

## Untersuchung der typischen Fingerkräfte bei der Eingabe auf einer stationären Touchscreen-Oberfläche

Martin SEEGER, Tobias STEIN, Bernd-Burkhard BORYS, Ludger SCHMIDT

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

**Kurzfassung:** Um Nutzern von Touchscreens das gewohnte Gefühl von mechanischen Tasten wiederzugeben, können künstlich erzeugte haptische Rückmeldungen verwendet werden. Damit eine Touchscreen-Oberfläche mit Hilfe von Aktoren angeregt werden kann, müssen diese sowohl dem Eigengewicht des Touchscreens als auch den aufgebrachten Fingerkräften eines Nutzers entgegenwirken. Für letztere wurden typische Werte auf einer stationären Touchscreen-Oberfläche empirisch bestimmt. Die Messung der Fingerkräfte beim mehrmaligen Drücken einer virtuellen Taste lieferte unter 48 Versuchsteilnehmern eine durchschnittliche Fingerkraft von  $5,02 \text{ N} \pm 2,56 \text{ N}$  und eine maximale Fingerkraft von  $12,73 \text{ N}$ . Darüber hinaus konnten keine signifikanten Unterschiede der typischen Fingerkräfte in Bezug auf das Alter und das Geschlecht ermittelt werden.

**Schlüsselwörter:** Mensch-Maschine-Interaktion, haptische Rückmeldung, Touchscreen-Interaktion, Fingerkräfte

### 1. Einleitung

Berührungsempfindliche Bildschirme (Touchscreens) werden zunehmend in alltäglichen Geräten wie Smartphones oder Tablet-PCs, aber auch in stationären Systemen wie Geldautomaten, Kassen- oder Maschinenterminals eingesetzt. Im Vergleich zu mechanischen Tastaturen weisen Touchscreens den Nachteil auf, dass die über den Tastsinn vermittelte haptische Rückmeldung verloren geht. Die Eingabe auf einer ebenen und glatten Touchscreen-Oberfläche ist schwieriger und führt zu einer geringeren Eingabegeschwindigkeit (Hoggan et al. 2008).

Für die Gestaltung einer künstlich erzeugten haptischen Rückmeldung bestehen allgemein gefasste Richtlinien (VDI/VDE 3850-3 2015, ISO 9241-920 2009), einzelne Empfehlungen für Frequenz- und Amplitudenparameter (van Erp 2002) sowie für Muster- und Zeitparameter (Jones & Sarter 2008). Es konnte bereits gezeigt werden, dass der Einsatz einer künstlich erzeugten haptischen Rückmeldung zu einer schnelleren Eingabe von Texten sowie zu geringeren Fehlerzahlen bei der Eingabe auf einem Touchscreen führt (Brewster et al. 2007), wobei diese Form der Rückmeldung von Nutzern allerdings nur bedingt akzeptiert wird (Stein et al. 2015).

Für die Generierung einer künstlich erzeugten haptischen Rückmeldung von stationären Touchscreens muss die Aktorik z. B. befähigt werden, ausreichende Frequenzbereiche und Kräfte zu erzeugen sowie die Rückmeldung innerhalb der Berührungsdauer eines Fingers auf dem Touchscreen zu realisieren (Seeger et al. 2015). Dafür müssen bei der Dimensionierung der Aktoren neben dem Eigengewicht des Touchscreens die durch den Nutzer aufgebrachten Fingerkräfte berücksichtigt werden, sodass eine wahrnehmbare haptische Rückmeldung realisiert werden kann, ohne dass Schäden an der Aktorik auftreten.

## 2. Hintergrund und Ziele

Für konventionelle PC-Tastaturen und Stellteile bestehen bereits Normen und Richtlinien mit Anforderungen z. B. an die erforderliche Fingerkraft zur Aktivierung einer Taste (DIN EN ISO 9241-410 2012). Unterschiedliche Studien haben darüber hinaus die aufgebrachten Fingerkräfte eines Nutzers bei der Betätigung von Tastaturen (Rempel et al. 1997), für unterschiedliche Tastenhübe (Radwin & Ruffalo 1999), die Auswirkungen der Aktivierungskraft auf die Fingermuskulatur (Gerard et al. 1999) sowie die Kinematik bei der Betätigung (Jindrich et al. 2004) untersucht.

Im Vergleich zu konventionellen Tastaturen weisen kapazitive Touchscreen-Oberflächen keinen Tastenhub und keine notwendige Aktivierungskraft auf (VDI/VDE 3850-3 2015). Irwin et al. (2011) konnten bspw. beim Drücken einer virtuellen Taste auf einem resistiven Touchscreen eine durchschnittliche Fingerkraft von 5,68 N ( $\pm 1,53$  N) bei sitzenden Nutzern ermitteln. In einer weiteren Studie konnten Irwin & Sesto (2012) auf einem resistiven Touchscreen vergleichbare Fingerkräfte von 5,31 N ( $\pm 2,05$  N) feststellen. Im Vergleich dazu konnten Kim et al. (2012) beim beidhändigen Tippen auf einem kapazitiven Touchscreen bei sitzenden Nutzern lediglich eine durchschnittliche Fingerkraft von 0,76 N ( $\pm 0,03$  N) und eine maximale Fingerkraft von 1,15 N ( $\pm 0,10$  N) ermitteln.

Für die Dimensionierung von Aktoren zur Erzeugung einer künstlichen haptischen Rückmeldung auf einer stationären Touchscreen-Oberfläche bestehen keine Studien, welche die Fingerkräfte von stehenden Nutzern untersucht haben. Vor diesem Hintergrund wurde dieser Sachverhalt für stehende Nutzer in dieser Studie experimentell untersucht. Da Touchscreens sowohl von älteren als auch jüngeren Menschen genutzt werden, sollen im Rahmen dieser Untersuchungen auch die Zusammenhänge der typischen Fingerkräfte auf eine stationäre Touchscreen-Oberfläche mit dem Alter und Geschlecht näher analysiert werden.

## 3. Experimentelle Untersuchung

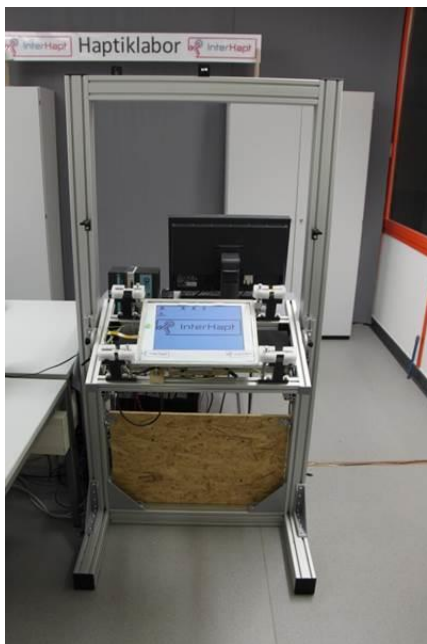
Für die experimentelle Untersuchung wurde ein Versuchsstand konzipiert, welcher die Eingabe der PIN an einem Geldautomaten auf einem Touchscreen simuliert. Dieses Szenario stellt einen grundsätzlich breit bekannten Anwendungsfall für eine realistische Touchscreen-Interaktion dar, wodurch vergleichbare Bedingungen für unterschiedliche Nutzergruppen geschaffen werden sollten.

Für den Aufbau wurde ein Rahmengestell aus Aluprofilen mit einer höhenverstellbaren Tischplatte und einer Neigung von 15 Grad aus der horizontalen nach oben installiert (siehe Abbildung 1 links). Auf dieser Tischplatte wurde ein 15-Zoll-LC-Bildschirm angebracht. Vor diesem LC-Bildschirm wurde ein Metallrahmen auf vier symmetrisch angeordneten Lagerpunkten eingespannt, auf dem ein 19-Zoll-oberflächen-kapazitiver Touchscreen (3M ClearTek II mit einem USB-Controller 3M EXII-7760UC) an den nicht sensitiven Flächen mit Kleber (Sikaflex 221) allseitig verklebt wurde (siehe Abbildung 1 rechts).

Für die Bestimmung der typischen Fingerkräfte wurde ein indirektes Messverfahren eingesetzt. Durch die Messung der Verformung der Touchscreen-Oberfläche kann durch ein zugrundeliegendes elastisches Werkstoffverhalten (Hornbogen et al. 2012) der Zusammenhang zwischen der Verformung unter einer Biegebelastung und der wirkenden Fingerkraft gebildet werden. Zur Messung der Auslenkung wurde ein optischer Wegsensor (Keyence LK-32) im Abstand von

170 mm horizontal und 30 mm oberhalb der Touchscreen-Mitte fest installiert. Der optische Wegsensor überführt die Auslenkung in eine elektrische Spannung, welche mit einer Messvorrichtung (BioPac MP 150) und der Software AcqKnowledge mit einer Abtastrate von 1000 Hz aufgezeichnet wurde.

Für die Kalibrierung des Versuchsaufbaus wurde der Touchscreen mittig mit Gewichten von 50 bis 1500 g in Fünzig-Gramm-Schritten belastet und die resultierende elektrische Spannung gemessen. Für die einzelnen Messpunkte zwischen Kraft und Spannung wurde mit MATLAB ein linearer Spannungs-Kraft-Verlauf mit  $R = 0,9981$  ermittelt, sodass von einer linear-elastischen Verformung der Touchscreen-Oberfläche ausgegangen werden kann.



**Abbildung 1:** Versuchsaufbau zur Untersuchung der typischen Fingerkräfte auf einer Touchscreen-Oberfläche bestehend aus Rahmengestell (links) und Touchscreen (rechts)

Für die Softwaregestaltung wurde mit LabView eine graphische Nutzungsoberfläche mit einer numerischen Telefontastatur mit den Ziffern von 0 bis 9 generiert (siehe Abbildung 1 rechts). Die einzelnen Tasten hatten die Maße 15 mm x 15 mm mit einem vertikalen Abstand von 10 mm und einem horizontalen Abstand von 5 mm zueinander. Am oberen Bildschirmrand wurden die einzugebenden Ziffern sowie der Aufgabentext für die Versuchsteilnehmer angezeigt.

### 3.1 Versuchsdurchführung

Nach der Begrüßung und Erläuterung des Versuchsaufbaus füllten die Versuchsteilnehmer eine Datenschutzerklärung und einen Eingangsfragebogen aus, mit dem die demographischen Daten sowie die Händigkeit mit Hilfe des Edinburgh Handedness Inventory (Oldfield 1971) ermittelt wurden. Anschließend folgte die Einstellung des Versuchsaufbaus auf die Körpergröße der Versuchsteilnehmer, wobei die Mitte des Tastenfeldes auf die Höhe des rechtwinklig angelegten Ellenbogens eingestellt wurde, um vergleichbare Versuchsbedingungen unter den Versuchsteilnehmern zu gewährleisten.

In einem Probelauf konnten sich die Versuchsteilnehmer an den Versuchsaufbau gewöhnen und festlegen, mit welchem Finger der dominanten Hand die Eingaben für den späteren Hauptversuch durchgeführt werden sollte. Im Hauptversuch, bestehend aus drei Blöcken mit je vier einzugebenden Ziffern, sollten sich die Versuchsteilnehmer die Ziffern einprägen und eintippen. Es wurden keine Vorgaben zur Eingabegeschwindigkeit gemacht, sodass jeder Versuchsteilnehmer entsprechend seiner natürlichen Geschwindigkeit die Eingabe durchführen konnte. Die Versuchsdurchführung nahm insgesamt etwa 15 Minuten in Anspruch.

### *3.2 Versuchsauswertung*

Für die Versuchsauswertung der Fingerkräfte auf der Touchscreen-Oberfläche wurden die aufgezeichneten Messdaten mit Hilfe der Software AcqKnowledge ausgewertet. Dabei wurde die Spannungsdifferenz zwischen der Nulllage der Touchscreen-Oberfläche und der maximalen Auslenkung des Touchscreens für jeden einzelnen Tastendruck bestimmt. Die einzelnen Spannungsdifferenzen wurden mit Hilfe des ermittelten linearen Spannungs-Kraft-Verlaufs in die zugrundeliegende Fingerkraft überführt. Die ermittelten Fingerkräfte wurden in SPSS übertragen und die durchschnittliche Fingerkraft für jeden Versuchsteilnehmer über die einzelnen Tastendrucke berechnet.

## **4. Ergebnisse und Diskussion**

An der Untersuchung nahmen 48 Versuchsteilnehmer (32 männlich, 16 weiblich) mit einem Durchschnittsalter von  $39,7 \pm 16,3$  Jahren (Spannweite von 15 bis 73 Jahren) teil. Unter den Versuchsteilnehmern waren zwei Linkshänder. Eine Altersdifferenzierung der Versuchsteilnehmer nach Technikgeneration (Sackmann & Weymann 1994) zeigte, dass einzelne Technikgenerationen nicht ausreichend repräsentiert werden. Für die weitere Darstellung der Ergebnisse wird eine Differenzierung in jüngere (mit Geburtsjahr von 1979 und später; 22 männlich, 8 weiblich) und ältere Teilnehmer (mit Geburtsjahr von 1978 und früher; 10 männlich, 8 weiblich) vorgenommen.

### *4.1 Deskriptive Ergebnisse*

Die Auswertung basiert auf 571 einzelnen Tastendrucke (von insgesamt 576, abzüglich fünf fehlerhafter Tastendrucke). Die durchschnittliche Fingerkraft beträgt über alle Versuchspersonen hinweg  $5,02 \text{ N}$  ( $\pm 2,56 \text{ N}$ ). Die minimale Fingerkraft von  $1,17 \text{ N}$  und die maximale Fingerkraft von  $12,73 \text{ N}$  konnten bei älteren weiblichen Nutzern festgestellt werden. Eine detaillierte Übersicht der einzelnen Fingerkräfte aufgeschlüsselt nach Geschlecht sowie jüngeren und älteren Versuchsteilnehmer ist in Tabelle 1 zusammenfassend dargestellt.

### *4.2 Einfluss von Alter und Geschlecht*

Für die Betrachtung der Einflussfaktoren Alter und Geschlecht auf die Fingerkräfte wurde eine mehrfaktorielle Varianzanalyse durchgeführt. Die Analyse zeigt keinen signifikanten Unterschied der Fingerkräfte in Bezug auf das Alter ( $F = 1,589$ ;  $p = 0,214$ ) oder das Geschlecht ( $F = 1,010$ ;  $p = 0,320$ ). Gleichmaßen konnte für die

Interaktion zwischen Alter und Geschlecht kein signifikanter Unterschied ( $F = 0,029$ ;  $p = 0,865$ ) auf die typischen Fingerkräfte ermittelt werden.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigen im Vergleich zu sitzenden Nutzern bei Irwin & Sesto (2012) und Irwin et al. (2011) vergleichbare Fingerkräfte für stehende Nutzer auf einer stationären Touchscreen-Oberfläche. Unter Berücksichtigung von Messungenauigkeiten durch den Versuchsaufbau sowie Ungenauigkeiten bei der Interpolation des Spannungs-Kraft-Verlaufs können in Anlehnung an die Ergebnisse von Irwin & Sesto (2012) und Irwin et al. (2011) die typischen Fingerkräfte auf einer stationären Touchscreen-Oberfläche für stehende Nutzer unabhängig von Alter und Geschlecht angenommen werden.

**Tabelle 1:** Fingerkräfte auf der Touchscreen-Oberfläche nach Alter und Geschlecht ( $n = 48$ )

<b>Fingerkräfte in Newton</b>	<b>jüngere Nutzer (1979 und später)</b>	<b>ältere Nutzer (1978 und früher)</b>
Ø 5,02 N ; ± 2,56 N min. 1,17 N ; max. 12,73 N	Ø 4,68 N ; ± 2,05 N min. 1,35 N ; max. 9,29 N	Ø 5,59 N ; ± 3,23 N min. 1,17 N ; max. 12,73 N
<b>weiblich</b> Ø 4,62 N ; ± 2,87 N min. 1,17 N ; max. 12,73 N	Ø 4,18 N ; ± 2,14 N min. 1,35 N ; max. 7,80 N	Ø 5,06 N ; ± 3,56 N min. 1,17 N ; max. 12,73 N
<b>männlich</b> Ø 5,21 N ; ± 2,41 N min. 2,30 N ; max. 10,95 N	Ø 4,86 N ; ± 2,04 N min. 2,30 N ; max. 9,28 N	Ø 6,02 N ; ± 3,08 N min. 2,41 N ; max. 10,95 N

## 5. Fazit und Ausblick

Für die Dimensionierung von Aktoren zur Erzeugung einer haptischen Rückmeldung auf Touchscreen-Oberflächen liefern die Ergebnisse dieser Untersuchung wesentliche Erkenntnisse über die aufgebrachten Fingerkräfte von stehenden Nutzern bei der Eingabe auf einer stationären Touchscreen-Oberfläche. Somit müssen die Aktoren einer Kraftereinwirkung von durchschnittlich 5,02 N und maximal 12,73 N unabhängig von Alter und Geschlecht entgegenwirken, um eine haptische Rückmeldung auf einer Touchscreen-Oberfläche zu realisieren.

Gleichermaßen zeigen die Erkenntnisse dieser Untersuchung weiteren Forschungsbedarf für die Kraftereinwirkung auf stationären Touchscreen-Oberflächen auf. In Anbetracht einer längeren Berührungsdauer eines Fingers z. B. bei unterschiedlichen Tastengrößen auf einem stationären Touchscreen (Seeger et al. 2015), sollten in weiteren Studien die Einflussgrößen von stationären Touchscreens in Form des Neigungswinkels oder unterschiedlicher Tastengrößen auf die typischen Fingerkräfte auf eine stationäre Touchscreen-Oberfläche näher untersucht werden.

## 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. New York: ACM, 159–162.

- Deutsches Institut für Normung (2012) Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 410: Gestaltungskriterien für physikalische Eingabegeräte. DIN EN ISO 9241-410.
- Gerard MJ, Armstrong TJ, Franzblau A, Martin BJ, Rempel DM (1999) The effects of keyswitch stiffness on typing force, finger electromyography, and subjective discomfort. *American Industrial Hygiene Association Journal* 60:762–769.
- 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.
- Hornbogen E, Eggeler G, Werner E (2012) *Werkstoffe - Aufbau und Eigenschaften von Keramik-, Metall-, Polymer- und Verbundwerkstoffen*. 10. Auflage. Berlin: Springer.
- Internationale Organisation für Normung (2011) *Ergonomics of human-system interaction - Part 920: Guidance on tactile and haptic interactions*. ISO 9241-920.
- Irwin CB, Sesto ME (2012) Performance and touch characteristics of disabled and non-disabled participants during a reciprocal tapping task using touch screen technology. *Applied Ergonomics* 43:1038–1043.
- Irwin CB, Yen TY, Meyer RH, Vanderheiden GC, Kelso DP, Sesto ME (2011) Use of force plate instrumentation to assess kinetic variables during touch screen use. *Universal Access in the Information Society* 10:453–460.
- Jindrich DL, Balakrishnan AD, Dennerlein JT (2004) Effects of keyswitch design and finger posture on finger joint kinematics and dynamics during tapping on computer keyswitches. *Clinical Biomechanics* 19:600–608.
- Jones LA, Sarter NB (2008) Tactile Displays: Guidance for their Design and Application. *Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* 50: 90–111.
- Kim JH, Aulck L, Bartha MC, Harper CA, Johnson PW (2012) Are there Differences in Force Exposures and Typing Productivity between Touchscreen and Conventional Keyboard? *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* 56: 1104–1108.
- Oldfield RC (1971) The Assessment and Analysis of Handedness: The Edinburgh Inventory. *Neuropsychologia* 9 (1): 97–113.
- Radwin RG, Ruffalo BA (1999) Computer key switch force-displacement characteristics and short-term effects on localized fatigue. *Ergonomics* 42:160–170.
- Rempel D, Serina E, Klinenberg E, Martin BJ, Armstrong TJ, Foulke JA, Natarajan S (1997) The effect of keyboard keyswitch make force on applied force and finger flexor muscle activity. *Ergonomics* 40:800–808.
- 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, 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, 1-6 (C.2.23).
- 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.
- Verband Deutscher Ingenieure (2015) *Gebrauchstaugliche Gestaltung von Benutzungsschnittstellen für technische Anlagen - Blatt 3: Merkmale, Gestaltung und Einsatzmöglichkeiten von Benutzungsschnittstellen mit Touchscreens*. VDI/VDE 3850-3.

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