

Verhaltensensitive Nutzerschnittstellen für mobile Geräte mit berührungsempfindlichem Bildschirm¹

Daniel Buschek²

Abstract: Diese Dissertation zeigt wie Interaktion mit mobilen Geräten mit Touchscreen verbessert werden kann, indem Nutzerschnittstellen in die Lage versetzt werden, zu erfassen und zu berücksichtigen *wie* Nutzer Interaktionen damit ausführen. Diese *verhaltenssensitiven* Nutzerschnittstellen verbessern Interaktion durch die Verwendung von Verhaltensdaten, welche bei der Nutzung ohnehin anfallen. Somit können dem Nutzer Zeit und Unterbrechungen erspart werden, die andernfalls nötig wären um dieselbe Information zu erfragen (z.B. Informationen zur Nutzeridentität, Handhaltung sowie weiterem Kontext). Zentrale Forschungsfragen adressieren deshalb das Verständnis von Verhaltenscharakteristika und -einflüssen, deren Modellierung, sowie Konzepte zu Inferenz und Reaktion und deren Integration in die Nutzerschnittstellen. Die Dissertation untersucht dies in mehreren Studien. Dabei werden sowohl grundlegende Verhaltensaspekte von Touch-Interaktionen auf mobilen Geräten analysiert, als auch Anwendungen mittels nutzbarer Prototypen betrachtet. Darüber hinaus stellt die Dissertation Konzepte und implementierte Software vor für das Sammeln von Verhaltensdaten, der Analyse und Modellierung von Interaktionsverhalten, sowie dem Erstellen von verhaltenssensitiven Nutzerschnittstellen. Diese Beiträge unterstützen Forscher und Entwickler bei der Untersuchung und praktischen Umsetzung von solchen Nutzerschnittstellen. Insgesamt zeigt die vorliegende Arbeit, wie Verhaltensmerkmale in der Interaktion mit mobilen Geräten mit Touchscreen zum Vorteil der Nutzer adressiert und genutzt werden können. Außerdem werden Transfer und Wiederverwendung von Verhaltensinformationen und -modellen diskutiert, zum Beispiel im Hinblick auf Kompromisse zwischen Bedienbarkeit und Privatsphäre bzw. Sicherheit. Schließlich reflektiert die Arbeit die generelle Rolle verhaltenssensitiver Nutzerschnittstellen. Dabei zeichnet sie eine Perspektive, in der solche Nutzerschnittstellen der direkten Einbettung von “Erwartungen” an das Bedienverhalten in intelligente interaktive Systeme dienen.

1 Einleitung und Überblick

Mobile Geräte mit berührungsempfindlichem Bildschirm (“Touchscreen”) sind unerlässliche Alltagshelfer geworden, sei es zur Kommunikation, Informationssuche oder zum Erstellen und Abrufen persönlicher Daten. Insbesondere Smartphones werden oft als persönliche Geräte betrachtet, die einem bestimmten Nutzer gehören und für diesen den individuellen Zugang zum mobilen digitalen Leben bedeuten. Diese persönliche Nutzung, kombiniert mit der Bedeutung des Touchscreens zur Interaktion, motiviert die zentrale Aussage dieser Dissertation: Interaktion mit mobilen Geräten mit Touchscreen kann verbessert werden, indem Nutzerschnittstellen erfassen und berücksichtigen *wie* Nutzer Interaktionen damit ausführen. Diese Dissertation führt den Begriff “behaviour-aware” (d.h. “verhaltenssensitiv”) ein, um solche Nutzerschnittstellen zu charakterisieren.

¹ Englischer Originaltitel: *Behaviour-Aware Mobile Touch Interfaces*

² LMU München, daniel.buschek@ifi.lmu.de

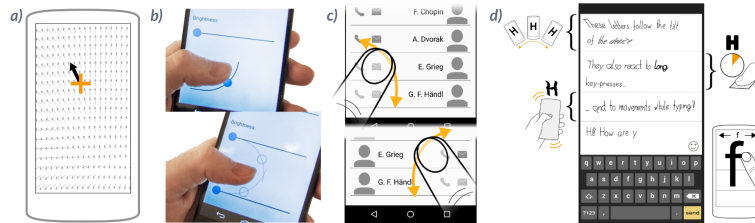


Abb. 1: Beispiele für in dieser Dissertation entwickelte verhaltensensitive Nutzerschnittstellen auf mobilen Geräten: (a) Ein Modell des individuellen Verhaltens beim Zielen mit dem Finger korrigiert die Eingabe des Nutzers und erhöht so die Zielgenauigkeit um Eingabefehler zu verringern. (b) Die Regler passen ihre Form an den Radius des Daumens an und ermöglichen so ergonomische einhändige Bedienung (oberes Bild). Darüber hinaus geben sie dem Nutzer Rückmeldung über Unsicherheit in der Interpretation der Eingabe (durch transparente "Vorschau", unteres Bild). (c) Diese Kontaktliste vertauscht die links-/rechtsbündige Anordnung von Kontaktnamen und Schaltflächen, basierend auf der Trajektorie des Fingers beim Scrollen. Somit passt sich die Nutzerschnittstelle z.B. an links-/rechtshändige Bedienung an. (d) Diese Tastatur erzeugt eine individuelle Schriftart basierend auf Aspekten des Eingabeverhaltens, um persönliche und ausdrucksstarke Kommunikation per Textnachrichten zu ermöglichen, ähnlich den Einflüssen auf Handschrift in der analogen Welt.

Diese Nutzerschnittstellen verbessern Interaktion mittels Verhaltensdaten, die bei der Nutzung ohnehin anfallen. So können dem Nutzer Zeit und Unterbrechungen erspart werden, die sonst nötig wären um diese Daten zu erfragen (z.B. Informationen zur Nutzeridentität, Handhaltung, sowie weiterem Kontext). Verhaltensensitive Nutzerschnittstellen können solche Informationen auf verschiedene Arten nutzen, insbesondere um sich an Nutzer anzupassen. Zentrale Forschungsfragen adressieren daher das Verständnis von Nutzerverhalten, dessen Modellierung, und Konzepte zu Inferenz, Reaktion und deren Integration in Nutzerschnittstellen. Diese Fragen werden in der Dissertation in mehreren Studien untersucht. Es werden sowohl grundlegende Aspekte von Interaktionen mit Touchscreens auf mobilen Geräten analysiert, als auch konkrete Anwendungen in drei Bereichen:

- 1) *Verbesserung der Eingabeleistung*, durch Modellierung des individuellen Nutzerverhaltens beim Zielen mit dem Finger, um zukünftige Eingaben zu korrigieren und die Genauigkeit der Eingabe zu verbessern.
- 2) *Förderung von Privatsphäre und Sicherheit*, durch Analyse von Mustern im Ziel-/Tippverhalten, womit Nutzer während der Eingabe identifiziert werden können.
- 3) *Verbesserung der Ausdrucksstärke* von Interaktionen, durch Verknüpfen von Verhaltensmerkmalen in der Eingabe mit Eigenschaften der Ausgabe.

Darüber hinaus bietet die Dissertation Konzepte und implementierte Werkzeuge für das Sammeln von Verhaltensdaten aus Interaktion, der Analyse und Modellierung von Verhalten, sowie dem Erstellen von verhaltenssensitiven und adaptiven Nutzerschnittstellen für mobile Geräte mit Touchscreen. Diese Beiträge unterstützen Forscher und Entwickler bei der Untersuchung und praktischen Umsetzung von solchen Nutzerschnittstellen.

Insgesamt zeigt die Arbeit, wie Verhaltensmerkmale in der Interaktion mit mobilen Geräten mit Touchscreen zum Vorteil der Nutzer genutzt werden können. Es werden außerdem Transfer und Wiederverwendung von Verhaltensinformationen und -modellen

diskutiert, zum Beispiel im Hinblick auf Kompromisse zwischen Bedienbarkeit und Privatsphäre bzw. Sicherheit. Schließlich reflektiert die Arbeit die generelle Rolle verhaltenssensitiver Nutzerschnittstellen. Dabei zeichnet sie eine Perspektive, in der diese der direkten Einbettung von “Erwartungen” an das Bedienverhalten in interaktive Systeme dienen.

2 Verhaltensensitive Nutzerschnittstellen für mobile Touch-Geräte

2.1 Analyse von Eingabeverhalten auf mobilen Geräten mit Touchscreen

Die Grundlage für verhaltensensitive Nutzerschnittstellen bilden drei Elemente: 1) Detailliertes Verständnis des Bedienverhaltens, 2) Modelle um dieses Verhalten zu repräsentieren, sowie 3) Methoden um es nutzbar zu machen und Informationen über Nutzer und Kontext zu erschließen. Die Dissertation deckt diese Elemente für Bedienverhalten auf mobilen Geräten mit Touchscreen mit den Fingern ab (“Touches”). Dazu wurden mehrere Studien mit Nutzern durchgeführt [BRMS13, BA15, BDLA16, BKA17, Bu18].

Die Arbeit untersucht als erste Einflüsse der Handhaltung (z.B. Eingabe per Daumen/Zeigefinger) [BRMS13, BA15, BDLA16] und grafischer Elemente [BA15, BDLA16] auf das Zielverhalten und dessen Modellierung (“Offset Models”, siehe Abbildung 1a). Mit “Zielverhalten” ist die Fingerplatzierung und Genauigkeit beim Zielen auf grafische Elemente gemeint. Durch das in den Studien erlangte Wissen können die Modelle praktisch besser eingesetzt werden, um zuverlässig Zielgenauigkeit und Eingabeleistung zu verbessern.

Die Arbeit zeigt zudem zum ersten Mal [BRMS13], wie sich Muster im Zielverhalten eines Nutzers zwischen verschiedenen Gerätemodellen unterscheiden und übertragen werden können. Dies ist praktisch relevant um es Nutzern zu ermöglichen, auch auf einem neuen Gerät direkt mit personalisierten Verbesserungen der Eingabeleistung starten zu können.

Darüber hinaus überträgt die Dissertation zum ersten Mal diese Modelle auf Eingaben mit einem Stift [BKA17]. Es wird insbesondere gezeigt, dass auch die Eingabe mit dem vermeintlich genaueren Stift durch die Modellierung des Zielverhaltens weiter verbessert werden kann. Gleichzeitig ergeben sich durch die Gegenüberstellung der Muster von Finger und Stift neue Erkenntnisse über grundlegendes Eingabeverhalten: So ist zum Beispiel der Stift zwar im Durchschnitt genauer als der Finger, allerdings schwankt der Unterschied stark in Abhängigkeit der Position des Ziels auf dem Bildschirm.

Insgesamt zeigt die Dissertation die zentralen Herausforderungen bei der Verbesserung der Zielgenauigkeit durch Modellierung der individuellen Fingerplatzierung auf. Insbesondere erschweren mehrere Einflussfaktoren robuste Verbesserungen der Zielgenauigkeit (z.B. wechselnde Handhaltungen des Geräts im Alltag). Gleichzeitig wandelt die Arbeit diese Herausforderungen in eine neue vielversprechende Perspektive um: Eingabeverhalten, das durch Kontextfaktoren beeinflusst wird, kann auch von verhaltenssensitiven Nutzerschnittstellen analysiert werden um eben jene Kontexte zu erkennen.

2.2 Modellierung und Inferenz auf Basis des Eingabeverhaltens

Die Dissertation trägt dazu bei diese Perspektive praktisch umzusetzen – mit Modellen und Inferenzmethoden, sowie Konzepten zu deren Einbettung in Benutzeroberflächen. Zum einen ergeben die Studien grundlegende Erkenntnisse für Modellentscheidungen und -parameter [BRMS13, BA15, BDLA16, BKA17, Bu18]. Zudem wird ein neues *inverses* Modell des Zielverhaltens vorgestellt, mit dem Nutzerschnittstellen vorhersagen können, wo auf dem Touchscreen Eingaben mit dem Finger zu erwarten sind. Dies ist nützlich um Nutzerverhalten zu simulieren [BDLA16] und Bedienelemente zu optimieren [BAA15].

Die Disseratation entwickelt zudem ein weiteres neues Modell des Zielverhaltens: Dieses betrachtet zum ersten Mal die Fingerplatzierung in *Sequenzen* über mehrere Eingaben (Touches) hinweg. Damit kann eine Veränderung im Verhalten über die Zeit erkannt werden. Dies hat hohe praktische Relevanz für verhaltensbiometrische Systeme, die automatisch erkennen möchten wenn ein Gerät einem anderen Nutzer übergeben wurde (z.B. automatischer “Gastmodus”) oder entwendet wurde (z.B. Gerät automatisch sperren).

Die Arbeit stellt außerdem eine grundlegende Inferenzmethode mittels Modellen zum Zielverhalten vor: Damit kann von Mustern in der Fingerplatzierung auf dem Touchscreen auf die aktuelle Nutzungssituationen geschlossen werden. Konkret untersucht die Arbeit wie Nutzer identifiziert [BRMS13, BDLA16] und Handhaltung (links/rechts) sowie Finger (Daumen/Zeigefinger) bzw. Stifteingabe erkannt werden können [BRMS13, BA15, BKA17]. Diese Informationen können dann genutzt werden, um die Nutzerschnittstelle automatisch an die Situation anzupassen. Ein Vorteil gegenüber anderen Ansätzen besteht darin, dass die Informationen anhand der üblichen Bedienung des Touchscreens gewonnen werden. Somit sind zum Beispiel keine weiteren Sensoren am Gerät notwendig.

Das Erschließen von Informationen verlangt nach ausdrucksstarken Verhaltensmerkmalen (“Features”), insbesondere zur Unterscheidung von Nutzern in verhaltensbiometrischen Systemen. Die Arbeit trägt hier entscheidende Erkenntnisse bei [BDLA15a, BBA18]: So konnte gezeigt werden, dass gerade die Muster in der Fingerplatzierung höchst individuell sind, auch im Tippverhalten auf der Bildschirmtastatur (z.B. vereinfacht: Nutzer A tippt genauer in der oberen linken Ecke des Bildschirms bzw. der Tastatur, Nutzer B aber unten rechts). Insbesondere bieten diese Merkmale eine viel bessere Grundlage für Verhaltensbiometrie auf mobilen Geräten als die bislang genutzten zeitlichen Merkmale (z.B. Eingabeschwindigkeit). Ein Vergleich zwischen Labor- und Feldstudien [BDLA15a, BBA18] zeigt zudem, dass der Vorteil dieser Merkmale im Alltag noch höher ist.

Schließlich stellt die Dissertation auch ein grundlegendes Konzept vor (*ProbUI*), wie solche Modelle des Eingabeverhaltens direkt in grafische Bedienoberflächen eingebettet werden können [BA17]. Dieses Konzept wird auch im nächsten Abschnitt näher vorgestellt.

2.3 Anwendungsbereiche verhaltenssensitiver Nutzerschnittstellen

Die oberen erwähnten Anwendungsbereiche werden nun näher betrachtet. Als Motivation diskutiert die Arbeit in einem Essay [Bu16] eine neue weitergefasste Perspektive über die

technischen Konzepte hinaus: Russel Belk's Konzept des "*Extended Self*" [Be88, Be13] wird aufgegriffen ("erweitertes Selbst", kurz ES), wonach Menschen (digitale) Objekte nutzen, um ihre Identität zu definieren, zu reflektieren und zu kommunizieren – mit bewusst philosophischer Perspektive – in Bezug auf die abstrakten Funktionen "Haben", "Tun", und "Sein" [Be88]. Die Dissertation diskutiert, dass auch verhaltenssensitive Nutzerschnittstellen grundlegend an *individuellem* menschlichen Verhalten interessiert sind. Sie motiviert daher in Anlehnung an die drei Funktionen aus ES drei Anwendungsbereiche: 1) Die Nutzung von Verhaltensmerkmalen um Geräte und Daten zu schützen ("Haben"); 2) die Anpassung von Nutzerschnittstellen an das Verhalten, um die Bedienung zu verbessern ("Tun"); und 3) die Berücksichtigung von Verhaltensmerkmalen zur personalisierten Darstellung des Nutzers ("Sein"), zum Beispiel in Kommunikationsanwendungen. Die Beiträge der Dissertation in diesen Bereichen werden im Folgenden zusammengefasst.

Im Bereich der *Förderung von Privatsphäre und Sicherheit* untersucht die Dissertation in mehreren empirischen Studien biometrische Systeme, die Nutzer anhand des Eingabeverhaltens auf dem Touchscreen identifizieren. Methodisch wird hier zum ersten Mal der Einfluss von bislang typischen Annahmen auf die Auswertung zugrunde liegender Modelle quantifiziert [BDLA15a]. Einige Annahmen werden als in realistischen Nutzungsszenarien im Alltag nicht haltbar identifiziert (z.B. Annahme fixer Handhaltung oder Kenntnis von Verhaltensdaten von einem spezifischen Angreifer noch *vor* dem Angriff). Damit zeigt die Arbeit quantifizierbar, dass bei einigen verbreiteten Evaluationsschemata ein viel zu optimistisches Bild von verhaltensbiometrischen Systemen in diesem Kontext entsteht.

Außerdem quantifiziert die Dissertation in diesem Anwendungsbereich den Einfluss von Handhaltung und Eigenschaften der grafischen Bedienelemente auf den biometrischen Wert (d.h. Individualität) des Nutzerverhaltens [BDLA15a, BDLA16].

Schließlich stellt die Arbeit mit der entwickelten Software "*ResearchIME*" ein Werkzeug für Wissenschaftler bereit, mit dem zum ersten Mal "natürliche" verhaltensbiometrische Daten bei der Texteingabe im Alltag gesammelt werden können [BBA18]. Dabei spielt die Wahrung der Privatsphäre der Studienteilnehmer eine zentrale Rolle, was konkret durch ein neues mehrstufiges Filterkonzept umgesetzt wird (siehe auch Abschnitt 2.4).

Im Anwendungsbereich der *Verbesserung der Eingabeleistung* untersucht die Dissertation adaptive Nutzerschnittstellen mit zwei Ansätzen: 1) Adaption der Interpretation der Eingabe im Hintergrund; sowie 2) sichtbare Adaption der grafischen Bedienoberfläche. Der erste Ansatz setzt auf vorigen Arbeiten auf [We12] und nutzt die oben beschriebenen Modelle des Zielverhaltens. Diese werden auf den Eingabedaten ("Touches") eines Nutzers trainiert um dann die Genauigkeit zukünftiger Eingaben individuell zu verbessern [BRMS13, BA15, BKA17]. Somit können Fehler bei der Eingabe reduziert werden. Die Dissertation entwickelt diese Modelle dabei entscheidend weiter und untersucht wichtige Einflussfaktoren (siehe oben, Abschnitte 2.1 und 2.2).

Für den zweiten Ansatz stellt die Dissertation das oben erwähnte neue Konzept "*ProbUI*" vor, welches die dynamische Adaption von grafischen Bedienoberflächen an das Nutzerverhalten während der Nutzung ermöglicht [BA17]. Im Gegensatz zu vorherigen Arbeiten geschieht dies auf einer systematischen und formal einheitlichen Grundlage, die

auch explizit Entwickler bei der Umsetzung unterstützt. Das Konzept wurde zudem als “open-source” Implementierung für Entwickler nutzbar gemacht. Somit wird eine Brücke von theoretischer Modellierung zu praktischer Anwendung geschlagen. Konkret ersetzt *ProbUI* die üblichen internen Repräsentationen von Zielbereichen in grafischen Nutzerschnittstellen mit einem probabilistischen Modell. Dies ermöglicht es Entwicklern, Varianten im Nutzerverhalten zu antizipieren und mit geringem Aufwand Adaptionen und Rückmeldungen der Bedienoberfläche für die Nutzer zu implementieren. Abbildungen 1b) und c) zeigen konkrete Beispiele für solche verhaltensensitive Nutzerschnittstellen.

Zur *Verbesserung der Ausdrucksstärke* von Interaktionen wird ein neues Konzept (“*TapScript*”) für eine Bildschirmtastatur als verhaltensensitive Nutzerschnittstelle vorgestellt [BDLA15b]. Diese Tastatur passt die Textdarstellung automatisch an, in Abhängigkeit des aktuellen Tippverhaltens (siehe Abbildung 1d). Berücksichtigt werden unter anderem Zielgenauigkeit, Tippgeschwindigkeit, sowie Bewegung des Geräts/Körpers. Die Idee ist inspiriert von der Art und Weise wie sich Einflüsse im handschriftlichen Schriftbild zeigen. In empirischen Untersuchungen wird gezeigt, dass Nutzer Nachrichten mit *TapScript* als persönlicher empfinden und anhand des Schriftbilds andere Nutzer wiedererkennen können. Außerdem können einfache Kontexte (stationär/unterwegs) unterschieden werden. Neben der praktischen Anwendung zeigt *TapScript* auf theoretischer Ebene ein neues Konzept: Ursprünglich unbewusste und “unsichtbare” Verhaltensvariationen werden für den Nutzer sichtbar gemacht. Dies ermöglicht neue Eingabedimensionen.

Schließlich beschreibt diese Dissertation eine umfassende Perspektive über Anwendungen und Geräte hinweg: In allen drei untersuchten Bereichen können ähnliche Verhaltensmerkmale und Modelle eingesetzt werden. Dies impliziert eine Systemarchitektur, die unter Beachtung von Datenschutz einen solchen Austausch über Anwendungen und Geräte hinweg möglich macht. Als einen ersten technischen Schritt stellt die Arbeit einen Ansatz vor, mit dem Nutzermodelle automatisch von einem auf ein anderes Gerät angepasst werden können [BRMS13]. Darüber hinaus werden mögliche Vorteile einer solchen Perspektive auf verhaltensensitive Nutzerschnittstellen im Ausblick beleuchtet (siehe Abschnitt 3).

2.4 Methodik und Werkzeuge für verhaltensensitive Nutzerschnittstellen

Die Dissertation stellt Methoden und Werkzeuge vor, mit denen Wissenschaftler und Entwickler verhaltensensitive Nutzerschnittstellen erforschen und implementieren können. Ein erster wichtiger Schritt ist das Erfassen von Verhaltensdaten. Um Wissenschaftler dabei zu unterstützen, wurde eine neue Methode und Software (“*ResearchIME*”) entwickelt [BBA18]: Diese Tastatur-App erfasst Merkmale der Texteingabe im Alltag. Zuvor wurde dies in verwandten Arbeiten ausschließlich im Labor oder in künstlich gestellten Aufgaben untersucht. Eine zentrale Herausforderung im Alltag ist die Wahrung der Privatsphäre der Nutzer. Daher wurde ein neues dreistufiges Filterkonzept entwickelt: 1) *Automatischer Filter* – Sensible Eingabefelder (z.B. Namen, Passwörter, Telefonnummern) werden automatisch erkannt und nicht aufgezeichnet. 2) *Zufallsfilter* (“*Subsampling*”) – Für andere Eingaben werden Verhaltensmerkmale für eine stark beschränkte Zufallsauswahl an Tastenanschlägen gespeichert, wodurch der eingegebene Text nicht rekonstruiert

werden kann. Die Zufallsauswahl ist dabei so gestaltet, dass die Daten dennoch für viele Forschungsfragen nützlich sind. 3) *Filter durch Teilnehmer selbst* – Schließlich stellt die entwickelte Tastatur auch eine Schaltfläche bereit, mit der die Teilnehmer selbst die Erfassung der Daten komplett unterbrechen können. Die Auswirkung der Filterparameter auf die Rekonstruierbarkeit und damit Privatsphäre wurde empirisch untersucht [BA17].

Neben der Datenerfassung werden auch Verhaltensmodelle benötigt. Um Wissenschaftler und Entwickler hier zu unterstützen wurde das *TouchML* Softwarepaket entwickelt. Dieses implementiert die entwickelten Modelle der Fingerplatzierung bei der Eingabe. Es unterstützt Datenanalyse und mobile Anwendungen sowie Einbettung in mobile Webseiten. Somit kann die Eingabegenauigkeit in solchen Anwendungen verbessert werden. Zudem können die Modelle für das Erkennen von Nutzern oder Kontexten verwendet werden.

Schließlich unterstützt die Arbeit mit dem beschriebenen *ProbUI* Konzept und Softwarepaket die praktische Erstellung von verhaltenssensitiven Nutzerschnittstellen. Abbildungen 1b) und c) zeigen Beispiele. Zentral ist die neue Verknüpfung von drei in früheren Arbeiten getrennten Ansätzen: 1) Entwickler nutzen eine *deklarative Sprache* um Nutzerverhalten zu referenzieren. 2) Das System leitet daraus sowie aus Eigenschaften der grafischen Bedienoberfläche automatisch eine *wahrscheinlichkeitsbasierte* interne Repräsentation ab. 3) Diese Modelle schätzen während der Interaktion kontinuierlich die Nutzerintention, was Entwickler im Programmcode nutzen können, um Feedback anzuzeigen oder Bedienelemente dynamisch anzupassen. Durch diese neue Verknüpfung von deklarativen und probabilistischen Ansätzen müssen Entwickler keine Experten in probabilistischer Modellierung sein, um solche verhaltenssensitiven Nutzerschnittstellen formal systematisch umzusetzen.

3 Schlussfolgerungen

Selbst für eine scheinbar simple Aktion, wie das Berühren einer Schaltfläche auf einem Touchscreen, zeigt sich, dass Bedienverhalten stark zwischen Menschen und Kontexten variiert. Verhaltensensitive Nutzerschnittstellen bieten deshalb die Möglichkeit nicht-triviale Informationen über Nutzer und Kontext aus dem Bedienverhalten abzuleiten. Solche Informationen auf andere Weise zu gewinnen bedingt oft zusätzliche “Kosten” für die Nutzer, wie zum Beispiel eine Verzögerung der Hauptaufgabe (z.B. Email schreiben) durch einen Authentifizierungsvorgang (z.B. Passworteingabe). Kann die Nutzeridentität hingegen anhand des Nutzungsverhaltens während der Hauptaufgabe direkt erschlossen werden, so spart das den Nutzern Zeit und Unterbrechungen.

Konkret zeigt die Arbeit damit auch eine neue Perspektive auf, wie Mensch-Maschine-Interaktion im Sinne von Informationsübertragung optimiert werden kann: Dies kann nicht nur durch die Entwicklung von neuen Bedienkonzepten und -geräten geschehen, sondern auch dadurch, dass bestehenden Nutzerschnittstellen technisch ermöglicht wird, reichhaltigere Informationen aus dem gewohnten Nutzungsverhalten zu gewinnen. In der vorliegenden Arbeit geschieht dies zudem ohne zusätzliche Anforderungen an die Hardware zu stellen, weshalb die erarbeiteten Verbesserungen direkt auf Millionen von Geräten per Software-Update zur Anwendung kommen können.

Es wurden drei Anwendungsbereiche von verhaltenssensitiven Nutzerschnittstellen auf mobilen Geräten mit Touchscreen untersucht: 1) Verbesserung der Eingabeleistung, 2) Förderung von Privatsphäre und Sicherheit, und 3) Verbesserung der Ausdrucksstärke von Interaktionen. Abschließend macht die Arbeit nun deutlich, dass (dasselbe) Eingabeverhalten durch verhaltensensitive Nutzerschnittstellen und die zu Grunde liegenden Modelle über *mehrere* Anwendungen und Geräte hinweg genutzt werden können. Ein Beispiel verdeutlicht die Vorteile: Um praktische Kompromisse aus Benutzbarkeit und Sicherheit für eine Zielgruppe zu verbessern, wird häufig versucht die für die Sicherheit verantwortlichen Teile von Nutzerschnittstellen zu verbessern (z.B. neue Authentifizierungskonzepte wie Eingabe von Mustern statt Passwörtern). Im Gegensatz dazu zeigt diese Arbeit auf, dass durch verhaltensensitive Nutzerschnittstellen eine breitere Perspektive auf solche Abwägungen ermöglicht wird: Im Beispiel könnte das Verhalten bei der Eingabe eines Passworts auch dazu verwendet werden, um die Handhaltung zu erschließen und damit die auf die Authentifizierung folgenden Nutzerschnittstellen zu optimieren (z.B. Layout von Schaltflächen oder Interpretation von Tippverhalten). Somit wird eine Verbesserung der Nutzbarkeit des Gesamtsystems erreicht ohne dass Designer, Entwickler oder Forscher dabei auf eine Veränderung der Passwordeingabe an sich beschränkt werden.

Genereller formuliert zeigt diese Dissertation daher auf, dass Erfassung und Nutzung von Informationen zum Bedienverhalten nicht am selben Punkt stattfinden müssen. Damit zeichnet die Arbeit eine Vision von *umfassenden* verhaltenssensitiven Nutzerschnittstellen: Ein solcher Transfer von Verhaltensinformation und -modellen über Anwendungsgebiete und Geräte hinweg ist besonders vielversprechend in allgegenwärtigen, vernetzten Computersystemen ("ubiquitous computing").

Als Ausblick soll an dieser Stelle auch beleuchtet werden, welche Rolle verhaltensensitive Nutzerschnittstellen für die Zukunft von Mensch-Maschine-Interaktion in Forschung und Industrie spielen. Eine Paneldiskussion auf der *Computer-Human-Interaction (CHI)* Konferenz stellte kürzlich die Frage: Zu welchem Grad sollen Maschinen versuchen Menschen in Echtzeit zu verstehen, im Gegensatz zum rein fixen Verständnis, das der Mensch bei ihrer Entwicklung in ihr Design einfließen lässt? [Fa17]

Diese Dissertation gibt eine klare Antwort: Durch verhaltensensitive Nutzerschnittstellen können *Erwartungen* an das Nutzerverhalten direkt in interaktive Systeme eingebettet werden, um Nutzerverhalten zu antizipieren und darauf zu reagieren. Die Vorteile gegenüber einem fixen Design vorab betreffen sowohl gesteigerte Effizienz, Effektivität und Ausdrucksstärke alltäglicher Bedienkonzepte, als auch die Förderung von Privatsphäre und Sicherheit persönlicher Daten und Geräte.

Diese Perspektive der eingebetteten Erwartungen weist über den Fachbereich der Mensch-Maschine-Interaktion hinaus: Zum Beispiel beschreiben Arbeiten zu "*Predictive Processing*" [Cl16] wie (menschliche) Wahrnehmung mit der *Vorhersage* der eigenen Sinneseingaben beginnt. Lernen geschieht demnach durch Vergleich mit tatsächlichen Eindrücken, um zukünftige Reaktionen zu informieren. Diese Dissertation greift diesen Gedanken im Kontext von Nutzerschnittstellen auf: Verhaltensensitive Nutzerschnittstellen, wie hier entwickelt, nutzen ebenso Modelle von erwarteten Eingabecharakteristika, die durch tatsächliche Nutzereingaben verfeinert werden können und Reaktionen der Nutzerschnitt-

stelle informieren. Das vorgestellte *ProbUI* Konzept zeigt diese Verbindung am deutlichsten [BA17]. Insgesamt können solche Systeme insbesondere auf individuelle menschliche Verhaltensweisen und variierende Nutzungskontexte eingehen.

Schließlich bieten verhaltensensitive Nutzerschnittstellen einen Ansatz um die wachsenden Möglichkeiten maschinellen Lernens und künstlicher Intelligenz in einer kollaborativen Rolle in zukünftige interaktive Systeme einzubetten: Durch verhaltensensitive Nutzerschnittstellen wird der Mensch nicht *ersetzt*, sondern durch die “Intelligenz” des Systems in der Bedienung *unterstützt*. Verhaltensensitive Nutzerschnittstellen tragen in diesem Sinne dazu bei, dass viele Menschen von den Vorteilen solcher Systeme im Alltag und Berufsleben profitieren können, und auch auf deren diverse Fähigkeiten, Erfahrungen und Vorlieben bei der Bedienung individuell vom System eingegangen werden kann.

Literaturverzeichnis

- [BA15] Buschek, Daniel; Alt, Florian: TouchML: A Machine Learning Toolkit for Modelling Spatial Touch Targeting Behaviour. In: Proceedings of the 20th International Conference on Intelligent User Interfaces. IUI '15, ACM, New York, NY, USA, S. 110–114, 2015.
- [BA17] Buschek, Daniel; Alt, Florian: ProbUI: Generalising Touch Target Representations to Enable Declarative Gesture Definition for Probabilistic GUIs. In: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. CHI '17, ACM, New York, NY, USA, S. 4640–4653, 2017.
- [BAA15] Buschek, Daniel; Auch, Alexander; Alt, Florian: A Toolkit for Analysis and Prediction of Touch Targeting Behaviour on Mobile Websites. In: Proceedings of the 7th ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems. EICS '15, ACM, New York, NY, USA, S. 54–63, 2015.
- [BBA18] Buschek, Daniel; Bisinger, Benjamin; Alt, Florian: ResearchIME: A Mobile Keyboard Application for Studying Free Typing Behaviour in the Wild. In: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. CHI '18, ACM, New York, NY, USA, 2018.
- [BDLA15a] Buschek, Daniel; De Luca, Alexander; Alt, Florian: Improving Accuracy, Applicability and Usability of Keystroke Biometrics on Mobile Touchscreen Devices. In: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. CHI '15, ACM, New York, NY, USA, S. 1393–1402, 2015.
- [BDLA15b] Buschek, Daniel; De Luca, Alexander; Alt, Florian: There is More to Typing Than Speed: Expressive Mobile Touch Keyboards via Dynamic Font Personalisation. In: Proceedings of the 17th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services. MobileHCI '15, ACM, New York, NY, USA, S. 125–130, 2015.
- [BDLA16] Buschek, Daniel; De Luca, Alexander; Alt, Florian: Evaluating the Influence of Targets and Hand Postures on Touch-based Behavioural Biometrics. In: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. CHI '16, ACM, New York, NY, USA, S. 1349–1361, 2016.
- [Be88] Belk, Russell W.: Possessions and the Extended Self. *Journal of Consumer Research*, 15(2):139, 1988.

- [Be13] Belk, Russell W.: Extended Self in a Digital World. *Journal of Consumer Research*, 40(3):477–500, 2013.
- [BKA17] Buschek, Daniel; Kinshofer, Julia; Alt, Florian: A Comparative Evaluation of Spatial Targeting Behaviour Patterns for Finger and Stylus Tapping on Mobile Touchscreen Devices. *Proc. ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol.*, 1(4), 2017.
- [BRMS13] Buschek, Daniel; Rogers, Simon; Murray-Smith, Roderick: User-specific Touch Models in a Cross-device Context. In: *Proceedings of the 15th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services. MobileHCI '13*, ACM, New York, NY, USA, S. 382–391, 2013.
- [Bu16] Buschek, Daniel: There is more to biometrics than user identification: Making mobile interactions personal, secure and representative. *it - Information Technology*, 58(5):247–253, 2016.
- [Bu18] Buschek, Daniel: A Model for Detecting and Locating Behaviour Changes in Mobile Touch Targeting Sequences. In: *Proceedings of the 23rd International Conference on Intelligent User Interfaces. IUI '18*, ACM, New York, NY, USA, Marz 2018.
- [Cl16] Clark, Andy: *Surfing Uncertainty: Prediction, Action, and the Embodied Mind*. Oxford University Press, 2016.
- [Fa17] Farooq, Umer; Grudin, Jonathan; Shneiderman, Ben; Maes, Pattie; Ren, Xiangshi: Human Computer Integration versus Powerful Tools. In: *Proceedings of the 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. ACM Press, 2017.
- [Kh17] Khamis, Mohamed; Buschek, Daniel; Thieron, Tobias; Alt, Florian; Bulling, Andreas: EyePACT: Eye-Based Parallax Correction on Touch-Enabled Interactive Displays. *Proc. ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol.*, 1(4), Dezember 2017.
- [We12] Weir, Daryl; Rogers, Simon; Murray-Smith, Roderick; Löchtefeld, Markus: A User-specific Machine Learning Approach for Improving Touch Accuracy on Mobile Devices. In: *Proceedings of the 25th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology. UIST '12*, ACM, New York, NY, USA, S. 465–476, 2012.



Daniel Buschek ist wissenschaftlicher Mitarbeiter (Post-doc) an der Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU). Seine Forschungsinteressen liegen an der Schnittstelle von Mensch-Maschine-Interaktion und Maschinellern / Künstlicher Intelligenz. Insbesondere interessiert er sich dafür wie nutzer- und kontextspezifische Verhaltensmuster genutzt werden können um sichere, personalisierte, verständliche und ausdrucksstarke Interaktion mit intelligenten Systemen zu ermöglichen. Seine Promotion an der LMU München (Abschluss 2018) beschäftigte sich mit diesen Themen im Kontext mobiler Geräte mit Touchscreens. Während seines Studiums und der Promotion arbeitete er zudem an Forschungsprojekten bei Siemens München, der University of Glasgow, und dem Helsinki Institute for Information Technology / Aalto University. Seine Forschung wurde unter anderem publiziert in CHI, MobileHCI, IUI, TOCHI und IMWUT, und erhielt dort mehrere Auszeichnungen.

an der LMU München (Abschluss 2018) beschäftigte sich mit diesen Themen im Kontext mobiler Geräte mit Touchscreens. Während seines Studiums und der Promotion arbeitete er zudem an Forschungsprojekten bei Siemens München, der University of Glasgow, und dem Helsinki Institute for Information Technology / Aalto University. Seine Forschung wurde unter anderem publiziert in CHI, MobileHCI, IUI, TOCHI und IMWUT, und erhielt dort mehrere Auszeichnungen.