

Gestaltung und Analyse von räumlicher Navigation und geräteübergreifender Interaktion für das UbiComp¹

Roman Rädle²

Abstract:

Diese Arbeit befasst sich mit der Gestaltung von räumlichen und geräteübergreifenden Interaktionstechniken. Als zentrale Themen präsentiert sie Forschung, die einerseits auf *Embodiment*-Praktiken basiert und andererseits, im Rahmen der Mensch-Computer-Interaktion bereits bestehende praktische Kenntnisse des täglichen Lebens ausnutzt. Diese *Embodiment*-Praktiken werden bei der täglichen Arbeit oft unbewusst angewandt und bieten neue—noch unerforschte—Potenziale für UbiComp Erfahrungen, die Spaß und Freude während der Bedienung bereiten sollen.

Derzeit erleben wir eine stark zunehmende Präsenz von leistungsstarken mobilen Geräten um uns herum. Geräte wie Smartphones und Tablets sind unsere alltäglichen Begleiter. Wenn wir sie nicht bereits in der Hand halten, dann warten sie oft in unseren Hosentaschen, Jacken- oder Tragetaschen, um uns überall und jederzeit mit ihrer Rechenleistung zu unterstützen (sog. Ubiquitous Computing oder kurz UbiComp [We91]).

Allerdings erkennen sie nur die Präsenz anderer Geräte, aber nicht deren genaue Lokation und sind daher sozusagen noch "blind". Somit ist auch das Ausführen von Aufgaben über Gerätegrenzen hinweg in der Regel umständlich, was dem Umstand geschuldet ist, dass Richtlinien für die Gestaltung von geräteübergreifenden Interaktionen (sog. cross-device interactions) fehlen.

Diese Arbeit schließt die oben erwähnte Lücke und befasst sich mit der Gestaltung von räumlichen und geräteübergreifenden Interaktionstechniken für das UbiComp. Als zentrale Themen präsentiert sie Forschung, die einerseits auf *Embodiment*-Praktiken basiert und andererseits im Rahmen der Mensch-Computer-Interaktion bereits bestehende praktische Kenntnisse des täglichen Lebens ausnutzt. Diese *Embodiment*-Praktiken werden bei der täglichen Arbeit oft unbewusst angewandt und bieten neue, noch unerforschte Potenziale für UbiComp Erfahrungen, die Spaß und Freude während der Bedienung bereiten sollen. Daher wurden im Rahmen dieser Arbeit zwei grundlegende Herausforderungen als Forschungsziele angegangen (sog. Research Objectives oder kurz RO, siehe Abb. 1):

- **RO1:** Benutzern soll eine Navigation und Interaktion in virtuellen Informationsräumen unter Verwendung bereits vorhandenen Wissens ermöglicht werden.
- **RO2:** Es sollen Möglichkeiten gesucht werden, die eine geräteübergreifende Interaktion nur unter Verwendung von handelsüblicher Hardware erlaubt.

¹ Englischer Titel der Dissertation: "Designing UbiComp Experiences for Spatial Navigation and Cross-Device Interactions" [Rä17a]

² Aarhus University, contact@romanraedle.com

Als Ausgangspunkt wird in Kapitel 2 das theoretische Fundament für diese Arbeit gelegt. Das Kapitel motiviert die grundlegende Vision einer Welt des “Ubiquitous Computing” und diskutiert verschiedene wissenschaftlich begründete Meinungen über den Erfolg und Misserfolg von UbiComp und nennt mögliche Gründe dafür. Gerade diese Diskussion zeigt die oft widersprüchlichen Ansichten von Forschern, insbesondere von Forschern der Mensch-Computer-Interaktion. Diese Ansichten werden unter Zuhilfenahme der sozialwissenschaftlichen Embodiment-Theorie [Do99], dem Reality-Based Interaction Framework [Ja08] und dem Blended Interaction Framework [JRG14] beleuchtet. Daraus ergeben sich erste Hinweise auf bisher ungenutzte Potentiale für UbiComp-Erfahrungen. Als Leitsatz gilt: der Benutzer steht im Vordergrund und nicht die Technologie. Der Benutzer kann bei Bedarf und jederzeit auf die Computertechnologie zugreifen, ohne sich von der Technologie diktieren zu lassen wie und wann sie verwendet werden soll [Ro06].

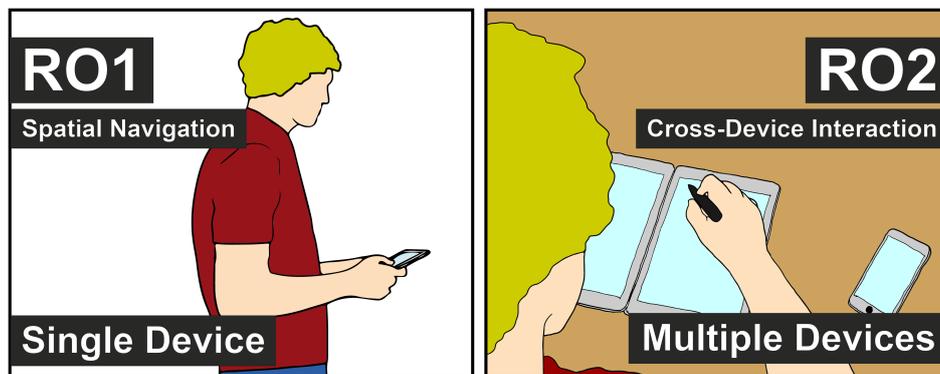


Abb. 1: Forschungsziele (RO) die in dieser Thesis bearbeitet werden: Räumliche Navigation (RO1) and geräteübergreifende Interaktion (RO2). Die Forschungsziele spannen von der Interaktion mit einem Gerät bis zur Interaktion mit mehreren Geräten.

Diese Potentiale für neue UbiComp-Erfahrungen werden in Kapitel 3 mittels Empirie weiter gestärkt. Hierin wird die Arbeit in den Kontext Wissensarbeit in wissenschaftlichen Bibliotheken gerückt und durchgeführte Feldstudien zur Datenerhebung vorgestellt. Die verschiedenen Analysen der Daten ergeben hilfreiche Erkenntnisse über die Nutzung von Computertechnologie während der Wissensarbeit und ermöglichen es Rückschlüsse darüber zu ziehen, welche Vorteile Anwender von computerbasierten Anwendungen erhalten, aber auch welchen Barrieren sie gegenüberstehen. Als zwei wichtige Erkenntnisse daraus ergeben sich die Notwendigkeit einer räumlichen Suche und Navigation in großen digitalen Bibliotheksbeständen und die freie Anordnung von digitalen Arbeitsmaterialien im Raum.

Die folgenden Kapitel 4-7 operationalisieren diese Potentiale und erforschen deren Nutzen in kontrollierten Experimenten. Sie versuchen außerdem, die Bedeutung des Raumes als kognitive Ressource zu verstehen, indem sie verschiedene räumliche und geräteübergreifende Interaktionen und deren Auswirkungen auf die Benutzerleistung (z. B. Navigation und Erinnerungsvermögen eines Benutzers) und subjektive Arbeitsbelastung (z. B. körper-

liche und geistige Beanspruchung) betrachten. Ihre Erkenntnisse werden in den folgenden Abschnitten präsentiert. Zunächst werden beide Forschungsziele, räumliche Navigation (RO1) und geräteübergreifende Interaktion (RO2), getrennt voneinander betrachtet und in einem integrativen Schritt zu einem Gesamtergebnis zusammengefasst.

1 Räumliche Navigation

Aufgrund ihrer großen Bildschirmfläche haben wandgroße Displays den Vorteil, dass Benutzer einen gesamten Informationsraum oder zumindest wesentliche Teile desselben auf einmal sehen können. Benutzer können zurücktreten, um den Inhalt der Anzeige zu überblicken und auf das Display zugehen, um Objekte von Interesse zu erkennen und darauf zuzugreifen. Sie sind ebenso nicht darauf angewiesen, Objektpositionen aus dem räumlichen Gedächtnis abzurufen. Große Displays unterstützen daher Erkennung statt Abruf (engl. recognition rather than recall³). Wie die Blended Shelf Benutzerstudie, in Kapitel 3, zeigt, führt ein großes Display aber auch zu einem Verlust der Privatsphäre. Inhärent unterstützen kleinere Bildschirme die Privatsphäre während der Erkundung und Navigation eines digitalen Informationsraums im Vergleich zu einem wandgroßen Display.

1.1 Peephole-Größe und Navigationsverhalten

Ein kleinerer Bildschirm hat auch seinen Preis. Benutzer müssen den Off-Screen-Inhalt unter Umständen mithilfe von Ansichtsverwaltungstechniken wie Multi-Touch-Navigation oder Peephole-Navigation manuell erkunden. Letztere ist eine zunehmend beliebte Technik zum Navigieren großer Informationsräume mittels kleinerer Bildschirme, die Inhalte abhängig von ihrer Position im Raum anzeigen [Fi93]. Dabei fungiert der Bildschirm als Fenster oder Guckloch (engl. Peephole) in einen viel größeren Informationsraum, z. B. eine Landkarte oder ein Bücherregal. Trotz dieses scheinbar offensichtlichen Nachteils der geringeren Bildschirmgröße zeigt eine Studie in Kapitel 4, dass ein relativ kleiner Peephole-Bildschirm in Tablet-Größe, im Vergleich zu einem wandgroßen Display, zu einer ähnlichen Aufgabenleistung für die Kartennavigation führt, wenn der Benutzer sich erst einmal mit dem Informationsraum vertraut gemacht hat. Dadurch verringert sich der Vorteil eines großen und oft kostspieligen Displays im Laufe der Zeit.

Die Größe des Bildschirms für Peephole Navigation kann verschiedene Ausprägungen annehmen und dementsprechend auch unterschiedliche Einflüsse auf die Leistung des Benutzers haben. Wie Kapitel 4 (Peephole-Größe und Navigationsverhalten) zeigt, verringert ein größerer Peephole-Bildschirm die Notwendigkeit für langsames physisches Schwenken (engl. panning) und Suchen und ermöglicht ein schnelleres visuelles Erfassen (engl. scanning) des Bildschirminhaltes. Es ermöglicht darüber hinaus eine Erkennung von Objekten im Informationsraum, anstatt des Abrufs derselben aus dem räumlichen Gedäch-

³ “Minimize the user’s memory load by making objects, actions, and options visible.” (Nielsen Norman Group) — <https://www.nngroup.com/articles/ten-usabilityheuristics/> (zuletzt aufgerufen am 19. Januar 2018)

nis (engl. recognition rather than recall)⁴. In realen Systemen erhöhen größere Peephole-Bildschirme jedoch die Kosten, den Energieverbrauch und das Gewicht. Außerdem sind die Geräte mühsamer zu tragen und zu handhaben.

Designer müssen aufgrund dieser Einschränkungen Zugeständnisse machen. Sie möchten, dass Benutzer die Vorteile von größeren Peephole-Bildschirmen erleben und gleichzeitig die vielen Nachteile vermeiden, die sich aus der Verwendung und Handhabung größerer Geräte oder mobiler Projektionen ergeben. Die Beantwortung der Frage, "Wie klein dürfen Peephole-Bildschirme sein, ohne ihre Nutzer während der Navigation zu beeinträchtigen?", ist daher von hoher praktischer Relevanz für heutige mobile Augmented Reality (AR) Anwendungen (z. B. Pokémon Go). Es lässt sich außerdem in gewissem Maße auch auf die Nutzung von Mixed-Reality (MR) Hardware wie z. B. der Microsoft HoloLens übertragen. Hierbei besteht der Disput unter Herstellern und Anwendern gleichermaßen, wie gross muss das visuelle Sichtfeld (sog. field of view oder kurz FOV) für die Nutzer der MR Hardware sein?

Die Ergebnisse der Untersuchungen in dieser Arbeit zeigen, dass ein Peephole-Bildschirm in Tablet-Größe (in etwa 11 Zoll) bereits einen "sweet spot" zwischen der Größe des Bildschirms und der Navigationsleistung der Benutzer sowie deren Arbeitsbelastung darstellt (siehe Abb. 2). Ein Peephole-Bildschirm in Smartphone-Größe ist zu klein und wird von allen größeren Bildschirmen übertroffen. Es überrascht nicht, dass die Forschung in dieser Arbeit ergab, dass größere Peepholes die Lern- und die Navigationsgeschwindigkeit signifikant verbessern und die Arbeitsbelastung verringern. Überraschend ist, dass der zusätzliche Nutzen eines größeren Bildschirms sich mit zunehmender Bildschirmgröße verringert und ein Peephole-Bildschirm größer als ein Tablet-Bildschirm sich in Bezug auf bessere Navigationsleistung oder geringere Arbeitsbelastung nicht mehr auszahlt. Dies steht im Widerspruch zu einigen Fitts' Law Peephole Target Acquisition Models (TAM). In den existierenden TAM wird das Verhalten des Benutzers mittels statischer Verfahren modelliert, jedoch werden subjektive Faktoren wie mentale Anforderung oder Frustration in den Modellen gänzlich ignoriert. In dem Verfahren in dieser Arbeit wird der Benutzer in die Gleichung mit einbezogen.

1.2 Auswirkung von Multi-Touch-Navigation und Peephole-Navigation auf Räumliches Gedächtnis

Eine Alternative zur Peephole-Navigation ist die Multi-Touch-Navigation, mit der Benutzer in virtuellen Informationsräumen navigieren können, indem sie herkömmliche Drag-to-Pan- und Pinch-to-Zoom-Touch-Gesten verwenden. Wie jedoch Kapitel 5 zeigt, verlieren Benutzer mit dieser Navigationstechnik häufig die globale Orientierung im großen Informationsraum⁵. Während sie bei der egozentrischen Peephole-Navigation von ihrer physischen Position zur virtuellen Position gelangen können. Diese räumliche Orientierung ermöglicht ihnen, ihre globale Orientierung im virtuellen Informationsraum beizubeh-

⁴ Teile dieses Kapitels wurden in wissenschaftlichen Beiträgen publiziert: [Rä14c]

⁵ Teile dieses Kapitels wurden in wissenschaftlichen Beiträgen publiziert: [Rä13]



Abb. 2: Experimenteller Versuchsaufbau zur Simulation einer Dynamic Peephole Interaction auf einem großen vertikalen Bildschirm. Diese Simulation erlaubt es, die Wirkung von Peephole-Navigation auf Kartennavigation mit hoher interner Validität. Es vermeidet Störfaktoren wie Gewicht und Auflösung bestimmter Geräte.

halten. Außerdem navigieren sie mit einer egozentrischen Peephole-Navigation effizienter im Informationsraum als mit Multi-Touch-Navigation.

Folglich ist die Peephole-Navigation eine echte Alternative zu wandgroßen Bildschirmen, vor allem dann wenn Privatsphäre ein Muss ist. Sie ist auch der traditionellen Multi-Touch-Navigation überlegen, führt zu einer besseren Navigationsleistung und reduziert die kognitiven Anforderungen an die Benutzer. Es geht sogar so weit, dass die Peephole-Interaktion das langfristige räumliche Gedächtnis, im Vergleich zur traditionellen Multi-Touch-Interaktion, besser ausnutzt.

In einer weiteren Studie, die in Kapitel 5 beschrieben ist, wird die Dynamic Peephole Navigation einer traditionellen Multi-touch Navigation gegenübergestellt. Hierbei wird auf den Vorarbeiten aus Kapitel 4, dem "sweet-spot" Tablet-Bildschirm, aufgebaut. Als Aufgabe mussten die Teilnehmer in einer großen virtuellen Karte navigieren und mehrfach dieselben Orte auf der Karte aufrufen. Es zeigt sich eine signifikant bessere Navigationsleistung für die Peephole-Navigation in Bezug auf die Pfadlänge (47 %) und die Aufgabenbearbeitungszeit (34 %). Darüber hinaus berichten die Teilnehmer von einer besseren Benutzererfahrung, einer deutlich geringeren mentalen Anforderung und Frustration während der Bewältigung der Aufgabe. So benutzten sie z. B. ihre physische Position oft als räumliche Orientierung, um ihre globale Orientierung im virtuellen Informationsraum aufrechtzuerhalten.

Daher empfiehlt sich die Verwendung von Peephole-Interaktion mit Tablets, um in großen virtuellen Informationsräumen zu navigieren, wenn Datenschutz, Navigationsleistung und

kognitive Anforderungen wichtige Voraussetzungen sind. Dies ist insbesondere in solchen Kontexten von Bedeutung, in denen der Benutzer erhebliche kognitive Ressourcen für Aufgaben- auf Anwendungsebene investieren muss, z. B. während zeitkritischen Entscheidungen, Wissenskonstruktion oder allgemeinen Lernaufgaben höherer Ordnung. Dies muss jedoch mit einer höheren physischen Belastung durch die körperliche Bewegung in Einklang gebracht werden, wenn Navigationsvorgänge sehr häufig und über einen längeren Zeitraum ausgeführt werden und somit zu körperlicher Belastung und Ermüdung führen.

2 Geräteübergreifende Interaktion

Die Notwendigkeit einer parallelen und sequentiellen Nutzung mehrerer Mobilgeräte wurde von Forschern [JOO15, Ce16] und Industrie⁶ gleichermaßen aufgedeckt. Die Integrative Workplace Benutzerstudie in Kapitel 3 (Kontext und Analyse) bestätigt diese Notwendigkeit. Wissensarbeiter ordnen ihre Arbeitsartefakte räumlich auf ihren Arbeitsbereichen an, um Dokumente zu vergleichen oder Querverweise zu erstellen. Weiterhin stellt die Interaktion über mehrere persönliche Geräte eines Nutzers hinweg oder das Übertragen von Information von einem Gerät zu einem Gerät einer anderen Person ein gut dokumentiertes Problem in der Literatur dar [SW13, JOO15]. Trotz der berichteten täglichen sequenziellen und parallelen Nutzung mobiler Geräte bietet die Mensch-Computer-Interaktion noch immer wenig Unterstützung für geräteübergreifende Interaktionen. Schlimmer noch, die Fragen nach dem geeigneten Design von geräteübergreifenden Interaktionen und ob diese räumlich bewusster sein müssen, bleiben bisher unbeantwortet. Es mangelt an Leitprinzipien für geräteübergreifende Interaktionen [Ou08].

Zudem erlauben bisherige Technologien für geräteübergreifende Interaktion entweder keine räumliche Interaktion [HW14] oder erfordern eine aufwendige Instrumentierung von mobilen Geräten [Sc10] oder Räumen mit teuren Tracking-Systemen [MHG12]. Darüber hinaus sind die meisten geräteübergreifenden Interaktionssysteme Forschungsprototypen und Closed-Source- Systeme und somit für die Durchführung von ökologisch validen Nutzerstudien nicht verfügbar.

2.1 Tracking Technologie für geräteübergreifende Interaktion

Kapitel 6 beschreibt HuddleLamp⁷, eine Sensortechnologie in Form einer Schreibtischlampe mit integrierter RGB-D-Kamera, die die Bewegungen mehrerer mobiler Displays auf einem Tisch verfolgt. HuddleLamp ermöglicht verschiedene Arten von Szenarien. Zum Beispiel Einzelbenutzerszenarien wie die Interaktion über mehrere Geräte hinweg um gleichzeitiges Lesen und Schreiben von Dokumenten zu ermöglichen. Es ermöglicht auch die Zusammenarbeit zwischen mehreren Benutzern und ihren mobilen Geräten (siehe Abb. 3).

⁶ The new multi-screen world study: <https://www.thinkwithgoogle.com/advertising-channels/mobile/the-new-multi-screen-world-study/> (zuletzt aufgerufen am 19. Januar 2018)

⁷ Teile dieses Kapitels wurden in wissenschaftlichen Beiträgen publiziert: [Rä14b, Rä14a]

HuddleLamp⁸ ist das erste Tracking-System für mobile Geräte, das mit einem vertretbaren Aufwand an Umgebungsinstrumentierung auskommt und mit handelsüblicher Hardware arbeitet. Hierzu reicht eine kostengünstige RGB-D Kamera, die über einem Tisch, z. B. in einer Schreibtischlampe, montiert wird. Das Tracking-System erkennt mehrere mobile Displays durch Ausnutzung ihrer optischen Eigenschaften im IR-Bereich. Es verwendet zusätzlich RGB Bilder in einem neuartigen Hybrid-Sensing Verfahren, um die Tracking Zuverlässigkeit zu steigern. Mithilfe des Hybrid-Sensing kann es Bildschirme von Hintergrund, anderen Objekten oder den Händen der Benutzer unterscheiden und über die Zeit hinweg erkennen.

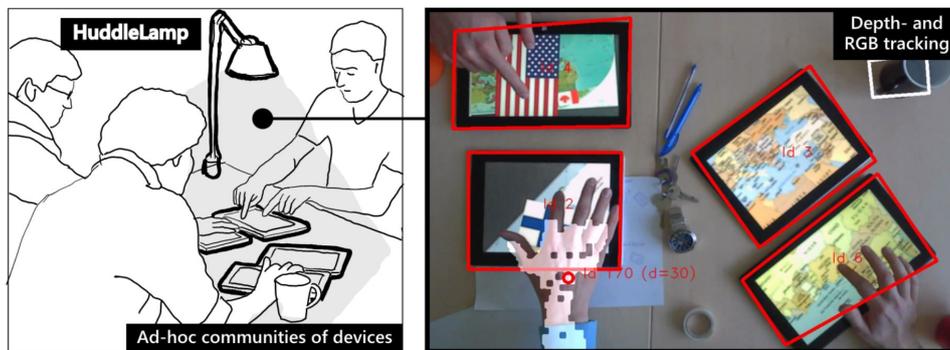


Abb. 3: Das HuddleLamp Tracking-System erkennt und verfolgt mobile Geräte und die Hände der Benutzer und ermöglicht dadurch eine Ad-hoc-Zusammenarbeit mehrerer Benutzer.

Die webbasierte Architektur von HuddleLamp Anwendungen ermöglicht den Nutzern überdies mobile Geräte ad hoc hinzufügen oder wieder zu entfernen ohne zusätzliche Software installieren zu müssen. In fünf Beispielen wird der praktische Einsatz von HuddleLamp demonstriert, u. a. der Einsatz um große Multi-Device-Displays für Multi-User- und Multi-Touch-Interaktionen zu erstellen. über die fünf vorgestellten Beispiele hinaus ermöglicht HuddleLamp die Erforschung zukünftiger geräteübergreifender Interaktionen.

2.2 Räumliche geräteübergreifende Interaktion verstehen

Eine Studie in Kapitel 7 exploriert in einem zweistufigen Verfahren den “Designspace” von mobilen geräteübergreifenden Interaktionen¹⁰. Insbesondere um Antworten und Lösungen auf Probleme zu finden, die in Kapitel 3 (Kontext und Analyse) aufgeworfen wurden. In der ersten Stufe stellt es Ergebnisse aus einer Gesture-Elicitation-Study vor. Hierzu wurden 17 Teilnehmer zu geräteübergreifender Interaktionen befragt. Sie sollten Vorschläge zu, in der Literatur, dokumentierten geräteübergreifenden Interaktionen geben. 71 % der Vorschläge waren räumlich. Dies deutet darauf hin, dass die Teilnehmer der Studie bei geräteübergreifenden Interaktionen vorzugsweise räumlich denken (vgl. [Ki10]). In

⁸ Die HuddleLamp Software ist online verfügbar als Open-Source-Projekt und kann für Forschungszwecke frei eingesetzt werden: ⁹ (zuletzt aufgerufen am 19. Januar 2018).

¹⁰ Teile dieses Kapitels wurden in wissenschaftlichen Beiträgen publiziert: [Rä15]

der zweiten Stufe und basierend auf den Vorschlägen der Studienteilnehmer wurden zwei räumliche geräteübergreifende Interaktionstechniken (Edge Bubbles und Radar View) und eine räumlich-agnostische Interaktionstechnik (Menu) implementiert und diese in einem kontrollierten Experiment verglichen. Die Ergebnisse zeigen, dass räumliche geräteübergreifende Interaktionstechniken von den Benutzern bevorzugt werden und sich ihre mentale Anforderung, Anstrengung und Frustration dabei verringern kann. Es ist jedoch wichtig zu erwähnen, dass das “Design” einer räumlichen geräteübergreifenden Interaktionstechnik eine signifikante Rolle bei (i) Benutzerpräferenz und (ii) der subjektiven Arbeitsbelastung der Benutzer spielt.

Abschließend werden in dieser Arbeit die einzelnen Erkenntnisse zusammengefasst und in allgemeingültige Gestaltungsrichtlinien für zukünftige räumliche und geräteübergreifende Anwendungen überführt. Diese Richtlinien können von Forschern und Praktikern angewendet werden, um neue UbiComp Interaktionsformen und Nutzererfahrungen zu entwickeln. Diese Interaktionsformen sollen letztlich die Frustration des Nutzers senken und gleichzeitig seine Leistungsfähigkeit steigern.

Fortführende Arbeiten [P117, RÄ17b, RÄ18, Pa18].

Literaturverzeichnis

- [Ce16] Cecchinato, Marta E; Sellen, Abigail; Shokouhi, Milad; Smyth, Gavin: Finding Email in a Multi-Account, Multi-Device World. In: Proceedings of the 34th Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '16. 2016.
- [Do99] Dourish, Paul: Embodied Interaction: Exploring the Foundations of a New Approach to HCI. 1999.
- [Fi93] Fitzmaurice, George W.: Situated information spaces and spatially aware palmtop computers. Communications of the ACM, 36(7):39–49, jul 1993.
- [HW14] Hamilton, Peter; Wigdor, Daniel J.: Conductor: enabling and understanding cross-device interaction. In: Proceedings of the 32nd annual ACM conference on Human factors in computing systems - CHI '14. CHI '14, ACM Press, New York, New York, USA, S. 2773–2782, apr 2014.
- [Ja08] Jacob, Robert J.K.; Girouard, Audrey; Hirshfield, Leanne M.; Horn, Michael S.; Shaer, Orit; Solovey, Erin Treacy; Zigelbaum, Jamie: Reality-based interaction: a framework for post-WIMP interfaces. In: Proceeding of the twenty-sixth annual CHI conference on Human factors in computing systems - CHI '08. ACM Press, New York, New York, USA, S. 201, 2008.
- [JOO15] Jokela, Tero; Ojala, Jarno; Olsson, Thomas: A Diary Study on Combining Multiple Information Devices in Everyday Activities and Tasks. In: Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '15. ACM Press, New York, New York, USA, S. 3903–3912, apr 2015.
- [JRG14] Jetter, Hans-Christian; Reiterer, Harald; Geyer, Florian: Blended Interaction: understanding natural human-computer interaction in post-WIMP interactive spaces. Personal and Ubiquitous Computing, 18(5):1139–1158, jun 2014.

- [Ki10] Kirsh, David: Thinking with external representations. *AI & Society*, 25(4):441–454, feb 2010.
- [MHG12] Marquardt, Nicolai; Hinckley, Ken; Greenberg, Saul: Cross-device interaction via micro-mobility and f-formations. In: *Proceedings of the 25th annual ACM symposium on User interface software and technology - UIST '12*. ACM Press, New York, New York, USA, S. 13, oct 2012.
- [Ou08] Oulasvirta, Antti: When users "do"the UbiComp. *interactions*, 15(2):6, mar 2008.
- [Pa18] Park, Seonwook; Gebhardt, Christoph; Rädle, Roman; Feit, Anna Maria; Vrzakova, Hanna; Dayama, Niraj Ramesh; Yeo, Hui-Shyong; Klokmose, Clemens N.; Quigley, Aaron; Oulasvirta, Antti; Hilliges, Otmar: AdaM: Adapting Multi-User Interfaces for Collaborative Environments in Real-Time. In: *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '18, ACM, New York, NY, USA, S. 184:1–184:14, 2018.
- [Pl17] Plank, Thomas; Jetter, Hans-Christian; Rädle, Roman; Klokmose, Clemens N.; Luger, Thomas; Reiterer, Harald: Is Two Enough?: Studying Benefits, Barriers, and Biases of Multi-Tablet Use for Collaborative Visualization. In: *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '17, ACM, New York, NY, USA, S. 4548–4560, 2017.
- [Rä13] Rädle, Roman; Jetter, Hans-Christian; Butscher, Simon; Reiterer, Harald: The effect of egocentric body movements on users' navigation performance and spatial memory in zoomable user interfaces. In: *Proceedings of the 2013 ACM international conference on Interactive tabletops and surfaces - ITS '13*. ACM Press, New York, New York, USA, S. 23–32, 2013.
- [Rä14a] Rädle, Roman; Jetter, Hans-Christian; Marquardt, Nicolai; Reiterer, Harald; Rogers, Yvonne: Demonstrating HuddleLamp: Spatially-Aware Mobile Displays for Ad-hoc Around-the-Table Collaboration. In: *Proceedings of the Ninth ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces - ITS '14*. ACM Press, New York, New York, USA, S. 435–438, nov 2014.
- [Rä14b] Rädle, Roman; Jetter, Hans-Christian; Marquardt, Nicolai; Reiterer, Harald; Rogers, Yvonne: HuddleLamp: Spatially-Aware Mobile Displays for Ad-hoc Around-the-Table Collaboration. In: *Proceedings of the Ninth ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces - ITS '14*. ACM Press, New York, New York, USA, S. 45–54, 2014.
- [Rä14c] Rädle, Roman; Jetter, Hans-Christian; Müller, Jens; Reiterer, Harald: Bigger is not always better: display size, performance, and task load during peephole map navigation. In: *Proceedings of the 32nd annual ACM conference on Human factors in computing systems - CHI '14*. ACM Press, New York, New York, USA, S. 4127–4136, apr 2014.
- [Rä15] Rädle, Roman; Jetter, Hans-Christian; Schreiner, Mario; Lu, Zhihao; Reiterer, Harald; Rogers, Yvonne: Spatially-aware or Spatially-agnostic?: Elicitation and Evaluation of User-Defined Cross-Device Interactions. In: *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '15*. ACM Press, New York, New York, USA, S. 3913–3922, 2015.
- [Rä17a] Rädle, Roman: Designing UbiComp Experiences for Spatial Navigation and Cross-Device Interactions. Dissertation, University of Konstanz, 2017.

- [Rä17b] Rädle, Roman; Nouwens, Midas; Antonsen, Kristian; Eagan, James R.; Klokmoose, Clemens N.: Codestrates: Literate Computing with Webstrates. In: Proceedings of the 30th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology. UIST '17, ACM, New York, NY, USA, S. 715–725, 2017.
- [Rä18] Rädle, Roman; Jetter, Hans-Christian; Fischer, Jonathan; Gabriel, Inti; Klokmoose, Clemens N.; Reiterer, Harald; Holz, Christian: PolarTrack: Optical Outside-In Device Tracking That Exploits Display Polarization. In: Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. CHI '18, ACM, New York, NY, USA, S. 497:1–497:9, 2018.
- [Ro06] Rogers, Yvonne: Moving on from Weiser's Vision of Calm Computing: engaging Ubi-Comp experiences. 4206:404–421, sep 2006.
- [Sc10] Schmitz, Arne; Li, Ming; Schönefeld, Volker; Kobbelt, Leif: Ad-Hoc Multi-Displays for Mobile Interactive Applications. In: The Eurographics Association. The Eurographics Association, S. 45–52, 2010.
- [SW13] Santosa, Stephanie; Wigdor, Daniel: A field study of multi-device workflows in distributed workspaces. In: Proceedings of the 2013 ACM international joint conference on Pervasive and ubiquitous computing - UbiComp '13. ACM Press, New York, New York, USA, S. 63, 2013.
- [We91] Weiser, Mark: The computer for the 21st century. Scientific American, 265(3):94–104, sep 1991.



Roman Rädle ist Assistant Professor in der Abteilung für Computer Science an der Universität Aarhus in Dänemark. Zuvor war er Postdoctoral Fellow in der Abteilung für Digitales Design und Informationwissenschaften ebenfalls an der Universität Aarhus. Er hat einen B.Sc., M.Sc. und Dr. rer. nat. in Informatik von der Universität Konstanz in Deutschland verliehen bekommen.

Er veröffentlicht regelmäßig auf renommierten akademischen Konferenzen wie der CHI, UIST und ISS. Er ist Mitglied des SIGCHI Operations Committee, das logistische, technische und operative Fragen behandelt, die SIGCHI und dessen Portfolio von Konferenzen betreffen.

Im Jahre 2013/2014 war er Gastwissenschaftler am Game Innovation Lab an der New York University. Von August bis Dezember 2015 war er während eines 4,5-monatigen Praktikums bei Microsoft Research in Cambridge in die Gruppe Human Experience & Design eingebettet. Seine Forschungsinteressen umfassen Mensch-Computer-Interaktion, Ubiquitous Computing und Computational Thinking. Er arbeitet an der Verwendung interaktiver Notizbücher in Situationen, in denen die Anzahl der Personen und Geräte im Laufe der Zeit variieren kann. Sowohl Software also auch Hardware sollen die Übergänge zwischen diesen Situationen fließend und ohne mentale Gymnastik unterstützen. Zum Beispiel ihre Verwendung an Schulen, in denen Arbeiten mit Notizbüchern von Einzelarbeit (“Ich-Arbeit”) zu kollaborativer Gruppenarbeit (“Wir-Arbeit”) und umgekehrt wechseln kann.