

Around-Body Interaction: Über die Nutzung der Bewegungen von Gliedmaßen zur Interaktion in einer digital erweiterten physischen Welt¹

Florian Müller²

Abstract:

Durch den technischen Fortschritt sind Head-Mounted Displays (HMDs) kleiner und kabellos geworden. Sie leisten so einen Beitrag zur Vision von allgegenwärtiger Interaktion mit Informationen in einer digital erweiterten physischen Welt. Zur Interaktion mit solchen Geräten werden heute eingabeseitig – neben wenig intuitiven Fingergesten in der Luft – vor allem dreierlei Techniken verwendet: 1) Toucheingabe auf dem Gehäuse der Geräte oder 2) auf Zubehör (Controller) sowie 3) Spracheingabe. Während diese Techniken, abhängig von der aktuellen Situation des Benutzers, sowohl Vor- als auch Nachteile haben, so ignorieren sie weitgehend die Fähigkeiten und Geschicklichkeit, die wir im Umgang mit der realen Welt zeigen: Während unseres ganzen Lebens haben wir ausgiebig trainiert unsere Gliedmaßen zu benutzen, um mit der physischen Welt um uns herum zu interagieren und sie zu manipulieren. Diese Arbeit entwickelt eine Vision für eine körperlichere Interaktion mit solchen Geräten, welche die Fähigkeiten und Geschicklichkeit, die wir im Umgang mit der physischen Welt zeigen, auf die Interaktion mit HMDs überträgt.

1 Einführung

Unser ganzes Leben lang lernen wir unsere Gliedmaßen zu benutzen, um mit der uns umgebenden physischen Welt zu interagieren und sie zu manipulieren: Wir nutzen unsere Arme und Hände, um Türen zu öffnen oder unsere Beine und Füße, um uns in der Welt zu bewegen. Aufgrund des alltäglichen Umgangs und dem daraus resultierenden Trainings dieser Fertigkeiten führen wir diese Tätigkeiten mit beachtlichem Geschick und trotzdem zu großen Teilen unbewusst aus.

Betrachten wir nun, wie wir heute mit den uns umgebenden Computersystemen interagieren, so lässt sich dabei ein starkes Missverhältnis zwischen diesen hoch entwickelten physischen Möglichkeiten des menschlichen Körpers und den zur Interaktion genutzten Techniken erkennen. Anstatt die Fertigkeiten des menschlichen Körpers zur Interaktion zu nutzen, sitzen wir vor stationären Computern und bedienen diese indirekt durch sekundäre Geräte wie Tastatur und Maus. In den letzten Jahren scheint sich die Interaktion mit Computersystemen noch weiter von den physischen Möglichkeiten des Menschen zu entfernen: Während die indirekte Interaktion mit traditionellen Desktop PCs noch beide Hände (Tastatur) sowie Bewegungen der Hand (Maus) in die Interaktion mit einbezieht, dominieren heute mobile Touchgeräte den Markt. Diese Geräte werden typischerweise nur noch

¹ Englischer Titel der Dissertation: "Around-Body Interaction: Leveraging Limb-movements for Interacting in a Digitally Augmented Physical World" [Mü20]

² Technische Universität Darmstadt, mueller@tk.tu-darmstadt.de

mit einem Daumen bedient, während die restlichen Finger zum Halten und Stabilisieren degradiert werden. Diese Art der Interaktion liegt zu großen Teilen in den inhärenten Limitierungen solcher Geräte begründet: Informationen werden als *Bilder unter Glas* [Vi11] visualisiert und sind an die kleine 2D Oberfläche des Gerätes gebunden.

Als mögliche Lösung können Informationen durch semi-transparente Head-Mounted Displays (HMDs) und Augmented Reality (AR) Technologien das *Glas durchbrechen* und so in die physische Welt einziehen. Solche Geräte bestehen aus einer am Kopf getragenen Kombination von zwei halb-transparenten Displays zur Bereitstellung von stereoskopischer Ausgabe sowie Sensoren zur Verfolgung der Position und Orientierung des Kopfes des Nutzers [Sh02]. Basierend auf den von den Sensoren aufgezeichneten Daten wird ein perspektivisch korrigiertes Bild erzeugt. Dies erlaubt eine natürliche Bewegung in einer (teilweise) virtuellen Umgebung [Su68], in der digitale Informationen mit physischen Objekten visuell gleichberechtigt existieren und so zu einer körperlicheren und physischeren Interaktion einladen. Jedoch besitzen diese digitalen Objekte im Gegensatz zu realen Objekten keinen physischen Körper: Sie sind nicht anfassbar. Daher sind die Interaktionstechniken, welche wir zur Interaktion mit der realen Welt verwenden, nicht direkt übertragbar.

Ein Blick auf die heute verbreiteten Interaktionstechniken für HMDs zeigt hauptsächlich Toucheingabe 1) auf dem Gehäuse des Gerätes oder auf 2) sekundären Geräten oder 3) sprachbasierte Eingabe. Trotz der jeweiligen Vorteile dieser Interaktionsstile ignorieren sie zu großen Teilen die vielen Freiheitsgrade, die unser Körper bietet, und zeigen weitere individuelle Nachteile: Die Toucheingabe auf HMDs und sekundären Geräten unterstützt keine direkte Manipulation von Informationen. Spracheingabe reduziert die Privatheit bei der öffentlichen Verwendung und die Erkennungsqualität ist stark abhängig von Umgebungsgeräuschen. Trotz der vielen technischen Fortschritte, welche HMDs in den letzten Jahren zu vielseitigen Ausgabegeräten gemacht haben, gibt es weiteren Forschungsbedarf, um aus HMDs auch vielseitige Eingabegeräte zu machen.

In den letzten Jahren hat die Forschung physischere Interaktionsstile mit HMDs im Bereich der *körperbasierten (body-based) Interaktion* vorgeschlagen. Als prominentestes Beispiel haben *on-body* Schnittstellen viel Aufmerksamkeit erhalten, welche Toucheingabe - oft in Kombination mit visueller Ausgabe - auf der Oberfläche unseres Körpers bieten [HRH12]. In vielen dieser Systeme dient die Hand oder der Unterarm des Nutzers als zweidimensionaler Interaktionsbereich und empfindet damit die Interaktion mit einem in der Hand oder am Körper getragenen Touchscreengerät nach. Neben allen Vorteilen solcher Systeme ist der Eingabebereich an die zweidimensionale Oberfläche des Körpers gebunden. Weiterhin erfordert diese Art der Interaktion meist beide Hände des Nutzers und kann so viele Situationen nicht unterstützen, in denen die Hände des Nutzers nicht frei sind (z. B. beim Tragen einer Tasche).

Um diese Einschränkungen, welche mit der Interaktion *auf* dem Körper verbunden sind, zu überwinden, beschäftigen sich die Beiträge dieser Arbeit mit der Interaktion im Bereich *um* unseren Körper. Dazu werden Interaktionen unter Verwendung unserer oberen und unteren Gliedmaßen betrachtet, um unsere in der physischen Welt gelernten Fertigkeiten auf die Interaktion mit digitalen Informationen zu übertragen.

Im Folgenden werden die vier Hauptbeiträge der Arbeit beschrieben. Die ersten beiden Beiträge, *Proximity-based Interaction* und *CloudBits*, beschäftigen sich dabei mit Interaktionstechniken unter Verwendung von Armen und Händen. Im Anschluss beschreiben die Beiträge *Mind the Tap* und *Walk the Line*, wie Beine und Füße für die Interaktion mit HMDs verwendet werden können.

2 Proximity-based Interaction



Abb. 1: *Proximity-based Interaction* erlaubt die mobile und einhändige Interaktion mit digitalen Informationen durch Bewegungen der Hand entlang der Sichtlinie des Nutzers.

Besonders in mobilen Situationen ist mindestens eine Hand des Nutzers häufig damit beschäftigt, mit der physischen Welt zu interagieren (bspw. beim Tragen einer Tasche, siehe Abb. 1). Dies hat zur Folge, dass Interaktionstechniken, die beide Hände des Nutzers erfordern, für solche Situationen ungeeignet sind. In diesem Teil der Arbeit wird argumentiert, dass für solche Situationen einhändige Interaktionstechniken die Interferenz zwischen Interaktionen mit einem System und mit der realen Welt reduzieren können. Daher fokussiert sich dieser Beitrag darauf, wie die große Anzahl von Freiheitsgraden, die unsere Hände und Arme bieten, für einhändige Interaktionen genutzt werden können.

Diese Freiheitsgrade der Bewegungen von Arm und Hand werden durch die Freiheitsgrade der beteiligten Gelenke definiert. Dazu gehören insbesondere das Schultergelenk, das Ellenbogengelenk, das Handgelenk sowie die vielen weiteren Gelenke der einzelnen Finger. Da einerseits die Bewegungen von Handgelenk und Fingern relativ ähnlich zu den bereits sorgfältig erforschten (on-body) Touchinteraktionen sind und andererseits vom Schultergelenk gesteuerte Bewegungen Ermüdung verursachen können [Hi14], konzentriert sich diese Arbeit in einem ersten Schritt auf die Freiheitsgrade des Ellenbogengelenks.

In diesem Kapitel wird der durch die Stellung des Ellenbogengelenkes definierte Abstand zwischen Hand und Gesicht des Nutzers als Eingabedimension betrachtet. Dieser Abstand ist durch Beugung (d. h. die Hand wird zum Körper hin bewegt) und Streckung (d. h. die

Hand wird vom Körper wegbewegt) des Gelenkes steuerbar. Der Interaktionsraum entlang der Sichtlinie des Nutzers kann in mehrere parallele Ebenen unterteilt werden. Ähnlich zum Vorgehen von Subramanian et al. [SAL06] enthält dabei jede Ebene individuelle visuelle Inhalte, welche auf der Hand des Nutzers dargestellt werden können. Der Nutzer kann die Hände entlang der Sichtlinie bewegen, um durch aufeinanderfolgende Ebenen zu blättern (siehe Abb. 1).

In dieser Arbeit werden zwei verschiedene Techniken für die Interaktion in diesem eindimensionalen Interaktionsraum untersucht:

Kontinuierliche Interaktionen erlauben es dem Nutzer mittels Streckung und Beugung des Armes durch aufeinanderfolgende Ebenen zu blättern, ähnlich der Bewegung beim Durchblättern eines Aktenregisters. Dies kann z. B. zum Scrollen durch eine Liste verwendet werden.

Diskrete Interaktionen erlauben es dem Nutzer diskrete Aktionen auszulösen, indem der Nutzer seinen Arm in verschiedenen Abständen vom Körper anhebt. Dabei sind den Entfernungen in Relation zum Körper jeweils verschiedene Aktionen zugeordnet. Dies kann beispielsweise ein Shortcut zu einer häufig genutzten Anwendung sein. Aufgrund der Propriozeption - dem Sinn, welcher uns ein natürliches Verständnis über die Position und Orientierung unserer Körperteile gibt, ohne diese zu sehen [TA18] - kann der Nutzer solche Aktionen ohne visuellen Fokus auf die Hand durchführen.

Die beiden Interaktionstechniken wurden in zwei kontrollierten Experimenten hinsichtlich ihrer Effizienz und Genauigkeit sowie der Nutzererfahrung evaluiert. Die Ergebnisse bestätigten die Praktikabilität dieser Eingabemodalität für schnelle und genaue Interaktionen, wobei sich die Entfernung zur Zielebene als primärer Einflussfaktor auf die Genauigkeit und Effizienz erwies.

3 CloudBits

HMDs sind aufgrund ihres speziellen Formfaktors radikal private Geräte: Während sich Informationen bei anderen Systemen leicht gemeinsam mit mehreren Personen betrachten und manipulieren lassen, ist dies bei HMDs nicht möglich, da die visuelle Ausgabe solcher Geräte nur dem tragenden Nutzer zur Verfügung steht.

In diesem Teil der Arbeit wird daher der Fokus auf die Interaktion mit mehreren gleichzeitigen Nutzern gelegt. Dazu nutzt CloudBits die Metaphern von *Wolken* und *Tropfen*, bei der kleine Informationseinheiten – passend zu den Themen des Gesprächs – als Tropfen visualisiert werden, die langsam aus einer imaginären Wolke über den Nutzer in Richtung des Bodens fallen. Diese Tropfen stellen zusätzliche Informationen bezüglich der Themen des Gesprächs bereit. Nutzer können mittels ihrer oberen Gliedmaßen mit diesen Informationstropfen interagieren (siehe Abb. 2).



Abb. 2: CloudBits unterstützt mehrere Nutzer bei der gemeinsamen Interaktion mit Informationen in einem geteilten Informationsraum.

CloudBits transkribiert dazu die Gespräche und leitet daraus Gesprächsthemen ab. CloudBits nutzt diese Themen als Suchbegriffe, um proaktiv Informationen für die Nutzer aus öffentlichen (z. B. Kartendaten, Webseiten) und privaten (z. B. E-Mail, Kalender) Informationsquellen abzurufen.

Die Verwendung von HMDs erlaubt es sowohl 1) öffentliche Informationen in einem gemeinsamen Interaktionsraum anzuzeigen als auch 2) individuelle private Informationen darzustellen, welche nur für den jeweiligen Nutzer sichtbar sind. Weiterhin bietet CloudBits verschiedene Interaktionstechniken, welche es den Nutzern erlauben, mit Informationen zu interagieren. Nutzer können dabei Informationen räumlich sortieren und gruppieren, um so Informationen implizit mit Metainformationen anzureichern. Die räumliche Position der öffentlichen Informationen ist zwischen allen Nutzern synchronisiert, sodass die Informationen am gleichen physischen Ort erscheinen und somit eine kollaborative Interaktion mit Informationen möglich wird. Weiterhin können Nutzer private Informationen mit anderen Nutzern teilen.

CloudBits bietet einen *Fokus+Kontext* [CMS99] Ansatz für die Interaktion mit Informationen in Gesprächssituationen. Während die Konversation der *Fokus* des Nutzers ist, stellt CloudBits durch kleine Informationstropfen, die den Verlauf der Konversation visualisieren, *Kontext* zur Verfügung. Umgekehrt wird CloudBits bei der Interaktion mit Informationen zum *Fokus* des Nutzers. Im Gegensatz zur Interaktion mit Informationen über ein mobiles Endgerät, bei welcher die visuelle Verbindung zur Konversation verloren geht, erlaubt CloudBits immer noch die audiovisuelle Teilnahme als *Kontext*, da sich die anderen Personen der Konversation noch in der peripheren Sicht befinden. Die enge Integration und Synchronisation von CloudBits mit der Konversation ermöglicht so einen schnellen und reibungslosen Übergang des Fokus zwischen der eigentlichen Konversation und der Interaktion mit Informationen.

Die vorgestellten Konzepte wurden in einer qualitativen Laborstudie untersucht und mit der traditionellen Interaktion mit Smartphones verglichen. Die Ergebnisse der Studie konnten hierbei vielversprechende Fortschritte bei der gemeinsamen Interaktion mit Informationen aufzeigen. So zeigte sich unter anderem im Vergleich mit der Interaktion mit Smartphones eine schnellere und leichtere Wiederaufnahme der Konversation nach Pausen.

4 Mind The Tap



Abb. 3: Mind The Tap erlaubt es Nutzern freihändig mittels Fußberührungen mit Informationen zu interagieren.

Wie in Abschnitt 2 und 3 dargestellt, können (einhändige) Interaktionstechniken für die oberen Gliedmaßen in vielen Situationen eine natürliche, genaue und effiziente Interaktionsform für HMDs darstellen. Es gibt jedoch gerade im mobilen Kontext Situationen, in welchen beide Hände und Arme des Nutzers nicht zur Interaktion zur Verfügung stehen, weil der Nutzer beispielsweise Dinge trägt oder anderweitig mit der realen Welt interagiert.

Zur Unterstützung solcher Situationen wird in diesem Teil der Arbeit untersucht, wie die unteren Gliedmaßen zur Interaktion eingesetzt werden können. Während es eine lange Geschichte der Nutzung der unteren Gliedmaßen für solche fußbasierten Schnittstellen in verschiedenen Bereichen – von Industriemaschinen [Kr71] über Desktop PCs [SB09] zu Smartphones [Fa17] – gibt, ist die Interaktion mittels Füßen noch nicht systematisch für den Umgang mit HMDs evaluiert worden.

Daher wird in diesem Abschnitt die fußbasierte Interaktion mit einer augmentierten Schnittstelle untersucht, welche am dominanten Fuß der Stehposition des Nutzers fixiert ist. Die Schnittstelle besteht aus einem halbkreisförmigen Interaktionsrad, welches durch mehrere Zeilen und Spalten in ein Gitter unterteilt wird. Jede Zelle des Gitters stellt eine Option dar, die der Nutzer durch eine Fußberührung auswählen kann (siehe Abb. 3).

In diesem Abschnitt der Arbeit werden zwei verschiedene Arten der Interaktion mit einem solchen interaktiven halbkreisförmigen Gitter untersucht, die beide durch die beschriebenen Fußberührungen bedient werden, sich aber in ihrer Visualisierung unterscheiden:

Direkte Interaktion Das halbkreisförmige Gitter wird in Beinreichweite auf dem Boden vor dem Teilnehmer visualisiert. Einzelne Bereiche des Gitters werden auf dem Boden vor dem Nutzer dargestellt und können von diesem mittels Fußberührungen ausgewählt werden. Es besteht also eine direkte Verbindung zwischen dem Ort der Eingabe und der Ausgabe.

Indirekte Interaktion Bei der indirekten Interaktion wird die Visualisierung vom Boden in die Luft vor dem Nutzer verschoben, die Bedienung des Systems erfolgt jedoch weiterhin durch Fußberührungen vor dem Nutzer. Der Propriozeptionssinn ermöglicht es Nutzern, trotz der fehlenden visuellen Verbindung zwischen Eingabe und Ausgabe, mit einem solchen System zu interagieren.

Die beiden Interaktionsarten wurden in einem kontrollierten Experiment unter Laborbedingungen miteinander verglichen und hinsichtlich ihrer Genauigkeit und Effizienz bewertet. Die Ergebnisse zeigen die Eignung der Interaktionsarten für eine genaue und angenehme Interaktion durch Fußbewegungen. Der Vergleich der Interaktionsarten zeigte, dass sich die direkte Interaktion besser für kurze und feingranulare Interaktionen eignet, während sich die indirekte Interaktion besser für längerfristige Interaktionen eignet.

5 Walk The Line

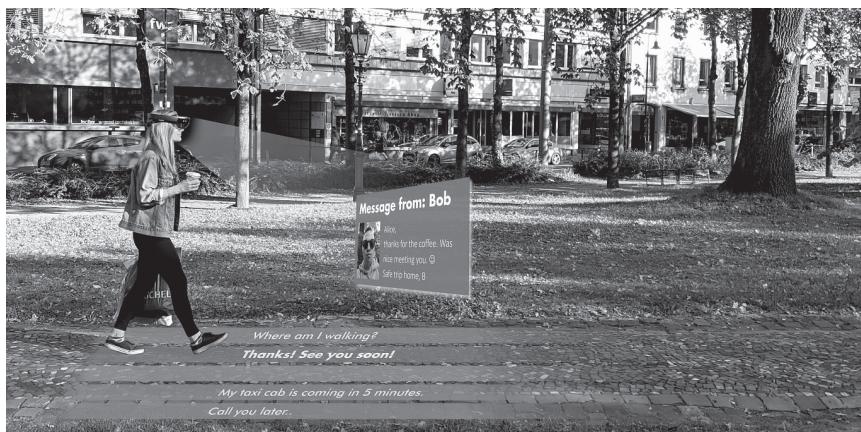


Abb. 4: Walk the Line nutzt seitliche Verschiebungen des Gehweges als Eingabemodalität für HMDs. Optionen werden als Spuren auf dem Boden entlang des Gehweges des Nutzers visualisiert. Der Nutzer wählt Optionen aus, indem er seinen Pfad seitlich verschiebt.

Der letzte Abschnitt beschäftigte sich mit Fußberührungen als Eingabemodalität für HMDs. Neben den dargestellten Vorteilen der freihändigen Nutzung gibt es jedoch auch eine große

Einschränkung bei der Benutzung eines solchen Systems, welche in den inhärenten Grenzen der fußbasierten Bedienung begründet ist: Der Nutzer muss zur Interaktion stehen bleiben, da ein solches System nicht zwischen gewollten Bewegungen zur Interaktion und Bewegungen, wie sie bei der Fortbewegung natürlicherweise auftreten, unterscheiden kann.

Während diese Einschränkung im industriellen Kontext tolerierbar sein mag, wird sie in wirklich mobilen Interaktionssituationen zu einer großen Herausforderung: Mobilität ist stark mit dem Prozess der Fortbewegung und damit insbesondere dem Gehen verbunden. Dies macht die Anwendung traditioneller fußbasierter Interaktionstechniken in derartigen Situationen schwierig, da der Nutzer den Prozess der Fortbewegung stoppen muss, um mit dem System zu interagieren. Wenn jedoch die Vision der ubiquitären Interaktion mit Informationen in einer digital erweiterten physischen Welt Wirklichkeit werden soll, so wird ein wesentlicher Teil der Interaktion mit solchen Geräten auch unterwegs stattfinden müssen. Dies unterstreicht die Notwendigkeit wirklich mobiler Interaktionstechniken, die nicht nur die Interaktion an verschiedenen Orten unterstützen, sondern auch während der Nutzer sich in Bewegung zu diesen Orten befindet.

Heutzutage findet die Interaktion während des Gehens häufig mit Smartphones statt. Der dabei erforderliche visuelle Fokus auf das Gerät lässt Fußgänger während der Interaktion den Kontakt zu ihrer Umwelt verlieren [LH17]. Ähnlich wie das abgelenkte Führen eines Autos führt auch abgelenktes Gehen zu potenziell gefährlichen Situationen: Fußgänger laufen in Hindernisse, kollidieren mit anderen Personen oder gefährden sich und andere Personen auf weitere Arten.

Der Beitrag dieses Abschnitts geht über den aktuellen Stand der Technik hinaus, indem der Prozess der Fortbewegung durch das Gehen aktiv als Inputmodalität genutzt wird. Dazu wird ein System betrachtet, welches mehrere Spuren entlang des Gehweges des Nutzers anzeigt. Dabei stellt jede Spur eine individuelle Option dar, welche der Nutzer durch Änderung seines Gehweges selektieren kann (siehe Abb. 4). Die spezifische Visualisierung der Spuren kann auf die Anwendung zugeschnitten werden. Sie kann z. B. Icons oder Text enthalten oder mit in der Luft schwebenden Elementen verbunden werden, die die zu selektierenden Informationen beschreiben.

Der Nutzer muss lediglich seinen Gehweg seitlich verschieben, bis er auf der jeweiligen Optionsspur läuft, um eine Aktion des Systems auszulösen. Diese Verschiebung geschieht, ohne dass der Nutzer seine Gehgeschwindigkeit ändern muss, ähnlich dem Ausweichen vor einem Hindernis auf dem Bürgersteig. Das System hebt die Spur, auf der der Nutzer gerade läuft, durch eine Änderung der Visualisierung (z. B. der Farbe) hervor. Diese Änderung betrifft die gesamte Spur und ist so auch im peripheren Sichtbereich wahrnehmbar, ohne dass der Nutzer aktiv nach unten schauen muss. Durch das Gehen auf einer der Spuren für eine bestimmte Zeitspanne kann die jeweilige Option ausgewählt werden. Die benötigte Zeit wird dem Nutzer durch eine Änderung der Deckkraft der Spuren visualisiert: Während des Gehens auf einer Spur werden alle anderen Spuren nach und nach ausgeblendet.

Neben den Optionsspuren existiert eine weitere neutrale Spur, welche direkt mittig vor dem Nutzer dargestellt wird und mit keiner Aktion verknüpft ist (vgl. graue Spur in Abb. 4). Geht der Nutzer geradeaus weiter, ohne seinen Gehweg zu verändern, interpretiert das System dies nicht als Interaktion und löst keine Aktionen aus.

Die hier vorgestellte Interaktionstechnik wurde in einem kontrollierten Laborexperiment hinsichtlich ihrer Genauigkeit und Effizienz für die Interaktion mit HMDs untersucht. Die Ergebnisse des kontrollierten Experiments bestätigten die Eignung solcher Schnittstellen für schnelle, genaue und spielerische Interaktionen.

6 Zusammenfassung

Die jüngsten technologischen Entwicklungen deuten darauf hin, dass wir auf dem Weg zu immer kleineren und leistungsfähigeren HMDs sind, welche eines Tages die Rolle übernehmen könnten, die Smartphones heute in unserem Leben spielen. So würde die Interaktion mit solchen Geräten – 50 Jahre nach Sutherlands ersten Schritten [Su68] – endlich aus dem Labor in die reale Welt vordringen.

In dieser Arbeit wurden aus den Anforderungen für die Interaktion mit HMDs unter Verwendung der oberen und unteren Gliedmaßen jeweils zwei Konzepte entwickelt sowie konkrete Interaktionstechniken abgeleitet. Diese Interaktionstechniken wurden im Anschluss eingehend untersucht und evaluiert. Obwohl jede der vorgestellten Techniken auf einen spezifisches Kontext zugeschnitten ist, kann die Kombination dieser Techniken bereits eine Vielzahl von Situationen abdecken, die bei der täglichen Nutzung solcher Geräte auftreten.

Damit hat diese Arbeit einen substanzialen Beitrag zur Vision für die zukünftige Interaktion mit solchen Geräten geleistet, indem sie die Freiheitsgrade, die unser Körper bietet, für natürlichere, angenehmere und spielerischere Interaktionen nutzbar macht.

Literaturverzeichnis

- [CMS99] Card, S. K.; Mackinlay, J. D.; Shneiderman, B.: Information Visualization. In: Readings in Information Visualization: Using Vision to Think. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA, S. 1–34, 1999, ISBN: 978-1-55860-533-6.
- [Fa17] Fan, M.; Ding, Y.; Shen, F.; You, Y.; Yu, Z.: An empirical study of foot gestures for hands-occupied mobile interaction. In: Proceedings of the 2017 ACM International Symposium on Wearable Computers - ISWC '17. ACM Press, New York, New York, USA, S. 172–173, 2017, ISBN: 9781450351881.
- [Hi14] Hincapié-Ramos, J. D.; Guo, X.; Moghadasian, P.; Irani, P.P.: Consumed endurance: a metric to quantify arm fatigue of mid-air interactions. In: Proceedings of the 32nd annual ACM conference on Human factors in computing systems - CHI '14. ACM Press, New York, New York, USA, S. 1063–1072, 2014, ISBN: 9781450324731.

- [HRH12] Harrison, C.; Ramamurthy, S.; Hudson, S. E.: On-body interaction: armed and dangerous. In: Proceedings of the Sixth International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction - TEI '12. ACM Press, New York, New York, USA, S. 69, Feb. 2012, ISBN: 9781450311748.
- [Kr71] Kroemer, K. H. E.: Foot Operation of Controls. *Ergonomics* 14/3, S. 333–361, Mai 1971, ISSN: 0014-0139.
- [LH17] Lin, M.-I. B.; Huang, Y.-P.: The impact of walking while using a smartphone on pedestrians' awareness of roadside events. *Accident Analysis & Prevention* 101/, S. 87–96, Apr. 2017, ISSN: 00014575.
- [Mü20] Müller, F.: Around-Body Interaction: Leveraging Limb-movements for Interacting in a Digitally Augmented Physical World. to appear: TUpprints, Darmstadt, 2020.
- [SAL06] Subramanian, S.; Aliakseyeu, D.; Lucero, A.: Multi-layer interaction for digital tables. In: Proceedings of the 19th annual ACM symposium on User interface software and technology - UIST '06. ACM Press, New York, New York, USA, S. 269, Okt. 2006, ISBN: 1595933131.
- [SB09] Silva, M. G.; Bowman, D. A.: Body-based interaction for desktop games. In: Proceedings of the 27th international conference extended abstracts on Human factors in computing systems - CHI EA '09. ACM Press, New York, New York, USA, S. 4249, 2009, ISBN: 9781605582474.
- [Sh02] Shibata, T.: Head mounted display. *Displays* 23/1-2, S. 57–64, Apr. 2002, ISSN: 01419382.
- [Su68] Sutherland, I.: A head-mounted three dimensional display. In: Proceedings of the December 9-11, 1968, fall joint computer conference, part I on - AFIPS '68 (Fall, part I). ACM Press, New York, New York, USA, S. 757, 1968.
- [TA18] Tuthill, J. C.; Azim, E.: Proprioception. *Current Biology* 28/5, R194–R203, März 2018, ISSN: 09609822.
- [Vi11] Victor, B.: A Brief Rant on the Future of Interaction Design, Website, unter <http://worrydream.com/ABriefRantOnTheFutureOfInteractionDesign/>; abgerufen am 21.01.2020., Nov. 2011.



Florian Müller ist ein Forscher im Bereich der Human-Computer Interaction. Seine Forschungsinteressen liegen im Bereich Augmented Reality, Virtual Reality und körperbasierter Konzepte zur Interaktion in und mit der physischen Welt. Er hat an der Technischen Universität Darmstadt am Telecooperation Lab unter Leitung von Max Mühlhäuser in diesen Bereichen promoviert und arbeitet dort aktuell als Wissenschaftlicher Mitarbeiter.