

## Die vibrotaktile Wahrnehmung des Menschen an einer ebenen Oberfläche

Tobias STEIN, Martin SEEGER, Ludger SCHMIDT

*Fachgebiet Mensch-Maschine-Systemtechnik, Universität Kassel  
Mönchebergstraße 7, D-34125 Kassel*

**Kurzfassung:** Touchscreens werden zunehmend in Geräten des Arbeitsalltags eingesetzt, wobei das Gefühl konventioneller Tasten verloren geht. Für die Entwicklung von Gestaltungsempfehlungen einer künstlich generierten haptischen Rückmeldung von Touchscreens wurde die präferierte Kombination von Frequenz und Amplitude einer Vibration als Rückmeldung ermittelt. Mit einem zweistufigen Versuchsdesign wurde zunächst die bevorzugte Frequenz bei konstanter Amplitude und schließlich die präferierte Amplitude bei dieser Frequenz unter 23 Teilnehmern bestimmt. Die Ergebnisse zeigen, dass sich bei der subjektiven Bewertung der Frequenzen die wahrgenommene Intensität und Annehmlichkeit antiproportional zueinander verhalten. Die bevorzugte Amplitude ist abhängig von Alter und Geschlecht der Versuchspersonen.

**Schlüsselwörter:** Mensch-Maschine-Interaktion, haptische Rückmeldung, Touchscreen, Vibration, Frequenz, Amplitude

### 1. Einleitung

Mit berührungsempfindlichen Bildschirmen (Touchscreens) werden Informationen nicht nur angezeigt, sondern können am gleichen Ort auch manipuliert werden. Somit ist es möglich, komplexe Interaktionen auf einer kleinen Fläche auszuführen und zu geringen Kosten flexibel zu bleiben. Daher begegnet man Touchscreens nicht nur in mobilen Endgeräten, sondern zunehmend auch in Geräte des Arbeitsalltags wie z. B. an Kassenterminals oder in Industrieanlagen. Allerdings geht hierbei das Gefühl mechanischer Tasten – also die Gegenreaktion auf einen Druck bei einer Fingerberührung – verloren, was sich in geringerer Eingabegeschwindigkeit und einer höheren Fehlerrate äußern kann (Hoggan et al. 2008).

Um diesem Problem zu begegnen, werden von einigen Herstellern Vibrationen als künstlich erzeugte haptische Rückmeldung von Touchscreens eingesetzt, welche von den Nutzern allerdings kaum akzeptiert werden (Stein et al. 2015). Für die Gestaltung einer solchen haptischen Rückmeldung existieren bereits Normen (z. B. DIN EN ISO 9241-910, VDI/VDE 3850-3), Empfehlungen von Frequenz- und Amplitudenparameter für die Codierung von Informationen (van Erp 2002) sowie Untersuchungen zur Interaktionsdauer (Seeger et al. 2015). Eine zusammenfassende Darstellung mit konkreten Angaben für die gebrauchstaugliche Gestaltung einer künstlich erzeugten haptischen Rückmeldung besteht allerdings nicht.

Daher werden am Fachgebiet Mensch-Maschine-Systemtechnik der Universität Kassel im BMBF-Projekt InterHapt die menschliche Wahrnehmung in Bezug auf haptische Empfindungen sowie technische Möglichkeiten zur Erzeugung haptischer Rückmeldungen analysiert und Lücken vorhandener Normen und Richtlinien und bestehender Gestaltungsempfehlungen empirisch untersucht.

## 2. Hintergrund und Ziel

Durch den Einsatz von Touchscreens in alltäglichen Gegenständen kommen unterschiedliche Nutzergruppen vom Kleinkind bis zu Erwachsenen im hohen Alter mit solchen Systemen in Kontakt. Daher muss in Anlehnung an einen menschenzentrierten Gestaltungsprozess (nach DIN EN ISO 9241-210) eine möglichst große Bandbreite an Nutzermerkmalen berücksichtigt werden.

In Bezug auf Technikverständnis und Computere Expertise weisen jüngere Nutzer eine stärkere Ausprägung gegenüber älteren Nutzern auf (Ziefle 2002) und unterscheiden sich ebenfalls bezüglich ihres Akzeptanzniveaus gegenüber neuen Technologien von älteren Nutzern (Nägle & Schmidt 2012; Tacke n et al. 2005). Darüber hinaus können sich jüngere Nutzer entsprechendes Nutzungswissen schneller aneignen und besitzen frühzeitig die notwendige Nutzungskompetenz (Sackmann & Weymann 1994). Unter Berücksichtigung dieser Unterschiede ergeben sich differenzierte Anforderungen verschiedener Nutzergruppen an die Gestaltung einer haptischen Rückmeldung von Touchscreens.

Dass eine künstlich erzeugte haptische Rückmeldung die Tippleistung bei der Eingabe an einem Touchscreen steigern kann, wurde bereits in verschiedenen Studien nachgewiesen (Lee & Zhai 2009, Hoggan et al. 2008, Brewster et al. 2007). Die eingesetzten Vibrationsmuster sowie deren Herleitung wurden allerdings nur in Teilen begründet. An dieser Stelle bleibt die Frage unbeantwortet, inwieweit stärker differenzierte Vibrationsmuster eine bessere Wahrnehmbarkeit einer haptischen Rückmeldung gewährleisten oder inwieweit die Versuchsteilnehmer ein anderes Vibrationsmuster aufgrund von subjektiven Empfindungen bevorzugt hätten.

Aus diesem Grund wird in der vorliegenden Studie von Versuchsteilnehmern verschiedener Altersgruppen die präferierte Kombination von Frequenz und Amplitude einer Vibration auf einer simulierten, stationären Touchscreen-Oberfläche ermittelt. Dieser Beitrag liefert damit vertiefte Erkenntnisse für die Gestaltung einer künstlich erzeugten haptischen Rückmeldung für Touchscreen-Oberflächen.

## 3. Methoden

Für die experimentelle Untersuchung der bevorzugten Kombination von Frequenz und Amplitude einer Vibration wurde ein Versuchsstand konzipiert, der dem realen Anwendungsfall einer stationären Touchscreen-Eingabe nachempfunden wurde. Eine Plexiglasplatte mit den Dimensionen eines 10,1 Zoll Tablet-PC wurde mit Distanzhülsen auf eine hölzerne Grundplatte aufgeschraubt. Mittig unter die Plexiglasplatte wurde der Körperschallwandler EX 60 S (Visaton 2012) befestigt. Mit Hilfe des Körperschallwandlers sowie des Audioverstärkers MA-20 (Roland 1993) wurden sinusförmige Vibrationen unterschiedlicher Frequenzen und Amplituden auf die Plexiglasplatte aufgebracht. Die Auslenkung der Plexiglasplatte wurde mit dem optischen Wegsensor LK-G32 (Keyence 2014) überprüft.

Zum Versuchsaufbau gehörte weiterhin eine Handauflage in Höhe der Plexiglasplatte, um Ermüdungserscheinungen der Versuchsteilnehmer durch langes Halten des Armes zu vermeiden und eine konstante Handhaltung über alle Versuchspersonen hinweg zu gewährleisten. Darüber hinaus wurden den Versuchsteilnehmern während der gesamten Untersuchung Kopfhörer aufgesetzt, um einer auditiven Beeinflussung bedingt durch die Schwingungen des Körperschallwandlers entgegen zu wirken.

### 3.1 Versuchsdesign

Um die präferierte Kombination aus Frequenz und Amplitude einer Vibration zu ermitteln, wurde ein zweistufiges Versuchsdesign gewählt.

Im ersten Teil des Versuches wurde die bevorzugte Frequenz des jeweiligen Versuchsteilnehmers ermittelt. Hierfür wurden sechs verschiedene Frequenzen (100 Hz, 150 Hz, 200 Hz, 250 Hz, 300 Hz, 350 Hz) in einer randomisierten Reihenfolge auf die Plexiglasplatte aufgebracht und bei einer konstanten Amplitude von 30  $\mu\text{m}$  jeweils paarweise miteinander verglichen. Nach jedem paarweisen Vergleich sollte sowohl die Intensität als auch die Annehmlichkeit der beiden Frequenzen miteinander verglichen werden. Die Bewertung erfolgte über drei mögliche Antworten: der erste Stimulus ist intensiver bzw. angenehmer (mit zwei Punkten für den ersten Stimulus bewertet), der zweite Stimulus ist intensiver bzw. angenehmer (mit keinem Punkt für den ersten Stimulus bewertet), der erste und zweite Stimulus sind gleich intensiv bzw. angenehm (mit je einem Punkt für jeden Stimulus bewertet). Die vom Versuchsteilnehmer am angenehmsten empfundene Frequenz wurde für den weiteren Versuchsablauf verwendet.

Im zweiten Teil des Versuches wurde bei der zuvor ermittelten Frequenz die präferierte Amplitude bestimmt. Hierfür wurden sechs unterschiedliche Amplituden (5  $\mu\text{m}$ , 10  $\mu\text{m}$ , 20  $\mu\text{m}$ , 30  $\mu\text{m}$ , 40  $\mu\text{m}$ , 50  $\mu\text{m}$ ) genutzt und wie die Frequenzen im ersten Teil des Versuches in einer randomisierten Reihenfolge paarweise miteinander verglichen. Die Versuchsteilnehmer sollten hierbei die aufgebrachten Amplituden in eine Rangreihenfolge von angenehm bis zu nicht angenehm bringen.

### 3.2 Versuchsdurchführung

Nach der Begrüßung und einer kurzen Einführung in den Versuchsaufbau füllte jeder Versuchsteilnehmer eine Einwilligungs- und Datenschutzerklärung aus. Es folgte ein Eingangsfragebogen, in dem neben demographischen Daten wie Alter und Geschlecht auch die Händigkeit nach dem Edinburgh Handedness Inventory (Oldfield 1971) abgefragt wurde. Zudem wurden die Versuchsteilnehmer zu möglichen Ausschlusskriterien (z. B. Verletzungen an Fingern, neurologische Störungen o. ä.) befragt.

Anschließend setzte sich der Teilnehmer vor den Versuchsaufbau und der weitere Ablauf des Versuches wurde besprochen. Dabei wurde die genaue Positionierung des Zeigefingers der dominanten Hand auf der Plexiglasplatte aufgezeigt und auf das Tragen der Kopfhörer während des gesamten Versuches hingewiesen. Die Durchführung eines einzelnen Versuches nahm insgesamt etwa 25 – 30 Minuten in Anspruch.

## 4. Ergebnisse und Diskussion

Die Daten von 23 Versuchspersonen (12 männlich, 11 weiblich) im Alter von  $35,2 \pm 11,9$  Jahren (Spannweite 20 – 57 Jahre) wurden aufbereitet und ausgewertet. Zwei der Teilnehmer waren Linkshänder (beide männlich), die restlichen Teilnehmer waren Rechtshänder. Zur besseren Interpretation der Ergebnisse wurden die Versuchsteilnehmer in eine jüngere und eine ältere Gruppe von Versuchspersonen eingeteilt (siehe Tabelle 1).

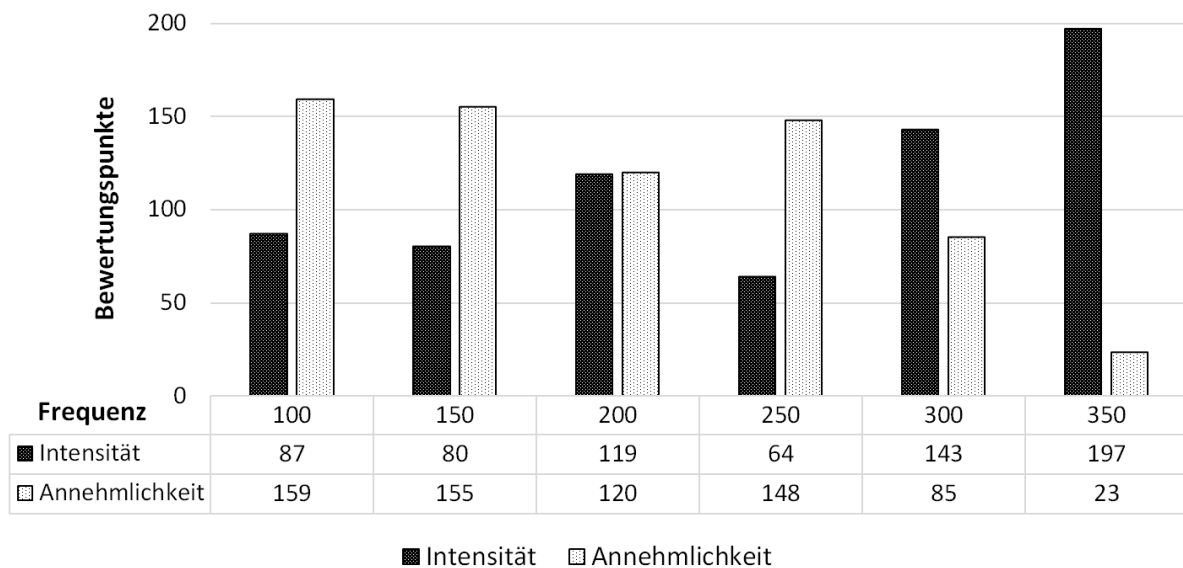
**Tabelle 1:** Beschreibung der Stichprobe (n = 23)

	Jahrgänge	männlich	weiblich	gesamt
jüngere Versuchsteilnehmer	1979 und nachher	7	6	13
ältere Versuchsteilnehmer	1978 und vorher	5	5	10
gesamt	–	12	11	23

#### 4.1 Subjektive Bewertung der unterschiedlichen Frequenzen

Die Auswertung der subjektiven Bewertung der unterschiedlichen Frequenzen ist Abbildung 1 zu entnehmen. Da jede Frequenz jeweils mit den fünf anderen Frequenzen verglichen wurde, konnte eine Frequenz pro Versuchsteilnehmer in der Bewertung maximal zehn Punkte erreichen. Bei 23 Teilnehmern ergibt sich somit eine Maximalpunktzahl von 230 Punkten für eine Frequenz.

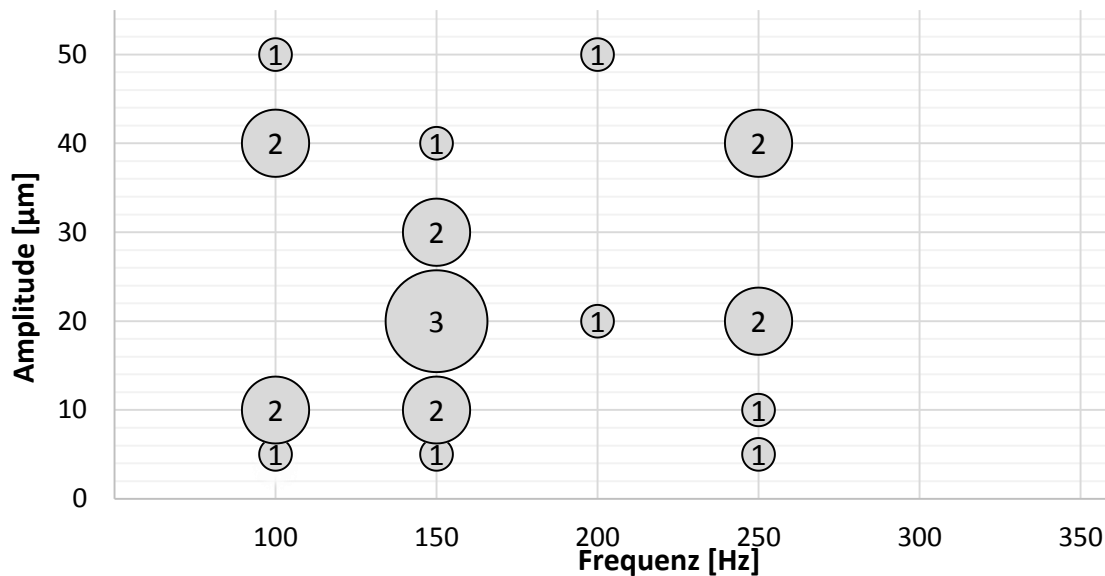
Es ist zu erkennen, dass bei einem hohen subjektiven Intensitätsempfinden die Annehmlichkeit als geringer bewertet wurde und umgekehrt. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass die Versuchspersonen dieser Untersuchung geringere Intensitäten als angenehmer empfunden haben als hohe Intensitäten (antiproportionales Verhältnis).



**Abbildung 1:** Übersicht der subjektiven Bewertung in Punkten (von 230) bei den unterschiedlichen Frequenzen

#### 4.2 Präferierte Kombination von Frequenz und Amplitude

Die von den Versuchsteilnehmern präferierten Kombinationen von Frequenz und Amplitude einer Vibration sind in Abbildung 2 dargestellt. Die Frequenz von 150 Hz wurde von den meisten Teilnehmern gewählt (n = 9). Höhere Frequenzbereiche von 300 Hz und 350 Hz wurden von keinem der Teilnehmer bevorzugt. Demgegenüber wurde jede der in dieser Untersuchung genutzten Amplituden von mindestens zwei Versuchspersonen ausgewählt. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass eine Frequenz über 250 Hz nicht präferiert wird, da diese in Anlehnung an Abbildung 1 entweder als zu intensiv oder als nicht angenehm empfunden wird.



**Abbildung 2:** Übersicht der präferierten Kombinationen von Frequenz und Amplitude (Die Zahl innerhalb der Kreise entspricht der Anzahl von Versuchsteilnehmern, die diese Kombination gewählt haben.)

#### 4.3 Einfluss von Alter und Geschlecht

Im Vergleich der jüngeren gegenüber der älteren Teilnehmergruppe lässt sich feststellen, dass im unteren Amplitudenbereich ( $\leq 20 \mu\text{m}$ ) nur drei ältere Teilnehmer vertreten sind. Demgegenüber finden sich im oberen Amplitudenbereich ( $\geq 30 \mu\text{m}$ ) nur zwei jüngere Teilnehmer. Mittels Mann-Whitney-U-Test wurden hochsignifikante Unterschiede bezüglich der bevorzugten Amplituden im Altersvergleich ( $p \leq 0,01$ ) nachgewiesen.

Bezüglich des Geschlechts fällt auf, dass acht der elf weiblichen Versuchspersonen Amplituden in den Randbereichen ( $5 \mu\text{m}$ ,  $10 \mu\text{m}$  oder  $50 \mu\text{m}$ ) gewählt haben. Männliche Teilnehmer wählten hingegen bevorzugt Amplituden zwischen  $20 \mu\text{m}$  und  $40 \mu\text{m}$  (zehn von zwölf). Das Ergebnis eines Pearson-Chi-Quadrat-Tests bestätigt diese Beobachtungen ( $p \leq 0,01$ ).

Die Frequenzauswahl der Versuchspersonen zeigte keinen statistisch relevanten Unterschied sowohl zwischen jüngeren und älteren als auch zwischen männlichen und weiblichen Teilnehmern.

## 5. Fazit

Eine allgemeingültige Empfehlung für eine Kombination von Frequenz und Amplitude einer Vibration kann anhand der Ergebnisse dieser Untersuchung nicht gegeben werden. Allerdings kann festgehalten werden, dass Frequenzen über  $250 \text{ Hz}$  nicht präferiert werden. Des Weiteren besteht ein antiproportionales Verhältnis von Intensität und Annehmlichkeit bei der subjektiven Frequenzwahrnehmung. Die bevorzugte Amplitude ist abhängig von Alter und Geschlecht, weshalb diese Faktoren in zukünftigen Gestaltungsempfehlungen berücksichtigt werden müssen. Gleichermäßen sollten weitere Untersuchungen herausstellen, inwieweit sich das beobachtete Verhalten auf Frequenzbereiche unterhalb von  $100 \text{ Hz}$  übertragen lässt.

## 6. Literatur

- Brewster SA, Chohan F, Brown LM (2007) Tactile feedback for mobile interactions. In: Rosson MB (Hrsg.): Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (San Jose 2007). New York: ACM, S. 159–162.
- Hoggan E, Brewster SA, Johnston J (2008) Investigating the Effectiveness of Tactile Feedback for Mobile Touchscreens. In: Burnett M, Constabile MF, Catarci T, Ruyter B, Tan D, Czerwinski M, Lund A (Hrsg.) Conference Proceedings of the 26th Annual CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2008). New York: ACM, 1573-1582.
- Internationale Organisation für Normung (2010) Ergonomie der Mensch-System-Interaktion. Teil 210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme. ISO 9241-210.
- Internationale Organisation für Normung (2011) Ergonomie der Mensch-System-Interaktion. Teil 910: Rahmen für die taktile und haptische Interaktion. ISO 9241-910.
- Keyence (2014) LK-G32 – Messkopf, Lichtpunktausführung, Laserklasse 2. Accessed November 22, 2015. <http://www.keyence.de/products/measure/laser-1d/lk-g3000/models/lk-g32/index.jsp>
- Lee S, Zhai S (2009) The Performance of Touch Screen Soft Buttons. In: Olsen DR, Arthur RB, Hinckley K, Morris MR, Hudson S, Greenberg S (Hrsg.) Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2009). New York: ACM, 309-318.
- Nägle S, Schmidt L (2012) Computer acceptance of older adults. In: Work: A Journal of Prevention, Assessment and Rehabilitation 41: 3541-3548.
- Oldfield RC (1971) The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh Inventory. *Neuropsychologia* 9 (1): 97–113.
- Roland (1993) Micro Monitor MA-20 – Owner's Manual. Accessed November 12, 2015. <http://www.manualslib.com/manual/693199/Roland-Ma-20.html?page=8#manual>
- Sackmann R, Weymann A (1994) Die Technisierung des Alltags: Generationen und technische Innovationen. Frankfurt am Main: Campus-Verlag.
- Seeger M, Stein T, Borys BB, Schmidt L (2015) Die Berührungsdauer eines Button-Klicks bei stationären Touchscreens. In: Diefenbach S, Henze N, Pielot M (Hrsg.): Mensch und Computer 2015 – Tagungsband. Berlin: De Gruyter Oldenbourg, S. 243-252.
- Stein T, Seeger M, Borys BB, Schmidt L (2015) Untersuchung des Nutzungsverhaltens bezüglich haptischer Rückmeldung bei mobilen Endgeräten mit Touchscreens. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V. (Hrsg.): VerANTWORTung für die Arbeit der Zukunft: 61. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft. Dortmund: GfA-Press, S. 1-6 (C.2.23).
- Tacken M, Marcellini F, Mollenkopf H, Ruoppila I, Széman Z (2005) Use and acceptance of new technology by older people - Findings of the international MOBILATE survey: 'Enhancing mobility in later life'. In: *Gerontechnology* 3: 126-137.
- van Erp JBF (2002) Guidelines for the Use of Vibro-Tactile Displays in Human Computer Interaction. In: Wall SA ; Riedel B, Crossan A, McGee MR (Hrsg.) EuroHaptics 2002 - Proceedings of the 2nd Conference. Edinburgh: Edinburgh College, 18-22.
- Verein Deutscher Ingenieure (2015) Gebrauchstaugliche Gestaltung von Benutzungsschnittstellen für technische Anlagen. Blatt 3: Merkmale, Gestaltung und Einsatzmöglichkeiten von Benutzungsschnittstellen mit Touchscreens. VDI/VDE 3850-3.
- Visaton GmbH & Co. KG (2012) EX 60 S - 8 Ohm. Accessed November 10, 2015. [http://www.visaton.de/de/industrie/koerperschall/ex60s\\_8.html](http://www.visaton.de/de/industrie/koerperschall/ex60s_8.html).
- Ziefle M (2002) The influence of user expertise and phone complexity on performance, ease of use and learnability of different mobile phones. In: *Behaviour & Information Technology* 21: 303-311.

**Danksagung:** Das Projekt InterHapt wurde aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 16SV6376 gefördert.