

Allgegenwärtige Mensch-Computer-Interaktion

Beispiele aus der Interaktion in öffentlichen und halb-öffentlichen Raum und von benutzbarer Sicherheit

Michael Koch¹, Florian Alt²

michael.koch@unibw.de, florian.alt@ifi.lmu.de

¹ Fakultät für Informatik, Universität der Bundeswehr München

² Fakultät für Mathematik, Informatik und Statistik, Ludwig-Maximilians-Universität München

Zusammenfassung

Computer durchdringen unseren Alltag. Dabei sind diese derart in unsere Umgebung eingebettet, dass diese von uns nicht mehr als solche wahrgenommen werden. Hierdurch entsteht die Notwendigkeit zur Schaffung unmittelbar verständlicher Benutzerschnittstellen - sowohl für Individuen als auch für Gruppen von Benutzern. Mit diesem Teilbereich der Informatik beschäftigt sich die Mensch-Computer-Interaktion. Dieser Beitrag bietet zunächst eine kurze Einführung in die Forschungsmethodik der MCI und gibt einen Einblick in die Forschungsaktivitäten zu diesem Thema an den Münchner Universitäten. Im Fokus stehen hierbei Arbeiten zu öffentlichen Bildschirmen, Blickinteraktion im öffentlichen Raum, sowie die Entwicklung sicherer und gleichzeitig benutzbarer Authentifizierungsverfahren.

Abstract

Computers have become an integral part of our everyday life. Being interwoven with our environment, they are in many cases not recognized as computers anymore. This creates an inherent need to build immediately usable interfaces - both for individuals as well as for groups. The subfield of computer science concerned with designing interaction with computers is called Human-Computer Interaction. We briefly introduce the research methodology commonly applied in HCI and provide a brief overview of research conducted in this area at the Munich universities. In particular, we focus on research on public displays, gaze interaction in public space, as well as on the development on usable and secure authentication mechanisms.

Motivation

Die erfolgreiche und wirkungsvolle Nutzung von technikgestützten Kommunikations- und Informationsangeboten wird zunehmend für Menschen aller gesellschaftlicher Schichten und Funktionen relevant. Gleichzeitig werden technische Systeme, ihre Struktur, Funktionalitäten und Interaktionsformen komplexer, obwohl oder gerade weil die Systeme durch Miniaturisierung, Vernetzung und Einbettung immer weniger sichtbar und damit auch immer weniger (be)greifbar werden [1–3]. Die zukünftige Nutzung von Kommunikations- und Informationsangeboten wird dabei insbesondere von unterschiedlichen Interaktionsgeräten geprägt sein - von persönlichen Mobilgeräten über öffentliche oder halböffentliche interaktive Tische und Wände hin zu digital vernetzten Alltagsgeräten und erhält somit Einzug in alle Bereiche des täglichen Lebens (siehe Abbildung 1).

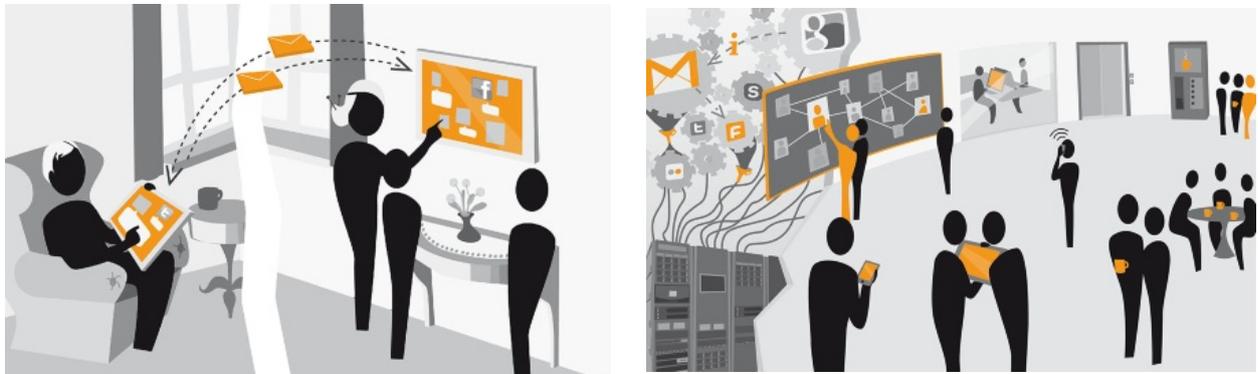


Abbildung 1. Allgegenwärtige Dienstenutzung im privaten Umfeld (links) [4] und im Organisationsumfeld (rechts) [5]

Diese steigende Komplexität und Allgegenwärtigkeit bei gleichzeitig abnehmender Sichtbarkeit erzeugt zunehmende Herausforderungen an die Gestaltung von Technologien [6]. Die Gerätevielfalt muss durch

Einzelpersonen, aber auch durch Gruppen möglichst intuitiv, d.h. vor allem unmittelbar verständlich und im Verhalten erwartungskonform, nutzbar sein.

Der Teilbereich der Informatik, der sich mit allen Fragen rund um die benutzer- und kontextgerechte Gestaltung von IT-Systemen beschäftigt, wird als „Mensch-Computer-Interaktion (MCI)“ bezeichnet.

Bedeutsam ist MCI vor Allem, weil

- Systeme, die nicht benutzbar sind, aus Sicht des Kunden nicht funktionieren – für den Nutzer/Kunden wertlos sind,
- nicht benutzbare Systeme für den Nutzer/Kunden nicht nur wertlos, sondern sogar gefährlich sein können – beispielsweise wenn die Sicherheit persönlicher Daten gefährdet wird oder eine Fehlbedienung zu materiellen oder auch körperlichen Schäden führt.

Die zunehmende Bedeutung von MCI in den letzten Jahrzehnten geht einher mit einem perspektivischen Wandel in der Informatik. Anstelle von Insellösungen, die Experten unterstützen, durchdringen Anwendungen der Informatik die Lebenswelt in zunehmend mehr Bereichen und verändern Alltagspraktiken in Beruf, Haushalt und Freizeit. Die Gestaltung dieser Anwendungen strukturiert die tatsächlichen Arbeitsweisen und Entwicklungsmöglichkeiten von Organisationen, Gemeinschaften oder Familien. Der große Erfolg der Informatik hat zur Folge, dass sich deren Selbstverständnis über eine rein formale, technik-immanente Sichtweise hinaus weiter entwickeln muss. Die Qualität von IT-Design zeigt sich heute letztendlich in der Art, auf welche Weise technische Artefakte für den alltäglichen Gebrauch genutzt und angeeignet werden können. Dabei ist insbesondere die Einbeziehung des Nutzungskontextes zentral.

Aus all diesen Gründen wurde die allgegenwärtige MCI von der Gesellschaft für Informatik auch 2014 als eine der ersten fünf Grand Challenges der Informatik gewählt [7].

Neben der eigentlichen Aufgabe der Erlangung von Erkenntnissen und der Gestaltung von Systemen gibt es für den Bereich MCI deshalb auch einige interessante erkenntnistheoretische Herausforderungen:

- Traditionellerweise ging die Informatik von einer vom sozialen Kontext unabhängigen Gültigkeit ihrer Ergebnisse aus (Korrektheitsbeweise, Performanz-Tests, Standardisierung und weitergehende Generalisierbarkeit).
- Im Bereich der MCI entsteht aber typischerweise hoch kontextualisiertes Wissen. IT-Design in sozialer Praxis ist kontextspezifisch und situiert (Lösungsbeitrag für konkret situierte Problemlage, Forderung der Transferierbarkeit) Während die Informatik traditionellerweise von einer Genrealisierbarkeit von Erkenntnissen ausgeht, tritt im Bereich der MCI eher das Kriterium der Transferierbarkeit an dessen Stelle.
- Dokumentation, Analyse, Aufbereitung und Zugänglichmachen von hoch konzeptualisiertem Wissen (Experten, Netzwerke, Praxisgemeinschaften, innovative sozio-technische Assemblagen) brauchen neue Wege zur langfristigen Strukturierung.

An allen drei Münchner Universitäten ist die MCI präsent – mit entsprechend ausgerichteten Professuren oder Forschungslustern in den Informatik-Fakultäten aber auch in anderen Fakultäten. Im Folgenden gehen wir – nach ein paar Ausführungen zur Bedeutung Deployment-basierter Forschung auf ein paar ausgewählte Beispiele der aktuellen Arbeit an allgegenwärtiger MCI an den Münchner Universitäten näher ein – insbesondere im Bereich von öffentlichen oder halb-öffentlichen Räumen.

Deployment-basierte Forschung – Notwendigkeit und Herausforderungen

Die in diesem Beitrag aufgeführten Beispiele von Forschungsbereichen und Forschungszielen verdeutlichen die in der Einführung angesprochene Entwicklung in der MCI hin zu einem Mix aus verschiedenen Forschungsparadigmen. Forschung findet heute sowohl innerhalb als auch außerhalb des Labors statt. Der Grund liegt darin, dass kein Paradigma geeignet ist, einen Forschungsbereich in seiner Gesamtheit zu untersuchen, sondern dass Paradigmen und Methoden sich an die zugrundeliegenden Forschungsfragen anpassen müssen.

Dies wird besonders deutlich im Bereich interaktiver Displays. Während Fragen nach der Performanz (beispielsweise einer neuen Interaktionstechnik) mithilfe kontrollierter Experimente in Laborumgebungen beantwortet werden können, ergeben sich zunehmend Fragestellungen, welche ausschließlich im Feld sinnvoll untersucht werden können. Hierzu gehört unter anderem das Verhalten von Benutzern (z.B. Laufwege, Bewegungen durch verschiedene Interaktionsphasen), User Experience, Akzeptanz (z.B. hinsichtlich Schutz der Privatsphäre

oder Datenschutz) sowie der sozialen Einfluss neuer Technologien [8]. Bei diesen spielt die ökologische Validität der erhobenen Daten eine wichtige Rolle, also ob diese in einer realistischen Situation erhoben wurden.

Bei der Untersuchung im Feld ist zu unterscheiden zwischen *Feldexperimenten*, bei denen ein Artefakt unter dem Wissen verwendet wird, dass es sich um ein Forschungsexperiment handelt. Beispielsweise können Benutzer explizit rekrutiert werden, um eine neue Applikation für ihr Smartphone für eine Dauer von mehreren Wochen zu verwenden oder Probanden kann die Aufgabe gegeben werden, eine bestimmte Aufgabe mit einem Display in einer öffentlichen Umgebung zu lösen. Dem gegenüber steht *Deployment-basierte Forschung*, bei welcher Artefakte in den Alltag des Benutzers derart eingebettet werden, dass der Forschungskontext nicht erkennbar ist. Benutzer verwenden Artefakte aus freier Entscheidung, was zu hochvaliden Daten führt. In den meisten Fällen kommen als Datenerhebungsmethoden Logging oder Beobachtungen zum Einsatz. Auch Interviews ermöglichen es im direkten Anschluss an die Interaktion wertvolles Feedback vom Benutzer zu sammeln.

Eine große Herausforderung stellt das Deployment an sich dar [9]. Im Gegensatz zu kontrollierten Experimenten sind vollständig funktionsfähige und robuste Systeme notwendig, welche über einen längeren Zeitraum ohne Beobachtung laufen. Während über App-Stores einfach eine große Anzahl an Benutzern erreicht werden kann, stellt sich das Finden eines geeigneten Standorts für ein interaktives Display deutlich schwieriger dar. Häufig werden Deployments in Umgebungen durchgeführt, welche für Forscher einfach zugänglich sind, z.B. Universitätsgebäude wie Mensen, Cafeterien oder Institutsgebäude. Solche *forschungs-basierte Deployments* zeichnen sich in der Regel durch große Freiheit hinsichtlich der Forschungsfragen und durchgeführten Erhebungen aus. Modifikationen während des Deployments sind oft problemlos möglich. Zeitgleich sind aber Forscher selbst für die Bereitstellung und Wartung der Infrastruktur verantwortlich und Benutzergruppen sind in vielen Fällen homogen. Demgegenüber stehen Fälle, in denen Forscher Zugriff auf nicht allgemein zugängliche Infrastrukturen bekommen (Flughäfen, Bahnhöfe, etc.) – sogenannte *opportunistische Deployments*. Diese ermöglichen es, spezielle Benutzungskontexte und heterogene Benutzergruppen zu erforschen. Häufig kann in solchen Fällen auch vorhandene Infrastruktur (z.B. Displaynetzwerke) genutzt werden. Jedoch steht hinter den Deployments in vielen Fällen ein kommerzieller Zweck, so dass eine Vielzahl an Interessensvertetern in solche Projekte involviert ist. Erschwerend kommt häufig hinzu, dass Modifikationen nur mit erheblichem Aufwand möglich sind, beispielsweise wenn das Deployment im Sicherheitsbereich eines Flughafens durchgeführt wird.

Public Displays – Smart Urban Objects

Charakteristisch für heutige IT-Systeme sind Anwendungen, bei denen Inhalte an privaten Endgeräten (z.B. Smartphones, Tablets oder Desktoprechnern) eingegeben und (semi-)strukturiert inkl. der zugehörigen Metainformation auf für den Nutzer „verborgenen“ Serversystemen abgelegt werden. Typischerweise sind Informationen so in annähernd beliebigem Umfang digital vorhanden und theoretisch auch über Suchfunktionen auffindbar. Jedoch existiert ein deutliches Defizit im Hinblick auf die Sichtbarkeit der eingestellten Inhalte. D.h. die Inhalte sind meist nur noch über explizite Suchanfragen aufzufinden, bleiben aber ansonsten verborgen.

Eine Möglichkeit die Sichtbarkeit von Informationen zu erhöhen und die Kommunikation über und mit Hilfe von Informationspartikeln im soziokulturellen Kontext zu fördern, ist die Nutzung von interaktiven Großbildschirmen im öffentlichen oder halb-öffentlichen Raum. Solche großen Bildschirme sind heute weit verbreitet. Durch ihre Größe erlauben die Bildschirme mehreren Benutzern gleichzeitig mit demselben Bildschirm zu interagieren [10, 11]. Als interaktive Informationsstrahler können Bildschirme Informationen für einzelne Nutzer oder Gruppen anzeigen, nach denen nicht aktiv gesucht wird, und durch eine Interaktion mit ihnen ein weiteres Explorieren und Vertiefen erlauben.

CommunityMirrors – Informationsstrahler im (halb-)öffentlichen Raum

Im CommunityMirror-Projekt wird an der UniBwM diesem Ansatz nachgegangen (siehe z.B. [5, 12]). In Labor- und Feldtests wurden viele Herausforderungen dazu identifiziert und in Design-orientierter Forschung angegangen [13, 14]. Interessante Fragen sind: Wie nützlich sind die angebotenen Informationen für den Benutzer? Wie können die Informationen derart dargestellt werden, dass sie schnell wahrgenommen werden können? Wie kann die Aufmerksamkeit von Passanten gesteuert werden? Wie kann dem Benutzer kommuniziert werden, dass er sich innerhalb eines Interaktionsraumes befindet und welche Funktionalität dieser Raum bietet?



Abbildung 2. Einsatz von CommunityMirrors als Informationsstrahler im halb-öffentlichen Raum – während der Tagung MuC 2014 an der LMU in München

Um Erkenntnisse zu diesen Fragen zu erzielen, arbeiten wir schon seit über zehn Jahren explorativ mit verschiedenen Prototypen, die im Feld eingesetzt werden. Die Erfahrung hat gezeigt, dass Laborstudien zu diesem Typ von Anwendungen zwar beschränkte Erkenntnisse in einzelnen Teilbereichen von möglichen Gestaltungsparametern liefern können [13]. Komplexere Fragen zur konkreten Erzeugung von Nutzen durch (halb-)öffentliche Displays oder zum Nutzen von Interaktivität auf diesen Displays lassen sich aber nur über die schon in der Einleitung angesprochene Deployment-basierte Forschung erzielen. Hierzu wird auch intensiv mit Partnern aus der Wirtschaft zusammengearbeitet – z.B. beim Einsatz von Informationsstrahlern in wissensintensiven Unternehmen oder im Kontext der (agilen) Softwareentwicklung.

Im Bereich der Gewinnung von Erkenntnissen über Gestaltungsparameter für CommunityMirrors werden an der UniBwM aktuell insbesondere die folgenden drei MCI-Querschnittsthemen betrachtet: Mehrbenutzerfähigkeit, Walk-up-and-use-Fähigkeit, und Joy-of-use.

Mehrbenutzerfähigkeit

Große Wandbildschirme ermöglichen die gleichzeitige Nutzung durch mehr als einen Benutzer. Dabei muss die Nutzung gar nicht koordiniert erfolgen. Auch die direkte Interaktion mit dem Bildschirm durch einen Benutzer und das gleichzeitige Betrachten eines Informationspartikels auf dem Bildschirm durch einen anderen Benutzer weiter hinten stellt schon ein Mehrbenutzerszenario dar, das bei der Gestaltung berücksichtigt werden muss. Im angesprochenen Szenario ist es beispielsweise notwendig sowohl eine direkte Interaktion direkt vor dem Bildschirm zu erlauben als auch zusätzliche Informationspartikel so darzustellen (z.B. in ausreichender Größe), dass sie von weiter hinten gut wahrgenommen werden können.



Abbildung 3. Räumliche und zeitliche Interaktionsmodelle: Während räumliche Modelle (links, nach [15]) den Bereich vor öffentlichen Displays in Interaktionszonen einteilen, modellieren zeitliche Modelle den Interaktionsprozess (rechts, nach [16, 17]). Hierbei bewegen sich Benutzer durch verschiedene Phasen – vom Passanten hin zum aktiven Benutzer.

Zur Beschreibung und Analyse solcher Mehrbenutzerszenarien wurden in der Literatur verschiedene Interaktionszonenmodelle für große Wandbildschirme näher definiert und betrachtet. Abbildung 3 (links) zeigt

eine solche Darstellung von Interaktionszonen: In der Aktiven Zone oder Interaktionszone kann direkt mit dem Bildschirm interagiert werden, Personen in der Aufmerksamkeitszone richten ihre volle Aufmerksamkeit auf die Inhalte des Bildschirms oder die Aktivitäten der Personen in der aktiven Zone, und Personen in der Wahrnehmungszone nehmen Inhalte oder Aktivitäten auf dem Bildschirm (peripher) wahr, um basierend darauf dann in die Aufmerksamkeitszone oder die aktive Zone zu wechseln.

Ziel des Projektes CommunityMirrors an der UniBwM ist es, basierend auf Literatur und eigenen Laborstudien, Gestaltungsempfehlungen für interaktive Wandbildschirmmanwendungen in Mehrbenutzerszenarien zu entwickeln [18].

Ein Thema, das dabei eine Rolle spielt betrifft beispielsweise die Untersuchung, welche Bewegungsrichtungen von Text auf dem Bildschirm für die beste Lesbarkeit sorgen. Eine Nutzung von bewegtem Text auf dem Bildschirm motiviert sich über verschiedene Erkenntnisse dazu, dass animierte Darstellungen helfen, die Aufmerksamkeit von Benutzern auf den Bildschirm zu ziehen oder zu vergrößern [19].

Klassisch wird davon ausgegangen, dass Leading – d.h. die Bewegung einer Folge von Worten von rechts nach links – die optimale Animationsweise ist [20]. Diese Arbeiten berücksichtigen aber nicht, dass 1) der Blick auf den Bildschirm vielleicht teilweise von anderen Benutzern blockiert wird (Mehrbenutzerszenario), und 2) dass Benutzer vielleicht nicht starr vor dem Bildschirm stehen, sondern sich beim Betrachten des Bildschirms selbst bewegen. In einer Laborstudie haben wir deshalb diese Szenarien mit verschiedenen Bewegungsrichtungen für Text überprüft und jeweils die Variante ermittelt, welche die beste subjektive Lesbarkeit bietet [13].



Abbildung 4. Laborexperiment zur Ermittlung der optimalen Textanimationsrichtung [13]

Ergebnis der bisherigen Experimente war, dass die typische Textanimationsrichtung (rechts nach links) nicht immer die beste Wahl ist. Wenn ein Benutzer vor dem Bildschirm steht, dann hat sich als optimal herausgestellt, wenn der Text vertikal animiert wird (von oben nach unten). Für sich bewegende Benutzer hat sich als optimal herausgestellt, wenn sich der Text mit dem Benutzer (in Bewegungsrichtung) bewegt.

Walk-up-and-use-Fähigkeit

Nachdem die Nutzung von CommunityMirrors spontan und ohne zu voriges Lesen einer Bedienungsanleitung erfolgen wird, ist neben der Mehrbenutzerfähigkeit auch eine intuitive Nutzbarkeit – oder eine Walk-up-and-use-Fähigkeit erforderlich.

Intuitive Nutzbarkeit wurde z.B. definiert als: „Ein technisches System ist intuitiv benutzbar, wenn es durch nicht bewusste Anwendung von Vorwissen durch den Benutzer zu effektiver Interaktion führt“ [21]. Noch früher geht Raskin auf den Zusammenhang zwischen Intuitivität und Vertrautheit (familiarity) ein [22]. Endgültig ist der Begriff der Intuitivität von Benutzungsschnittstellen allerdings nicht geklärt [23].

Im Kontext der CommunityMirrors gehen wir nun konkret der Frage nach, wie jemand, der an den Bildschirmen vorbei geht 1) auf den Bildschirm und die Interaktivität des Bildschirms aufmerksam gemacht werden kann, 2) motiviert werden kann, an den Bildschirm heranzutreten, und 3) motiviert und befähigt werden kann nutzenbringende Touch-Interaktion mit dem Bildschirm auszuführen. Vom Modell her orientieren wir uns dabei also an den in Abbildung 3 rechts dargestellten zeitlichen Interaktionszonen.

Diese unmittelbar verständliche und erwartungskonforme Nutzung (oder eben „intuitive“ Nutzung) ist wieder keine reine Produkteigenschaft. Sie beschreibt eher Beziehungen zwischen Produkt, Nutzer und Kontext. Intuitivität reduziert den „bewussten Teil“ der kognitiven Verarbeitung. Die Aufmerksamkeit steht dann in höherem Maße für die primäre Aufgabe zur Verfügung.

Zur Erarbeitung einer Lösung setzen wir aktuell auf konstruktionsorientierte Forschung (d.h. wir bauen zu den ermittelten Anforderungen und mit in der Literatur recherchierten Erkenntnissen Prototypen) unterstützt durch einzelne Labor- und Feldexperimente mit den gebauten Prototypen zur Abklärung von optimalen Gestaltungsvarianten [14].

Grundidee der sich abzeichnenden Lösung ist es, die Kommunikation mit den Passanten frühzeitig – also bereits bei Eintritt in die äußeren Interaktionszonen – zu beginnen und die Benutzer dann schrittweise durch die verschiedenen Zonen und in die aktive Interaktion mit dem System zu führen. Die Ansprache der Benutzer durch das System erfolgt dabei mittels der Anzeige von bewegungssynchronen Spiegelbildern der Nutzer auf dem Bildschirm, ergänzt durch kurze Textanweisungen und weitere visuelle Elemente. Die Nutzer erkennen sich in Ihren Spiegelbildern wieder und verstehen so bereits von Weitem, dass der Bildschirm auf sie reagiert – also interaktiv ist. Um das Spiegelbild herum platzierte Textnachrichten können auch in einem Mehrbenutzerszenario leicht den zugehörigen Personen zugeordnet werden, so dass eine individuelle Betreuung jedes einzelnen Benutzers möglich ist.

Auf diese Weise werden die Nutzer spielerisch dazu angeregt, vor dem Bildschirm stehen zu bleiben (1), näher an den Bildschirm heran zu treten (2) und schließlich eine erste Touch-Interaktion zu tätigen. Durch das Wechselspiel zwischen Aktionen der Benutzer und der Rückmeldung des Systems erhalten die Benutzer in jeder Situation einen Impuls in die Richtung des gewünschten Verhaltens. So kann die erfolgreiche Ausführung der Nutzeraktionen unterstützt und gleichzeitig die Motivation der Benutzer zur Beschäftigung mit dem System aufrechterhalten werden.

Während dieser Hinführung der Nutzer an das System wird die Aufmerksamkeit von Passanten geweckt und die Modalität der Interaktion mit dem System (in diesem Fall die Touch-Interaktion) vermittelt und damit schließlich die eigenständige und nutzbringende Touch-Interaktion mit dem System motiviert.

Joy-of-use(-Fähigkeit)

Nachdem die Nutzung von interaktiven Informationsstrahlern auf freiwilliger Basis erfolgt, muss sich die Anwendung auch darum kümmern, dass es für die potentiellen Nutzer attraktiv ist, diese zu nutzen. Hier spielt das Konzept des Joy-of-use eine entscheidende Rolle.

Joy-of-use beschreibt grob umrissen das Maß, in dem die Interaktion mit einem technischen System bei den Benutzern Gefühlseindrücke wie Freude, Glück oder Spaß auslösen kann [24, 25]. Eng verwandt mit dem Konzept sind beispielsweise Gamification oder Funology [26].

Im Rahmen unserer Informationsstrahler und der im folgenden Abschnitt beschriebenen smarten urbanen Objekte interessieren uns vor allem Gestaltungs- und Messmethoden für Joy-of-use (im halb-öffentlichen Raum). Bei der Gestaltung soll dabei beispielsweise auf etablierte Konzepte aus dem Bereich der Gamification (z.B. Herausforderungen (quests)) zurückgegriffen werden.

Smarte urbane Objekte

Betrachtet man vernetzte, interaktive Objekte im (halb-)öffentlichen Raum, dann bewegt man sich bereits in den Sphären des „Internet of Things“. In einem anderen Projekt an der UniBwM wird dieser Gedanke weiterverfolgt und an smarten urbanen Objekten gearbeitet, die helfen sollen, das Sicherheitsgefühl von Senioren im öffentlichen Raum zu steigern (siehe hierzu www.urbanlifeplus.de). Neben Informationsstrahlern wie im vorherigen Abschnitt (sowohl in Form von kleinen und großen Bildschirmen als auch in Form von Objekten, die über Audio- oder Lichtsignale kommunizieren) sollen hier auch andere städtische Objekte „smart“ gemacht werden – z.B. Sitzbänke, Ampeln oder Straßenbeleuchtung [27].



Abbildung 5. Smarte Urbane Objekte als Informationsstrahler – in der Form von interaktiven Großbildschirmen, einfachen Indikatoren am Wegesrand oder als Teil einer smarten Sitzbank

Bei der Gestaltung der Benutzerinteraktion zeigen sich dieselben Haupt-Herausforderungen, wie bei den CommunityMirrors: Mehrbenutzerfähigkeit, Walk-up-and-use-Fähigkeit und Joy-of-use. Zusätzlich haben wir die Anpassungsfähigkeit des Systems an unterschiedliche Nutzer, welche bei CommunityMirrors zunächst wenig Relevanz besitzt, als weitere zentrale Herausforderung identifiziert.

Im Bereich von Walk-up-and-use-Fähigkeit experimentieren wir deshalb auch damit, dass die smarten urbanen Objekte nahende Personen erkennen und diese auf sich aufmerksam machen. Im Bereich von Joy-of-use experimentieren wir mit verschiedenen Varianten von Herausforderungen (challenges), die den Nutzern gestellt werden um die Nutzung interessant und nutzenstiftend zu gestalten.

Im Bereich der Anpassungsfähigkeit versuchen wir das Konzept der „Komfortzone“ als Kern von Benutzerprofilen und darauf basierenden Anpassungsverfahren zu nutzen und auszubauen [27].

Eingesetzte Methoden sind in all diesen Bereichen wieder die konstruktionsorientierte sowie die Deployment-basierte Forschung.

Blickinteraktion im öffentlichen Raum

Ein Forschungsschwerpunkt an der LMU München sind neuartige Interaktionstechniken für den öffentlichen Raum. Während die Interaktion mit Touch, Gesten und Mobiltelefonen bereits weit verbreitet ist [28–30], bieten Eyetracker – Geräte zur präzisen Verfolgung des Blicks eines Benutzers – eine Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten [31]. Blickdaten können einerseits implizit zur Messung von Aufmerksamkeit, Interesse, und kognitiver Belastung eines Benutzers genutzt werden. Dies führt sowohl zu einer neuen Qualität in der Reichweitenmessung, bietet gleichzeitig aber auch die Möglichkeit zur Adaption von Benutzerschnittstelle und Inhalten. Andererseits kann Blick zur expliziten Steuerung einer Benutzerschnittstelle verwendet werden, wobei Inhalte subtil und auf natürliche Art und Weise ausgewählt werden können. Ein Beispiel sind Umfragen auf großen Displays, wobei am Blickverhalten die ausgewählte Option erkannt werden kann [32].

Eyetracking ist eine in stationären Kontexten etablierte Technologie [33]. Der Einsatz im öffentlichen Raum bringt jedoch eine Reihe an praktischen Herausforderungen mit sich mit denen wir uns beschäftigen und welche im Folgenden näher beschrieben werden.

Interaktionsbereich

Eyetracker haben einen eingeschränkten *Interaktionsbereich*, in welchen der Benutzer geleitet werden muss. Einerseits kann der Benutzer aktiv zu diesem Bereich hingeführt werden – idealerweise ohne Ablenkung oder Verdeckung von Inhalten. Ein von uns untersuchter Ansatz ist die subtile Anpassung präattentiv wahrnehmbarer Eigenschaften von Inhalten (wie z.B. Helligkeit, Kontrast, Sättigung, Auflösung, Schärfe eines Bildes) an die aktuelle Position des Benutzers. Das bedeutet, dass die optimale Wahrnehmung vom Standort des Benutzers abhängt. Diese Anpassung führt dazu, dass der Benutzer zum sogenannten Sweetspot – der optimalen Interaktionsposition – hingezogen wird [34] (siehe Abbildung 6).



Abbildung 6: GravitySpot – Benutzer werden unterbewusst zum optimalen Interaktionspunkt vor dem Display geführt, indem Bildeigenschaft (hier: Auflösung) des Inhaltes abhängig von der Benutzerposition verändert wird.

In einem Labor-Experiment konnten wir zunächst zeigen, dass bei diesem Ansatz ein Kompromiss zwischen Genauigkeit (d.h. wie nahe der Benutzer sich der optimalen Interaktionsposition nähert) und Geschwindigkeit (d.h. wie schnell der Benutzer die ungefähre Interaktionsposition findet) besteht. In der Folge wurde der Absatz um verschiedene Abbildungsfunktionen erweitert, welche die Stärke der Anpassung abhängig von der Distanz zum Interaktionsposition regelt. Durch die Wahl der richtigen Abbildungsfunktion kann somit gesteuert werden, ob der Benutzer die optimale Interaktionsposition schneller oder genauer findet.

Auch in diesem Projekt kam ein Deployment zum Einsatz, um den Effekt der Anpassung in der realen Welt zu untersuchen. Hierfür wurde ein Quiz-Spiel entwickelt, beim welchem die Antwort auf eine Frage in Form eines Bildes dargestellt wurde (z.B. ein Bild des Fernsehturms in Berlin als Antwort auf die Frage „Welches ist das höchste Gebäude Deutschlands?“). Auf das Antwortbild wurden nun die erwähnten Anpassungen abhängig von der Benutzerposition angewendet, so dass die Antwort nur aus der optimalen Interaktionsposition heraus optimal wahrnehmbar war. Durch das Deployment des Spiels in einem öffentlichen Bereich der LMU München konnten zum einen die Ergebnisse aus dem Labor bestätigt werden. Zum anderen konnten wertvolle Einsichten hinsichtlich des Benutzerverhaltens gewonnen werden. So führten beispielsweise Anpassungen der Auflösung zu einem immersiveren Spielerlebnis, welches die Interaktionszeit und die Anzahl an Spielen pro Benutzer signifikant erhöhte.

Ein alternativer Ansatz ist eine systemseitige Anpassung an die Position und Bewegung des Benutzers. Mittels sogenannter aktiver Eyetracker kann sich der Blicksensor, beispielsweise über ein Schienensystem, derart platzieren (siehe Abbildung 7), dass Personen von einer beliebigen Stelle vor dem Bildschirm interagieren können – sogar während des Vorbeilaufens. Ein derartiges System wurde an der LMU München entwickelt und befindet sich derzeit in der Testphase.

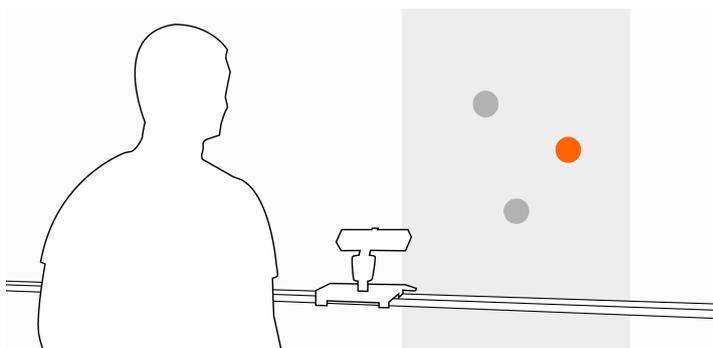


Abbildung 7. EyeScout: Aktive Eyetracker passen sich proaktiv an die Position des Benutzers an und ermöglichen somit ein freies Bewegen, beispielsweise vor einem großen öffentlichen Display.

Kalibrierung

Eine weitere Herausforderung besteht in der für die blickbasierte Interaktion notwendigen *Kalibrierung*. Zwar existieren kalibrierungsfreie Techniken [35] zur expliziten Interaktion mit Inhalten – jedoch erlauben es diese nicht, die exakte Blickposition zu ermitteln. Insbesondere zum Messen von Aufmerksamkeit und Interesse ist dies jedoch von großer Bedeutung. Die herkömmliche Kalibrierung, bei der Benutzer eine Reihe von Punkten sequentiell betrachten müssen ist ungeeignet für den öffentlichen Raum, da dieser Mechanismus einer Erklärung bedarf sowie einen Zusatzaufwand für den Benutzer mit sich bringt. Daher erforschen wir Ansätze wie die Kalibrierung in die natürliche Interaktion des Benutzers integriert werden kann.

Eine Möglichkeit ist die Kalibrierung durch das Lesen von Text, einen der häufigsten Inhalte auf öffentlichen Bildschirmen. Die Kalibrierung kann hierbei ohne explizite Hinweise für den Benutzer erfolgen. Der Ansatz ist

in zweierlei Hinsicht interessant. Zum einen entstehen neue Möglichkeiten zur Reichweitenmessung. Durch die automatisch Kalibrierung können feingranulare Daten darüber gewonnen werden, welche Inhalte der Benutzer auf dem Bildschirm betrachtet. Dies ermöglicht eine neuartige Qualität bestehender Reichweiten-Metriken wie Pay-Per-View, welche nun nicht mehr nur auf Bildschirm-Ebene, sondern auch auf Inhaltsebene möglich ist. Zudem kann Wissen über die vom Benutzer wahrgenommenen Inhalte verwendet werden, um neue Inhalte implizit an Interessen des Benutzers anzupassen – dies ist vergleichbar mit Mechanismen in Online-Shops oder auf Nachrichtenseiten, wo Besuchern Inhalte basierend auf dem Verhalten anderer Besucher angezeigt werden. Zum anderen wird mittels der Kalibrierung eine explizite Blickinteraktion ermöglicht. Beispielsweise können durch Blick zusätzliche Inhalte ausgewählt werden oder eine Navigations-Funktion aktiviert werden.

Im von uns vorgestellten Ansatz – TextPursuits [36] – erforschen wir, wie Text gestaltet sein muss, um eine qualitativ hochwertige Kalibrierung zu gewährleisten. Die Herausforderung besteht darin, dass für die Kalibrierung andere Augenbewegungen benötigt werden (sogenannte Pursuits-Bewegungen) als beim Lesen erzeugt werden (sogenannte Sakkaden und Fixationen). Eine Möglichkeit besteht darin, Text ähnlich zu einer Lauschrift anzuzeigen und somit die benötigten Pursuits-Bewegungen zu erzeugen. Dabei werden die Textteile nacheinander angezeigt und wieder verdeckt. Wichtig ist in diesem Zusammenhang eine Anpassung an die Lesegeschwindigkeit des Benutzers sowie die Wahl eines geeigneten Neigungswinkels des Textes, welcher einen Einfluss auf die Genauigkeit der Kalibrierung hat.

Benutzbare Sicherheit

Mobiltelefone ermöglichen uns auf immer mehr sensitive Information zuzugreifen (E-Mail, persönliche Fotos, Onlinebanking). Zusätzlich sammeln intelligente Uhren, Brillen und Armbänder eine Vielzahl an Daten, welche zur Analyse von Bewegungsmustern oder auch des Gesundheitszustandes verwendet werden können. Dies führt zu einer Notwendigkeit, solche Daten mittels geeigneter Authentifizierungsverfahren zu schützen. Eine zentrale Herausforderung ist hierbei der mit der Authentifizierung verbundene Aufwand, welcher immer noch viele Smartphone-Nutzer davon abhält, sichere Verfahren zu verwenden. Der Forschungsbereich, welcher sich mit diesen Fragestellungen beschäftigt ist „Benutzbare Sicherheit“, oder auf Englisch „Usable Security“.

Authentifizierungsverfahren

In unserer Forschung an der LMU München entwickeln wir neuartige Authentifizierungsverfahren gegen eine Vielzahl möglicher Angriffe mit dem Ziel, eine hohe Benutzbarkeit zu gewährleisten.

Ein Schwerpunkt liegt auf der Entwicklung *bildbasierter Passwortsysteme*. Solche Systeme nutzen unser visuelles Gedächtnis um Passwörter einprägsamer zu machen. Hierbei definiert der Benutzer ein Passwort als eine Reihe von Punkten in einem Bild. Solche Verfahren gewinnen zunehmend an Bedeutung – eines der ersten kommerziellen Systeme, Picture Passwords, wurde mit Windows 8¹ eingeführt.

Eine Herausforderung liegt darin, dass prominente Punkte in Bildern von Benutzern häufig als Teil eines Passwortes gewählt werden und somit Angreifern wertvolle Hinweise bieten. Ein von uns vorgestellter Ansatz um dem entgegenzuwirken sind sogenannte Saliency Masks [37, 38]. Basierend auf Modellen visueller Aufmerksamkeit [39] werden hierbei durch eine Analyse von Pixeleigenschaften wie Farbe, Intensität und Orientierung, gefährdete Bereiche in Bildern identifiziert und verhindert, dass Benutzer in diesen Bereichen Passwortpunkte selektieren. In unserer Forschung konnten wir zeigen, dass hierdurch die Sicherheit signifikant erhöht werden kann ohne die Benutzbarkeit zu verschlechtern.

¹ Microsoft Windows 8 Picture Passwords: <https://blogs.msdn.microsoft.com/b8/2011/12/16/signing-in-with-a-picture-password/>



Abbildung 8: Beispiel für ein grafisches Passwort, bestehend aus vier Passwortpunkten welche auf Objekten in Bildern definiert werden (hier: die Fenster eines Gebäudes)

Neuartige Angriffsszenarien

Zu den traditionellen Angriffsmethoden auf Passwörtern gehören sogenannte *Rate-Attacken*, bei denen der Angreifer versucht durch häufig verwendete Passwörter (z.B. 1234, password, etc.) oder durch Hintergrundwissen über den Benutzer (z.B. Geburtstag, Hochzeitstag) an sensitive Daten zu gelangen, sowie *Schulter-Surfen*, wobei der Angreifer versucht das Passwort während der Eingabe zu beobachten.

Die Verbreitung des Smartphones mit integriertem Touch-Bildschirm ermöglicht neue Angriffsmethoden. Beispielsweise können die Fettspuren, welche der Finger bei der Authentifizierung auf dem Bildschirm hinterlässt, analysiert werden. Solche Angriffe werden als *Schmier-Attacke* [40] bzw. *Smudge Attack* im Englischen bezeichnet. In unserer Forschung untersuchen wir neuartige Methoden um solchen Angriffen entgegenzuwirken. Grafische Passwörter bieten beispielsweise die Möglichkeit, solche Angriffe durch affine geometrische Transformationen signifikant zu erschweren [41]. Hierbei wird das Bild auf welchem das Passwort definiert ist bei jeder Authentifizierung derart verändert (Translation, Rotation, Skalierung, Scherung), dass jeder Login zu einer unterschiedlichen Spur führt.

Auch in diesem Bereich kommt Deployment-basierte Forschung zum Einsatz. Um die Benutzerbarkeit zu testen sowie Strategien und Verhalten von Benutzer in der realen Welt zu erforschen, wurde eine von uns implementierte Authentifizierungs-App in Google Play eingestellt, binnen weniger Wochen von mehreren hundert Benutzern heruntergeladen und über den Zeitraum von mehreren Monaten verwendet [42]. Dieser Ansatz ermöglichte es, das Verfahren in die tägliche Routine des Benutzers einzubinden. Die Zustimmung des Benutzers vorausgesetzt konnten Daten sowohl durch Logging als auch durch regelmäßige In-App Fragebogen erhoben werden.

Ein weiteres neuartiges Angriffsszenario sind *Wärmebild-Attacken*. Neben Smartphones mit integrierter Wärmebildkamera² existiert auf dem Markt heute eine Vielzahl an Kameras, welche mittels USB einfach an Smartphones angeschlossen werden können (z.B. Flir One³) sowie kleine Standalone-Geräte (z.B. Reveal Pro⁴). Diese erlauben die Wärmesignatur zu analysieren und das Passwort nach dem Authentifizierungsvorgang zu rekonstruieren. In unserer Forschung haben wir einen Machine-Learning basierten Ansatz entwickelt welcher es ermöglicht, PINs 30 Sekunden nach dem Authentifizierungsvorgang mit einer Erfolgswahrscheinlichkeit von 78% korrekt zu erkennen [43]. Dieses Wissen ermöglicht es, konkrete Empfehlungen zu geben, wie solchen Attacken entgegengewirkt werden kann, beispielsweise durch die intelligente Auswahl von Passwörtern, welche mehrere gleiche Ziffern oder Zeichen enthalten (siehe Abbildung 9). Zudem kann durch eine leichte Erhöhung der Temperatur der Touch-Oberfläche mittels eines kurzen rechenintensiven Prozess, die Wärmesignatur verwischt werden.

² Smartphone mit integrierter Wärmebildtechnologie: <http://www.catphones.com/phones/s60-smartphone>

³ USB-Wärmebildkamera: <http://www.flir.de/flirone>

⁴ Standalone-Wärmebildkamera: <http://www.thermal.com>

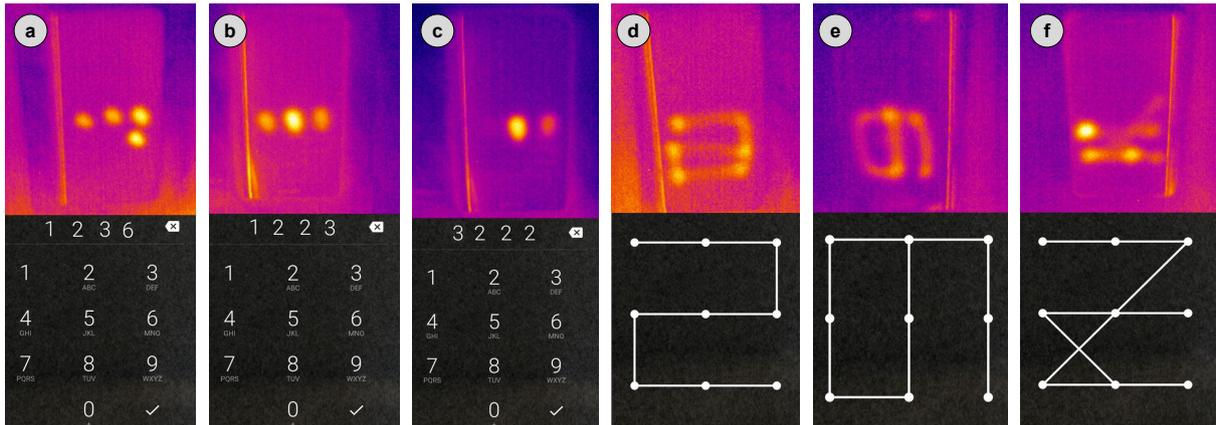


Abbildung 9: Bei einer Wärmebildattacke wird die Wärmesignatur welche durch das Eingeben einer PIN (a-c) oder eines Passworts (d-f) entsteht analysiert und das Passwort rekonstruiert.

Verhaltensbiometrie

Im Projekt Biometrics++ an der LMU München forschen wir an neuartigen *verhaltensbiometrischen Verfahren*. Hierbei werden Verhaltensmuster des Benutzers, wie beispielsweise das Tipp- und Touchverhalten, Handposen und Nutzungsgewohnheiten analysiert [44]. Diese Informationen lassen Rückschlüsse auf die Identität eines Benutzers zu und können für die Entwicklung neuer Authentifizierungsverfahren verwendet werden. Beispielsweise könnte ein Mobiltelefon im Hintergrund das Benutzerverhalten überwachen und bei Anzeichen, dass der aktuelle Benutzer nicht der Besitzer des Smartphones ist, den Zugriff auf sensitive Daten und Applikationen sperren. In einem anderen Szenario könnte ein von mehreren Benutzern gleichzeitig verwendetes Gerät (z.B. ein Tablet innerhalb einer Familie) im Hintergrund eine kontinuierliche Verifikation des Benutzers durchführen und auch hier den Zugriff auf bestimmte Inhalte (wie z.B. bestimmte Webseiten) einschränken.

Neben der Identifizierung bietet die Verhaltensbiometrie aber auch die Möglichkeit, die Benutzerschnittstelle des Smartphones anzupassen. Beispielsweise kann bei der Eingabe einer PIN oder eines Entsperrmusters festgestellt werden, mit welcher Handhaltung ein Benutzer das Telefon bedient. Entsprechend können Icons so auf dem Bildschirm angeordnet werden, dass diese einfach erreichbar sind. Zudem können neuartige Bedienelemente geschaffen werden, welche sich dynamisch an die Handhaltung anpassen, beispielsweise ein Slider, welcher der Fingertrajektorie folgt [45] (siehe Abbildung 10).

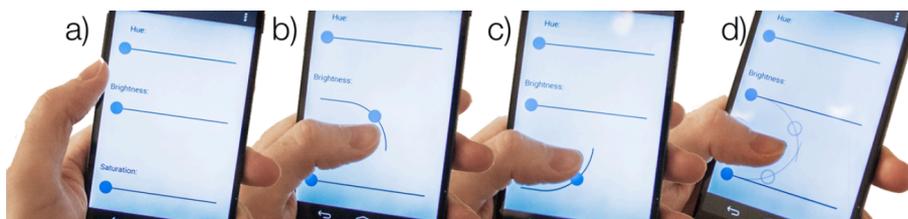


Abbildung 10: Wissen über die Handhaltung bei der Passwordeingabe kann zur Anpassung der Benutzeroberfläche eines Smartphones verwendet werden. Im Beispiel wird die visuelle Darstellung sowie die Trajektorie eines Sliders an die linke Hand angepasst.

Konkret befasst sich das Biometrics++-Projekt damit, welche Informationen für die Identifizierung und Adaption geeignet sind, wie das daraus gewonnene Wissen zwischen Anwendungen transferiert werden kann, und mit der Sicht der Benutzer auf solche neuartigen Verfahren.

Zusammenfassung und Ausblick

Anwender haben inzwischen eine Vielzahl unterschiedlicher Interaktionsgeräte zur Verfügung, deren Nutzung ohne das Studium von Handbüchern möglich sein muss: Private Smartphones, Tablets, interaktive Tische, öffentliche Interaktionswände und vieles mehr. Außerdem werden immer mehr Dienste über diese Geräte angesprochen. Ein wichtiger Aspekt dieser Dienste ist die Absehbarkeit der Folgen der Nutzung. Da Menschen bei der Interaktion mit Computern vielfach Aktionen, wie den Abschluss eines Kaufvertrages oder die Übermittlung persönlicher Daten auslösen, sollten sie bereits vor der Interaktion die Konsequenzen ihres Handelns abschätzen können.

In diesem Beitrag haben wir exemplarisch einige Arbeiten vorgestellt, die zu einem Fortschritt in der MCI beigetragen haben bzw. beitragen wollen. Eine wichtige Erkenntnis ist dabei, dass bei der Forschung neben klassischen, auf Reproduzierbarkeit ausgelegten Laborstudien immer mehr komplexe Deployment-basierte Forschung eine Rolle spielt – bei der zuerst einmal Artefakte gebaut und dann in komplexen Szenarien evaluiert werden. Anstelle der unbedingten Reproduzierbarkeit tritt dabei die Transferierbarkeit als wichtiges Konzept der Erzielung und Aufbereitung des Erkenntnisgewinns.

Neben der weiteren Beschäftigung mit diesen methodischen Herausforderungen werden sich zukünftige Arbeiten in unseren Gruppen zunächst weiter den in den Beispielen angesprochenen Kern-Herausforderungen widmen. Insbesondere soll weiter daran gearbeitet werden, was für Mehrbenutzerfähigkeit und Walk-Up-And-Use-Fähigkeit notwendig ist – z.B. in Form von klaren Designempfehlungen. Hierbei werden auch aktuelle Technologieentwicklungen Einzug finden. So wurde aufgrund großer Fortschritte und ansteigender kommerzieller Nutzung in letzter Zeit immer wieder die menschliche Stimme als die wichtigste (MCI-)Technologie in 2017 angesprochen (z.B. in [46]). Gerade im Bereich der Informationsstrahler als smarte urbane Objekte im Projekt UrbanLife+ bietet es sich an, auch Lösungen wie Alexa, Siri, oder Cortana als Teil einer Gesamtlösung zu integrieren. Die Herausforderungen liegen hier wieder nicht so sehr in der Basistechnologie, sondern mehr in der Nutzung und Evaluation im Gesamtkontext. Im Bereich der benutzbaren Sicherheit sollen in Zukunft Lösungen entwickelt werden, die dem Problem der stetig steigenden Anzahl an Passwörtern entgegenwirkt.

Danksagung

Das Projekt UrbanLife+ wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) vom 1.11.2015 bis zum 31.10.2020 unter dem Förderkennzeichen 16SV7443 gefördert.

Literaturverzeichnis

1. Weiser M (1991) The computer for the 21st century. *Sci Am* 265:94–104. doi: 10.1145/329124.329126
2. Ishii H, Ullmer B (1997) Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms. In: *Proc. Conf. Hum. Factors Comput. Syst.* ACM Press, Atlanta, GA, pp 234–241
3. Norman DA (1998) *The Invisible Computer*. Cambridge, MA
4. Moritz EF, Biel S, Burkhard M, et al (2014) Functions: How We Understood and Realized Functions of Real Importance to Users. In: Moritz EF (ed) *Assist. Technol. Interact. Elder*. Springer International Publishing, Cham, pp 49–68
5. Ott F, Koch M (2012) Social Software Beyond the Desktop — Ambient Awareness and Ubiquitous Activity Streaming. *it - Inf Technol* 54:243–252. doi: 10.1524/itit.2012.0687
6. Cooper A (2004) *The Inmates are running the Asylum: Why High Tech Products Drive us Crazy and How to Restore the Sanity*. Sams - Pearson Education
7. Herczeg M, Koch M (2015) Allgegenwärtige Mensch-Computer-Interaktion. *Informatik-Spektrum* 38:290–295. doi: 10.1007/s00287-015-0901-1
8. Alt F, Schneegaß S, Schmidt A, et al (2012) How to evaluate public displays. In: *Proc. 2012 Int. Symp. Pervasive Displays (PerDis 2012)*. ACM Press, New York, New York, USA, pp 1–6
9. Alt F, Vehns J (2016) Opportunistic Deployments: Challenges and Opportunities of Conducting Public Display Research at an Airport. *Proc Intl Symp on Pervasive Displays*. doi: 10.1145/2914920.2915020
10. Coutrix C, Kuikkaniemi K, Kurvinen E, et al (2011) FizzyVis: Designing for Playful Information Browsing on a Multitouch Public Display. In: *Proc. Des. Pleasurable Prod. Interfaces (DPPI '11)*. ACM Press, p 27:1-27:8
11. Peltonen P, Kurvinen E, Salovaara A, et al (2008) “It’s Mine, Don’t Touch!”: Interactions at a Large Multi-Touch Display in a City Centre. *Proc SIGCHI Conf Hum Factors Comput Syst* 1285–1294. doi: 10.1145/1357054.1357255
12. Koch M, Ott F (2011) CommunityMirrors als Informationsstrahler in Unternehmen: Von abstraktem Kontext zu realen Arbeitsumgebungen. *Informatik-Spektrum* 34:153–164. doi: 10.1007/s00287-010-0517-4
13. Nutsi A, Koch M (2016) Readability in Multi-User Large-Screen Scenarios. *Proc 9th Nord Conf Human-Computer Interact.* doi: 10.1145/2971485.2971491
14. Lösch E, Nutsi A, Koch M (2015) Mediating Movement-based Interaction through Semiotically Enhanced Shadow Representations. In: *Proc. UbiComp 2015*. ACM Press, pp 783–786
15. Vogel D, Balakrishnan R (2004) Interactive Public Ambient Displays: Transitioning from Implicit to Explicit, Public to Personal, Interaction with Multiple Users. In: *Feiner S, Landay JA (eds) Proc. 17th Annu. ACM Symp. User Interface Softw. Technol.* ACM Press, Santa Fe, New Mexico, pp 137–146
16. Michelis D, Müller J (2011) The Audience Funnel: Observations of Gesture Based Interaction With

- Multiple Large Displays in a City Center. *Int J Hum Comput Interact* 27:562–579. doi: 10.1080/10447318.2011.555299
17. Müller J, Alt F, Michelis D, Schmidt A (2010) Requirements and design space for interactive public displays. In: *Proc. Int. Conf. Multimed. - MM '10*. ACM Press, pp 1285–1294
 18. Nutsi A, Koch M (2015) Multi-User Usability Guidelines for Interactive Wall Display Applications. *Proc Intl Symp on Pervasive Displays (PerDis)*. doi: 10.1145/2757710.2776798
 19. Huang EM, Koster A, Borchers J (2008) Overcoming assumptions and uncovering practices: When does the public really look at public displays? In: *Proc. Pervasive 2008, LNCS 5013*. Springer, Berlin, pp 228–243
 20. So JCY, Chan AHS (2009) Design factors on dynamic text display. *Eng Lett* 16:16–19. doi: 10.1063/1.3078118
 21. Mohs C, Hurtienne J, Israel JH, et al (2006) IUUI – Intuitive Use of User Interfaces. In: *Proc. Usability Prof. 2006*. pp 130–133
 22. Raskin J (1994) Viewpoint: Intuitive equals familiar. *Commun ACM* 37:17–18. doi: 10.1145/182987.584629
 23. Herczeg M (2009) *Software-Ergonomie - Theorien, Modelle und Kriterien für gebrauchstaugliche interaktive Computersysteme*, 3. Aufl. de Gruyter Oldenbourg, München
 24. Hassenzahl M, Beu A, Burmester M (2001) Engineering Joy. *IEEE Softw* 18:70–76. doi: 10.1109/52.903170
 25. Hatscher M (2000) *Joy of use: Determinanten der Freude bei der Softwarenutzung*. Universität Osnabrück
 26. Reeps IE (2004) *Joy-of-Use – eine neue Qualität für interaktive Produkte*. Universität Konstanz
 27. Kötteritzsch A, Koch M, Wallrafen S (2016) Expand Your Comfort Zone! Smart Urban Objects to Promote Safety in Public Spaces for Older Adults. *Adjun Proc UbiComp 2016*. doi: 10.1145/2968219.2968418
 28. Alt F, Shirazi AS, Kubitzka T, Schmidt A (2013) Interaction techniques for creating and exchanging content with public displays. In: *Proc. SIGCHI Conf. Hum. Factors Comput. Syst. ACM, New York, NY, USA*, pp 1709–1718
 29. Davies N, Clinch S, Alt F (2014) Pervasive Displays – Understanding the Future of Digital Signage. doi: 10.2200/S00558ED1V01Y201312MPC011
 30. Müller J, Walter R, Bailly G, et al (2012) Looking Glass: A Field Study on Noticing Interactivity of a Shop Window. In: *Proc. 2012 ACM Conf. Hum. Factors Comput. Syst. ACM, New York, NY, USA*, pp 297–306
 31. Khamis M, Alt F, Bulling A (2016) Challenges and Design Space of Gaze-enabled Public Displays. *Proc 2016 ACM Int Jt Conf Pervasive Ubiquitous Comput.* doi: 10.1145/2968219.2968342
 32. Khamis M, Trotter L, Tessmann M, et al (2016) EyeVote in the Wild: Do Users bother Correcting System Errors on Public Displays? *Proc 15th Int Conf Mob Ubiquitous Multimed.* doi: 10.1145/3012709.3012743
 33. Poole A, Ball LJ (2005) Eye Tracking in Human-Computer Interaction and Usability Research: Current Status and Future Prospects. *Encycl Human-Computer Interact* 211–219. doi: 10.4018/978-1-59140-562-7
 34. Alt F, Bulling A, Gravanis G, Buschek D (2015) GravitySpot: Guiding Users in Front of Public Displays Using On-Screen Visual Cues. *Proc. 28th ACM Symp. User Interface Softw. Technol.*
 35. Vidal M, Bulling A, Gellersen H (2013) Pursuits: Spontaneous Interaction with Displays Based on Smooth Pursuit Eye Movement and Moving Targets. In: *Proc. 2013 ACM Int. Jt. Conf. Pervasive Ubiquitous Comput. ACM, New York, NY, USA*, pp 439–448
 36. Khamis M, Saltuk O, Hang A, et al (2016) TextPursuits: Using Text for Pursuits-based Interaction and Calibration on Public Displays. In: *Proc. 2016 ACM Int. Jt. Conf. Pervasive Ubiquitous Comput. ACM, New York, NY, USA*, pp 274–285
 37. Bulling A, Alt F, Schmidt A (2012) Increasing The Security Of Gaze-Based Cued-Recall Graphical Passwords Using Saliency Masks. In: *Proc. 2012 ACM Annu. Conf. Hum. Factors Comput. Syst. ACM, New York, NY, USA*, pp 3011–3020
 38. Alt F, Mikusz M, Schneegass S, Bulling A (2016) Memorability of Cued-Recall Graphical Passwords with Saliency Masks. *Proc. 15th Intl. Conf. Mob. Ubiquitous Multimed.*
 39. Itti L, Koch C (2001) Computational modelling of visual attention. *Nat Rev Neurosci* 2:194–203.
 40. Aviv AJ, Gibson K, Mossop E, et al (2010) Smudge Attacks on Smartphone Touch Screens. *Proc. 4th USENIX Conf. Offensive Technol.*
 41. Schneegass S, Steimle F, Bulling A, et al (2014) SmudgeSafe: Geometric Image Transformations for Smudge-resistant User Authentication. *Proc. 2014 ACM Int. Jt. Conf. Pervasive Ubiquitous Comput.*
 42. Alt F, Schneegass S, Shirazi AS, et al (2015) Graphical Passwords in the Wild: Understanding How Users Choose Pictures and Passwords in Image-based Authentication Schemes. In: *Proc. 17th Intl. Conf. Human-Computer Interact. with Mob. Devices Serv. ACM Press*, pp 316–322

43. Abdelrahman Y, Khamis M, Schneegass S, Alt F (2017) Stay Cool! Understanding Thermal Attacks on Mobile-based User Authentication. Proc. Conf. Hum. Factors Comput. Syst.
44. Buschek D, De Luca A, Alt F (2016) Evaluating the Influence of Targets and Hand Postures on Touch-based Behavioural Biometrics. Proc. SIGCHI Conf. Hum. Factors Comput. Syst.
45. Buschek D, Alt F (2017) ProbUI: Generalising Touch Target Representations to Enable Declarative Gesture Definition for Probabilistic GUIs. Proc. SIGCHI Conf. Hum. Factors Comput. Syst.
46. Michelman P (2017) Why the Human Voice Is the Year's Most Important Technology. In: MITSloan Manag. Rev. Blog.