

Gestaltung einer haptischen Navigationshilfe für den mobilen Bereich

Romy Kniewel
Fraunhofer IAO
Competence-Center Human-
Computer Interaction
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart
romy.kniewel@gmail.com

Cornelia Hipp
Fraunhofer IAO
Competence-Center Human-
Computer Interaction
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart
cornelia.hipp@iao.fraunhofer.de

Abstract

Dieser Beitrag beschreibt relevante Arbeitsergebnisse bezüglich des Konzepts eines haptischen User Interfaces, das im Rahmen des EU-Projektes ASK-IT angefertigt wurde. Es wurde eine mobile haptische Navigationshilfe für Blinde konzipiert, ein Prototyp entwickelt und dieser in Nutzertests evaluiert. Das System basiert auf einem vibrotaktilen Multidisplay als Interaktionsschnittstelle, welches an den Handgelenken des Nutzers angebracht wird. Der Ursprung des

Konzepts liegt in der Unzulänglichkeit vieler existierender mobiler Navigationsgeräte, die ausschließlich den visuellen und auditiven Sinneskanal ansprechen, obwohl beide im Nutzungskontext des Fußgängers der Gefahr der Reizüberflutung ausgesetzt sind. Für die Erarbeitung der haptischen Schnittstelle wurden Designguidelines zusammengetragen, welche auch bei der Entwicklung

Anwendung fanden. Die Ergebnisse des Projektes zeigen eine prinzipiell gute Erfolgschance einer derartigen haptischen Interaktionsschnittstelle – und das auch über die Zielgruppe der visuell beeinträchtigten Nutzer hinaus.

Keywords

Vibrotaktiler Feedback, mobile Navigation, Haptik-Designguidelines, haptische Interaktionsschnittstelle

1.0 Einleitung

Es gibt Situationen, in denen existierende mobile Navigationshilfen den Bedürfnissen der Nutzer im vorliegenden Kontext nicht gerecht werden. Die meisten Systeme für körperlich unbeeinträchtigte Menschen bieten ihre Informationen hauptsächlich auf grafischem Wege an. Der visuelle Sinneskanal ist in der reizintensiven Verkehrsumgebung des Fußgängers jedoch stark beansprucht, und die Informationsverarbeitung wie auch die Fortbewegung gehen infolgedessen oft gehemmt vonstatten.

Alternativ können jene Navigationsgeräte akustische Hinweise geben. Mobilitätshilfen für Blinde kommunizieren ebenso in dieser Form. Problematisch wird das jedoch an viel befahrenen Straßen, wo sprachliche Hinweise schwerer verstanden werden. Kopfhörer stellen nur eine bedingte Lösung dar, da sie den Nutzer von seiner akustischen Umgebung abschirmen. Für Blinde sind

Kopfhörer fast ausgeschlossen, weil sie sich beim Orientieren stark auf Umgebungsgeräusche verlassen. Auch visuell nicht beeinträchtigte Menschen sollten zu ihrer Sicherheit im Straßenverkehr nicht von dieser Informationsquelle abgeschnitten werden.

Der beschriebene, im Straßenverkehr vorherrschende Nutzungskontext initiierte die Berücksichtigung des haptischen Informationskanals für die konzipierte mobile Navigationshilfe. Es wurde ein haptisches Interface erarbeitet, das Navigationshinweise in vibrotaktiler¹ Form ausgibt.

Der Vorteil des haptischen Sinneskanals gegenüber den anderen ist, dass er auch dann aktiv ist, wenn gerade keine Reize eintreffen. Die Haut „war-

tet“ auf Input, ohne die kognitiven Prozesse unnötig zu belasten. Auch lässt der Tastsinn ungestört das parallele Arbeiten der anderen Sinne zu. Er ist resistenter gegenüber Störreizen von außen als Augen und Ohren. Das sicherlich auch, weil taktile Information in der Natur des Menschen eine eher untergeordnete Funktion hat und überhaupt seltener vorkommt.

2.0 Designguidelines für haptische Interfaces

Zu Beginn der Idee, eine mobile haptische Navigationsunterstützung zu erarbeiten, wurde klar, dass die Haut ebenso Gesetzmäßigkeiten unterliegt, wie beispielsweise die Augen. Aus diesem Grund wurden haptische Designrichtlinien zusammengetragen, um dem Benutzer bei der Konzeption des haptischen Interfaces mit vibrotaktiler Feedback gerecht zu werden. Nachfolgend werden die wichtigsten davon aufgeführt.

¹ „Vibrotaktil“ sind haptische Reize, die durch an der Haut induzierte Vibration verursacht werden, wohingegen „haptisch“ alle Arten der mechanischen Reize, Temperaturreize und Schmerzlokalisation umfasst.

2.1 Empfindungsschwelle und Reizstärke

Ein Vibrationsreiz muss eine bestimmte Intensität aufweisen, damit er erkannt wird. Seine Empfindungsschwelle ist von verschiedenen Faktoren abhängig (Verillo 1962, 1963, 1965, 1966; Van Doren 1990), wie beispielsweise von der Frequenz der Vibration und von der Körperstelle, an die der Reiz wirkt.

Pauschal kann die Haut – alle Hautpartien zusammengefasst – Frequenzen zwischen 20 und 500 Hz spüren. Davon besitzen die Frequenzen von 200 bis 250 Hz die niedrigsten Empfindungsschwellen; werden also am ehesten wahrgenommen. Am sensibelsten sind Körperstellen mit unbehaarter Haut, wie sie an Händen und Fingern vorzufinden ist. Beispielsweise werden an den Fingerspitzen sinusförmige Vibrationsreize im optimalen Frequenzbereich von 200 bis 300 Hz bei Hauteindellungen von nur etwa 1 µm erkannt. An Wade und Bauch beträgt die nötige Reizfläche dagegen 5 bis 6 µm (Deetjen & Speckmann 1999). Der Rumpf verlangt eine Frequenz von mindestens 200 Hz (Sherrik & Cholewiak 1986). Prinzipiell nimmt die Sensibilität für Vibrationsreize in Richtung der Gelenke gegenüber dem Rest des jeweiligen Körperteils zu.

Ebenso beeinflusst die Wellenform der Vibration ihre gefühlte Intensität. Am stärksten wirkt die Rechteck-Wellenform, gefolgt von der Dreieck- und der Sinus-Wellenform. Der Vibrationsreiz wird jeweils immer am besten übertragen, wenn sich der Vibrationsmotor in einer festen Verankerung befindet.

2.2 Vibrotaktile Informationskodierung

Um komplexe Informationen durch Vibration zu kodieren, ist die Modifikation von Frequenz, Amplitude und Zeitintervall der Vibration möglich, ebenso wie den Wechsel der Reizstelle.

2.2.1 Subjektiv wahrgenommene Reizstärke

Je höher die Amplitude einer Vibrationsfrequenz ist, als umso stärker wird die Vibration subjektiv empfunden. Nach Craig (1972) können verschiedene Reizstärken zur Informationskodierung eingesetzt werden. Jedoch sollten nicht mehr als vier Intensitäten, zwischen Wahrnehmungs- und Schmerzschwelle gelegen, verwendet werden (ebenda). Es gibt zwei Möglichkeiten die wahrgenommene Reizstärke zu steigern:

- die Verstärkung der Intensität nahe der Schwelle (Verrillo et al. 1969),
- die Vergrößerung der Stimulusfläche (Cholewiak 1979).

2.2.2 Frequenz

Vibrationsreize mit gleicher Amplitude aber verschiedenen Frequenzen werden als unterschiedlich stark empfunden (Goff 1967). Für die Informationskodierung sollten nicht mehr als neun verschiedene Frequenzen benutzt werden, wobei der Unterschied zwischen zwei Frequenzen mindestens 20% betragen sollte.

2.2.3 Zeitintervall

Die Haut besitzt eine hohe Sensibilität gegenüber zeitlich versetzt induzierten Reizen. Sie ist ähnlich stark wie die des auditiven Systems und größer als die des visuellen Systems. Durch den Einsatz eines Aktuators (z.B. einen Vibrationsmotor) kann man demnach mittels Vibrationsmuster Informationen kodieren. Diese Art Muster werden nach Van Erp et al. (2002) als „touchstones“ bezeichnet.

Die Pause zwischen Vibrationsreizen muss mindestens 10 ms betragen, um die einzelnen Reize gut voneinander unterscheidbar zu machen (Gescheider 1974, Petrosino & Fucci 1989). Man sollte dabei nicht vergessen, dass

Vibrationsmotoren einige Zeit benötigen, bis sie in der gewünschten Frequenz rotieren.

2.2.4 Platzierung am Körper

Ein System mit mehreren Aktuatoren kann Informationen kodieren, indem Reize an verschiedenen Stellen des Körpers induziert werden. In diesen taktilen Mehrfachdisplays spielt die Dichte der Aktuatoren eine entscheidende Rolle. Eine besonders hohe räumliche Auflösung für taktile Reize haben zum Beispiel die Finger, die Hände und das Gesicht. Grundsätzlich hat der menschliche Körper eine pauschale räumliche Auflösung von ca. 4 cm, ohne Rücksicht auf die Körperstelle. Für trainierte Benutzer (z.B. Blinde) ist die Auflösung tendenziell höher.

2.3 Die Verständlichkeit vibrotaktile Interfaces

Taktile Nachrichten müssen selbst-erklärend sein. In diesem Sinne führte Van Erp (2001) den Begriff „vibrocon“ ein. Einem taktilen Reiz Bedeutung einzuverleihen, ist allerdings schwierig, denn die meisten Menschen sind mit taktilen Signalen nicht vertraut. Weitere Schwierigkeiten werden dadurch erzeugt, dass Menschen nicht dazu fähig sind, taktile Signale über einen längeren Zeitraum hinweg gleichstark wahrzunehmen. Beim Einsatz vibrotaktile Multidisplays ist es besonders ratsam, darauf zu achten, dass es nicht zu einer Überlagerung und Beeinflussung von Signalen sowie Reizüberflutung kommt (Van Erp 2002). Des Weiteren gibt es für Menschen nur begrenzte Möglichkeiten, die Bedeutung von taktilen Nachrichten zu erlernen. Entwickelt man vibrotaktile Nachrichten, ist es daher ratsam, diese aus bereits bekannten und mit Bedeutung belegten Komponenten aufzubauen.

2.4 Die Behaglichkeit von vibrotaktilen Reizen

Taktile Displays wirken naturgemäß direkt an der Haut. Es ist daher äußerst notwendig, dass sie einen hohen Tragekomfort über einen längeren Zeitraum hinweg gewährleisten können, dass sie ergonomisch und dezent sind. Beim Design vibrotaktile Schnittstellen zu beachten ist, dass Vibrationsmotoren eine starke Hitze generieren können und so Schmerzen oder gar Verbrennungen verursachen könnten. Auf Grund der Tatsache, dass es kaum möglich ist, vibrotaktile Stimuli zu ignorieren, sind gewisse Behaglichkeitsregeln einzuhalten:

- Ein zu starker taktiler Reiz kann zu Unbehagen und Schmerz führen.
- Angenehme Stimuli liegen 15 bis 20 dB über der absoluten Reizschwelle.
- Amplituden von 0,6 bis 0,8 mm werden als Schmerz wahrgenommen.
- Vibrationen an Hand und Arm angelegt sollten immer reduziert sein.
- Die kritischsten Frequenzen liegen um 12 Hz, zwischen 1 und 5 m/s².
- Eine Überbelastung mit starker Vibration kann gesundheitsschädlich sein.

3.0 Konzept der mobilen haptischen Navigationshilfe

Die im Folgenden beschriebene konzipierte haptische Navigationshilfe für den mobilen Bereich wurde am Fraunhofer IAO – Competence Center Human-Computer Interaction im Rahmen des EU-Projektes ASK-IT erarbeitet. In ASK-IT wurden verschiedene Technologien für Menschen mit körperlichen und geistigen Beeinträchtigungen prototypisch entwickelt, um sie in ihrem mobilen Leben zu unterstützen. Die ursprüngliche Zielgruppe der Navigationshilfe sind Sehbeeinträchtigte, für die bis dato keine haptischen Mobilitätstechnologien marktreif entwickelt wurden, die

über eine erweiterte Blindenstockfunktion hinausgehen. Nichtsdestotrotz lagen auch körperlich unbeeinträchtigte Menschen im Blickwinkel dieser Arbeit. Die durchgeführten Initial-Evaluationen wurden vorerst nur mit sehenden Testpersonen durchgeführt. Wie bereits erwähnt, könnten auch körperlich unbeeinträchtigte Menschen durch den im Straßenverkehr herrschenden Nutzungskontext von einer haptischen Navigationshilfe profitieren.

3.1 Grundaufbau

Die konzipierte Navigationshilfe besitzt drei Komponenten (Abb 1), die sich ergänzen und über Bluetooth miteinander kommunizieren:

- ein Handy, mit Navigationssoftware, GPS und digitalem Kompass,

- zwei Armbänder mit je zwei vibrotaktilen Einheiten,
- ein Schrittsensor-Clip zur Befestigung am Schuh.

Das Handy stellt die intelligente Schaltzentrale des Systems dar. Seine Navigationssoftware wird durch Daten aus

GPS, Kompass und Schrittsensor gespeist. Die Software veranlasst, je nach Position und Bewegung des Benutzers, die notwendigen Navigationshinweise an den vibrotaktilen Einheiten der Armbänder. Die Armbänder werden in einer vorgegebenen Weise angelegt, da die Navigationssoftware die fixierte Position der Vibrationseinheiten voraussetzt. Sie stellen das eigentliche haptische Interface dar. Ihre Aufgabe ist es, Richtungswechselhinweise durch Vibrationsnachrichten zu übermitteln, so dass der Nutzer zum gewünschten Zielort manöv-



Abb. 1: Übersicht über die Komponenten der mobilen haptischen Navigationshilfe

rieren kann. Die Entscheidung für die physikalische Form der Armbänder basiert auf verschiedenen Gründen:

- sie wirken immer direkt auf der Haut, egal welche Kleidung der Nutzer trägt,
- das Handgelenk hat eine hohe räumliche Auflösung und ist sensibel für vibrotaktile Reize,
- die Platzierung der Reize an den Extremitäten ist ideal für die Kodierung von Richtungen,
- sie sind optisch dezent.

3.2 Funktionsweise des vibrotaktilen Interface

Die Navigationshinweise beruhen zum großen Teil auf einer Informationskodierung mittels Platzierung am Körper. Weil das System nicht dazu in der Lage wäre, automatisch zu erkennen, wo welche Vibrationseinheit sitzt, muss das Formdesign eindeutig auf das korrekte Anlegen der Armbänder hinweisen. Ebenso sollte es ein Verrutschen verhindern. Die Vibrationseinheiten befinden sich, wie in Abbildung 1 erkennbar, je Arm an der Stelle einer Armbanduhr und direkt gegenüber, bei den Pulsadern.

Aufgrund der fixierten Position der Vibrationseinheiten, lassen sich insgesamt acht direkte Bewegungsrichtungen durch ein einfaches Vibrationsmuster darstellen (siehe Abb 2). Um beispielsweise darauf hinzuweisen, dass in einem Winkel von 90 Grad nach links abgebogen werden soll, müssen die Vibrationseinheiten 1 und 2 gleichzeitig für einen bestimmten Moment aktiviert sein.

Um, neben der Veranlassung eines Richtungswechsels, weitere komplexe Informationen darzustellen, wurde im Konzept die Kodierung mittels Zeitintervalle verwendet. Es stellt im Vergleich zu den anderen Möglichkeiten, wie beispielsweise die Kodierung durch

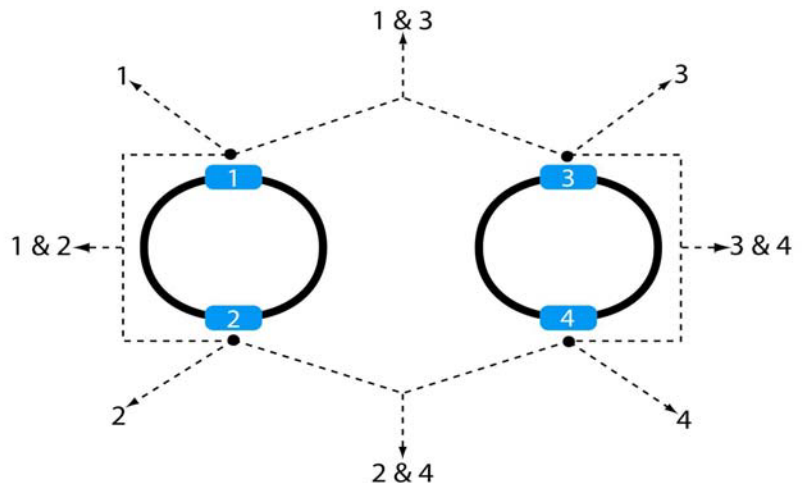


Abb. 2: Kodierung der Richtungswechselinformationen mittels Platzierung am Körper

unterschiedliche Frequenz, eine geringe Herausforderung für den Nutzer dar.

In dem entwickelten Konzept wird dem Nutzer ein Countdown für das Abbiegen in eine andere Richtung angeboten. Der Schrittsensor liefert die notwendigen Daten, damit die Vibrationsintervalle mit der Schrittgeschwindigkeit des Benutzers beginnen können. Bei Annäherung an die Kreuzung verändert sich das Tempo der Intervalle. Am Abbiegepunkt angelangt, vibrieren die entsprechenden Motoren dauerhaft, und das so lange bis der Abbiegevorgang abgeschlossen ist. Das korrekte Abbiegen wird danach bestätigt, indem die Richtung „geradeaus“ (Vibrationseinheit 1 und 3) angezeigt wird. Das hier zum Einsatz kommende Prinzip der Richtungswechselanzeige mit abschließender Bestätigung, entspricht den von Arthur und Passini (1990) propagierten und bestätigten Richtlinien für gutes Design von Orientierungssystemen.

Des Weiteren schlägt das Navigationssystem Alarm, sobald sich der Nutzer in eine falsche Richtung bewegt. Der Benutzer muss die Erkenntnis des Alarmes durch Betätigung eines Tasters bestätigen. Erst danach folgen Richtungswechselhinweise zum Durchführen der Wegkorrektur. Die Bestätigung gewährleistet eine saubere Trennung der unterschiedlichen Handlungen. Es ermöglicht die einfache Trennung zwischen passiver Informationsaufnahme (z.B. Navigieren mittels Hinweise) und aktiver Informationsabfrage (z.B. Wegkorrektur). Prinzipiell könnte der Taster mit weiteren Funktionen belegt werden. Er befindet sich beim Prototyp auf der linken äußeren Vibrationseinheit.

4.0 Prototyp und Evaluation

Im Rahmen des Projektes wurde nur das vibrotaktile Interface, genauer die Navigationsarmbänder, prototypisch umgesetzt. Es folgen eine Beschreibung der technischen Umsetzung und ein Umriss der Evaluation.

4.1 Prototyp

Für den Bau der Armbänder wurden existierende Technologien verwertet, um sie in den gewünschten Prototyp zu transformieren. Es wurde ein Wizard-Of-Oz-Prototyp angefertigt, bei dem der Testleiter die Funktion der Navigationssoftware übernimmt und die Navigationshinweise manuell von einem Laptop aus steuert. Außerdem soll erwähnt werden, dass die Methode des Rapid Prototyping als Vorbild diente: es sollten zeitlich und finanziell ökonomisch genügend Erkenntnisse zusammengetragen werden. Grundsätzlich sollte die Funktionalität des konzipierten haptischen Interfaces geprüft, und die Resultate für weitere Entwicklungsschritte bereitgestellt werden.

Die Vibrationseinheiten bestehen aus einfachen Plastikgehäusen, in denen jeweils ein Vibrationsmotor, wie er in handelsüblichen Mobiltelefonen vorkommt, eingefasst wurde. Die Bänder sind aus elastischem Material gefertigt und ihr Umfang justierbar.



Abb. 3: Die prototypischen Navigationsarmbänder, von einer Testperson getragen

Um eine kabellose Kommunikation zwischen dem Prototyp und dem Testleiter-Laptop zu ermöglichen, wurde auf eine 433-MHZ-Funkverbindung zurückgegriffen, wie sie in Steuergeräten von Spielkonsolen vorkommt.

4.2 Evaluation

Um herauszufinden, inwieweit der Prototyp dazu in der Lage ist, Fußgänger bei der Wegfindung und Navigation durch die Stadt zu unterstützen, wurde ein Wizard-Of-Oz Test mit fünf visuell nicht beeinträchtigten Personen durchgeführt. Der Test fand im verkehrsberuhigten Außengelände der Universität Stuttgart (Vaihingen) und der Universität Weimar statt. Das Testgelände wurde so gewählt, dass von den Probanden keine Rückschlüsse auf die korrekte Durchführung der Aufgaben gezogen werden konnten; bei der Aufgabe nach links abzubiegen, führte im Augenblick des Abbiegens kein Weg nach links.

Die Fragestellungen der Evaluation umfassten hauptsächlich:

- Können die Vibrationseinheiten voneinander differenziert werden?
- Ist die Richtungskodierung intuitiv verständlich oder schnell erlernbar?
- Können einzelnen Vibrationsmustern bestimmte Bedeutungen (z.B. Alarm) zugeordnet werden?
- Können die Testpersonen mit Hilfe der vibrotaktilen Navigationshinweise navigieren? Unterstützt dabei der Abbiege-Countdown?
- Welche Probleme treten hinsichtlich der Verständlichkeit und Nutzbarkeit der Navigationshinweise auf?

5.0 Ergebnisse und Ausblick

Während des Projektes und im Zuge der Evaluation zeigte sich, dass weitere Design- und Entwicklungsarbeit nötig ist, um die konzipierten Navigationsarmbänder zu einem ausgereiften Stadium zu bringen. Insbesondere im Produktdesign schlummert noch einiges Potenzial zur Verbesserung der Ergonomie und des Trage-

komforts, der Robustheit sowie der Übertragung der Vibration auf die Haut.

Ferner stellte sich heraus, dass die Vibrationsstärke vom Benutzer veränderbar sein muss. Er sollte auch die Funktionalität des Navigationssystems entsprechend seiner Wünsche anpassen können. Des Weiteren scheint eine individuelle Auswahl der zu verwendenden Vibrationsmuster möglich. Beispielsweise scheint es höchst angebracht, dass der Abbiege-Countdown ein- oder ausgeschaltet werden kann, denn die Meinungen der Testpersonen darüber variierten sehr. Das Alarmsignal wurde durch seine Ähnlichkeit zu akustischen Alarmen (abwechselnd Vibration an und aus) sofort verstanden, was darauf hinweist, dass bekannte Muster aus anderen Wahrnehmungsbereichen beim Design von Vibrationsmustern zu Rate gezogen werden können.

Nichtsdestotrotz konnte die Evaluation zeigen, dass das Konzept der haptischen Navigationshilfe grundsätzlich funktioniert. Die Vibrationseinheiten konnten größtenteils differenziert werden. Auch die Richtungskodierung wurde verstanden und als nachvollziehbar bewertet. Zudem hat sich offenbart, dass, auch wenn Vibrationsmuster nicht sofort verstanden werden, ihre Bedeutung erlernt werden kann. Prinzipiell könnten noch komplexere „vibrocons“ entwickelt werden. Wichtig dabei ist, dass die Muster ausreichend verschieden sind und die Anzahl nicht die Erinnerungs- und Leistungsfähigkeit des Nutzers übersteigt.

Die freie Navigation gemäß der Navigationshinweise bedurfte einiger Übung, jedoch verbesserte sich die Performance der Probanden mit jedem Durchgang, so dass auf eine erlernbare Nutzung geschlossen werden kann.

Da als Testpersonen nicht-blinde Menschen eingesetzt wurden, bedarf es weiterer Evaluation mit Blinden, um die Gül-

tigkeit der Ergebnisse für diese Zielgruppe auszudehnen. Trotzdem wurde deutlich, dass selbst Menschen, die taktilen Informationen normalerweise nicht verwenden, ihre Nutzung erlernen könnten.

Schlussendlich ist zu sagen, dass dieses Projekt nur den Anfang der Entwicklung einer haptischen Navigationshilfe darstellt. Weitere Entwicklungsschritte sind erforderlich. So scheint die Zielgruppe der Fahrradfahrer, aufgrund ihres Nutzungskontextes, ebenso möglich.

Danksagung

Ich danke dem Fraunhofer IAO für die Ermöglichung des Projektes und Cornelia Hipp für die Betreuung. Zudem danke ich Prof. Jens Geelhaar für die Unterstützung seitens der Bauhaus-Universität Weimar.

6.0 Literaturverzeichnis

- Arthur, P.; Passini, R. (1990): *Wayfinding: People, Signs, and Architecture*. Toronto: McGraw-Hill Ryerson.
- Cholewiak, R.W. (1979): Spatial factors in the perceived intensity of vibrotactile patterns. *Sensory Processes*, Vol. 3, S. 141-156.
- Craig, J.C. (1972): Difference threshold for intensity of tactile stimuli. *Perception & Psychophysics*, Vol. 11, Nr. 2, S. 150-152.
- Deetjen, P.(Hrsg.); Speckmann, E.-J.(Hrsg.) (1999): *Physiologie*. 3. Auflage. München: Urban & Fischer.
- Gescheider, G.A.; Bolanowski, S.J.; Verrillo, R.T.M Arpajian, D.J.; & Ryan, T.F. (1990): Vibrotactile intensity discrimination measured by three methods. *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 87, Nr. 1, S. 330-338.
- Goff, G.D. (1967): Differential discrimination of frequency of cutaneous mechanical vibration. *Journal of Experimental Psychology*, Vol. 74, Nr. 2, S.294-299.
- Johnson, K.O. & Phillips, J.R. (1981): Tactile spatial resolution. I. Two point discrimination, gap detection, grating resolution, and letter recognition. *Journal of Neurophysiology*, Vol. 46, Nr. 6, S. 1177-1191.
- Petrosino, L.; Fucci, D. (1989): Temporal resolution of the aging tactile sensory system. *Perceptual and Motor Skills*, Vol. 68, S. 288-290.
- Sherrick, C.A.; Cholewiak, R.W. (1986): Cutaneous sensitivity. In Boff, K.R., Kaufman, L. & Thomas, J.P.: *Handbook of perception and human performance*. S. 12. New York: John Wiley and sons.
- Spence, C.; Driver, J. (1997): Cross-Modal Links in Attention Between Audition, Vision, and Touch: Implications for interface Design. *International Journal of Cognitive Ergonomics*, Vol. 1, Nr. 4, S. 351-373.
- Van Doren, C.L. (1990): The effects of a surround on vibrotactile thresholds: evidence for spatial and temporal independence in the non-Pacinian I channel. *Journal of Acoustical Society of America*, Vol. 87, Nr. 6, S. 2655-2661.
- Van Erp, J.B.F.; VAN Veen, H.A.H.C. (2001): *Vibro-Tactile Information Presentation in Automobiles*. Eurohaptics 2001 conference. Birmingham: University of Birmingham.
- Van Erp, J.B.F.; Veltman, J.A.; Van Veen, H.A.H.C.; Oving, A. (2002): *Tactile Torso Display as Countermeasure to Reduce Night Vision Goggles Induced Drift*. NATO RTO. conference on spatial disorientation. 15-17 April, Lacoruña, Spanien.
- Verrillo, R.T. (1962): Investigation of some parameters of the cutaneous threshold for vibration. *Journal of Acoustical Society of America*, Vol. 34, Nr. 11, S. 1768-1773.
- Verrillo, R.T. (1963): Effect of contactor area on the vibrotactile threshold. *Journal of Acoustical Society of America*, Vol. 35, Nr. 12, S. 1962-1966.
- Verrillo, R.T. (1965): Temporal summation in vibrotactile sensitivity. *Journal of Acoustical Society of America*, Vol. 37, Nr. 5, S. 843-846.
- Verrillo, R.T. (1966). Vibrotactile thresholds for hairy skin. *Journal of Experimental Psychology*, Vol. 72, Nr. 1, S. 47-50.
- Verrillo, R.T.; Fraioli, A.J.; Smith, R.L. (1969): Sensation magnitude of vibrotactile stimuli. *Perception & Psychophysics*, Vol. 6, S. 366-372.
- Weinstein, S. (1968): Intensive and extensive aspects of tactile sensitivity as a function of body-part, sex and laterality. In: *The Skin Senses*, edited by D.R. Kenshalo. Springfield, C.C.Thomas, S. 195-218.