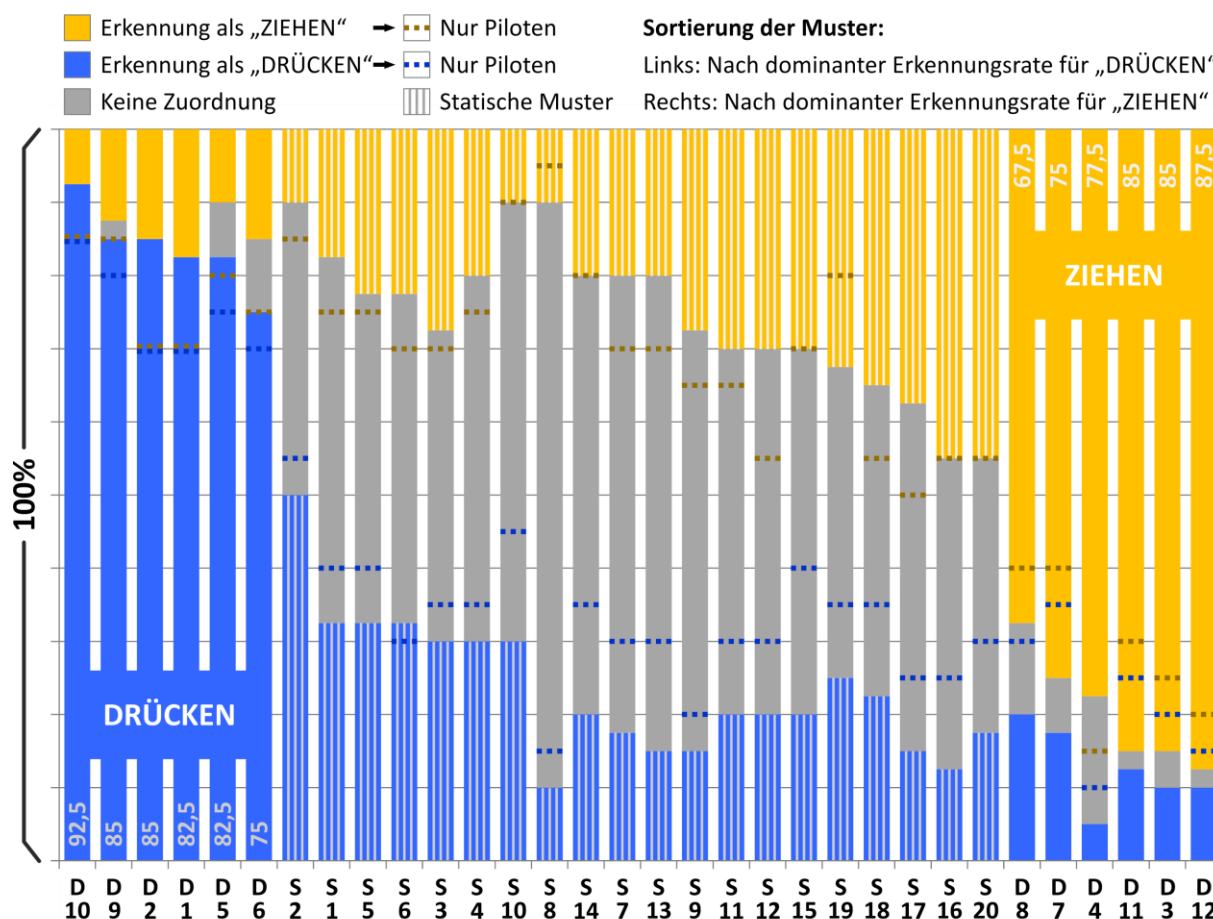
		Piloten	Nicht-Piloten	Gesamt
VERSUCHS-REIHE 1	Probandenzahl	n = 10 (10m, 0w)	n = 10 (7m, 3w)	N = 20 (17m, 3w)
	Ø-Alter [Jahre]	27,0 ± 10,1	28,2 ± 8,0	27,6 ± 9,1
VERSUCHS-REIHE 2	Probandenzahl	n = 9 (9m, 0w)	n = 9 (7m, 2w)	N = 18 (16m, 2w)
	Ø-Alter [Jahre]	32,4 ± 10,1	23,8 ± 2,2	28,1 ± 8,5

Bei Versuchsbeginn erfolgte stets ein Motortest inkl. kurzer Gewöhnung an das Gefühl der vibrierenden Motoren. Der Einfluss von Kleidung kann nach Duthoit et al. (2016) vernachlässigt werden. In Versuchsreihe 1 wurden jedem Probanden alle 32 Muster in randomisierter Reihenfolge je 2 mal angezeigt und dabei die spontane, intuitive Zuordnung zu einer der beiden Informationen „Geschwindigkeit erhöhen“ (Joystick drücken) bzw. „Geschwindigkeit reduzieren“ (Joystick ziehen) abgefragt. Die Eingabe erfolgte über einen auf dem Schoß positionierten Joystick. Wenn keine eindeutige Zuordnung möglich war, konnten die Probanden die Option „keine Information“ wählen. Die Ergebnisse werden in Form von Erkennungsraten (prozentuale Zuordnung zu einer Information) wiedergegeben (siehe Abb. 2). Die am eindeutigsten zugeordneten Muster wurden in Versuchsreihe 2 in einer simulierten Flugsituation hinsichtlich Erkennungsraten und Antwortzeiten evaluiert (Video + Geräuschkulisse eines simulierten Fluges über Monitor bzw. Kopfhörer). Alle Muster wurden dabei in randomisierter Reihenfolge je 5 mal dargeboten.

### 3. Versuchsreihen und Ergebnisse

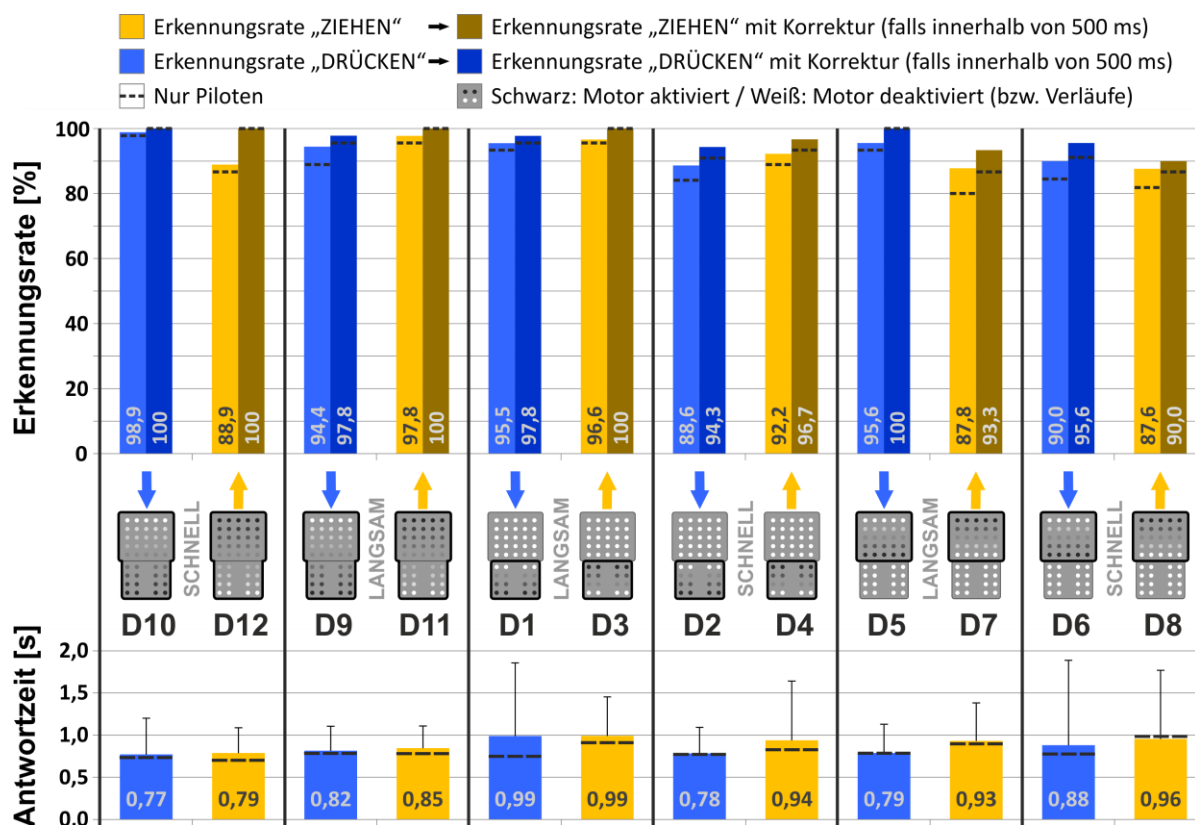
Als Ergebnis der ersten Versuchsreihe zeigt Abbildung 2 die durchschnittliche, prozentuale Zuordnung der angezeigten Muster zu den Handlungsaufforderungen „Drücken“ (blau) und „Ziehen“ (gelb) aller Probanden (N = 20). Die Werte für die Gruppe der Piloten (n = 10) sind mit gestrichelten Linien zusätzlich eingezeichnet

(Sortierung: Von links nach Erkennung für „Drücken“, von rechts: nach Erkennung für „Ziehen“). In der Mitte ergibt sich ein Bereich nicht eindeutiger Zuordnung (grau). Es zeigt sich, dass die dynamischen Muster mit 75 % bis 92,5 % für „Drücken“ und 67,5 % bis 87,5 % für „Ziehen“ eine eindeutigere Zuordnung bewirken. Die statischen Muster liegen bei maximal 50 % für „Drücken“ bzw. 45 % für „Ziehen“. Für die zweite Versuchsreihe werden daher ausschließlich die 12 dynamischen Muster verwendet.



**Abbildung 2:** Zuordnung der Muster zu den Informationen „Geschwindigkeit erhöhen“ („Drücken“) und „Geschwindigkeit reduzieren“ („Ziehen“) sowie grauer Bereich nicht eindeutiger Zuordnung (jeweils in Prozent)

Die in Versuchsreihe 2 mit den 12 dynamischen Mustern während einer simulierten Flugsituation erfassten Ergebnisse sind in Abbildung 3 dargestellt. Dabei werden die durchschnittlichen Erkennungsraten aller Probanden ( $N = 18$ , blaue und gelbe Balken) sowie zusätzlich die der Piloten-Gruppe ( $n = 9$ , gestrichelte Linie) angegeben. Zudem werden die Antwortzeiten mit Standardabweichung visualisiert. Die Erkennungsraten werden jeweils mit zwei Balken wiedergegeben. Dabei steht der linke, hellere Balken für die direkte Ersteingabe, während der rechte, dunklere Balken Korrekturen innerhalb 500 ms beinhaltet. Es lässt sich festhalten, dass die ohnehin sehr hohen Erkennungsraten bei dieser Betrachtung zu Werten von bis zu 100 % führen. Dies gilt insbesondere für Muster, welche die gesamte TSM einbeziehen (D9, D10, D11, D12) und dadurch nahezu fehlerfrei zugeordnet werden können. Auch die Antwortzeiten sind bei diesen Mustern am geringsten, wengleich hierbei keine Signifikanz nachgewiesen werden kann.



**Abbildung 3:** Erkennungsraten der 12 dynamischen Muster bei Ersteintragung (hellere Balken) und unter Einbeziehung von Korrekturen, die innerhalb von 500 ms erfolgten (dunklere Balken), sowie Antwortzeiten (mit Standardabweichung)

#### 4. Zusammenfassung und Ausblick

Aus den Ergebnissen lassen sich grundlegende Tendenzen ableiten. Muster mit dynamischem Verlauf schneiden im beschriebenen Szenario zur Übermittlung von Geschwindigkeitsinformationen generell besser ab als statische Muster. Dies bestätigt die auf Basis der Bedeutungskompatibilität hergeleitete Hypothese. Die Einbeziehung der gesamten TSM weist in diesem Kontext generell Vorteile gegenüber der separaten Verwendung von Rückenlehne oder Sitzfläche auf. Des Weiteren werden schneller durchlaufende dynamische Muster entsprechend der Hypothese zuverlässiger und schneller erkannt, als langsamer durchlaufende. Auch die dritte Hypothese der tendenziell besseren Eignung der Sitzfläche im Vergleich zur Rückenlehne bzgl. der Semantik der Geschwindigkeit scheint sich zu bestätigen. Die Rückenlehne könnte dabei für Warninformationen freigehalten werden, wie von Fitch (2008) empfohlen. Diese bietet durch ihre Auflösung ferner die Möglichkeit zur Anzeige komplexerer Muster (vgl. Schwalk et al. 2016), z. B. für Höheninformationen.

Die Ausprägung der Zuordnung bei der separat betrachteten Piloten-Gruppe (siehe Abb. 2) fällt geringer aus, als der Durchschnitt aller Probanden. Dies könnte auf deren größeres Fachwissen (mehr potenzielle Informationen) zurückzuführen sein (z. B. Assoziation eines Piloten von Mustern in der Sitzfläche mit Fahrwerksinformationen). Die Ergebnisse sind als erste Schritte zur taktilen Kodierung von Geschwindigkeitsinformationen zu sehen. Weitere Untersuchungen sowie ein Transfer der Erkenntnisse auf den Fahrzeugbereich sind notwendig.

## 5. Literatur

- Barber D J, Reinerman-Jones L E, Matthews G (2015) Toward a Tactile Language for Human-Robot Interaction: Two Studies of Tacton Learning and Performance. In: *Human Factors*, 1-20. DOI: 10.1177/0018720814548063.
- 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.
- DIN 33402-2 (2005) *Ergonomie – Körpermaße des Menschen – Teil 2: Werte DIN 33402-2 2005*.
- Duthoit V, Sieffermann J-M, Enrègle E, Blumenthal D (2016) Perceived Intensity of Vibrotactile Stimuli: Do Your Clothes Really Matter? In: *EuroHaptics 2016: Haptics: Perception, Devices, Control, and Applications*, pp. 412-418. DOI: 10.1007/978-3-319-42321-0\_38.
- 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.
- Goldstein E B (2008) *Wahrnehmungspsychologie – Der Grundkurs*, 7. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, S. 343.
- Jones L A, Sarter N B (2008) Tactile Displays: Guidance for Their Design and Application. In: *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society (Vol. 50 (1))*, pp. 90-111.
- Kalogerakis N (2014) *Experimentelle Untersuchung zur multimodalen Informationsdarbietung beim automatisierten Fahren*, Masterarbeit. Stuttgart: Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design – Forschungs- und Lehrgebiet Technisches Design, Universität Stuttgart. (unveröffentlicht)
- 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.
- Othersen I (2016) *Vom Fahrer zum Denker und Teilzeitlenker – Einflussfaktoren und Gestaltungsmerkmale nutzerorientierter Interaktionskonzepte für die Überwachungsaufgabe des Fahrers im teilautomatisierten Modus*. AutoUni – Schriftenreihe Band 90, Volkswagen AG (Hrsg.). Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Petermann-Stock I, Hackenberg L, Muhr T, Josten J, Eckstein L (2015). „Bitte übernehmen Sie das Fahren!“ Ein multimodaler Vergleich von Übernahmestrategien. In: *AAET (Hrsg.), Tagungsband zur AAET 2015 – Automatisierungs-, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel*, S. 345-369. Braunschweig: IST Niedersachsen e.V.
- Petermeijer S M, Abbink D A, Mulder M, De Winter J C F (2015) The Effect of Haptic Support Systems on Driver Performance: A Literature Survey. In: *IEEE Transactions on Haptics*.
- 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.
- Schlick C (2010) *Arbeitswissenschaft*, 3. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, S. 993.
- Schmid M, Maier T (2016) *Manuskript zur Vorlesung Interface-Design*. Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design – Forschungs- und Lehrgebiet Technisches Design, Universität Stuttgart.
- 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, Kalogerakis N, Maier T (2015) 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.
- Schwalk M, Cui H, Maier T (2016) Informationskodierung mittels Taktilem Sitz-Matrix (TSM) – Wie gut erkennen wir vibrotaktile Muster?. In: *Arbeit in komplexen Systemen – Digital, vernetzt, human?!*, 62. Frühjahrskongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (GfA). Aachen.
- 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.
- 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.

